



N° ordre :2014-34

N° Série : C-116

THESE / AGROCAMPUS OUEST

Sous le label de l'Université Européenne de Bretagne

pour obtenir le diplôme de :

**DOCTEUR DE L'INSTITUT SUPERIEUR DES SCIENCES AGRONOMIQUES, AGRO-ALIMENTAIRES,
HORTICOLES ET DU PAYSAGE**

Spécialité : « Nom de la spécialité »

Ecole Doctorale : « VIE AGRO SANTE»

présentée par :

« CAMILLE VINDRAS-FOUILLET »

**EVALUATION DE LA QUALITE SENSORIELLE DE PRODUITS POUR LA SELECTION PARTICIPATIVE
EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE : CAS DU BLE ET DU BROCOLI**

soutenue le 17 décembre 2014 devant la commission d'Examen

Composition du jury :

Directrice de thèse
Rapporteurs

Examineurs

Véronique CHABLE
Laurent HAZARD
Giovanni DINELLI
Maria MANZANARES-DAULEUX
François HUSSON
Estelle MASSON
Bruno TAUPIER-LETAGE

Ingénieur de recherche (INRA)
Directeur de recherche (INRA)
Professeur (Université de Bologne)
Professeur (AGROCAMPUS OUEST)
Professeur (AGROCAMPUS OUEST)
Maître de conférences (UBO)
Ingénieur agronome (ITAB)



« S'il y avait qu'une seule vérité, on ne pourrait pas faire cent toiles sur le même thème. »

Pablo Picasso



REMERCIEMENTS

Lors de ma dernière année d'ingénieur, j'ai développé un grand intérêt pour la recherche participative. Cette année de spécialisation s'est caractérisée par la réalisation d'un projet consacré à la sélection participative. Ces travaux se sont concrétisés par la rédaction d'une revue bibliographique (disponible sur demande) et l'organisation d'un séminaire à destination des étudiants et impliquant des chercheurs, présentant les différentes problématiques de la sélection participative en France et à l'étranger. A cette occasion, j'ai découvert l'importance de ces programmes pour le développement de l'Agriculture Biologique dans les pays développés. Mon parcours scolaire ne s'est pas arrêté là, très intéressée par les sciences cognitives et plus particulièrement la perception sensorielle (étant une cuisinière amatrice), j'ai complété ma formation avec un master en métrologie de la perception. J'y ai vu l'opportunité d'associer ces deux disciplines pour répondre à de nouvelles attentes de la société, la qualité de l'alimentation. J'ai ainsi découvert l'intérêt croissant accordé à l'application de l'analyse sensorielle dans la production maraîchère et céréalière. L'intégration d'une sélection gustative dès la création variétale, particulièrement pour la production biologique, pour laquelle les consommateurs demandent des qualités organoleptiques supérieures, permet une diversification et une meilleure valorisation des produits. Cette problématique a été très peu traitée en agronomie et ma recherche d'information m'a conduit à la découverte du projet européen SOLIBAM, qui avait débuté depuis un an et dont un des objectifs était d'intégrer la qualité sensorielle dans les critères de sélections pour l'AB. Après des échanges avec le chef du projet (ma directrice de thèse Véronique Chable) et l'Institut en charge du volet qualité sensorielle (mon employeur actuel, l'ITAB), une collaboration a débuté d'abord avec un stage puis par la réalisation d'une thèse en entreprise sur mesure adaptée aux besoins de l'ITAB et de l'INRA.

Je souhaite remercier chaleureusement Véronique, tu m'as fait confiance et m'a donné la liberté pour innover. Tu m'as accepté en tant que première doctorante et a dû passer ton HdR à un moment où ton emploi du temps était plus que plein. Tu m'as ouvert les portes de la recherche participative et permis d'associer une réflexion éthique à mon travail de recherche.

Merci à mes collègues de l'ITAB, en particulier Bruno, Frédéric, Laetitia et Rodolphe, pour leur soutien et leur avis sur mes travaux et Krotoum pour avoir cru en moi et m'avoir soutenu dans toute la réalisation de la thèse (et même après) et en particulier lors de la demande de financement à l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT). Merci à Estelle, Simon, Elise et plus généralement à l'Equipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative pour leur aide très appréciée notamment dans la logistique des expérimentations Bretagne mais surtout dans la réflexion méthodologique.

Merci à Philippe Roussel et Hubert Chiron qui ont répondu à mes questions techniques et permis les panifications contrôlées en laboratoire.

Merci à Frédéric Dalmon et Mathieu conseil pour leur soutien et la gestion de la sélection brocoli. Merci à Isabelle et Pierre, de l'équipe du Moulon, pour le temps qu'ils m'ont accordé ainsi que pour leur soutien.

Merci à Vincent Rouellat, mon unique stagiaire, pour son aide précieuse, notamment dans la réalisation des interviews.

Merci aux paysans-boulangers pour leurs motivations et passions pour leur métier.

Merci aux animateurs en particulier Alice de Triptolème et Alexandre de l'ARDEAR pour leur professionnalisme et leur soutien logistique

Merci aux (malheureux) volontaires qui ont bien voulu participer aux dégustations de pains mais également de brocolis, une pensée particulière pour mon panel interne brocoli de la SEFRA (Laetitia, Laurie, Solène, Isabelle, Rodolphe, Rémy, Adeline).

Merci à mes amis et collègues ainsi qu'à ma famille qui ont pu subir longuement mes discours sur l'incroyable qualité des pains au levain des variétés anciennes. Enfin un grand merci à mon mari qui a toujours eu confiance en moi et m'a soutenu dans mes longues études.

RESUME

Pour contribuer au développement d'une offre en semences adaptées à la diversité des contextes en agriculture biologique et pour répondre aux nouvelles attentes des consommateurs en termes de qualité, des stratégies de sélection intégrant la diversité génétique intra-variétale et la qualité sensorielle ont été identifiées et testées pour les cas du blé et du brocoli. Concernant le blé, trois structures variétales représentant un gradient de diversité ont été cultivées sur plusieurs environnements. Des observations du grain au pain ont été réalisées pour tester l'effet positif de la diversité sur la stabilité des performances quantitatives et qualitatives. Les résultats confirment l'hypothèse pour les caractères agronomiques. La qualité sensorielle est dépendante de l'environnement et des pratiques pour les variétés populations pour lesquelles l'adaptation au terroir serait facteur de stabilité. Des enquêtes associées à des tests de dégustation ont intégré les connaissances et savoir-faire des praticiens, identifié des critères de sélection et/ou marqueurs phénotypiques de la qualité finale du produit et caractérisé des géotypes sur le plan sensoriel. Les résultats font apparaître un concept de « terroir panicole », l'environnement, le géotype et les pratiques boulangères influençant de façon significative la qualité finale du pain. Pour le cas du brocoli, une stratégie de sélection a été imaginée pour intégrer une évaluation sensorielle à chaque génération de la création de populations sources présentant des caractéristiques sensorielles nouvelles et remarquables (saveur de beurre, noisette...). Une organisation participative de la sélection incluant un set d'outils sensoriels adaptés au contexte de la sélection décentralisée pour intégrer le critère de la qualité sensorielle a été proposée pour les deux études de cas.

In order to enlarge seed availability adapted to organic agriculture and to meet new demands of consumers in term of quality, breeding strategies integrating intravarietal genetic diversity and sensory quality have been identified and tested for two case studies: wheat and broccoli. Concerning wheat, three varietal structures representing a range of genetic diversity have been cultivated on five environments. Observations from grain to bread have been performed to test the positive effect of diversity on stability of quantitative and qualitative performances. The results confirmed the hypothesis for agronomical traits. Sensory quality depends on environments and practices for wheat populations for which quality could be stabilised by progressive adaptation to soil and climate. Surveys were performed to integrate empirical farmers' knowledge and know-how relative to sensory analyses. Results suggest the emergence of a concept of "bread terroir", since the three studied factors (genetic, environment and baking practices) seemed to influence significantly bread quality. Concerning broccoli, a breeding strategy has been established to integrate sensory evaluation at each step of the creation of a breeding population expressing new and specific sensory traits (butter and nuts aroma). A participatory organisation of breeding process has been described for the two case studies to propose a range of sensory tools to be used within the framework of decentralised breeding process so as to integrate sensory quality criteria.

LISTE DES ABREVIATIONS

AB : Agriculture Biologique

ACP : Analyse en Composante Principale

AE : Agroécologie

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

AFM : Analyse Factorielle Multiple

AFMH : Analyse Factorielle Multiple Hiérarchique

AFNOR : Agence Française

Agence BIO : Agence Française pour le Développement et la promotion de l'Agriculture Biologique

AGTEC-org : AGronomical and TEchnological methods to improve organic wheat quality

ANOVA : ANalysis Of VAriance

ANRT : Association Nationale de la Recherche et de la Technologie

AOC : Appellation d'Origine Contrôlé

ARDEAR RA : Association Régionale de Développement de l'Emploi Agricole et Rural en Rhône Alpes

ASOSc : Action pour l'Appropriation Sociale des Sciences

B : Boulanger

BAKERY : Durabilité des pratiques boulangères françaises : Effet des variétés de blé et des pratiques boulangères sur la diversité des communautés microbiennes, la qualité du pain et les comportements alimentaires en circuit court

BIPEA : Bureau Inter Professionnel d'Etude Analytique

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural

CCP : Composite Cross Population

CETAB : Centre d'Etude et Terre d'Accueil des Blés

CGIAR: Consultative Group on International Agricultural Research

CIAL : Comités d'Investigation Agricole Locale

CIAT: International Center for Tropical Agriculture

CIFRE : Convention Industrielles de Formation par la Recherche

CIRAB : Commission Interprofessionnelle de Recherche en Agriculture Biologique

CMS : Cytoplasmique Male Sterility (Stérilité Mâle Cytoplasmique)

CNAB : Comité National de l'Agriculture Biologique

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CREDOC : Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

DHS : Distinction Homogénéité Stabilité

E : Environnement

EU : European Union

F&L ; Fruits et Légumes

FAO : Food and Agricultural Organisation

FI : Faible Intransit

G : Génotype

G*E : Génotype*Environnement

HPLC : High Performance Liquid Chromatography

Hybride F1 : première génération issue d'un croisement entre deux individus de lignées pures

IBB : Inter Bio Bretagne

IFOAM : International Federation of Organic Agriculture Movements (organisation internationale des mouvements de l'agriculture biologique)

INAO : Institut National des Appellations d'Origine

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IR : Indice de Réfraction

ISO: International Organization for Standardization (Organisation Internationale de Normalisation)

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

LAB : Lactic Acid Bacteria (bactéries lactiques)

N&P : Nature & Progrès

NIRS : Near Infra Red Spectroscopy

OGM : Organisme Génétiquement Modifiés

PAIS : Plate-forme Agrobiologique d'Inter Bio Bretagne de Suscinio

PICRI : Partenariat Institutions-Citoyens pour la Recherche et l'Innovation

PLSR : Partial Least Square Regression

QDA : Quantitative Descriptive Analysis

QLIF : Quality Low Input Food

QTL : Quantitative Traits Locus

RSP : Réseau Semence Paysanne

SEFRA : Station Expérimentale Fruitière Rhône Alpes

SOLIBAM : Strategies for Organic and Low Input Integrated Breeding And Management

T45/55/80 : Type 45/55/80, lié à la quantité de minéraux dans la farine

UPOV : Union international pour la Protection des Obtentions Végétales

VAT : Valeur Agronomique et Technologique

TABLE DES MATIERES

Remerciement.....	Erreur ! Signet non défini.
Résumé.....	3
Liste des abbréviations.....	4
Table des matières	7
Introduction.....	11
Partie 1. L'agriculture biologique, la qualité et les leviers d'actions pour agir sur la qualité.....	13
A. Problématique de développement de l'Agriculture Biologique	13
1. Les limites du systèmes agro-industriel.....	13
2. L'Agriculture Biologique.....	13
2.1 Développement des surfaces cultivées en Agriculture Biologique.....	14
2.2 Evolution des consommateurs de produits biologiques.....	14
2.3 L'AB et la qualité sensorielle.....	15
3. La recherche pour l'AB.....	16
3.1 Changement de paradigme.....	16
3.2 Spécificités des systèmes AgroBiologiques.....	17
B. L'AB et la sélection végétal	20
1. Brève histoire de la sélection.....	20
1.1 Avant les trentes glorieuses.....	20
1.2 Après les trentes glorieuses.....	20
1.3 XXIe Siècle et le développement de l'AB.....	20
2. Des stratégies de sélection adaptées à l'AB.....	21
2.1 Gestion dynamique des ressources génétiques.....	23
2.2 Décentralisation de la sélection.....	23
2.3 Diversification des structures génétique: exemple du blé tendre.....	24
C. Qualité sensorielle, mesure et levier d'action.....	27
1. Mesure de la qualité sensorielle.....	27
1.1 Mesures instrumentales.....	27
1.2 Mesures sensorielles.....	28
1.3 Complémentarité des mesures.....	32
2. Qualité du pain et leviers d'action.....	33
2.1 Qualités du pain.....	34
2.2 Les facteurs influençant les qualités du pain.....	38
3. Qualité du brocoli et leviers d'action.....	48

3.1 Qualités du brocoli.....	48
3.2 Les facteurs influençant les qualités du brocoli.....	50
D. Recherche décentralisée et organisation participative	54
1. Décentralisation du processus de recherche.....	54
2. Organisation participative de la recherche.....	55
2.1 Les deux écoles de la participation.....	55
2.2 Principes et outils de la recherche participative.....	55
2.3 Typologies des recherches participatives.....	56
Partie 2. Identifier les leviers d’actions pour optimiser la qualité sensorielle des produits ab en filière courte.....	61
A. La demande à l’origine du projet de recherche	61
1. Etude de cas: le blé.....	61
1.1 Les paysans-boulangers du Réseau Semences Paysannes.....	61
1.2 Les besoins des paysans-boulangers.....	61
1.3 Savoir-faire des paysans-boulangers.....	61
2. Etude de cas: le brocoli.....	63
B. Contexte et enjeux	63
1. Cadre de recherche.....	63
2. Le dispositif de recherche participative.....	64
2.1 Cas du blé.....	64
2.2 Cas du brocoli.....	65
3. Enjeux économiques.....	66
4. Enjeux méthodologiques.....	66
C. Etude des leviers d’actions pour la sélection participative en filières intégrées et/ou circuits courts	67
1. Etude de cas : le blé.....	69
2. Etude de cas: le brocoli.....	69
D. Une problématique complexe et participative	69
1. Démarche globale.....	69
2. Brocoli et blé: complémentarité des deux modèles.....	70
2.1 Complémentarité des études de cas.....	70
2.2 Amont et aval de la sélection.....	70
3. Une recherche participative.....	70
Partie 3. Etude des leviers d’actions de la qualité et des méthodes d’évaluation de la qualité	71
A. Cas du blé.....	71

1. Matériel et Méthode.....	71
1.1 Choix d'une stratégie pour intégrer des critères de qualité en sélection.....	71
1.2 Expérimentation 1: influence des facteurs environnements, génétique et pratiques boulangères	71
1.3 Expérimentation 2: Identification et caractérisation de génotypes d'intérêt.....	81
1.4 Méthodes statistiques.....	89
2. Résultats et discussion.....	93
2.1 Etude des leviers d'actions.....	93
2.2 Etude des méthodes d'évaluation de la qualité sensorielle.....	139
B. Cas du brocoli	149
1. Matériels et méthodes.....	149
1.1 Choix d'une stratégie pour intégrer le critère de qualité en sélection.....	149
1.2 Préparation des échantillons.....	151
1.3 Récolte 2010: tester une épreuve sensorielle discriminative.....	153
1.4 Récolte 2011: définir les descripteurs et évaluer les premiers croisements.....	154
1.5 Récolte 2012: créer des populations sources.....	155
1.6 Récolte 2013: valider la stratégie de sélection.....	158
1.7 Méthodes statistiques.....	160
2. Résultats et discussion.....	162
2.1 Récolte 2010: tester une épreuve sensorielle discriminative.....	162
2.2 Récolte 2011: définir des descripteurs et évaluer les premiers croisements.....	163
2.3 Récolte 2012: créer des populations sources.....	166
2.4 Récolte 2013: valider la stratégie de sélection.....	171
2.5 Discussions	180
Partie 4. Réflexion et apports méthodologiques du dispositif de recherche participative	182
A. Description et analyse du dispositif « qualité sensorielle des blés populations »	182
1. Le dispositif de recherche participatif "qualité sensorielle des blés populations.....	182
2. Analyse du processus de co-construction.....	184
2.1 Analyse de la complémentarité des connaissances.....	184
2.2 Intégrations des connaissances.....	187
2.3 Un cadre de recherche souple pour une adaptation au contexte.....	189
2.4 Exemple de co-construction: le protocole de panification.....	193
3. Recherche d'un compromis entre robustesse et efficacité des résultats.....	195
3.1 Contextualisation et valorisation de la variabilité spatio-temporelle.....	195

3.2 Réitération du processus.....	196
3.3 Le réseau et la communauté de pratiques.....	197
B. Proposition d'organisation participative de la sélection intégrant la qualité sensorielle... ..	198
1. Vers un réseau d'expérimentation décentralisé et participatif.....	198
2. Cas du blé.....	199
2.1 Les leviers d'actions sur la qualité.....	199
2.2 Proposition d'organisation de la sélection gustative pour le blé tendre.....	201
3. Cas du brocoli.....	204
3.1 Les leviers d'actions sur la qualité.....	204
3.2 Proposition d'organisation de la sélection gustative pour le brocoli.....	205
Conclusion	206
Bibliographie.....	207
Annexes	220
Annexe A : lexique.....	220
Annexe B : Grille de panification BIPEA.....	221
Annexe C : Grille de panification PaysBlé.....	222
Annexe D : diagramme de fabrication des pains	223
Annexe E : diagramme de fabrication des pains	225
Annexe F : questionnaire « explicitation des critères de sélection ».....	228
Annexe G : restitution rédigée des enquêtes auprès des agriculteurs	229
Annexe H : Graphe des corrélations des AFM pour le Napping 1	240
Annexe I : Entraînement du panel interne brocoli	241
Annexe J : CAH pour les trois attributs évalués lors de l'épreuve de classement sur les brocolis en 2010, session 1244	
Annexe K : CAH pour les trois attributs évalués lors de l'épreuve de classement sur les brocolis en 2010, session 2246	
Annexe L : liste des croisements réalisés en 2010 et cultivés en 2011.....	248
Annexe M: résultats des épreuves de classement	249
Annexe N : Analyse sensorielle et qualité sensorielle de pains artisanaux panifiés avec des populations de blés cultivées en AB	253
Annexe O : les connaissances empiriques en recherche participative : intégration de la qualité sensorielle du pain dans le processus de sélection du blé en France.....	269

INTRODUCTION : VERS UNE INTEGRATION DE LA QUALITE SENSORIELLE DANS LE PROCESSUS DE SELECTION

Comme le souligne le rapport final du rapporteur des Nations Unies pour le droit à l'alimentation, le système agro-industriel basé sur le modèle productiviste est à bout de souffle (De Schutter, 2014). La crise des prix alimentaires de 2008 est une conséquence de ce modèle basé notamment sur une concentration de la production.

L'Agriculture Biologique offre une alternative agricole durable en reposant sur des pratiques de cultures et d'élevages soucieuses des équilibres naturels et sur les principes de santé, d'écologie, d'équité et de précautions. Les principes de l'AB amènent à considérer le système dans sa complexité et implique des allers-retours entre approches analytiques et holistiques (en passant par l'approche systémique). Le questionnement sur l'utilité des résultats de la recherche et leur appropriation conduisent à l'implication des acteurs de la société civile dans la définition des problèmes et dans la recherche de solutions. La création du Réseau Semences Paysannes (RSP) par la Confédération Paysanne, la Coordination Nationale de Défense des Semences de Ferme et plusieurs organisations de l'Agriculture Biologique (Auzeville, 2003) témoigne de ces préoccupations montantes de la société civile. Ce réseau regroupe des acteurs autour d'aspirations et d'enjeux communs : la réappropriation de la semence et sa sélection, bases de toutes activités agricoles, la question de la propriété intellectuelle et la valorisation et transmission d'un patrimoine commun. L'enjeu de la biodiversité cultivée est aussi défendu par ces acteurs.

Le choix de semences adaptées est en effet un élément clé du développement de l'AB comme la sélection moderne a conditionné le développement de l'agriculture industrielle au siècle dernier. Les variétés AB doivent être robustes et montrer des performances stables. Le critère de la qualité sensorielle, longtemps mise de côté, prend de l'importance et renoue le lien entre terroir et pratiques. Cependant ce dernier critère est difficile à mesurer et repose sur des notions subjectives (perceptions des consommateurs). De plus, la pertinence du levier sélection pour agir sur la qualité sensorielle est questionnée. En effet, d'autres facteurs interviennent et interagissent sur la qualité (pratiques culturelles, transformation).

Seules des études en conditions réelles permettront de « démêler » la problématique. Mais ces expérimentations à la ferme, faisant intervenir des agriculteurs en tant qu'expérimentateurs posent des questions quant à la pertinence de la connaissance ainsi produite (répétabilité, connaissances empiriques...). La manière dont l'objet de la recherche est étudié devient aussi importante que l'objet d'étude et questionne l'organisation de la recherche ainsi que les choix méthodologiques.

Pour optimiser les processus de sélection en intégrant le critère de la qualité sensorielle, les différents leviers d'action mobilisables en filière blé et brocoli ont été étudiés. Pour le cas du blé, le levier sélection a été étudié à travers la structure génétique et le type de génotype. Parallèlement l'effet des facteurs environnements et pratiques boulangères et leurs interactions ont été étudiés à l'aide d'expérimentation à la ferme.

En filière brocoli, l'évaluation des ressources génétiques (RG) et l'établissement d'un plan de croisement assurant le brassage des caractéristiques a permis l'évaluation d'un processus de sélection complet intégrant la qualité sensorielle. Une organisation de la sélection proposant un set d'outils sensoriels adaptés au contexte de la sélection décentralisée pour intégrer le critère de qualité sensorielle a ainsi été proposé pour les deux études de cas.

Pour améliorer la capacité de recherche locale et mieux appréhender la complexité des systèmes, une réflexion sur l'organisation et les choix méthodologiques de la recherche est nécessaire. La complémentarité des connaissances aide notamment au développement de variétés et à l'établissement d'un système semencier spécifique en assurant l'ancrage de la problématique dans le contexte. La valorisation de la variabilité spatio-temporelle, par la répétition des processus notamment favorise l'obtention d'un compromis entre robustesse et efficacité des résultats.

Cette thèse restitue des travaux issus d'une recherche participative impliquant des acteurs provenant de diverses disciplines scientifiques et secteurs (recherche, développement, production). Son originalité est de développer des outils et connaissances sur les variétés de pays. Le potentiel de ces variétés oubliées a été souligné ces dernières années. De nouvelles approches incluant l'externalisation des connaissances tacites, associé à des expérimentations à la ferme ont été testées et leur pertinence pour résoudre des problématiques complexes a été questionnée.

Pour assurer la double exigence d'un travail de recherche participative, la production d'une connaissance scientifique et pratique, les questions de recherche et les questions méthodologiques ont été traitées dans des parties bien distinctes. La réflexion sur la recherche participative reste descriptive et vise essentiellement à mettre en évidence la plus-value qu'apporte cette démarche.

Pour que tous les partenaires de la recherche puissent lire et s'inspirer de ce manuscrit, j'ai voulu ce document ergonomique. Des résumés intermédiaires et des schémas viennent ponctuer le corps du texte pour faciliter une lecture rapide et maintenir le fil rouge de la thèse.

PARTIE 1. L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE, LA QUALITE ET LES LEVIERS D' ACTIONS POUR AGIR SUR LA QUALITE

A. PROBLEMATIQUE DE DEVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

1. LES LIMITES DU SYSTEME AGRO-INDUSTRIEL

Le modèle dominant du système alimentaire montre ses limites de durabilité d'un point de vue social, économique et environnemental. Avec la Révolution Verte dans les pays en développement et les Trente Glorieuses pour les pays développés, le système alimentaire a copié le mode de production industrielle (innovations technologiques, standardisation et fabrication en grande série) et a engendré une consommation de masse (McIntyre et al., 2009). La filière agro-alimentaire s'est allongée et les habitudes alimentaires de la population se sont modifiées (très forte réduction du temps consacré à la préparation et à la prise des repas). Ce modèle agricole a été qualifié intensif, spécialisé, concentré. Bien que ce modèle ait permis d'éloigner le spectre des famines et d'atteindre l'autosuffisance au niveau global (si tous les habitants de la planète se partageaient équitablement la production alimentaire mondiale), il est à présent à « bout de souffle » face aux nouveaux défis alimentaires (de Schutter 2014). D'une part, comme le témoigne la crise des prix alimentaires de 2008, la concentration de la production n'est pas une solution durable pour garantir l'alimentation pour tous. D'autre part, même si la ration alimentaire est suffisante, des régimes inadaptés ont conduit à une déficience en certains éléments nutritionnels, telle qu'une carence en iode, vitamine A ou fer, pour ne citer que les carences les plus communes dans une majorité de pays en voie de développement. Le rapporteur spécial des Nations Unies pour le droit à l'alimentation (De Schutter, 2014) a identifié quatre verrous qui limitent le changement des pratiques et des politiques en matière d'alimentation mondiale. Le premier verrou est technologique et dérive d'une modernisation de l'agriculture qui s'est faite uniquement selon un modèle productiviste. Le deuxième verrou est d'ordre socio-économique et met en évidence une organisation des marchés dominés par un petit nombre d'acteur. Le troisième verrou est culturel et témoigne de la modification du mode d'alimentation de la population (prêt à consommer). Enfin le quatrième verrou est un obstacle politique et dénonce les intérêts souvent liés des grands industriels de l'agro-alimentaire et des gouvernements. La nécessité pour chaque pays d'assurer sa production alimentaire et d'investir dans les systèmes locaux fait de plus en plus consensus au sein des agences internationales. A ces problèmes liés à l'industrialisation de l'agriculture s'ajoute le changement climatique qui accentue l'insécurité alimentaire. Ce phénomène perturbera et modifiera les ressources naturelles de bases dont dépend l'agriculture. L'augmentation de la température pourrait avoir des effets négatifs sur les rendements (Lobell et al., 2011). La rareté de l'eau et les périodes de disponibilité de l'eau augmenteront les contraintes de production (Turral et al., 2011). L'intégration de cette problématique dans la recherche d'alternative est indispensable.

La non-durabilité du modèle agro-industriel, le changement climatique, l'évolution des modes de consommations, sont autant de facteurs à prendre en compte pour évoluer vers des systèmes cohérents écologiquement, socialement et économiquement.

2. L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

L'Agriculture Biologique (AB) est apparue en Europe au début du 20^e siècle sous l'influence de divers courants philosophiques et agronomiques dont l'objectif était de dénoncer les limites de l'agriculture basée sur des intrants chimiques et de favoriser la conservation de la fertilité des sols, de privilégier l'autonomie des exploitations agricoles, d'établir des relations directes avec les consommateurs, de fournir des produits de qualité et de respecter l'environnement (référence, Aubert par exemple). Pour cela, l'AB a recours à des pratiques culturelles et d'élevage, soucieuses du respect des équilibres naturels, reposants sur quatre principes (définis en 2005 par IFOAM) : santé, écologie, équité et précaution. Les principes de l'AB préconisent l'utilisation des matières organiques naturelles et reposent sur la rotation des cultures plutôt que l'utilisation de produits chimiques de synthèse et d'Organismes Génétiquement Modifié (OGM). La mise en place récente d'indicateurs de durabilité a permis la reconnaissance institutionnelle de l'AB en tant qu'agriculture « durable » qui assure le respect de l'environnement et la pérennité du développement économique et social. L'agriculture Biologique s'affirme alors comme prototype pour une agriculture durable, les techniques et connaissances émergentes de la recherche pour

l'AB pouvant contribuer à des innovations significatives et une évolution vers des pratiques plus durable (Bellon and Penvern, 2014). Pour maintenir ses principes fondamentaux, l'AB doit faire face à de nouveaux challenges liés à la globalisation des marchés et à la croissance du secteur biologique. Le principe d'équité est notamment mis en danger, par exemple les seules informations qu'un consommateur peut avoir lors de l'achat d'un produit bio est qu'il est certifié AB, il ne peut en revanche pas savoir le contexte de la production (Luttikholt, 2007). Une réponse est d'étendre et d'apporter des précisions aux normes, et de trouver un équilibre entre la souplesse des principes et la rigueur des normes de l'AB.

2.1. DEVELOPPEMENT DES SURFACES CULTIVEES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

L'AB s'est développée rapidement et est maintenant pratiquée dans plus de 160 pays à travers le monde (Willer and Kilcher, 2011). Selon cette enquête, environ 37,2 million d'ha ont été cultivés selon les règles de l'AB en 2009. Presque la moitié du marché AB est détenue par l'Europe. Bien que la demande en produits biologiques soit croissante, deux défis détermineront le développement de l'AB d'un point de vue économique : le premier défi consiste à atténuer l'impression selon laquelle les produits biologiques sont trop chers, le deuxième est d'arriver à produire à hauteur de la demande (Sahota, 2011 in (Willer and Kilcher, 2011)).

Bien que précurseur, les surfaces cultivées selon les principes de l'agriculture biologique en France restent relativement faibles au regard de ses voisins européens. Avec 10 % de la surface bio européenne (alors qu'elle représente 22% de la surface totale de l'Union Européenne) la France restait en quatrième position en 2012. Après une période de très faible hausse des surfaces bio (2,5% entre 2001 et 2007), l'année 2008 fut celle du décollage : + 4,8% des surfaces bio et + 36,4% de surface en conversion, la barre des 25 000 producteurs a été passée en 2013 (Agence Bio, 2013). Parallèlement, la demande française en produits biologiques n'a pas cessé d'augmenter avec une croissance moyenne annuelle de 10 % de 1999 à 2005 tous secteurs de produits confondus. En 2008, par rapport à l'année précédente, les ventes au consommateur final ont augmenté de 25 % d'après les dernières estimations réalisées par AND-1/Agence BIO. L'offre nationale actuelle n'est pas suffisante pour satisfaire cet accroissement de la demande : 25 % des produits bio consommés en France viennent de l'étranger dont 42% sont constitués par des achats extérieurs relai de l'offre française et/ou complément de gamme (fruits et légumes tempérés)(Agence Bio, 2013). Les surfaces de céréales ont progressé de 29 % en 2012, et représentent 28 000 ha dont 8 000 ha de blé tendre bio. Selon le bilan de fin de campagne 2012/2013 réalisé par FranceAgriMer au 1^{er} Septembre 2013, la collecte a progressé de 21 % pour atteindre 95 890 t en fin de campagne (FranceAgriMer, 2013). La demande des moulins en blé tendre bio est en légère augmentation. Le recours aux importations pour faire face à la demande intérieure s'élève à 24 % et serait en retrait par rapport à la campagne précédente (34 %).

Pour répondre au déficit de l'offre, des aides ont été mises en place au niveau européen et national pour promouvoir son développement : aides à la conversion, subventions aux groupements professionnels biologiques, communication auprès des consommateurs. De plus, le Plan Agriculture Biologique, proposé en 2007 par le ministre de l'agriculture et de la pêche, Michel Barnier, et repris dans le cadre du Grenelle de l'environnement visait à tripler les surfaces consacrées à l'AB en 2012 (passage de 2% à 6% de la surface agricole française). Le programme Ambition bio 2017 confirme la volonté des pouvoirs publics de développer l'AB en France dont un marqueur est l'institutionnalisation de l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique en 2013.

2.2. EVOLUTION DES CONSOMMATEURS DE PRODUITS BIOLOGIQUES

Le consommateur de produits biologiques a également évolué. Jusqu'à la fin des années 1990, le consommateur de produits biologiques était plutôt un consommateur militant et fidèle, attaché aux valeurs de l'environnement et trouvant dans l'AB le reflet de ses propres valeurs. La création du premier cahier des charges de l'agriculture biologique en 1972 par l'association Nature & Progrès (N&P), une association de consommateurs et de professionnels, témoigne de l'importance des consommateurs dans la création et le développement de l'AB. A la suite des diverses crises alimentaires, d'autres consommateurs ont commencé à se tourner vers les produits biologiques. S'intéressant peu aux aspects environnementaux, ils se caractérisent davantage par leur recherche de sécurité sanitaire. Les aliments biologiques pour bébé, par exemple, ont connu un très fort taux de croissance.

Pour s'adapter aux nouveaux types de consommateurs, un des défis que l'AB doit relever est une meilleure adéquation entre l'offre et la demande. De nombreux travaux ont déjà été faits sur la perception des produits biologiques par les consommateurs, voici une présentation succincte des conclusions qui en ont été tirées.

Un projet européen QualityLowInputFood (QLIF) visant à améliorer la qualité et la sécurité dans la chaîne d'approvisionnement biologique et à faible intrant a permis, à l'aide d'un questionnaire diffusé auprès de 6000 consommateurs provenant de six pays européens (Belgique, France, Italie, Norvège, Pologne et Espagne) de mettre en évidence deux groupes de consommateurs : les consommateurs réguliers et les occasionnels (Midmore et al., 2005). Les premiers sont satisfaits de la qualité et de la sécurité associée aux produits biologiques. Les consommateurs occasionnels sont plus sensibles aux aspects pratiques et aux prix liés à ce type de production. Ces derniers associent l'AB à la fraîcheur, à des procédés de transformation minimum, à un circuit de production court et à une production à la ferme.

D'après une enquête menée par le CREDOC en février 2001 (Loisel, 2001), le premier critère utilisé par le consommateur pour qualifier la qualité d'un aliment est le goût et le plaisir (80 % des consommateurs).

La différenciation des produits sur le plan gustatif et la diversification de la gamme deviennent des pistes à approfondir. Cet intérêt pour les aspects sensoriels est appuyé par le développement de projets prenant en compte les aspects organoleptiques (Ecropolis (organic taste), Eusol, Qualitomfil, SOLIBAM).

2.3. L'AB ET LA QUALITE SENSORIELLE

La qualité d'un produit est multiple, elle recouvre les attributs sensoriels, la valeur nutritionnelle, les constituants chimiques, les propriétés mécaniques et les propriétés fonctionnelles du produit. La qualité est définie par l'AFNOR : « un produit ou service de qualité est un produit dont les caractéristiques lui permettent de satisfaire les besoins exprimés ou implicites des consommateurs ». Ainsi la qualité est une notion relative basée sur le besoin. L'objectif final de la production, manutention et distribution de fruits et légumes frais est la satisfaction du consommateur.

La question « Les produits issus de l'agriculture biologique ont-ils meilleur goût que ceux issus de l'agriculture conventionnelle ? » est un axe de recherche pertinent justifié par plusieurs facteurs. D'abord, 43 % des consommateurs d'aliments biologiques mentionnent le « meilleur goût » comme une des principales raisons d'acheter des produits bio (Heaton, 2001). Ensuite, les fruits et légumes bio affichent un taux plus élevé de certains composés phénoliques susceptibles d'influencer leur goût comparativement à leur équivalent en agriculture conventionnel (Benbrook, 2005; Picchi et al., 2012; Reilly et al., 2014; Barański et al., 2014).

Au cours des deux dernières décennies, une douzaine de revues de littérature ont résumé les principaux rapports de recherche visant à comparer les propriétés sensorielles des aliments biologiques à celles des aliments conventionnels. Ces rapports mettent en évidence la difficulté de mesurer et de décrire les propriétés organoleptiques d'un aliment comparé à l'analyse instrumentale de la qualité. Heaton (2001) a établi une liste partielle des facteurs qui compliquent l'analyse des résultats de recherche publiés sur le goût. Parmi eux, on trouve la préparation des échantillons (des différences perçues sur l'aliment cru/frais ne le sont plus lorsqu'il est cuit/décongelé (carotte, brocoli)), la maturité (déterminant du goût) et la subjectivité de l'individu, difficulté qui peut être atténuée par l'expérience des dégustateurs et/ou l'entraînement. Concernant les études analytiques, la diversité des pratiques culturelles propres à l'AB ainsi que la variabilité de l'expérience des agriculteurs et expérimentateurs jouent un rôle déterminant dans la qualité des aliments produits et rend difficile la généralisation des résultats. Woese et al. (1997) ont publié une vaste revue de littérature où ils ont analysé et évalué les résultats de plus de 150 enquêtes comparant la qualité des aliments produits sous régie biologique et conventionnelle. La plupart des travaux de recherche évalués portaient sur les concentrations de constituants souhaitables ou non, sur la présence de résidus de produits phytopharmaceutiques ou d'autres contaminants, sur les analyses organoleptiques et sur des expériences d'alimentation animale. Bien que des différences de qualités aient été mises en évidence (un contenu en protéine plus faible dans le blé biologique, un taux de matière sèche et de vitamine C plus élevé dans les légumes feuilles biologiques) aucune tendance claire ne distinguait les propriétés organoleptiques des légumes conventionnels et biologiques. En revanche les études sur les préférences alimentaires réalisées sur plusieurs espèces animales (poules, souris et rats) démontrent une préférence constante et significative pour les produits biologiques (Woese et al., 1997). Plusieurs études ont également

démontré que les produits bio supportent mieux l'entreposage et ont une durée de conservation plus longue que les produits conventionnels (Peck et al., 2006).

Ainsi, les nombreuses études sensorielles réalisées donnent des résultats variables, en raison des problèmes méthodologiques et de la complexité des processus en jeu (Maggio et al., 2013), les protocoles utilisés ne permettent pas la mise en évidence de différence statistiquement significative, soulignant la nécessité de plus de recherches dans ce domaine. Dans une étude menée sur 20 ans, {Citation} a exploré les critères de qualités objectifs qui peuvent être utilisés pour évaluer les caractéristiques organoleptiques des légumes (carottes, choux fleurs, brocolis, pois). Il a pu mettre en évidence l'influence significative du facteur génétique sur la flaveur et la texture des légumes concernés. L'adoption de nouvelles variétés au goût original spécifique à l'AB s'avère alors une piste d'amélioration de l'offre intéressante en réponses aux attentes du consommateur.

Bien que les résultats des études comparatives entre AB et conventionnelle ne puissent être généralisés quant à une différence organoleptique entre les produits bio et non bio, elles permettent de tirer plusieurs conclusions :

La plupart des études ne démontrent aucune différence importante ou constante à l'égard des qualités organoleptiques ou du goût.

La vaste majorité des études qui démontrent de telles différences concluent que les produits biologiques sont meilleurs ou obtiennent la faveur des dégustateurs comparativement aux produits conventionnels.

On retiendra également que les facteurs influençant le goût sont par ordre d'importance croissant : la variété, le terroir, l'année climatique et le mode de production. Ces études viennent appuyer l'intérêt d'étudier le levier sélection pour l'optimisation/amélioration de la qualité sensorielle.

Le choix de semences adaptées à l'AB est un élément clé de son développement pour favoriser son adoption par les agriculteurs et par les consommateurs. La partie C présentera différentes stratégie et organisation de la sélection adaptées à l'AB. Un autre constat des études sur la qualité des produits bios est la diversité et la complexité des systèmes étudiés.

3. LA RECHERCHE POUR L'AB

3.1. CHANGEMENT DE PARADIGME

La montée des préoccupations environnementales a conduit à l'apparition de la notion de « développement durable ». Cette notion de « développement durable » préconise une gestion raisonnée des ressources et leur juste répartition au sein des générations actuelles et futures. Ce nouveau paradigme promeut également un engagement de la communauté dans le développement de projet et une « approche endogène » requérant la facilitation, le renforcement des capacités locales et leur mobilisation (Sumane, 2010)

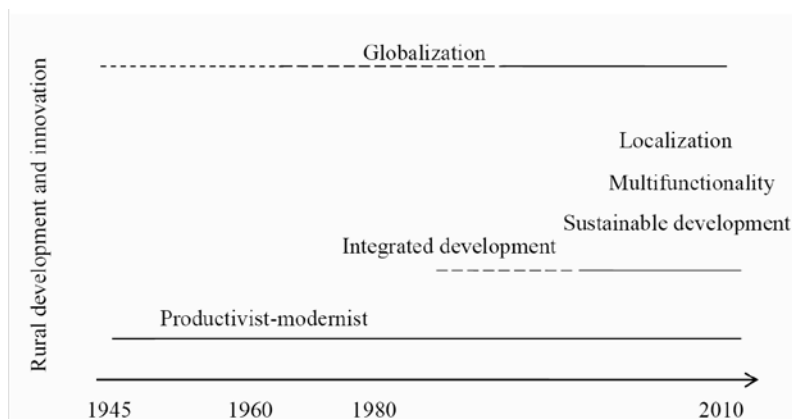


Figure 1: Le changement de paradigme du développement rural (Sumane, 2010)

Ce nouveau modèle implique le développement de recherches axées sur l'agroécologie et la multifonctionnalité et sur la recherche d'innovation sociale, organisationnelle, institutionnelle et technique.

Le concept d'agroécologie (AE), dont les premiers écrits remontent à 1983 avec la parution du livre d'Altieri « *Agroecology, the scientific basis of alternative agriculture* » (Altieri, 1983), trouve ses origines dans l'application de l'approche systémique à l'amélioration de la durabilité des systèmes agronomiques. Un des présupposés fondamental de l'agroécologie repose sur le changement de paradigme suivant : le déplacement de la question de la sphère technico-économique (« comment augmenter la productivité pour répondre aux demandes croissantes du marché planétaire ? ») vers la sphère socio-technique (« Comment organiser autrement les systèmes alimentaires face à la diversité et à la multiplicité des enjeux et objectifs alimentaires, environnementaux et sociaux ») (Stassart et al., 2012). L'agroécologie est un terme polysémique, qui désigne à la fois une pratique agronomique, une discipline scientifique et un mouvement social. Malgré cette diversité d'interprétation, Méndez et al. (2013) deux points de vue prédominants. Le premier décrit l'AE comme un cadre pour renforcer et développer la recherche scientifique. Cette vision reste ancrée dans la recherche en sciences naturelles et met de côtés la dimension sociale de l'agriculture. La deuxième vision englobe des problématiques plus larges engageant les sciences sociales et étudiant le système agro-alimentaire. Cette forme particulière d'agroécologie se caractérise par une approche transdisciplinaire, participative et orientée vers l'action.

Le lien entre AB et AE est complexe et ne peut être réduit à une opposition entre discipline scientifique et pratique culturelle (Bellon et al., 2009). Selon une vision politique de l'AE, l'AB ne constituerait qu'une étape vers la transition agro-écologique, alors qu'une vision scientifique de l'AE les considère comme des objets de recherche proche. Cependant l'AB et l'AE partage un ensemble de point communs ils sur les mêmes principes de durabilité (utilisation de la diversité animale et végétale, maintien de la fertilité des sols basé sur les processus biologiques...). Le développement de méthodologies de recherche adaptées à l'étude des systèmes est un enjeu fort pour le développement des agricultures alternatives telles que l'AB. Plus qu'un cadre méthodologique rigide et des règles immuables, la recherche pour l'AE (et donc l'AB) doit répondre à des principes dont l'avantage est de préciser une orientation qui permet d'intégrer la diversité des contextes et des trajectoires. Le Groupe Interdisciplinaire belge de Recherche en agroécologie du FNRS (GIRAF) propose d'en définir les principes qui doivent orienter les travaux de recherche (Stassart et al., 2012). Parmi eux, « Favoriser la diversification génétique [...] dans l'espace et dans le temps [...] Valoriser l'agro-biodiversité comme point d'entrée de la re-conception de systèmes [...] Valoriser la variabilité (diversité et complémentarité) spatio-temporelle des ressources [...] Favoriser la construction de dispositifs de recherche participatifs qui permettent le développement de recherche « finalisée » tout en garantissant la scientificité des démarches... ».

L'objet de recherche s'est ainsi complexifié, le système agronomique est caractérisé par des composantes biophysiques et humaines en constante interaction. L'agrobiologie, plus particulièrement, présente trois grandes spécificités influençant le choix de la démarche de recherche-expérimentation (Vindras et al., 2011) : elle intègre une dimension éthique, spatiale et temporelle. Ce mode de production intègre une dimension à la fois éthique et sociale. De plus, les processus de conversion et d'évolution des agrosystèmes biologiques nécessitent de prendre en compte l'échelle temporelle en recherche-expérimentation. C'est un objet d'étude complexe qui varie selon ces dimensions et l'échelle à laquelle on l'étudie (parcelle, ferme, territoire, filière, ...). L'AB repose sur des cycles et systèmes écologiques naturels. L'étude de systèmes durables nécessite donc une approche globale qui permet d'appréhender la complexité en prenant en compte l'ensemble des facteurs qui les composent.

3.2. SPECIFICITE DES SYSTEME AGROBIOLOGIQUES

Le monde agricole fait face à des facteurs de production de plus en plus imprévisibles (climat, ressources, marchés) mettant en difficulté le schéma de développement productiviste admis jusqu'alors qui appauvrit les paysans du sud et met en danger les équilibres écologiques sur toute la planète (Potter and Tilzey, 2007). Par ailleurs, dans les pays du sud en développement, là où le processus de développement industriel a impacté rapidement les équilibres environnementaux et sociaux avec la Révolution Verte, l'insuffisance des approches analytiques en station a fait émergé des initiatives participatives prenant en compte la complexité des besoins (Pimbert, 2011; Witcombe, 1996). Cette intégration de la complexité dans la recherche se traduit par le prise en compte de la diversité des contextes et l'admission de l'existence d'interactions entre les éléments d'un système et entre les systèmes (Brossier, 1987). Ce concept que l'on peut lier au concept de système introduit la dimension sociale par l'étude notamment du contexte socio-économique à l'étude du système de production. Walliser (1977) caractérise cette démarche en énonçant les préoccupations essentielles auxquelles elle veut répondre :

- « La volonté, en réaction aux tendances ultra-analytiques de certaines sciences, de restaurer une approche plus synthétique qui reconnaisse les propriétés d'interaction dynamique entre éléments d'un ensemble, lui conférant un caractère de totalité ;
- Le besoin, pour concevoir et maîtriser des ensembles vastes et complexes, de mettre au point une méthode qui permette de mobiliser et d'organiser les connaissances en vue d'une meilleure adéquation des moyens aux objectifs poursuivis ;
- La nécessité, face à une fragmentation et une dispersion du savoir, de promouvoir un langage unitaire qui puisse servir de support à l'articulation et à l'intégration de modèles théoriques et de préceptes méthodologiques épars dans diverse discipline. »

La théorie du système appliquée à l'étude des problèmes de l'agriculture se traduit par une modification assez radicale de l'attitude scientifique, aussi appelée renversement épistémologique qui relie de plus en plus la recherche à l'action. L'expérimentation en vraie grandeur chez et avec les paysans devient un moyen de connaître (Brossier, 1987). Pour s'adapter à l'étude des systèmes complexes, différents courants de recherche et/ou démarches scientifiques se sont développés: ***la recherche action, la recherche participative, la recherche intervention...***

L'idée de mieux lier théories et pratiques, d'intégrer des savoirs non académiques (praticiens ou acteurs locaux) dans la production d'un certain savoir lié à leur pratique est au cœur de ce mouvement au sein duquel différents modèles de recherche se sont développés. En 1940, les écrits de Dewey (1934) entraînent une diversification de la recherche action au point d'engendrer une polysémie autour de cette notion (recherche-action, recherche-action-participative), l'élément central de ces notions reste le changement des pratiques. Le questionnement de Lewin dans les années 1940 (Lewin, 1948), à savoir comment mieux adapter la recherche au changement social, a donné lieu à des innovations méthodologiques dont l'objectif était de permettre à des praticiens touchés par des problématiques sociales de participer à l'exercice même de la recherche. La recherche-action est un des premiers jalons posés dans l'intention de mieux ancrer la recherche dans la pratique (Savoie-Zajc and Dolbec, 1999). En agronomie, Sebillotte (2001) emploie le terme de recherche-intervention, qui s'inscrit dans le même modèle de la recherche-action, mais qui renvoie à la nécessité d'intervention face aux problématiques de terrains. La recherche collaborative s'est développée plus récemment dans les sciences de l'éducation et appuie le besoin d'intégrer le point de vue des praticiens dans la co-construction des savoirs éclairant la pratique (Desgagné, 2007). Enfin, l'approche participative pose la question de l'appropriation des connaissances et innovations produites par la recherche. L'activité humaine étant une force destructive majeure dans la nature, l'amélioration de la gestion des ressources naturelle passe nécessairement par un changement du comportement humain à l'échelle d'un territoire (Rölings, 1994). Pour cela, les populations locales doivent être au centre des efforts de recherche pour favoriser l'appropriation des innovations par les utilisateurs locaux. D'autre part, les spécifications des conditions d'usages sont tellement complexes que le savoir des usagers devient indispensable dans la co-conception d'innovation sur mesure (Von Hippel, 2005).

La recherche de solutions intégrées et durables se base sur la compréhension des processus agroécologiques et passe par le changement des pratiques. Cette compréhension fait appel à tous les types de connaissances, tant académiques qu'empiriques. C'est pourquoi la recherche-expérimentation pour l'AB doit favoriser le partage et la co-construction de données et de connaissances entre tous les acteurs. En effet, les recommandations émises par la recherche agronomique ont été difficilement ou pas adoptées par les agriculteurs bio. Ce manque de conseils et de recherche formelle dans les débuts de l'AB amènent à supposer qu'une culture de l'expérimentation s'est développée chez les pionniers de l'AB (Kummer et al., 2012) et la capacité des agriculteurs à produire de la connaissance est questionnée (Goulet, 2013). Des travaux posent l'hypothèse que des connaissances agronomiques émergent d'une synergie entre connaissances empiriques des praticiens et connaissances scientifiques (Cuéllar-Padilla and Calle-Collado, 2011; Girard and Navarrete, 2005; Méndez et al., 2013). Dans certains cas, les différentes sources de connaissances ne permettent pas, de manière isolée, de répondre à la problématique. Les connaissances empiriques peuvent à la fois être hétérogènes et contradictoires tandis que les connaissances scientifiques et techniques sont parfois inopérantes à cause de leur caractère disciplinaire et morcelées et ne prennent pas en compte l'intégralité du système.

Une multitude d'approches et d'outils se sont développés pour répondre à ces différentes contraintes. Parmi elles, la transdisciplinarité vise à associer une diversité d'acteurs et à mieux intégrer les multiples dimensions du

système agroécologique. L'étude de ces systèmes doit également s'appuyer sur l'alternance de différentes échelles d'études (analytique et système) pour faciliter la compréhension du fonctionnement du système (Méndez et al., 2013).

L'intégration des sciences sociales, pour mieux caractériser le contexte et favoriser le changement des pratiques, amène le chercheur à reconsidérer sa position (posture) par rapport à son objet de recherche et conduit à une modification assez radicale de l'attitude scientifique, aussi appelée renversement épistémologique. Elle consiste en la prise de conscience que les conjectures que l'on formule ont des implications lors de la définition des objectifs, des rôles, des méthodes... Les paradigmes vont ainsi influencer le choix de l'étude d'un système en tant qu'objet réel qui peut être étudié de l'extérieur plutôt qu'en tant que construction sociale. Pour nous aider à apprendre l'apprentissage « help us learning to learn about learning », Bawden (1997) propose un cadre pour décrire les différents points de vue empruntés dans les démarches d'apprentissage. Cette matrice est composée d'une dimension épistémologique, confrontant l'objectivisme au relativisme et d'une dimension ontologique qui confronte l'holisme au réductionnisme (Figure 2).

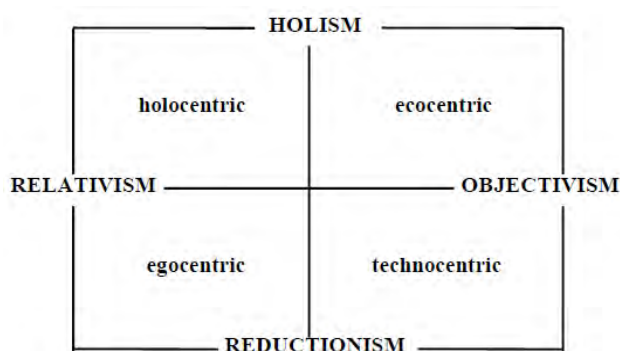


Figure 2: 4 points de vue fonction des positions ontologique/épistémologique (Bawden, 1997)

La première dimension pose la question de la nature de la connaissance : est-elle une représentation conforme ou bien une interprétation de la réalité ? La deuxième dimension oppose une vision systémique de l'objet de recherche à une vision analytique.

La vision du monde **technocentrée** peut être vue comme le paradigme dominant de la modernisation. Elle considère la connaissance comme isolée du processus dans lequel elle opère. Dans cette vision une seule connaissance existe, la vraie. Une réduction du sujet intervient et conduit, si poussée à l'extrême, à une « laborisation » du monde. La vision **écocentrée** conduit à une représentation du réel qui permet d'agir. Une réduction du sujet s'opère, moindre que pour la vision technocentrée. Ce cadrant correspond aux approches de modélisation. La vision **holocentrée** admet l'existence de plusieurs vérités. Les conditions d'intersubjectivité permettent une confrontation des interprétations pour aboutir à une représentation partagée du réel. Les connaissances doivent être utiles. Cette vision s'intéresse à la fois à la manière d'étudier l'objet et à l'objet.

Ces distinctions dans la philosophie de la science ont aussi été utilisées pour décrire l'évolution des stratégies de recherche et développement (Baars, 2011). Le mouvement d'une **recherche mono-disciplinaire** (vision technocentrée) évolue vers une prise en compte des systèmes grâce à une approche **multidisciplinaire** (vision écocentrée) jusqu'à une recherche **transdisciplinaire** (vision holocentrée) basée sur des interactions entre les acteurs et un apprentissage critique.

L'AB s'est développée en réponse à des préoccupations environnementales et doit maintenant répondre à des préoccupations d'ordre hédonique pour assurer son développement. Pour répondre à ces nouvelles attentes, l'amélioration de la qualité sensorielle par la sélection est un des leviers d'action mobilisable. Un autre défi que doit relever l'AB est l'amélioration de la compréhension des systèmes complexes afin d'améliorer les performances tant quantitatives que qualitatives des systèmes agrobiologiques et assurer un niveau de vie décent aux agriculteurs et des prix accessibles aux consommateurs. L'étude de systèmes complexes nécessite le développement de nouvelles organisations de la recherche. Parmi elles, la recherche participative apparaît essentielle pour la mise en œuvre de solutions adaptées à la diversité des contextes. L'état des lieux et la typologie des recherches participatives sera détaillée dans la partie D pour mieux contextualiser les travaux de recherche entrepris dans cette thèse.

1. BREVE HISTOIRE DE LA SELECTION

1.1. AVANT LES TRENTES GLORIEUSES

Depuis les débuts de l'agriculture, la sélection et la multiplication des semences, ainsi que la conservation et le renouvellement de la biodiversité cultivée, est le produit du travail des agriculteurs qui prélèvent dans leur récolte les semences destinées à la récolte suivante. Au XIXe siècle, une nouvelle profession apparaît : le « semencier ». L'idée de créer de nouvelles variétés en croisant des lignées apparaît alors et contribue à la professionnalisation de l'activité de génétique végétale.

Au début du XXe siècle, un grand nombre de cultivateurs-sélectionneurs, sélectionnant pour eux-mêmes, dans le cadre de communauté locale ou pour des marchés locaux, coexistaient avec une petite fraction d'agriculteurs simples usagers de semences sélectionnées et les premières compagnies semencières.

Par exemple, la totalité des blés cultivés en France jusqu'en 1830 sont ces « blé de pays » locaux et traditionnels plus ou moins hétérogènes. Les paysans se transmettent les variétés de génération en génération, se les échangent. L'idéotype ancestral est alors de grande taille, généralement barbus et présentent beaucoup de talles. Les agriculteurs pratiquaient alors une sélection massale, ne conservant, d'une génération à l'autre que les plantes les plus adaptées à leurs conditions et besoins. Les premières variétés issues de croisement apparaissent sur le marché dès les années 1900 : 'Dattel' (1883), 'Bon fermier' (1905), 'Hâtif inversable' (1908). Les blés de pays disparaissent des champs vers 1980. Pour conserver la diversité et variabilité nécessaire à l'évolution génétique, des chercheurs récoltent ces blés de pays pour les conserver *ex situ*, dans des centres de ressources génétiques (la collection des blés de Redon étudiés dans l'expérimentation PaysBlé est une de ces rares initiatives).

1.2. APRES LES TRENTES GLORIEUSES

La modernisation agricole des « Trente glorieuses » a conduit à un modèle dit « délégatif » de la sélection végétale pour une modernisation efficace de l'agriculture. Les métiers deviennent bien distincts avec des acteurs identifiés pour la production agricole, la production de semence, la sélection et la conservation des ressources génétiques. Cette organisation a été renforcée par un dispositif réglementaire mettant l'accent sur la performance (Valeur Agronomique et Technologique, VAT) et la prédictibilité des variétés. En parallèle, les sélectionneurs professionnels ont favorisé les variétés homogènes et stables avec l'instauration du catalogue officiel des variétés basé sur les critères de Distinction Homogénéité Stabilité, (DHS) facilitant la standardisation et la mise sur le marché. Ces critères ont favorisé une réduction de la diversité de trois façons : les épreuves d'inscription ne portent que sur quelques traits selon les critères dominants du moment, gomme la diversité des milieux par une forte artificialisation et sont conduites dans un seul type d'itinéraire technique (Bonneuil and Demeulenaere, 2007).

Les variétés modernes issues de la sélection conventionnelle ont été développées pour une large adaptation géographique à condition d'utiliser les doses recommandées d'intrants (fertilisant non organique et pesticides) pour atténuer l'hétérogénéité du milieu. Pour ces raisons, les schémas de sélection classiques ne sont pas *a priori* adaptés aux besoins de l'AB qui ne modifie pas l'environnement par des intrants chimiques.

1.3. XXIE SIECLE ET LE DEVELOPPEMENT DE L'AB

Le choix de semences adaptées à l'AB est un élément clé de son développement comme la sélection moderne a conditionné le développement de l'agriculture industrielle au siècle dernier. Trois critères de sélection sont particulièrement importants pour l'AB : (i) la robustesse, caractéristique indispensable pour une variété adaptée à l'AB (résistance aux stress biotiques, tolérance aux stress abiotiques, capacité à concurrencer les adventices...); (ii) la stabilité des performances, les variétés doivent en effet être performantes pour garantir un revenu suffisant pour l'agriculteur mais surtout leurs performances doivent être stables et (iii) la qualité des performances, la qualité (visuelle, organoleptique et nutritionnelle) indispensable pour répondre aux attentes des circuits de

distribution. Les performances d'une culture en agriculture biologiques se mesurent à la capacité du peuplement végétal à valoriser au mieux son environnement. Il est difficile de développer une liste exhaustive des critères requis par l'AB car ceux-ci sont très variés selon le contexte. Cependant, certaines caractéristiques évidentes peuvent être citées : un système racinaire efficace (utilisation des nutriments du sol), la capacité à concurrencer les adventices, à contribuer à la santé du sol et de la culture et de donner une bonne qualité de produit, la résistance aux stress biotiques, la tolérance aux stress abiotiques, capacité à interagir avec les micro-organismes avantageux présents dans le sol... (Lammerts van Bueren et al., 2011). Le défi de la sélection pour l'AB est alors de développer des variétés aux performances rentables et stables sous des conditions climatiques variables. Le choix des critères de sélection, le poids qui leur est accordé et la combinaison de ces critères conduisent à une multitude de stratégies dont l'objectif commun est la durabilité.

Le circuit de distribution semble déterminant du choix de la variété et des critères de sélection. Une vaste étude conduite entre 2010 et 2012 (Rey et al., 2012) a dressé un état des lieux des attentes des agriculteurs. Il apparaît que les agriculteurs en circuit court exploitent une plus grande diversité variétale dans leur culture que ceux travaillant en circuit long et ont des attentes fortes en termes de qualité organoleptique. Dans une filière longue, l'agriculteur sera plus attentif à la tenue au transport et à l'homogénéité de ses produits.

Pour caractériser la diversité des attentes en termes de semences et mettre en évidence l'enjeu que représente le choix des semences dans la gestion durable de l'environnement, Desclaux et al. (2013) propose une grille d'analyse qui met évidence quatre modèles de sélection qui correspondent à quatre marchés de l'AB distincts :

- Le modèle **Label** correspond à l'« AB conventionnelle ». Il s'intègre dans des filières longues et recherche des produits standardisés. Les variétés DHS/VAT conviennent tout à fait à ce modèle.
- Le modèle **Marque/marché de niche** est illustré par l'exemple des pains Jacquets (Limagrain). Les variétés peuvent ne pas être inscrites au catalogue dans la mesure où la production est intégrée dans la filière. Les principaux acteurs impliqués sont les semenciers et les industries agro-alimentaires. Ce modèle contribue à la création d'un marché de niche dans un contexte de segmentation.
- Le modèle « **Autonomie** » correspond au concept de « l'homme filière ». C'est l'exemple des paysans-boulangers. Souvent sous la forme d'AMAP, les modes de production que ce modèle englobe s'inscrivent dans un circuit court/vente directe. Les acteurs de la sélection recherchent un produit fortement identitaire et passent par la sélection de variétés locales. Ils optent pour une sélection naturelle, une gestion dynamique à partir de populations.
- Le modèle « **empowerment** » correspond à une dynamique au service d'un intérêt général. Les acteurs cherchent à co-construire des marchés. Les variétés sélectionnées selon un mode participatif sont diverses.

Même si la réalité est plus complexe, cette description aide à comprendre la nécessaire complémentarité des acteurs et des approches de sélection. Ainsi l'AB ne requiert pas un seul idéotype variétal mais une multitude dépendant fortement du contexte socio-économique de l'environnement cible. Pour aller au-delà d'idéotypes variétaux associés à des critères de sélection *a priori*, Desclaux et al. (2013) propose la notion de réaltype qui traduit la mise à l'épreuve de l'idéotype à la réalité des terrains. Par la prise en comptes des besoins le réaltype vise la large acceptation de l'opinion publique et la recherche de l'adaptation et plaide pour la délocalisation de la sélection. La question de l'appropriation est au centre de cette proposition et rejoint la question de la participation dans la recherche pour l'agriculture durable. Cette diversité et complémentarité des critères de sélection amènent à des stratégies de sélection de plus en plus intégrées (intégrant la qualité agronomique, sensorielle, technologique...), le poids des différents critères étant dépendant du contexte socio-économique de l'environnement cible.

2. DES STRATEGIES DE SELECTIONS ADAPTEES A L'AB

Le choix de semences adaptées à l'AB est ainsi une clé de son développement. Le marché de la semence biologique n'étant pas suffisamment attractif pour les compagnies semencières (Chable et al., 2014), il n'existe pas de programme (reconnu) de sélection spécifique à l'AB capable de répondre aux réels besoins des producteurs et consommateurs. D'après le règlement de la commission européenne n°889/2008, une semence biologique est une semence dont les parents ont été cultivés selon le cahier des charges AB depuis au moins une génération, ou dans

le cas des cultures pérennes deux générations (EU 834/2007). Cependant ce règlement autorise des dérogations pour des semences conventionnelles non traitées si une pénurie de l'offre est présente. Le nombre de dérogations a augmenté de façon significative entre 2007 et 2014 et atteint le nombre de 47 000, ce qui témoigne de l'insuffisance de l'offre en semence biologique face au développement des surfaces biologiques (CNAB-INAO, 2013). Le développement d'un système de création variétale et d'un réseau semencier durable est essentiel pour la souveraineté alimentaire et l'adaptation au changement climatique ((FAO, 2010).

L'environnement cible en AB se caractérise par une grande diversité des environnements (diversité des terroirs, des cultures, des pratiques agricoles...), des préférences et des besoins des agriculteurs. Une même variété ne s'exprime pas et ne se développe pas de la même manière suivant les conditions dans lesquelles elle est cultivée : climat, nature du sol, pression parasitaire. Cette variation d'expression est appelée interaction Génotype*Environnement (G*E) et est d'autant plus importante que l'environnement de sélection (la station expérimentale) est différent de l'environnement cible (champ de l'agriculteur) (Lammerts van Bueren et al., 2011). Les variétés conventionnelles, sélectionnées pour une large adaptation, sont donc souvent les génotypes présentant les interactions Génotype*Environnement les plus faibles. De plus l'exigence de la DHS pour l'inscription au catalogue favorise les variétés homogènes génétiquement, lignées pures, hybrides F1 et clones (Bonneuil et al., 2006). Plusieurs critiques peuvent être soulevées sur les schémas de sélection conventionnelle. En limitant la participation des agriculteurs, la sélection conventionnelle a limité le nombre d'environnements testés aux stations de leur réseau et présente un coût élevé (frais de fonctionnement des stations, expérimentateur en station). Cela limite la puissance statistique dans l'évaluation de l'interaction G*E et l'identification des interactions locales spécifiques entre G et E pouvant conduire à des innovations variétales « sur mesure ». Enfin, en misant sur les performances agronomiques et la prédictibilité en conditions artificialisées, les sélectionneurs professionnels ont mis de côté les agricultures à faible intrant et n'ont pas pris en compte la diversité des attentes des acteurs de la filière.

Les principes cultureux propres à l'AB cherchent à s'adapter aux nombreux facteurs considérés limitant pour l'agriculture conventionnelle : la disponibilité des nutriments du sol est assurée par la vie microbienne du sol et n'est pas pilotée par les intrants chimiques, particulièrement pour l'azote dont l'apport n'est pas autorisé sous forme chimique. La robustesse, c'est-à-dire la capacité de la plante à résister aux accidents climatiques et à se maintenir en bonne santé, est au centre des préoccupations de la filière semences bio. Si la sélection vise l'adaptation spécifique à un stress ou à un système de culture répandu, les interactions G*E non répétables peuvent être limitées en répétant la sélection sous des conditions appropriées sur plusieurs sites, ce qui permet une meilleure précision pour l'évaluation de la performance du génotype. Les avantages d'une sélection centralisée associée à des essais multi-sites sont qu'ils permettent une sélection effective pour des caractères à faible héritabilité grâce aux essais multi-sites. Son inconvénient est que si la sélection est basée sur les performances du génotype dans chaque site, des traits de qualité localement importants risquent d'être ignorés ou moins bien pris en compte, pouvant résulter à une moins grande adoption des variétés par les agriculteurs. Dans le cadre d'un programme de sélection dédié à des systèmes de culture économes en intrant, Rolland et al., (2012) ont montré que la sélection dans les premières générations en conditions de faible intrant fournit une bonne prédiction du comportement du génotype en AB et appuie l'intérêt de développer une filière semence bio. Cependant, l'aptitude à la panification présente de fortes variations entre les environnements de cultures. Le passage en AB en fin de sélection est alors indispensable pour obtenir des variétés productives et panifiables en AB.

La création et l'exploitation de la diversité génétique entre les variétés et au sein d'une variété est un point clé pour la réussite de tout programme de sélection pour l'AB. Une autre stratégie adaptée à l'AB est la décentralisation de la sélection pour une adaptation locale des variétés. La sélection participative, une méthode d'organisation de la sélection, impliquant sélectionneurs et agriculteurs dans le développement de variétés adaptées au contexte (pédo-socio-climatique), est alors plus susceptible de répondre aux attentes des agriculteurs. Elle permet d'associer diversification intra-spécifique (volonté des agriculteurs bio de travailler avec des populations) et décentralisation de la sélection. Ainsi, pour répondre à la diversité des systèmes de culture en AB, deux stratégies de sélection sont complémentaires, l'adaptation spécifique et l'adaptation locale. La première stratégie est l'**adaptation spécifique** des plantes à un stress particulier. Wolfe et al. (2008) différencient deux types d'approches de sélection pour obtenir des variétés adaptées à l'AB et au Faible Intrant (FI) selon que la sélection sur des critères propre à l'AB est appliquée aux premières générations ou à des générations plus

avancées. En termes de technique de sélection, beaucoup utilisées en agriculture conventionnelle sont applicable pour l'AB. Par exemple, des lignées pures en blé peuvent être obtenues par de multiples méthodes, incluant la sélection pédigrée, modified pedigree bulk sélection, la sélection assistée par marqueurs. L'**adaptation locale** repose sur la **diversification des structures variétales** (lignées pures, mélanges, populations) pour limiter les variations phénotypiques en condition de stress et l'adaptation progressive des populations végétales à l'environnement de culture. Cette diversification associée à une **sélection décentralisée** implique la participation des agriculteurs et autres acteurs de la filière et favorise l'adaptation des populations aux conditions locales. Cette stratégie est souvent réalisée selon une organisation participative pour intégrer les attentes socio-économique des utilisateurs de semences et ainsi favoriser l'appropriation des nouvelles variétés.

2.1. GESTION DYNAMIQUE DES RESSOURCES GENETIQUES

Le système semencier conventionnel repose sur une gestion statique, dite ex-situ, qui consiste à conserver les ressources génétiques en dehors des conditions environnementales dans lesquelles elles se sont développées, dans des centres de ressources génétiques. Cette gestion ex-situ est cependant couteuse (en personnel et matériel) et ne peut être appliquée par tous les pays (FAO, 2010). De plus les variétés peuvent ne plus être adapté à leur environnement d'origine, car n'étant plus en contact les pathogènes de l'environnement d'origine (Henry et al., 1991). Enfin les capacités de germinations diminue avec les années de stockage et oblige à un renouvellement des lots réguliers.

Dans les pays industrialisés, alors que les variétés anciennes et de pays ne sont presque plus cultivées par les agriculteurs, un système d'échange et de sauvegarde des semences s'est récemment développé dans le contexte de l'AB (Thomas et al., 2012). Face à une pénurie de semences adaptées à leur besoins agronomiques et qualitatifs, certains agriculteurs ont commencés à cultiver des variétés provenant soit de banque génétiques soit de leurs ancêtres.

L'intérêt de cette gestion dynamique pour conserver des ressources adaptées et adaptables a été démontré (Goldringer et al., 2001; Thomas et al., 2012). Deux réseaux semblent complémentaires dans cette gestion dynamique, un réseau constitué de stations expérimentales et un réseau constitué de paysan. Ces derniers permettent entre autres la représentation d'une grande gamme de variations pédoclimatiques et culturelles (Demeulenaere et al., 2008).

Tandis que la gestion ex-situ répond à un objectif de conservation (à l'identique) des variétés patrimoniales, la gestion in-situ vise à développer le potentiel évolutif des ressources génétiques. Ainsi les deux types de gestion des ressources génétiques sont complémentaires, la diversité conservés dans les champs et dans les chambres froides étant différente.

2.2. DECENTRALISATION DE LA SELECTION

Les environnements marginaux sont plus diversifiés que les zones productives (où les ajouts d'intrants homogénéisent l'environnement de culture) et requièrent alors des génotypes finement adaptés aux particularités locales. Les variétés sélectionnées pour une adaptation locale pour de tels environnements devraient alors surpasser les performances des cultivars sélectionnés pour une large adaptation. Les programmes de sélection délocalisés tentent d'exploiter l'effet des interactions G*E répétables pour produire des cultivars qui sont supérieurs aux cultivars issus de la sélection conventionnelle (centralisée) dans les environnements marginaux (Atlin et al., 2008).

La sélection pour une adaptation locale peut se faire pour une localisation unique. Si la variété requiert un haut niveau d'adaptation, alors les cultivars sélectionnés en dehors de l'environnement cible sont peu susceptibles de montrer des bonnes performances dans cet environnement. Il est nécessaire de développer alors des programmes de sélection locaux. De plus, des interactions G*E non répétables sont susceptibles d'apparaître même dans un environnement restreint, et le faible nombre de producteurs intéressés limite le nombre de répétitions possibles entre sites et sur plusieurs années, diminuant la capacité à identifier des génotypes supérieurs stables. Ces programmes comptent sur la capacité et la compétence des agriculteurs impliqués à identifier des génotypes supérieurs à travers une sélection phénotypique manifestant de faibles interactions G*E non répétables. Un

inconvenient de cette approche réside dans la faible efficacité de la sélection pour des caractères faiblement héréditaires, qui ne peuvent être mesurés précisément qu'à travers des répétitions sur plusieurs sites et plusieurs saisons. La sélection participative, dont le principe est de décentraliser la sélection dans les agrosystèmes cibles, est souvent pratiquée pour la sélection de populations.

2.3. DIVERSIFICATION DES STRUCTURES GENETIQUES : EXEMPLE DU BLE TENDRE

La structure génétique des variétés peut être homogène, avec une variabilité intra-variétale nulle (lignées pures, hybrides F1, Clones) ou hétérogène, avec une variabilité intra-spécifique importante (mélanges, populations). Ces variétés, dont l'utilisation est ancestrale, sont appelées « **populations de pays** » (antérieure à 1840) et « **variétés anciennes** » issues de sélections anciennes (1840-1960). A l'inverse des variétés pures (lignée pure ou issues d'hybridation), les « populations » et « variétés de pays » sont composées d'individus aux génotypes et phénotypes distincts. L'utilisation de variétés avec une large diversité génétique intra-spécifique offre une alternative pour répondre aux multiples critères de l'AB. Ces deux types de structures génétiques ont été créés (ou sont apparus) avant les goulets d'étranglements liés à l'apparition de la première sélection « formelle » (sélection par fixation dans les populations, puis sélection généalogique) et avec l'intensification de la sélection et de l'agriculture durant la révolution verte (introduction des variétés naines en particulier) (Roussel et al., 2005). Cette diversité génétique permet l'adaptation dynamique aux conditions locales et aux changements climatiques. La culture de ces variétés, comme le souligne son synonyme « variétés de pays » revêt une dimension à la fois sociale (protection de l'héritage local) et économique (adaptation des variétés au système de production, autonomie face à l'industrie phytosanitaire et semencière) (Bocci and Chable, 2007). Ces variétés présentent des performances agronomiques comparables aux variétés moderne en condition de faible intrant et en AB (Di Silvestro et al., 2012). Leur diversité génétique représente de plus un potentiel nutritionnel et aromatique pour l'amélioration sur ces critères (Di Silvestro et al., 2012; Starr et al., 2013).

Plusieurs méthodes permettent de créer de la diversité dans le blé tendre, celles décrites ci-dessous sont réalisable à la ferme et respectent les principes de l'AB (Rivière, 2014) :

- La culture de mélange de populations où les individus peuvent se croiser entre eux et ainsi créer de nouveaux individus. Les croisements sont aléatoires et la sélection passe par une sélection dans la masse des individus (sélection massale). Cette technique est facile à mettre en œuvre et est couramment utilisée par les paysans du Réseau Semence Paysanne (RSP).
- Les croisements bi-parentaux consistent en la création de nouvelles populations par le croisement de deux individus différents. Cette technique nécessite de castrer une plante, qui sera la femelle et de la féconder avec le pollen d'une autre plante (le mâle). C'est une technique délicate et couteuse en temps qui limite son application à la ferme.
- La création de Composite Cross Populations par la réalisation de plusieurs croisements entre plusieurs parents (Döring et al., 2011).

2.3.1. CAPACITE D'ADAPTATION ET DE RESILIENCE DES STRUCTURES GENETIQUES HETEROGENES

La théorie sur laquelle se base l'utilisation de ces structures génétiques est que plus un système est complexe, plus il est résistant aux variations (résilient). L'augmentation de la diversité génétique, par l'utilisation de populations est dès lors susceptible d'améliorer la stabilité d'un système agrobiologique (de Vallavieille-Pope et al., 2006; Döring and Wolfe, 2008). C'est la complémentarité entre les génotypes qui favorise la stabilité de l'écosystème. La compétition entre les individus est d'ailleurs une force d'évolution majeure comme le confirme David et al. (1997). De génération en génération, les plantes s'adaptent progressivement, la large base génétique favorise les opportunités pour s'adapter aux conditions environnementales fluctuantes. Jackson et al., (1978) montre une complémentarité des génotypes favorisant le développement d'une résistance multiple. La capacité de dispersion du pathogène est diminuée par la présence de génotypes résistants.

Des associations de 3 à 5 variétés montrent un plus petit pourcentage de plantes sensibles que lorsque deux variétés sont cultivées simultanément (de Vallavieille-Pope et al., 2006). Cependant, tous les résultats ne concordent pas. Pour l'adaptation de la résistance au mildiou, des corrélations entre le taux d'infection et la résistance de la population ont été trouvées dans certains cas (Enjalbert et al., 1999; Le Boulc et al., 1994) et non

dans d'autres cas (Goldringer et al., 2001). Les rendements sont également plus stables comparés aux rendements de culture monovariétale. Une étude comparative réalisée sur trois populations cross-composites en Angleterre a mis en évidence une plus grande stabilité des rendements des populations que des monocultures. De plus, les rendements étaient plus élevés que les rendements moyens de leurs parents respectifs (Döring and Wolfe, 2008).

Une autre étude a démontré la capacité d'adaptation d'une population de blé aux conditions externes en quelques générations. Un blé d'hiver, semé au printemps pendant plusieurs générations a gardé des performances agronomiques relativement bonnes. Malgré un rendement faible la première année, les performances ont augmenté de façon substantielle les années suivantes (Wolfe et al., 2009). Enfin, la complémentarité des précocités permet une adaptation sur la saison en différant la phénologie requise pour que le développement de la plante coïncide avec la disponibilité en eau de différents environnements par exemple. Ceci conduit à la création de populations réunissant plusieurs génotypes capables de s'adapter aux stress fluctuants.

La conduite dynamique d'une population est une pratique complémentaire à la culture de populations qui vise à maintenir la variabilité génétique à travers les mécanismes de l'évolution (recombinaisons, mutations, migrations) dans des populations cultivées dans différents environnements. Elle permet d'augmenter les ressources génétiques dans les stades de pré-sélection où les parents d'intérêts sont sélectionnés sur une grande diversité d'individus.

2.3.2. LA DIVERSITE COMME SOURCE POTENTIELLE D'AROMES ET DE SAVEURS

La culture de populations de blé est cependant limitée par l'organisation de la filière pain. Les populations ne sont en effet pas adaptées à l'industrie agro-alimentaire telle qu'elle existe, de par leur hétérogénéité (variabilité dans le contenu en protéines notamment). L'agriculteur doit alors développer son mode de commercialisation (la plupart du temps par vente directe). Des filières intégrées en circuit court, telle que la filière paysans-boulangers, ne réclament pas les mêmes qualités que l'industrie boulangère. Les acteurs de la filière paysans-boulangers sont intéressés par ces populations, qui en plus de leur qualité agronomique adaptée à l'AB présentent un potentiel nutritionnel et sensoriel. Comme le souligne Dusseau (1932), bien que ces variétés ne présentent pas la qualité boulangère requise pour la panification industrielle, nombres de ces variétés intéressent la boulangerie pour leur qualité organoleptique. Leur introduction dans des programmes de sélection présente donc un intérêt, même pour la sélection moderne. Dans cet objectif, Dusseau (1924) entama un travail de référencement des blés de pays cultivés dans la station régional de Sélection de Semences de Clermont Ferrand puis dans la région du Rhône moyen (Drôme-Ardèche).

Un autre facteur limite considérablement l'adoption de ces pratiques : la législation, qui limite l'échange et la vente de telles variétés. Une loi récente interdit au paysan de ressemer ses propres graines (loi n°2011-1843 du 8 décembre 2011). Cependant l'utilisation de variétés non inscrites au catalogue est autorisée dans le cadre de l'expérimentation et dans le cadre d'une filière intégrée. Des références sur les performances agronomiques sont en cours d'acquisition. Parallèlement, la sélection participative se développe et combine les connaissances des chercheurs et l'expérience des agriculteurs pour répondre à leurs attentes spécifiques.

3. LA SELECTION PARTICIPATIVE EN FRANCE : UNE ORGANISATION DE LA SELECTION ADAPTEE A L'AB

La faible adoption de nouvelles variétés par les agriculteurs des pays en voie de développement a été l'élément déclencheur du développement de l'organisation participative de la sélection. Cette organisation de la sélection visent à réaliser des gains de productivité dans des régions marginales, accroître la biodiversité et développer des ressources génétiques pour des groupes désavantagés économiquement et socialement et rendre des programmes de sélection plus économes à travers une décentralisation de la sélection (Sperling et al., 2001). En sélection participative, plutôt que de jouer un rôle de support dans la recherche, l'agriculteur est considéré comme un partenaire. En prenant en compte les attentes des agriculteurs, la sélection participative favorise l'adoption des nouvelles variétés et permet de rendre ainsi l'autonomie semencière aux communautés rurales. Le modèle de la sélection participative a par la suite était importé dans les pays industrialisés pour répondre aux besoins en semences adaptées à l'AB des agriculteurs biologiques. Le mode de production biologique présente en effet des

caractéristiques similaires à celles rencontrées dans les pays en voie de développement : hétérogénéité des conditions pédoclimatiques et diversité des besoins des agriculteurs (Desclaux et al., 2012).

La sélection participative en France repose sur une diversification des structures génétiques associée à une décentralisation (Chable et al., 2014). Ces méthodes de sélection présentent des avantages et des inconvénients, notamment au niveau des conditions expérimentales qui doivent faire appel à de nouveaux outils statistiques pour parer aux manques de données. L'organisation du réseau d'expérimentation est un point clé pour la réussite de tels programmes de sélection. Des innovations organisationnelles et le développement d'outils statistiques adaptés sont en cours pour améliorer la prédictibilité et la fiabilité des approches de sélection participative (Rivière et al., 2013).

Le Réseau Semences Paysannes, crée à Auzeville en 2003 par la Confédération Paysanne, la Coordination Nationale de Défense des Semences de Ferme et plusieurs organisations de l'Agriculture Biologique, compte actuellement plus de 70 organisations et est engagée dans plusieurs démarches de sélection participatives. Ce réseau regroupe des acteurs autour d'aspirations et d'enjeux communs : la réappropriation de la semence et sa sélection, bases de toutes activités agricoles, la question de la propriété intellectuelle et la valorisation et transmission d'un patrimoine commun. L'enjeu de la biodiversité cultivée est aussi défendu par ces acteurs. La circulation des semences basées sur des échanges est mise en avant, d'où l'utilité d'un tel réseau pour mutualiser un patrimoine génétique et le faire reconnaître légalement. Un groupe blé-pain émerge de ce réseau, regroupant en partie des paysans-boulangers.

Concernant la sélection participative du brocoli pour l'AB, c'est en Bretagne qu'un projet de collaboration entre INRA, l'Université de Rennes1 et IBB a abouti à une des premières expériences de sélection participative (Chable et Conseil, 2005) pour les choux et choux fleurs. Les variétés anciennes, de pays et/ou patrimoniales expérimentées ont montré un niveau de qualité suffisant si bien que les agriculteurs ont pris l'initiative de produire de la semence eux-mêmes. La production fermière de semences de choux fleurs n'était pas oubliée par les plus anciens (Chable, 2005). Les premiers hybrides F1 n'avaient que 20 ans et la tradition restait dans les mémoires. Une organisation collective autour de la Plate-forme Agrobiologique d'Inter Bio Bretagne (IBB) à Suscinio (PAIS) s'est précisée avec les années. En 2007, une association, Kaol Kozh, s'est créée pour élargir les acteurs, les actions, et mutualiser les produits de multiplication. Les producteurs de choux ont besoin de plusieurs variétés pour une saison de production. L'action de Kaol Kozh s'étend à de nombreuses espèces sur les départements bretons et la Loire Atlantique (Chable et al., 2008). Au côté de l'IBB et de l'INRA s'est ajoutée l'entreprise Gautier Semences et l'ITAB, désireuse de développer une gamme de brocoli adaptée à l'AB et partenaire du projet européen Strategies for Organic and Low Input Breeding And Management (SOLIBAM).

Ainsi la culture de variétés-populations présente un caractère adaptée aux principes de l'AB. Les variations macro-environnementales peuvent être tamponnées en augmentant la diversité au sein des espèces et en promouvant les mécanismes de complémentarité et de compensation entre les individus. En plus d'offrir des bénéfices agronomiques, des bénéfices socio-économiques ont été mis en évidence. Ces populations, par leurs caractéristiques sensorielles particulières, s'intègrent très bien dans une filière intégrée et de qualité telle que la filière paysans-boulangers. Leur adoption nécessite toutefois une meilleure connaissance de leur comportement agronomique et technologique et appelle à une organisation décentralisée et participative de la recherche.

C. QUALITE SENSORIELLE, MESURE ET LEVIER D'ACTION

La qualité sensorielle n'est pas aisée à mesurer de par la difficulté d'analyse de la perception humaine. Deux approches sont envisageables pour qualifier et quantifier la qualité organoleptique : par l'homme, on parle alors d'analyse sensorielle, par la « machine », on parle alors d'analyse instrumentale.

1. MESURE DE LA QUALITE SENSORIELLE

1.1. MESURES INSTRUMENTALES

L'approche instrumentale est privilégiée par les acteurs de la production industrielle, car les mesures sont fiables, répétables et surtout elles peuvent s'effectuer à la chaîne, sur des lots de produits.

1.1.1. LES TECHNIQUES DISPONIBLES

En production, les mesures instrumentales sont souvent préférées aux mesures sensorielles car elles réduisent les variations inhérentes aux jugements individuels et fournissent un langage commun aux chercheurs, industriels et consommateurs (Gajc-Wolska et al., 2000; Lespinasse et al., 2002). La qualité gustative s'exprime et se mesure à travers une série de critères que sont la texture, le goût mais également les arômes. Les mesures instrumentales fournissent à la filière des outils de mesures rapides et fiables sur les critères mesurables. Cependant, un instrument de mesure ne peut traduire la complexité inhérente à la perception intégrée de l'homme.

L'apparence est essentiellement mesurée à l'aide des propriétés électromagnétiques (optiques) du produit, la texture, par la mesure des propriétés mécaniques, et la flaveur par les propriétés chimiques. Un certain nombre d'indicateurs de la qualité sensorielle, dont les principes de mesure sont détaillés ci-dessous, offre la possibilité d'une mesure indirecte (et partielle) de la qualité sensorielle finale du produit.

Des analyses chimiques telles que le dosage permettent la mesure des contenus en sucres, sels, acides... Les composés volatiles peuvent être quant à eux mesurés par chromatographie gazeuse. Cette technique aboutit à la détermination des différents composés aromatiques ainsi que leur quantité.

Les propriétés optiques sont reliées à l'apparence (couleur, diamètre...). Le spectre électromagnétique intègre des ondes courtes comme longues, les ondes radio, les micro-ondes, les rayons X, ultraviolet... Les propriétés optiques indiquent la réponse de la matière à des ondes de lumières visibles (400 nm à 700 nm), et l'usage est souvent étendu à l'ultraviolet (4 à 400 nm) et le proche infra-rouge (700 à 2500 nm).

Les propriétés mécaniques sont reliées à la texture. Les mesures de textures mécaniques incluent des tests communs tels les tests de perforation, de compression ou de cisaillement. Sous la pression mécanique, les fruits (et/ou légumes) présentent des comportements viscoélastiques qui dépendent de la force appliquée et de la résistance à la déformation du produit. Depuis peu, des méthodes non-destructives de mesure indirecte de la texture par infra-rouge se sont développées.

1.1.2. LES LIMITES DE L'APPROCHE INSTRUMENTALE

Les critères de textures sont déterminants dans la caractérisation des préférences des consommateurs. Or, les outils de mesure de la texture disponibles (durofel...) souffrent de peu de développement technologique (Shewfelt, 1999). Les arômes peuvent être analysés à l'aide d'appareils et de méthodes sophistiquées, telles que la chromatographie en phase gazeuse ou liquide. Cependant, la traduction de ces résultats en termes d'odeurs perçues doit nécessairement passer par le système olfactif humain. En effet, le stimulus olfactif est complexe, constitué parfois de plusieurs dizaines de molécules dans des proportions précises. De la même manière, la présence de composés à l'origine du goût et/ou de l'odeur ne résulte pas systématiquement en la perception de ces différents goûts et arômes.

Par exemple, Schonhof et al. (2004) montrent que le *sucré* du brocoli perçu par un panel ne peut être expliqué par les seules concentrations en glucose, fructose et sucrose. En revanche, une corrélation multiple significative entre

l'attribut *sucré*, le contenu en sucrose, fructose, glucose, et la totalité des glucosinolates (substances supposées être à l'origine de l'amertume) a été mise en évidence. Le *sucré* et l'*amertume* perçus apparaissent alors intimement liés, la *sucrosité* perçue diminue quand le contenu en glucosinolates augmente. Des études sur les consommateurs appuient ce constat et suggèrent que les composés amers masquent les saveurs. Une étude récente étudiant les qualités sensorielles du brocoli met en évidence des interactions de goût, le taux de sucre masque bien l'effet des glucosinolates (goïtrine, sinigrine et quinine) sur le goût amer (Beck et al., 2014).

De nouveaux outils de mesure de la qualité, non destructifs, sont proposés actuellement. Ces outils utilisent la spectrométrie proche infrarouge pour la mesure du taux de sucre et de l'acidité ou des technologies acoustiques et piézoélectrique pour la mesure de la fermeté. Mais la fiabilité de ces outils, liés à l'étalonnage reste à évaluer pour une utilisation généralisée. Leur coût est, de plus, élevé.

Les instruments devraient être conçus pour imiter le processus physiologique de la perception ou devraient être statistiquement reliés à la perception humaine et aux jugements pour prédire une classification des produits selon leur qualité. Des relations unidirectionnelles, entre la réponse sensorielle et la quantité du composant sont mises en évidence pour des caractères quantitatifs, par exemple la mesure du contenu en pigment par la mesure de l'absorption. Cependant, cette relation disparaît lorsqu'il s'agit d'étudier les préférences du consommateur. Les consommateurs préfèrent souvent des niveaux intermédiaires pour des attributs particuliers, par exemple une tomate ferme est souvent préférée à une tomate trop dure ou trop molle (Abbott, 1999).

Cependant, certains critères tels que le farineux de la tomate ou la persistance de la peau en bouche du raisin de table sont actuellement uniquement mesurables par l'homme. La prise en compte de la qualité uniquement à travers les mesures instrumentales présentent dès lors des limites : les attributs (caractéristiques) qui ne peuvent être actuellement mesurés (ou difficilement) pèsent moins que ceux facilement mesurables (Shewfelt, 1999). De tels biais tendent à favoriser les traitements de manutention ou de stockage qui maintiennent l'apparence (un attribut facilement quantifiable) au détriment des attributs de texture (moins quantifiable) ou de saveur (très difficile à quantifier). De plus, ces attributs (interne à la filière) ne sont pas forcément reconnus par le consommateur et sont difficilement applicables en marketing (comportement du marché...). En fonction de la proximité de la filière au consommateur (grande distribution/conventionnelle, AB/circuit court) l'intégration de la qualité « orientée consommateur » apparaît indispensable à l'amélioration de l'offre en fruit et légumes frais.

1.2. MESURES SENSORIELLES

1.2.1. DEFINITION

L'analyse sensorielle est « l'instrument » privilégié en marketing et études consommateur. C'est un ensemble de techniques et de pratiques qui visent à mesurer et interpréter de façon systématique les perceptions de l'homme. La méthodologie sensorielle utilise comme « appareil de mesure » un groupe de dégustateurs afin de prendre statistiquement en compte la variabilité des perceptions individuelles des dégustateurs. Des analyses statistiques informent sur la fiabilité des juges et des résultats.

Le type de test utilisé et les outils statistiques appropriés dépendent de l'objectif de la dégustation. Elle permet de vérifier s'il existe vraiment des différences perçues (tests discriminatifs), de décrire et quantifier les caractéristiques organoleptiques des produits (tests descriptifs) ou encore de comprendre les préférences des consommateurs (tests hédoniques). En fonction de l'épreuve sensorielle, le panel de dégustateurs peut être naïf (aucune notion de perception sensorielle et aucun entraînement à l'évaluation sensorielle), semi naïf (professionnel du produit qui dispose d'une expertise produit ou initiation à l'analyse sensorielle) ou encore qualifié (entraîné à l'évaluation quantitative de la qualité sensorielle). Des normes françaises et internationales régissent les pratiques d'Analyse Sensorielle, AFNOR 2002, normes ISO.

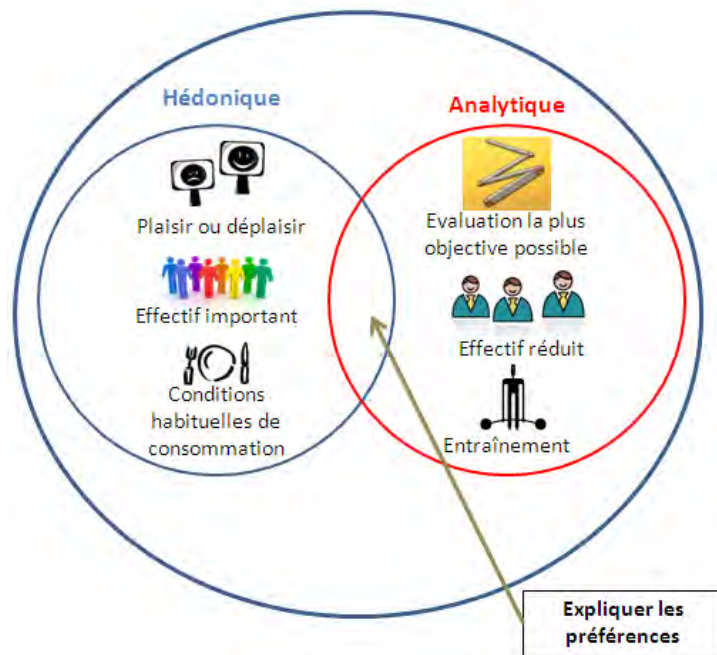


Figure 3: Approches complémentaires en analyse sensorielle

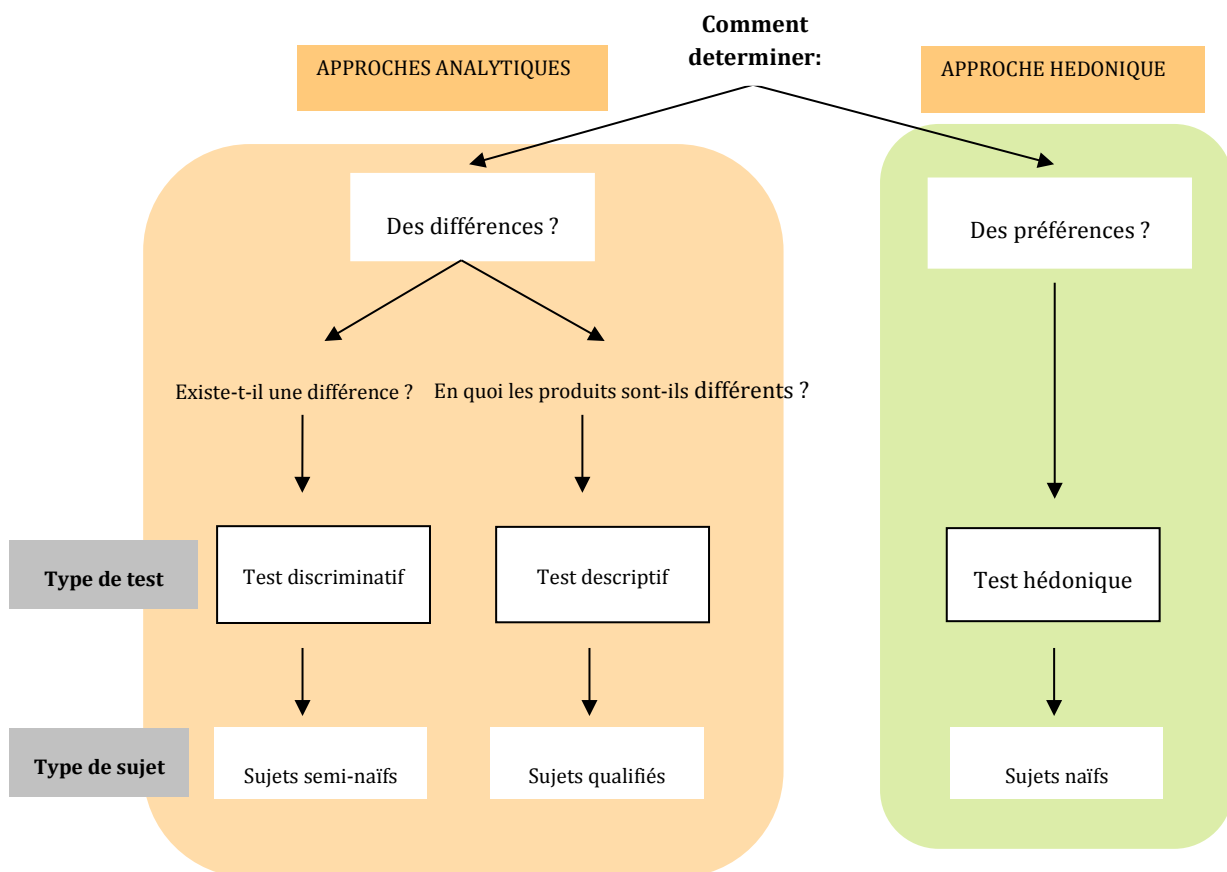


Figure 4: clé de détermination du test sensoriel approprié

1.2.2. LES EPREUVES SENSORIELLE

Les trois épreuves mises en œuvre dans le cadre de la thèse sont détaillées dans le paragraphe qui suit : l'épreuve de classement, le Napping® et le profil sensoriel.

(A) EPREUVE DE CLASSEMENT

L'épreuve de classement consiste à positionner plus de deux produits différents selon l'intensité perçue d'une caractéristique sensorielle. Elle ne nécessite qu'un nombre restreint de sujets non entraînés, 12 en situation optimale. L'information sensorielle résultante n'est cependant qu'un classement et ne donne aucune notion d'intensité de la différence.

(B) PROFIL SENSORIEL

Le profil sensoriel vise à décrire et à quantifier les perceptions sensorielles (grandeurs complexes qu'on cherche à décomposer en des dimensions aussi appelées descripteurs). Il conduit à la comparaison des produits par l'analyse de leurs différences (ou ressemblances) perçues et exprimées (façon dont on le verbalise). L'objectif est de décrire avec un minimum de mot et un maximum d'efficacité afin d'obtenir une carte d'identité sensorielle précise, reproductible et compréhensible par tous.

Le profil sensoriel est la référence d'usage en termes de caractérisation sensorielle. Cette méthode fait appel aux compétences d'un panel de juges entraînés. L'entraînement a pour objectif de générer une expertise commune entre les juges et de vérifier leurs performances sensorielles pour assurer une évaluation strictement objective des caractéristiques du produit. La phase de formation des juges s'étale généralement sur plusieurs mois.

(C) EPREUVE DU NAPPING®

De nouvelles épreuves de mesure globale et spontanée de la qualité, issues des sciences cognitives, offrent la possibilité de mesurer de manière objective la qualité sensorielle sans requérir d'entraînement spécifique de la part du jury. Parmi elle on trouve l'épreuve du Napping®, basée sur le principe de catégorisation (reconnaitances des objets par regroupement selon similarité/dissimilarité). Elle consiste à regrouper/positionner sur un espace à deux dimensions (une nappe par exemple) des produits en fonction de leurs similarités/dissimilarités.

Le protocole de dégustation est celui mis en place pour le vin par Pagès (2005) :

*Vous évaluez globalement les ressemblances (ou dissemblances) entre plusieurs vins, et ce, selon vos propres critères, ceux qui sont importants pour vous. Vous positionnez les vins sur une nappe de la façon suivante : deux vins sont d'autant plus proches qu'ils se ressemblent ; deux vins sont éloignés s'ils vous paraissent différents. N'hésitez pas à exprimer nettement les différences que vous percevez, c'est-à-dire à utiliser toute la feuille disponible. Dans un premier temps placez les vins sur la feuille du seul point de vue olfactif. Quand le positionnement est terminé, **reportez les numéros aux emplacements des verres** et **notez** à côté de chaque numéro quelques **mots** qui vous paraissent bien **caractériser** le (ou les) vin(s) correspondant(s).*

Une tâche de verbalisation, où il est demandé au juge d'associer deux à trois termes qui lui semblent le mieux caractériser le produit permet de compléter l'information en qualifiant les différences perçues.

Cette épreuve, spontanée, utilise la complémentarité entre les dégustateurs et offre une liberté totale dans le choix des descripteurs. Elle ne nécessite pas d'entraînement spécifique et prend en compte les différences interindividuelles (Perrin et al. 2008).

Tableau 1: tableau de synthèse des épreuves sensorielles, type de jury, avantages et inconvénients

Nom des épreuves	Type de test	Principe	Jury	Avantages	Inconvénients
Duo-trio, Test triangulaire, « 2 parmi 5 »	Discriminatif	Différenciation	Semi-naïf	Facile à mettre en œuvre Peu d'entraînement	Disponibilité des produits Ne renseigne que sur l'existence de différences et pas sur la nature
Epreuve de classement, comparaison par paire	Discriminatif	Comparatif	Semi-naïf	Facile Peu d'entraînement Pas d'effet de report Notion d'intensité de la différence	Résultats relatifs aux produits et caractéristiques testées (généralisation impossible) Nombre de produits et de descripteurs limité (une seule caractéristiques prises en compte)
Profil sensoriel (QDA, flavour profile...)	Descriptif	Evaluation quantitative	Qualifié	Mesures précises et fiables Dispersion autour de la moyenne Généralisation les résultats possibles Description sur un ensemble de caractéristiques	Chronophage et cher Normes lourdes et couteuse Nombreuses évaluation nécessaire (répétitions)
Napping®	Descriptif spontanée	Catégorisation	Naïf à semi-naïf	Peu/pas d'entraînement du jury Mesure globale de la qualité Richesse d'un profil sensoriel Dimensionnement de la perception individuelle	Evaluation de 12 produits maximum Nécessité de disposer de tous les échantillons à un moment donné Qualitatif – distance sensorielle – pas de notion d'intensité
Tri Libre	Descriptif spontanée	Catégorisation	Naïf à semi-naïf		
Profil Flash	Descriptif spontanée	Comparatif	Naïf à semi-naïf		

1.2.3. L'ANALYSE SENSORIELLE APPLIQUEE AUX FRUITS ET LEGUMES FRAIS

L'analyse sensorielle appliquée aux Fruits et Légumes (F&L) peut permettre d'étudier l'impact des techniques culturales et de stockage ou encore d'identifier des gammes gustatives pour faciliter le choix des consommateurs sur le point de vente. Son application aux F&L nécessite toutefois la prise en compte de leurs caractéristiques spécifiques.

Les légumes frais sont avant tout des produits non transformés. Leurs caractéristiques intrinsèques dépendent des variétés et peuvent être modifiées par le sol, le climat, les techniques de culture et les conditions de récoltes, ce qui exige de bien identifier ces éléments. De plus, les légumes sont **hétérogènes** par nature, ce qui nécessite un soin particulier pour homogénéiser l'échantillon avant dégustation tout en veillant à ce qu'il reste représentatif (Lespinasse et al., 2002). Ainsi, le soin accordé à l'échantillonnage déterminera la fiabilité des résultats (entretien avec Valentine Cottet, analyste sensoriel au CTIFL). Le tri peut être réalisé sur le calibre, l'aspect, la couleur ou sur les caractéristiques intrinsèques (Indice de Réfraction (IR), fermeté, acidité). Pour interpréter les résultats, les mesures physico-chimiques réalisées le jour de la dégustation et plus précisément des mesures de dispersions sont des aides précieuses pour caractériser l'homogénéité du lot.

Les légumes frais sont vivants (Lespinasse et al., 2002), ce sont des **produits évolutifs** dont les caractéristiques organoleptiques peuvent être modifiées suivant la température de stockage et le délai récolte-dégustation appliqué. En fonction de l'objectif de l'essai, il sera nécessaire de fixer a priori ces conditions post-récolte ou au moins de les noter. Une autre caractéristique des légumes est leur **saisonnalité** qui limite le choix des variétés en début de saison et rend difficile la réalisation de séances d'entraînement (avant dégustation).

1.2.4. FACTEURS INFLUENÇANT LA PERCEPTION SENSORIELLE

La **fiabilité** de la mesure sensorielle dépend de l'objectif de celle-ci. Si c'est l'identification des préférences des consommateurs, la taille et la composition de l'échantillon de population est déterminante. Si l'objectif est de mesurer l'intensité des caractéristiques organoleptiques d'un produit, ce sont les performances du panel (dépendant de son acuité et/ou de son entraînement) qui déterminent la fiabilité de la mesure. L'analyse sensorielle permet une mesure directe de la caractéristique étudiée. Pour beaucoup d'équipes de recherche, c'est la méthode la plus fiable car c'est la seule à prendre en compte l'ensemble des perceptions des consommateurs. Mais ces méthodes sont sujettes à de nombreux biais et leur réalisation requiert une grande rigueur car elle repose sur des protocoles précis. Elles sont de plus destructives, complexes et lourdes à mettre en œuvre, mais se justifient si l'on veut être au plus près de ce que ressentent les consommateurs.

Comme tout outil de mesure, l'analyse sensorielle se doit de refléter au plus juste les propriétés sensorielles des produits étudiés. On juge la qualité de la mesure à sa justesse, son exactitude, sa fidélité et sa sensibilité (Mc Leod et al., 1998).

La **justesse** d'une mesure réside dans la concordance entre plusieurs mesures répétées. Dans la pratique, il s'agit souvent d'établir la correspondance entre les valeurs données par la méthode à valider avec des valeurs obtenues indépendamment par un autre instrument correctement calibré (Lawless and Heymann, 1998). La corrélation de la mesure sensorielle avec une mesure instrumentale est par exemple un indicateur de justesse.

La **fidélité** est la répétabilité et la reproductibilité. C'est l'aptitude d'un panel/panéliste à reproduire son jugement dans des conditions d'utilisation définies. Elle s'obtient par l'étude des performances d'un panel et peut être évaluée au niveau individuel ou au niveau du groupe (Pineau, 2006).

La répétabilité de groupe peut être considérée comme un critère de validation, y compris pour ce type de mesures. Il est en effet important qu'une méthode répétée par un même groupe sur les mêmes stimuli fournisse des résultats permettant d'aboutir aux mêmes conclusions.

Le second critère de fidélité correspond à la reproductibilité. Elle est définie comme étant « l'étroitesse de l'accord entre les résultats successifs obtenus avec la même méthode sur une matière identique soumise à l'essai en faisant varier les conditions » (ISO 17025, 2005). On parle de reproductibilité lorsque l'on fait varier d'une répétition à l'autre certaines conditions comme le lieu, l'expérimentateur ou l'instrument de mesure lui-même (Mc Leod et al., 1998).

L'**exactitude** est une combinaison de la justesse et de la fidélité de la mesure. Elle définit le niveau d'accord entre les sujets c'est-à-dire le consensus du panel. L'étude de ce consensus permet d'évaluer la variabilité autour de la mesure.

La **sensibilité** est le pouvoir discriminant du panel. C'est sa capacité à différencier des produits lorsque les différences existent. Le pouvoir discriminant est relié à la notion de répétabilité puisqu'il est d'autant plus difficile d'être discriminant que le niveau de répétabilité est faible (Pineau, 2006). Plus le niveau de répétabilité et/ou l'accord entre les juges est/sont faible(s), et plus il sera difficile d'être discriminant. A l'inverse, un pouvoir discriminant élevé indique que les juges sont suffisamment répétables et suffisamment en accord pour qu'un consensus sur les différences entre les produits soient obtenus. L'utilisation de ce critère pour valider une méthode est parfois remis en cause : selon Boutrolle et al. (2005), il ne s'agit pas toujours d'obtenir le meilleur pouvoir discriminant mais bien de refléter les différences perçues.

1.3. COMPLEMENTARITE DES MESURES

L'analyse des relations entre les données instrumentales et les données sensorielles met en évidence la complexité des mécanismes de la perception et la nécessité d'avoir une approche multifactorielle. Par exemple, la mesure de

L'Indice de Réfraction (IR) du melon semble correspondre à la perception de la saveur sucrée jusqu'à un certain niveau d'IR au-delà duquel le panel ne perçoit plus de différence (Lepinasse et al., 2002). Si effectivement certains critères organoleptiques peuvent influencer de manière prépondérante la satisfaction des consommateurs, celle-ci reste difficile à prédire et ne peut se baser sur la mesure d'un seul paramètre tel que l'IR par exemple.

La mise en œuvre des deux types de mesures permet, par la recherche de corrélations, d'améliorer la compréhension des mécanismes de la perception gustative de l'homme et de rechercher d'éventuels indicateurs capables de prédire la qualité sensorielle finale.

L'analyse sensorielle est la méthode la plus valide pour étudier les caractéristiques organoleptiques et a été récemment utilisée pour décrire le goût de différents fruits tels que la pêche (Esti et al., 1997), la tomate (Causse et al., 2001) ou encore le cassis (Brennan et al., 1997). La problématique de l'amélioration des qualités sensorielles des fruits et légumes frais a été mise en exergue pour le marché de la tomate, où la modification de la texture (augmentation de la fermeté) observées dans les nouvelles variétés est à l'origine de plaintes de la part du consommateur. Pour étudier la relation entre composition de tomates cerises et l'acceptabilité par les consommateurs Hobson et al. (1990) ont montré des différences significatives de saveurs entre des tomates cerise et des tomates de gros calibre. La saveur de la tomate est influencée par la variété et le régime nutritionnel de la plante (Hobson et al., 1990; Petersen et al., 1998). La *sucrosité* et l'*acidité* sont corrélées positivement avec le contenu en sucre et en acide respectivement.

Afin d'identifier de potentiels indicateurs de la qualité et déterminer dans quelles mesures les méthodes d'analyses instrumentales de la qualité peuvent supplanter les méthodes sensorielles, Causse et al., (2001); Saliba-Colombani et al. (2001) ont étudié la correspondance entre les mesures instrumentales et sensorielle de la qualité sur des lignées pures recombinées de tomates et leurs parents. La relation entre les deux types de mesures a ensuite été analysée au regard d'une carte de Quantitative Traits Loci (QTLs, une région de l'ADN à l'origine de l'expression de caractères quantitatifs). Trente-deux caractéristiques physico-chimiques ont ainsi été mesurées (Saliba-Colombani et al., 2001a). Parmi elles, le poids, le diamètre, la fermeté ou encore l'élasticité sont des exemples des mesures physiques et la matière sèche totale, contenu en solide soluble, en sucre, acidité titrable sont des exemples de mesures chimiques. Les résultats confirment le caractère polygénique des caractéristiques étudiées (variation continue). Une forte héritabilité (>0,5) a été mise en évidence pour la plupart des caractères physico-chimiques. Des corrélations phénotypiques ont été trouvées pour 26 des 32 traits étudiés. Des QTLs impliqués dans la variation des caractères sensoriels ont été identifiés et confirment la possibilité d'une sélection assistée par marqueur évoquée plus haut pour une amélioration des qualités organoleptiques.

2. QUALITES DU PAIN ET LEVIERS D'ACTION

Le blé est la céréale la plus cultivée dans le monde avec une production annuelle s'élevant jusqu'à plus de 651 millions de tonnes (FAO, 2010). Il peut être cultivé dans une large gamme d'environnement. La domestication du blé a commencé il y a 10 000 ans au moment de la sédentarisation de l'homme (Shewry, 2009). Les premières formes domestiquées furent l'engrain (diploïde, génome AA) et l'épeautre (tétraploïde, génome AABB) et étaient cultivées dans le sud-est de la Turquie. Jusqu'à l'an mille, l'épeautre était la forme de blé hexaploïde la plus cultivée dans le nord de l'Europe. Le blé à grain nu (froment) a alors supplanté l'épeautre peu après cette date. Le blé tendre est une espèce résultant de l'addition, par hybridation naturelle, des génomes de trois espèces différentes : l'engrain, l'amidonniér et l'Aegilops. Son génome est hexaploïde (génome AABBDD) et composé de six groupes de sept chromosomes chacun ($2n=42$). Sa caractéristique est de présenter un grain nu, il présente alors plus d'intérêt pour l'agriculture car le volume de stockage est nettement diminué et la transformation est facilitée. Avant d'être transformé en pain, le blé tendre était consommé sous forme de bouillie et de galette dans tout le Moyen-Orient.

La sélection moderne a conduit à une augmentation du rendement, permise notamment par l'introduction du gène de nanisme : 60 à 75 % des variétés inscrites au catalogue officiel français possèdent au moins un gène de nanisme. De nombreuses résistances (piétin-verse, oïdium, rouille...) ont été introduites pour diminuer l'utilisation de traitements fongicides (Doré and Varoquaux, 2006). Enfin, la force boulangère, fortement dépendante de la qualité

et la quantité de gluten, a considérablement augmenté et s'est adaptée aux méthodes industrielles de panification. Cependant, au cours des dernières décennies, une corrélation négative entre taux de protéines et rendement est apparue, rendant leur amélioration simultanée impossible.

En agriculture moderne, les espèces de blés cultivées sont : le blé tendre (*T. aestivum*), le blé dur (*T. Durum*) et l'épeautre (*T. spelta*). Le blé tendre est largement cultivé et compte pour 95% des surfaces de blé cultivées (Shewry, 2009). Le pain constitue un aliment de tous les jours en France. Pour cela il est essentiel d'offrir un produit de haute qualité sensorielle et également d'incorporer des méthodes écologiques, acceptable pour les agriculteurs et les consommateurs dans le système de production. Pour induire une transition vers des systèmes agroalimentaires durables, il est nécessaire d'augmenter les efforts de recherche pour répondre aux besoins de l'agriculture biologique et des marchés.

Le pain de froment est un produit issu de la transformation de grain de blé tendre en farine, mélangé, pétri avec de l'eau, du sel et un ferment, levure ou levain. Comme tout produit naturel, le blé subit des variations de tous ordres. La variété, l'environnement et les pratiques de boulangeries telles que le temps de plancher (délai de transformation du blé entre récolte et mouture), le type de mouture sont autant de facteurs de variation, donnant à chaque itinéraire de transformation des caractéristiques nutritionnelles, technologiques et sensorielles spécifiques. Pour optimiser la panification d'une farine en particulier, le transformateur doit pouvoir prédire les aptitudes à la panification de la farine pour adapter la recette. Les meuniers disposent de toute une batterie de méthodes d'analyses pour mesurer les variables capables de prédire l'aptitude à la panification. Ces mesures s'effectuent à différents stades de la transformation. Ce paragraphe présente les différentes étapes de la transformation ainsi que les indicateurs de la qualité qui peuvent être mesurés.

2.1. QUALITES DU PAIN

2.1.1. DE LA RECOLTE A LA MOUTURE

Le blé, après récolte est trié puis stocké dans des silos à grain à l'abri de la chaleur et de l'humidité. A ce stade plusieurs mesures peuvent être réalisées sur le grain: Le taux de protéine, la qualité de la protéine (Gliadine, Gluténine), le taux d'amidon, le taux d'humidité, la composition nutritionnelle. Le rôle de la mouture est de séparer les 3 constituants du grain de blé que sont l'amande farineuse (l'albumen), l'enveloppe (péricarpe et couche aleurone) et le germe et de réduire les particules d'amande en farine. Il existe deux types de mouture, sur cylindre et sur meule de pierre.

Dans le cas de la mouture sur cylindre, le grain de blé est écrasé entre deux cylindres, à plusieurs reprises avec des espacements de plus en plus rapprochés de manière à séparer d'un côté la farine blanche (l'amande), et de l'autre les issues (produits finis de la mouture autres que la farine : enveloppes et germes). Ce type de mouture offre un bon rendement meunier (Quantité grain/quantité de farine) et produit de la farine raffinée (T45, T55). La constitution de farines plus complètes passe alors par la réintroduction de certaines de ces issues. Contrairement à la mouture sur cylindres, la meule écrase tout le grain, et donne une farine contenant des particules de sons micronisés (de type T80).

Dans le cas de la mouture sur meule de pierre, le grain de blé est écrasé entre deux meules de pierres abrasives. Une partie du son est alors réduite en particules très fines qui se mêlent intimement à la farine. Ce type de mouture présente un moindre rendement meunier mais favorise une meilleure conservation des nutriments (vitamines et minéraux) et produit une farine semi-complète à complète (T80 à T150). Les farines sont plus riches en amidons endommagés et en fibre qu'en mouture sur cylindre, de plus, elle entraînerait des protéines de qualité différente (rapport gliadine/gluténine légèrement plus élevé que les farines sur cylindres)(Abécassis et al., 2001).

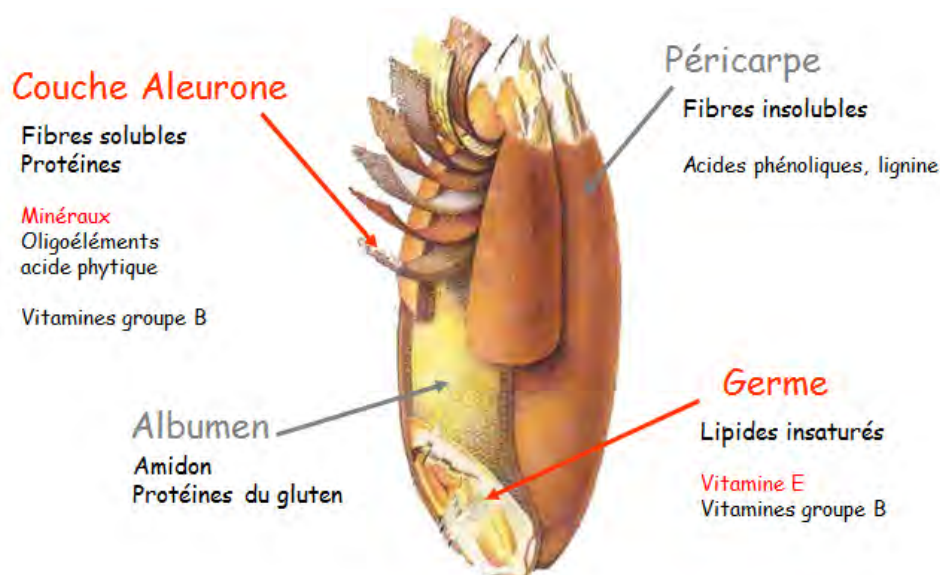


Figure 5: le grain de blé, une structure hétérogène, source: présentation du 6 Novembre 2007, Rémésy, Leenhardt (INRA Clermont-Theix) dans le cadre du programme « Evaluation de la qualité d'un blé panifiable en agriculture biologique et contribution à l'élaboration des qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques. »

a) ANALYSES TECHNOLOGIQUES

La teneur en protéines est mesurée par spectrométrie infra-rouge. Avec d'autres critères comme la force boulangère ou la note de panification au test BIPEA, elle sert de référence et de base pour les prix d'achat du blé. Elle se mesure facilement en routine sur le terrain.

L'indice de chute selon Hagberg-Perten est une mesure indirecte de l'activité amylasique. C'est un indice d'évaluation de la consistance du gel d'amidon formé de farine et d'eau. Cela permet de détecter la présence de grains germés ou en voie de germination.

L'indice de sédimentation ou test de Zeleny est une mesure qui repose sur l'aptitude des protéines de la farine à gonfler en milieu acide. Il correspond à la hauteur du dépôt obtenu après agitation et sédimentation d'une préparation de farine en suspension dans un réactif.

La teneur en gluten humide et gluten index est une mesure d'appréciation des caractéristiques viscoélastique du gluten. Pour cela une préparation de farine est centrifugée à travers une grille perforée, le pourcentage restant sur le tamis à la fin de l'opération est mesuré. Le gluten index est déduit de cette mesure.

Le taux de cendre indique le poids en gramme du résidu minéral contenu dans l'échantillon incinéré.

b) ESSAI A L'ALVEOGRAPHIE DE CHOPIN

Le principal intérêt de l'alvéographe de Chopin est de prédire l'aptitude d'un blé ou d'une farine à être utilisé dans la fabrication de produits de cuisson. Le principe de la mesure repose sur l'étude du comportement d'un échantillon de pâte lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant. Dans un premier temps, le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme de bulle plus ou moins volumineuse selon son extensibilité et éclate. L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe, appelée alvéogramme (figure 6).

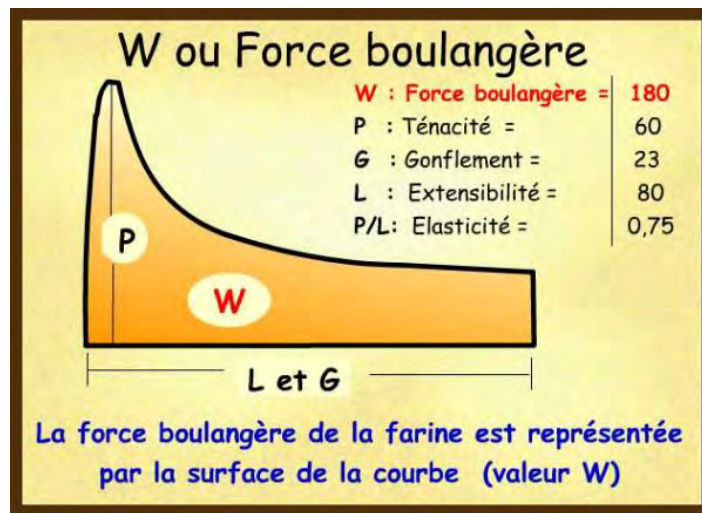


Figure 6: alvéogramme de chopin, source: Boulangerie.net

L'alvéogramme est caractérisé par :

- W : la surface de l'alvéogramme représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine.
- P : il s'agit de la pression maximale enregistrée avant que le disque ne commence à gonfler. P est en relation avec la ténacité de la pâte.
- L : le gonflement maximum de la bulle qui est en rapport avec l'extensibilité de la pâte.
- G : le gonflement G se déduit à partir de L par le calcul : $G = 2,2 \cdot \sqrt{L}$
- P/L : ce rapport donne une indication de l'équilibre entre ténacité et extensibilité de la pâte

2.1.2. PANIFICATION

a) APTITUDE A LA PANIFICATION OU TEST DE PANIFICATION « BIPEA » (NF VO3-716)

La détermination de la valeur boulangère est obtenue par la mise en œuvre d'un protocole normalisé d'un test de fabrication de pains courants français, réalisé par un boulanger spécialement formé. La note totale, sur 300 points, est la somme des observations réalisées au cours du test sur la pâte et le pain (crouste et mie) (Annexe B).

b) QUALITE ORGANOLEPTIQUE

Les arômes et la texture d'un produit de panification sont pour le consommateur des critères majeurs de qualité. Ils sont donc au centre des préoccupations de la filière boulangerie. Néanmoins la complexité des produits de panification, et l'absence de référentiel commun et d'un vocabulaire précis du consommateur rend difficile l'interprétation des différences ou rejets. Les arômes du pain sont nombreux et variés. Ils peuvent être classés en famille d'odeurs : la famille empyreumatique (*torréfié, caramélisé...*), famille boulangerie (*farine sèche, blé germé...*), famille fermentée (*aigre, levuré...*)...



Figure 7: la roue des arômes de pain. Source Groupe Minoterie SA (Copyright ZHAW 2008)

Basé sur plus de 40 ans de recherche sur les arômes du pain, une centaine de composés volatiles a été identifiée dans différents type de pain. Cependant, la présence de certains composés volatiles dans un aliment n'implique pas qu'ils contribuent réellement à l'arôme global. Ainsi, pour corrélérer les occurrences ou la quantité de composés volatiles avec, par exemple, des notes aromatiques plus prononcées ou un arôme global plus intense, des connaissances plus étendues sur les composés aromatiques clés parmi la masse de composés volatiles non odorants est un prérequis pour la caractérisation des saveurs. Ces corrélations peuvent se faire en combinant le système olfactif humain aux mesures analytiques. Des analyses de ce type montrent que les saveurs caractéristiques de la croûte sont reliées au 2-acétyl-1-pyrroline, (E)-2-nonenal, 3-méthylbutanale, 2,3-butanedione, méthional, and (Z)-2-nonenal, tandis que les composés volatiles (E)-2-nonenal, (E,Z)-2,6-nonadienal, (E,E)-2,4-decadienal, 2,3-butanedione, méthional, 1-octen-3-ol, and (E,E)-2,4-nonadienal sont des composés volatiles liés à la mie (In Hee and Peterson, 2010).

2.1.3. QUALITE HEDONIQUE

La saveur du pain est due aux composés volatiles relâchés lors de différentes réactions qui interviennent dans le processus de panification et est caractérisée par plus de 240 composés volatiles aromatiques (In Hee and Peterson, 2010). Quantitativement les principaux composés appartiennent à la famille des alcools, des aldéhydes, des esters, des cétones, des pyrazines et des pyrrolines. Les réactions enzymatiques interviennent dès l'hydratation de la farine et mettent en jeu principalement des amylases, protéases et lipoxygénases. Elles conduisent à la production de sucre réduits qui serviront de substrats aux levures et/ou bactéries. Les réactions thermiques (caramélisation et réaction de Maillard) sont majoritairement responsables des arômes de pain qui sont qualifiés d'empyreumatiques. La caramélisation produit des arômes acides et amers. Les arômes caractéristiques (dominants) de la croûte de pain ont été attribué au 2-acétyl-1-pyrroline (Mottram, 2007) et résultent de la réaction de Maillard qui fait intervenir divers acides aminés et sucres. Ce dernier est instable à cause des réactions d'oxydation et de volatilisation, ce qui explique la disparition rapide des arômes de pain frais lors de son stockage (Johnson et al., 1969).

Au-delà de la simple appréciation des qualités sensorielles, les choix alimentaires sont influencés par des facteurs non sensoriels représentés au niveau personnel par des valeurs. Ces valeurs, selon Schwarz (2004) sont des critères que l'individu utilise pour sélectionner, justifier une action ou évaluation- plutôt que des qualités

inhérentes à un objet. Ainsi la perception globale résulte de l'interaction entre la perception sensorielle et l'état émotionnel (qui, éphémère, est lui-même influencé par des valeurs permanentes). Par conséquent, l'identification du set de valeur porté par chacun des segments de consommateur de produit AB apparaît être une stratégie marketing prometteuse. Khilberg and Risvik (2007) ont tenté cette approche pour comprendre les valeurs qui sous-tendent les intentions d'achat et favoriser le développement de la production et de la consommation de pains biologiques. Deux groupes d'âges ont également été comparés pour identifier des potentielles différences de valeurs et de perceptions. Finalement les consommateurs se répartissent sur deux axes (25% de la variabilité) pour ce qui concerne leur valeur : un premier axe oppose une attitude « d'ouverture au changement » à une attitude « conservatrice », le second axe oppose des valeurs « d'auto valorisation » à des valeurs de « dépassement de soi ». Le groupe de moins de 30 ans est surreprésenté dans le quadrant « ouverture au changement et auto valorisation » et le groupe de plus de 30 ans est surreprésenté dans le quadrant « conservatisme et dépassement de soi ». Au niveau des préférences, les différences entre groupes d'âge se situent essentiellement sur la flaveur, tandis que les moins de 30 ans rejettent la flaveur rance, les plus de 30 ans l'apprécient. La texture n'est pas un critère discriminant entre les classes d'âges, les deux s'accordent sur une texture délicate (douce, élastique et aérée). Finalement les attributs de texture semblent perçus comme des indicateurs de qualités (sensorielles) tandis que les attributs de saveurs sont perçus comme des indicateurs de sécurité (alimentaire). Le rapport qualité/prix recherché par le consommateur a évolué vers une plus grande sensibilité au prix.

Le programme national de recherche « Qualité des blés biologiques et qualités nutritionnelles et organoleptiques des pains biologiques » (*Rapport Final Qualités des blés biologiques et qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques*, 2007) a permis d'éclaircir l'image qu'ont les consommateurs du pain biologique en France. Le pain est un produit fortement ancré dans la tradition française. Le pain biologique a une image de « produit naturel, non trafiqué » et s'oppose à l'image de la baguette. Les consommateurs sont sensibles aux qualités nutritionnelles et sanitaires du produit. Cependant, certains aspects viennent ternir cette image : les consommateurs interrogés se montrent majoritairement déçus de la qualité gustative du pain biologique qu'ils trouvent « trop lourd », « trop acide » avec un « goût particulier ». L'analyse des préférences des consommateurs indiquent qu'ils préfèrent des pains à la croûte épaisse, doré et croustillant, avec une mie alvéolée. Une grande majorité plébiscite une fermentation au levain, qu'ils associent à des méthodes traditionnelles et à la mise en valeur du savoir-faire de l'artisan.

2.2. LES FACTEURS INFLUENÇANT LES QUALITES DU PAIN

Les études évaluant l'impact des différents facteurs sur la qualité finale du blé portent soit sur le grain, soit sur la farine soit sur le pain. Les conclusions sont fonctions de l'échelle d'étude, et leur applicabilité dépendent de leur proximité à la réalité, c'est-à-dire aux conditions réelles d'utilisation. Par exemple, il est difficile de conclure sur la qualité du pain si l'étude porte sur le grain et ne prend pas en compte le processus de panification, dans le cas où la production de blé est bien dédiée à la transformation en pain.

2.2.1. FACTEUR GENETIQUE

Une thèse portant sur l'évaluation de 723 structures variétales de blés tendres menés en AB, a montré la variabilité existante dans le contenu en minéraux des variétés étudiées (Hussain, 2012). Ces résultats indiquent le potentiel génétique qui peut être exploité pour améliorer la teneur en minéraux des variétés de blés. Les variétés anciennes sont celles présentant les plus hautes teneurs en Zn et K et à moindre échelle en B, Cu ; Mg, Ca, P et S. Les résultats de l'étude indiquent une corrélation négative entre le contenu en minéraux et la sélection des variétés modernes. Une évolution historique significative de la composition nutritionnelle a été observée entre variétés modernes et anciennes ce qui suggère les potentiels des variétés anciennes (Roussel et al., 2005). Plusieurs études démontrent le contrôle en partie génétique de la composition nutritionnel du grain de blé (Di Silvestro et al., 2012; Leenhardt et al., 2006). La recherche pour des variétés à forte teneur en Zn et Fe a conduit à une évaluation approfondie de populations de pays (Monasterio, 2000). *Triticum dicoccoides*, *Aegilops tauschii*, *Triticum monococcum* et *Triticum boeoticum* étaient parmi les génotypes les plus prometteurs. Certains de ces génotypes montraient des taux de

142µg/g de Zn, cependant des amendements apportés les années antérieures ont pu jouer sur cette valeur. Une étude portant sur quatre génotypes de blé a mis en évidence l'existence d'une corrélation entre le taux de cendres, de protéines et la concentration en Fe et Zn. La mesure indirecte instrumentale du taux de cendres et de protéines des farines par imagerie spectroscopique proche infrarouge (NIRS) apparaît alors comme un outil rapide d'évaluation des individus en cours de sélection (Ortiz-Monasterio et al., 2007).

Une publication récente vient renforcer ces observations en faisant le lien avec la qualité sensorielle et suggère qu'il existe un potentiel pour la diversité des arômes et saveurs dans le blé (Starr et al., 2013). Les résultats présentent un gradient entre les populations de pays et anciennes, caractérisées par des notes de porridges, d'avoines et de boulgour, et les variétés modernes décrites par des arômes de *riz sauvages*, *malt cuit*, *amer*, *cacao*, *vanille*. Des corrélations entre la teinte foncée du grain, ainsi que la dureté et les descripteurs *cacao*, *malt cuit* et une spécialité danoise *ollebrod* (composé de bière et de seigle) ont été mises en évidence. Cependant, les blés évalués provenaient de huit régions différentes, les différences mises en évidence pouvaient alors provenir de l'environnement, du génotype et de leur interaction. Des liens entre composition nutritionnelles et qualités sensorielles se dessinent. La qualité nutritionnelle du blé peut être définie par un set de variables complexes. La qualité et la quantité de la protéine contenue dans le grain est un premier paramètre impactant les propriétés texturales de la pâte. Parmi les protéines du blé, la gliadine est impliquée dans les propriétés d'extensibilité. De plus, la gliadine est suspectée d'être impliquée dans le développement des sensibilités au gluten par l'inhibition de l'activité de l'alpha-amylase (Štěpánková et al., 2003). Les vitamines et provitamines sont des nutriments vitaux et leur supplémentation dans certains régimes sont essentiels pour traiter certaines maladies. L'hypothèse des « antioxydants » est que la vitamine E, les caroténoïdes et autres micronutriments aux propriétés anti-oxydantes apportent une protection contre les maladies chroniques en limitant les dommages liés à l'oxydation (Meydani, 2002). Le contenu en minéraux est une autre source de bénéfices santé. Les métaux alcalins tels que le potassium ou des éléments alcalinoterreux tels que le magnésium pourraient contribuer au goût du pain de blé. Des variétés à la couleur de grain foncée ont été caractérisées par de fortes teneurs en acide vanillique et ferulique (bio forme des composés ferruliques libres), qui est peut être lié aux arômes de vanille (Liu et al., 2010). Des contenus relativement élevés en ces acides ont été détectés dans les variétés « purple ». Selon Liu et al. (2010) la teinte foncée du grain est corrélée avec le contenu en flavonoïdes. Leur étude montre que cette caractéristique pourrait être liée à une régulation des arômes spécifiques du grain de blé. Les proportions en composés phénoliques libres susceptibles de contribuer à ces arômes peuvent varier de 0,5% à 1% du contenu total en composés phénolique selon la variété (Li et al., 2008). La couleur du grain est liée à la teneur en caroténoïde et est un potentiel facteur impactant la qualité du pain. La lutéine, principal caroténoïde contenu dans le grain de blé, pourrait affecter les arômes du pain en limitant le développement d'héxanal, un composé à l'origine de caractéristiques sensorielles désagréables (Institut National de la Boulangerie Pâtisserie, 2003).

2.2.2. FACTEUR ENVIRONNEMENT : PRATIQUES CULTURALES ET CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES

Afin d'étudier la variation quantitative de sous-unités de gluténine HMW (High Molecular Weight), indicateur de l'extensibilité de la pâte, Zhu and Khan (2002) ont testé six génotypes de blé dur de printemps rouge sur sept sites dans le nord du Dakota. Ils ont montré que la quantité de ces protéines est significativement influencée par le lieu de culture. Dans le blé tendre, la quantité de la sous unité de gluténine HMW est positivement corrélée avec le volume du pain. Ces observations pourraient donc aboutir à une prédiction partielle de la qualité boulangère de blé tendre.

Dans le cadre du projet AGTEC-org (David et al., 2012), des échantillons provenant de 11 essais à long terme (incluant les effets cumulés du labour, de la fertilisation sur la performance et la qualité du blé) et de 12 champs d'agriculteur localisés dans quatre pays différents (Autriche, Danemark, France et Suisse) ont été évalués sur le plan biochimique et technologique (cendre, protéine totale et gluten sec, gluten index et zeleny index, temps de chute et test de panification). Des processus de mouture et des traitements post-récolte (décorticage mécanique, traitement à l'ozone) ont de plus été étudiés pour évaluer leur impact sur les propriétés rhéologiques, nutritionnelles et sanitaires de farine provenant de blés biologiques. Les résultats mettent en évidence une dépendance de la qualité

du grain au génotype, à l'environnement et aux pratiques culturales. Dans certains pays, le contenu et la composition en protéines de génotypes cultivés en AB étaient équivalents à leur homologue conventionnel.

Haglund et al. (1998) ont montré que le taux de protéines (lié aux pratiques culturales) affecte significativement le volume du pain. Or les blés produits en bio présentent des quantités de protéines moindre qu'en conventionnel. En effet, dans la culture du blé, une plus faible application d'azote minérale induit un moindre taux en protéines, ce qui affecte les qualités de transformation du blé. Une différence de 1 à 2% dans le contenu en protéines est suffisante pour marquer une différence dans le volume du pain (Finney and Barmore, 1948). La norme admise est un taux supérieur à 8 % pour être considéré comme panifiable. Les farines ayant un taux inférieur à 12% de protéines requièrent une adaptation des pratiques boulangères, un temps de pétrissage plus long par exemple, mais donne des pains de bonne qualité. Dans son étude, Haglund et al. (1998) a mis en évidence un comportement totalement différent de farine issues du système de production « écologique, sans labour, sans élevage, couverture trèfle. Les pains issus de ce système présentaient une intensité aromatique et gustative supérieure. L'hypothèse avancée par les auteurs relie la petite taille des grains à la présence de minéraux dans la farine. En effet, du fait de leur petite taille, une plus grande quantité de péricarpe se retrouve dans la farine donc plus de minéraux. Ce sont ces minéraux qui confèreraient une densité aromatique et gustative plus importante. Les pains issus de blés cultivés selon des processus écologiques présentent une couleur significativement plus foncée et un arôme significativement plus intense.

2.2.3. FACTEUR PRATIQUES BOULANGERES

a) MOUTURE

Deux types de moutures sont possibles : mouture sur cylindre ou sur meule de pierre. Les deux types de mouture fournissent donc des farines physiquement et chimiquement différentes qui induisent des différences sensorielles perçues au niveau du pain.

La quantité d'amidons endommagés, une caractéristique inhérente à la variété de blé, accélère l'activité amylasique et conduit à une diminution de la valeur du l'indice de chute de Hagberg. Cela à une conséquence sur la texture, les pains sont alors plus *juteux*. La mouture sur meule a pour effet d'augmenter le taux d'amidon endommagé et induit donc une différence de texture entre des pains issus des deux types de mouture (Hoseney, 1998).

Le son joue un rôle également sur la texture finale du pain. En effet, il contient des pentosanes, des glucides à fort pouvoir absorbant qui ont un effet notable sur le pouvoir d'hydratation de la farine. Ils se distinguent par leur caractère de solubilité ou d'insolubilité dans l'eau et participent au phénomène du gel durant la cuisson de la pâte. Des différences d'absorption d'eau dépendant de la taille de ces particules apparaissent être à l'origine de la croute compacte des pains issus de farine de cylindre. De plus, le son influence la structure du gluten et diminue la valeur boulangère de la farine. La taille des particules pourrait être un des facteurs déterminants de l'absorption d'eau. Le son contient des composés actifs (enzymes) qui modifient, en fonction de leur taille et de leur concentration, le réseau de gluten. Les résultats montrent de grosses différences de texture entre les deux processus de moutures (Kihlberg et al., 2004).

Les pains issus des farines de cylindres sont perçus plus doux et moins aromatiques. Ces farines sont caractérisées par de grosses particules plates de son. La dégradation des carbohydrates en sucre est accélérée par le taux d'amidon endommagé, tandis que la dégradation des particules de sons (à l'origine des composés aromatiques tels que l'arôme de torréfaction) est ralentie par la grosse taille des particules. Dans les farines de meule, l'absorption d'eau est moindre, ce qui pourrait activer la réaction de Maillard et développer les arômes de torréfaction.

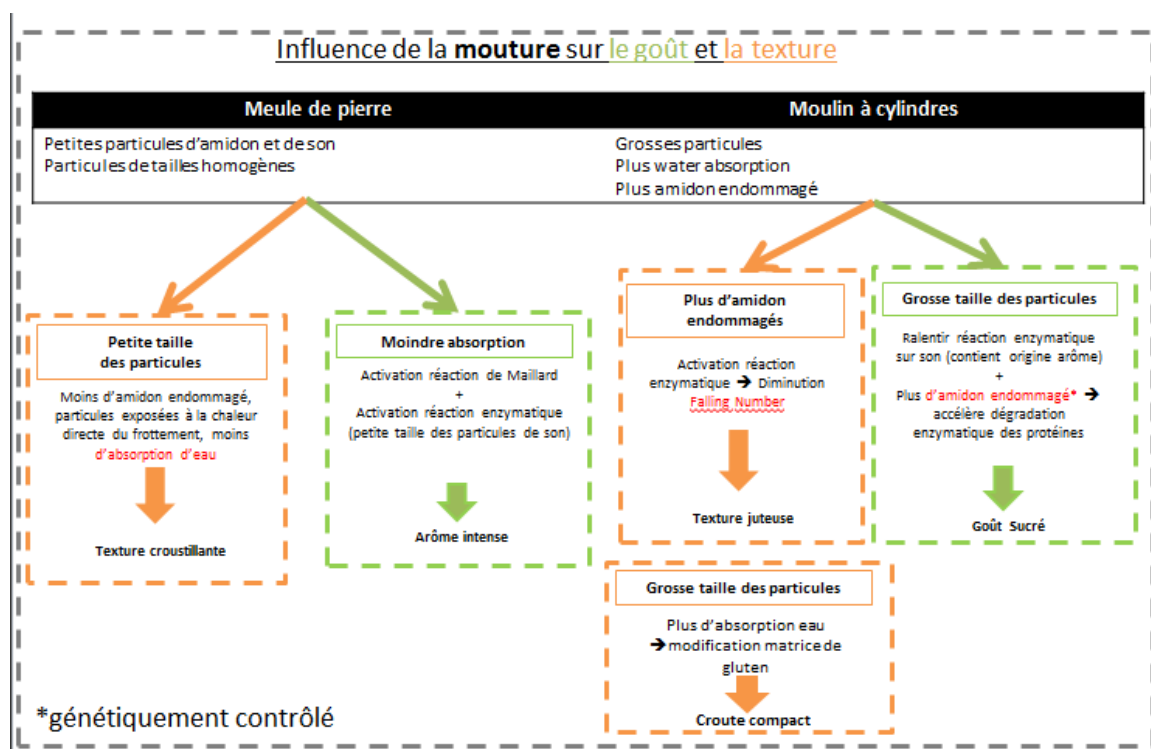


Figure 8: influence de la mouture sur les caractéristiques sensorielles du pain, inspiré de (Kihlberg et al., 2004)

b) FERMENTATION AU LEVAIN

La principale fonction du levain est de faire lever la pâte par une production de gaz. La fermentation est la transformation de certaines substances organiques par des micro-organismes. En panification, les levures et bactéries transforment les sucres présents dans la farine en gaz carbonique. L'écologie microbienne de la fermentation au levain présente plus de 50 espèces de bactéries lactiques (LAB), principalement du genre *Lactobacillus* et plus de 20 espèces de levures, dominées par le genre *Saccharomyces* et *Candida*. Selon leur activité fermentaire, les levains jouent un rôle important sur l'aspect, l'odeur, la texture le goût et la conservation des produits de panification. Les mécanismes en jeu dans le levain et leurs applications sont complexes et nombreux. Durant la fermentation au levain, les bactéries lactiques produisent un certain nombre de métabolites dont l'effet positif sur la texture et la conservation a été démontré. Ces métabolites (exopolysaccharides et acides organiques, par exemple) affectent les protéines et la fraction d'amidon de la farine. De plus, l'augmentation du pH associée à la production d'acides entraîne une augmentation des activités des protéases et amylases, permettant d'augmenter la durée de vie du produit de la panification (Arendt et al., 2007). Ainsi la composition écologique de chaque levain influence spécifiquement la qualité du pain, dû à ces différences d'acidification et de métabolisme au sein même des lactobacilles. Les pains obtenus à un pH de 4,5/5, avec un levain où ont été ajouté 5/10% de *Lb. Plantarum* et 5/15% de *Lb. Sanfranciscensis*, sont préférés en terme d'odeur et de flaveur (Salim-ur-Rehman et al., 2006). Des évaluations sensorielles de levains de blé montrent que des pains fermentés à partir de levain composé de *Lb. Sanfranciscensis* présentent une odeur et un goût plaisant, légèrement acide, tandis que ceux fermentés avec *Lb. Plantarum* présente un goût acide métallique déplaisant. Ces évaluations sensorielles, couplées à des analyses chimiques des composés de flaveur montrent que les flaveurs associées au pain sont reliées à la propanone, au 3-méthylbutanal, à l'alcool benzyl et au 2-phényléthanol. Une tendance aujourd'hui dans la production de pain au levain est d'initier la fermentation du levain en ajoutant des cultures « starters » (appelés aussi ferment panaire, mélange de bactérie et levure sélectionnées et stabilisées), qui facilitent le démarrage du levain (obtention d'un levain tout point en moins de 24h) et le développement d'arômes spécifiques (Hansen and Schieberle, 2005).

La pâte à pain est un système multi-phases et multi-composants comprenant des protéines polysaccharides, des lipides, des molécules d'eau, des particules de gaz et d'autres nutriments mineurs. Elle a une structure mousseuse,

avec des bulles de gaz qui ne cessent de grossir, dispersées dans une phase aqueuse semi-solide d'apparence homogène. L'introduction de levain dans la pâte a pour effet de la rendre plus douce et moins élastique (Schober et al., 2003). L'adaptation du temps de fermentation au levain permet d'obtenir un pain de bonne qualité avec une grande quantité de gaz et une capacité de rétention gazeuse suffisante pour la levée au four.

Un autre constat important est l'influence de la technique de fermentation employée (levure ou levain) sur les qualités sensorielles du pain. L'usage du levain dans la panification a connu un regain d'intérêt ces dernières années comme moyen pour améliorer la qualité et la flaveur du pain. Le levain est considéré « mature » lorsqu'il a atteint un certain degré d'acidification, pH compris entre 3,6 et 4. Le gaz produit permettant la levée de la pâte provient en grande partie des bactéries lactiques hétérofermentaires (voie de catabolisation des sucres qui conduit à la formation d'acide lactique, de CO₂ et d'éthanol ou d'acétate) pour le levain traditionnel (Schober et al., 2003) et par les levures. Il a été montré que l'association d'une LAB hétérofermentaire à une levure permet d'accélérer la fermentation, tandis qu'une LAB homofermentaire (dégradation des sucres par glycolyse conduisant à la formation de pyruvate puis de lactate) associée à une levure ralentit la fermentation mais produit plus de dioxyde de carbone. Dans l'optique d'optimiser le processus de fermentation au levain pour améliorer les qualités sensorielles (goût et texture) du pain, Katina et al. (2006) ont comparé les qualités sensorielles de pains ayant subi trois types de fermentation : deux levains composés respectivement de *Lactobacillus brevis* et *Lactobacillus plantarum*, un composé de levure (*S. cerevisiae*) et un mélange de LAB/levures étudiées. D'autres paramètres de la fermentation ont été testés : le contenu en cendre (3 modalités), le temps et la température de fermentation. Le facteur déterminant de l'arôme global du pain est le contenu en cendre, plus il est important, plus les arômes de *piquant*, de *grillé* et la *persistance en bouche* sont intenses. L'augmentation du temps de fermentation a le même effet avec en plus l'action de réduire l'arôme de *frais*. Concernant l'utilisation des starters, l'intensité du *piquant*, de l'arôme de *frais*, de l'arôme global et la persistance en bouche peuvent être modifiées par l'utilisation de levain (LAB ou LAB+levure). Le degré d'arôme *grillé* de la croûte peut être augmenté uniquement avec un levain à base de lactobacilles. Les effets des deux lactobacilles sur le goût ont pu être identifiés. Une différence de comportement entre les deux LAB a été mise en évidence : l'utilisation de bactéries homofermentaires (*L. b. brevis*) permet d'augmenter l'arôme global après un temps de fermentation court, ce qui n'est pas possible lorsque l'on utilise des bactéries hétérofermentaires (*Lb. plantarum*). Avec *Lb. brevis*, une plus grande intensité de la flaveur *piquante* et un arôme moins intense de *frais* ainsi qu'un arôme de *grillé* plus intense sont obtenus après 14h de fermentation. Avec *Lb. Plantarum*, une plus grande intensité des attributs cités ci-dessus est obtenue après 20h de fermentation. Le temps de fermentation ainsi que la température de fermentation agissent également sur les caractéristiques de flaveur du pain.

Les interactions entre les cultures starters et les composés de la farine jouent également un rôle important dans la production de composés de flaveur. Une céréale particulièrement favorisée par le levain est le seigle, car elle contient des précurseurs de flaveurs tels que des acides aminés, des acides gras et des composés phénoliques qui sont convertis en composés aromatiques lors des différentes étapes de la panification (Hansen and Schieberle, 2005). Le levain permet également d'améliorer la densité nutritionnelle du pain en jouant sur la biodisponibilité des minéraux et en diminuant l'index glycémique (Poutanen et al., 2009). En effet, en ajustant le pH, la dégradation des phytates naturellement présents dans la couche d'aleurone est favorisée. Ces derniers limitent la disponibilité des minéraux. Ainsi l'utilisation du levain augmente la biodisponibilité des minéraux. La fermentation au levain est la seule alternative disponible pour diminuer l'index glycémique. La production d'acides organiques (lactique, acétique, propionique) par les bactéries diminue le taux de digestion du gluten et prolonge la durée de la vidange gastrique. Un autre potentiel bienfait du levain est de diminuer l'intolérance au gluten par sa dégradation (Di Cagno et al., 2002). En effet, les LAB semblent hydrolyser les peptides dérivés de la gliadine, impliqués dans les maladies cœliaques. Il serait alors possible de sélectionner des LAB pour optimiser l'hydrolyse de peptides impliqués dans l'intolérance aux céréales.

Ainsi de nombreux leviers d'actions sont mobilisables de la fabrication du levain à la conduite de la fermentation dans le pain et font varier la concentration en acides lactique, acétique et composés aromatiques. Des instituts (Institut National de Boulangerie Pâtisserie) et firmes spécialisées en fabrication de ferments ont publié des documents recensant les impacts sensoriels de différentes conduites de fermentation au levain. Des températures

élevées ou une faible hydratation du levain favoriseraient par exemple le développement des bactéries lactiques homofermentaires et donc la production d'acide lactique. Le pétrissage intensif semblerait favoriser la production d'acide organique volatile désagréable, et la vitesse de pétrissage serait moins pénalisante que la durée car elle préserverait les caroténoïdes. Ces informations sont intéressantes pour comprendre les mécanismes en jeux dans l'élaboration des arômes du pain mais difficilement applicables par le paysan-boulangier au vu de la diversité des pratiques dans la filière dont une caractéristique est l'absence de formation boulange. Par exemple, si un levain solide et chaud favorise la production d'acide lactique et un levain liquide et froid d'acide acétique, qu'en est-il d'un levain solide et froid ? Il semble en tout cas que la teneur du levain (lactique, acétique, alcoolique) à un impact important sur la qualité finale du pain, notamment une forte acidité pourrait masquer les différences de farines.

c) INTENSITE DE PETRISSAGE

L'intensité de pétrissage influence fortement la texture du pain. Une faible intensité de pétrissage a pour effet d'augmenter le volume du pain, bien que la différence soit moins perceptible quand le taux de protéines est élevé, et de donner une couleur plus claire à la mie. Une forte intensité de pétrissage a des effets négatifs sur le pain : la pâte présente une moindre élasticité et donne des pains plus secs.

2.2.4. INTERACTION GENOTYPE*ENVIRONNEMENT

Dans le cadre du projet européen QualityLowInputFood (QLIF), qui vise à améliorer la qualité, assurer la sécurité sanitaire et réduire les coûts dans la chaîne de production biologique et faibles intrants, Ploeger et al., (2008) ont comparé la qualité sensorielle de sept variétés de blé produites selon deux conduites de cultures (fertilisant/système inoculum). Un panel d'une dizaine de dégustateurs entraînés a mis en évidence des différences significatives sur les attributs d'apparence et de texture entre les variétés. Ces différences étaient de plus influencées de manière plus significative par la variété que par le système de culture.

2.2.5. INTERACTION ENVIRONNEMENT*BOULANGER

Comme précisé précédemment, des farines soumises à différents taux d'extraction, donnent des types de pains différents avec des couleurs de croustes allant du crémeux au marron pâle. Le volume du pain diminue lorsqu'on ajoute du son dans la farine mais la densité nutritionnelle est améliorée. Dans son article, Khilberg et al. (2004) démontre que la technique de mouture a un impact plus important sur les qualités sensorielles que le mode de production (système de culture) ou la formulation de la pâte (quantité de farine plus ou moins importante dans la pâte). Une mouture au cylindre confère au pain une plus grande jutosité et compacité, tandis que la meule de pierre conduit à des pains plus croustillants, aux arômes de céréales prononcés et ayant une salinité supérieure. L'influence du processus de mouture peut s'expliquer par trois points : différences qualitatives et quantitatives dans les particules de sons, de germe et d'endosperme et les processus engendrés par ces différences. Lors de la mouture, lors du premier contact entre le grain et la roue, la peau du son s'en va et l'endosperme se casse. Contrairement à ce qui a été démontré dans Haglund et al. (1998), l'auteur montre ici que l'intensité de pétrissage n'a pas d'effet significatif sur les attributs sensoriels. La mouture à la pierre a pour effet d'améliorer la qualité boulangère de la farine. Cependant, ces résultats sont contredits par ceux issus du projet sur l'évaluation de la qualité de blés panifiables en AB cité précédemment (Abécassis et al., 2001). Les échantillons AB sont caractérisés par un taux de cendres élevé et un faible poids volumique. Ces résultats sont à mettre en relation avec l'impact du stress de culture sur le développement de l'endosperme.

Pour approfondir les connaissances sur les facteurs moins dominants, Kihlberg et al. (2006) ont recommencé l'expérience avec de la farine blanche pour s'affranchir de l'influence du son. Les particules de son n'intervenant plus sur la matrice de gluten, les caractéristiques de textures et volumiques sont apparues alors uniquement liées aux propriétés des protéines de gluten. L'étude du facteur année de récolte vient compléter le schéma, en effet, les propriétés du sol, le climat influence également la qualité du blé (Zhu and Khan, 2002). Il a été démontré que l'élévation du taux d'azote dans les fertilisants (avec différents fertilisants organiques et urée) influence la valeur

boulangère des blés (Fredriksson et al., 1998, 1997) mais ces effets diffèrent entre les cultivars et le volume de la mie n'était pas expliqué par le contenu en protéine uniquement. En comparant la qualité des protéines entre agricultures conventionnelle et biologique, les farines issues du système biologique présentent moins de protéines résiduelles et montrent une valeur biologique plus faible qu'espérée compte tenu de la teneur en matière azotée (Orth and Bushuk, 1972). Une corrélation positive entre le contenu en protéine résiduelle et le volume de la mie a été mise en évidence.

La référence pour l'évaluation de la qualité boulangère en filière céréales-meunerie est la teneur en protéine. Ce seul indicateur définit actuellement le prix de vente des blés et contribue à la dévalorisation des blés biologiques qui présentent généralement des taux inférieurs à ceux relevés dans la filière conventionnelle. Ces blés sont pourtant panifiables et des études (Abécassis et al., 2001) montrent que d'autres indicateurs tels que la qualité des protéines, la quantité de gluten contribue à l'aptitude à la panification des blés. Des expérimentations avec différents fertilisants, en vue d'augmenter le contenu total en azote, a mis en évidence des différences selon les variétés de blés et des corrélations positives entre rendement panifiable (bread yield) et contenu en azote (Fredriksson et al., 1997). Les résultats montrent un facteur « année de récolte » dominant sur les facteurs « système de culture » et « technique de panification ». L'année de récolte semble induire des différences de textures opposant des pains compressibles, résistants à la mastication, pour des blés récoltés en 1999 à des pains juteux et élastiques pour des blés récoltés en 2000. Un gradient sur les « pratiques culturales » est observé et corrobore les travaux antécédents : les blés biologiques ont tendance à donner des pains à la croute compacte et résistante à la mastication. Une corrélation positive entre la force de la pâte (mesurée par sa résistance au farinographe) et la texture ferme, résistante à la mastication a été mise en évidence. L'auteur démontre également l'intérêt d'utiliser des indicateurs physico-chimiques (tels que les données du farinographe) qui permettent d'adapter la quantité de farine dans la pâte et révéler ainsi le potentiel des variétés. Des pains dont la recette a été adaptée de cette manière présentent une texture plus élastique et plus douce que pour une quantité de farine fixe. Les systèmes de culture, dont l'impact est moindre, jouent principalement sur les arômes de son, de noisette et de céréales ainsi que sur l'intensité de la couleur.

2.2.6. INTERACTION ENVIRONNEMENT*GENOTYPE*BOULANGER

Une équipe de chercheurs suisse ont étudié pour la première fois l'interaction génotype * environnement * boulanger (Brabant et al., 2007). Deux panels (un panel experts et un panel dégustateurs) ont évalué sur plusieurs années un grand nombre de variétés (15 variétés pour les experts, 54 variétés par les consommateurs) issues de différents lieux et panifiées selon différentes pratiques (variation du temps d'apprêt). Les différences de notes gustatives et olfactives se sont révélées faibles entre les variétés. Par contre d'une année à l'autre ou d'un lieu à l'autre, les mêmes variétés n'ont pas donné les mêmes résultats ce qui démontre l'influence de l'environnement sur les qualités de la variété. Cependant toutes les variétés testées étaient des variétés modernes, et comme rappelé plus haut, les programmes de sélection moderne ont contribué à rétrécir la base génétique des blés, ce qui limite les potentielles variations au niveau des arômes. De plus, les pains étaient panifiés avec de la farine T55 (blanche), la moins susceptible de favoriser une différenciation et de présenter les particularités spécifiques de chaque variétés car réduite à l'albumen. Czerny and Schieberle (2002) ont identifié et comparé des farines complètes et raffinées (T55) durant la fermentation au levain. Ils ont ainsi montré que la farine et le type de farine sont les principaux facteurs à l'origine de la production des arômes, la farine complète présentait des arômes et saveurs plus intenses.

Les facteurs influençant la qualité nutritionnelle et sensorielle du pain sont nombreux et variables, pour certains incontrôlables (facteur climatique). Cependant, il est possible d'agir à chaque étape de la chaîne de production, depuis le champ jusqu'à l'assiette, pour optimiser la qualité du pain. En effet l'amélioration de la densité nutritionnelle des pains pourrait contribuer à l'amélioration de leur qualité sensorielle. Dans le champ, la sélection de variété identifiée comme riche en nutriment est une première étape importante. Les bénéfices additionnels des pratiques agrobiologiques peuvent améliorer de façons substantielles la composition en antioxydant et nutriments. Pour synthétiser il apparaît que les pains biologiques ou issus de farine de meule (ou complète) présentent des

*caractéristiques nutritionnelles et sensorielles particulières qui seraient attribuées à l'endosperme (son). Plus particulièrement, les caroténoïdes contenus dans le blé limiteraient la formation d'héxanal, composé responsable de l'altération du goût. La plupart des études se sont focalisées sur l'effet d'un facteur sur la qualité finale mais très peu d'études s'intéressent à l'interaction G*E*B, problématique au centre des préoccupations de la filière pain intégrée. Enfin l'influence de la variété sur le goût du pain a été très peu considérée par la sélection conventionnelle.*

Facteurs influençant la qualité nutritionnelle, sensorielle et hédonique du pain

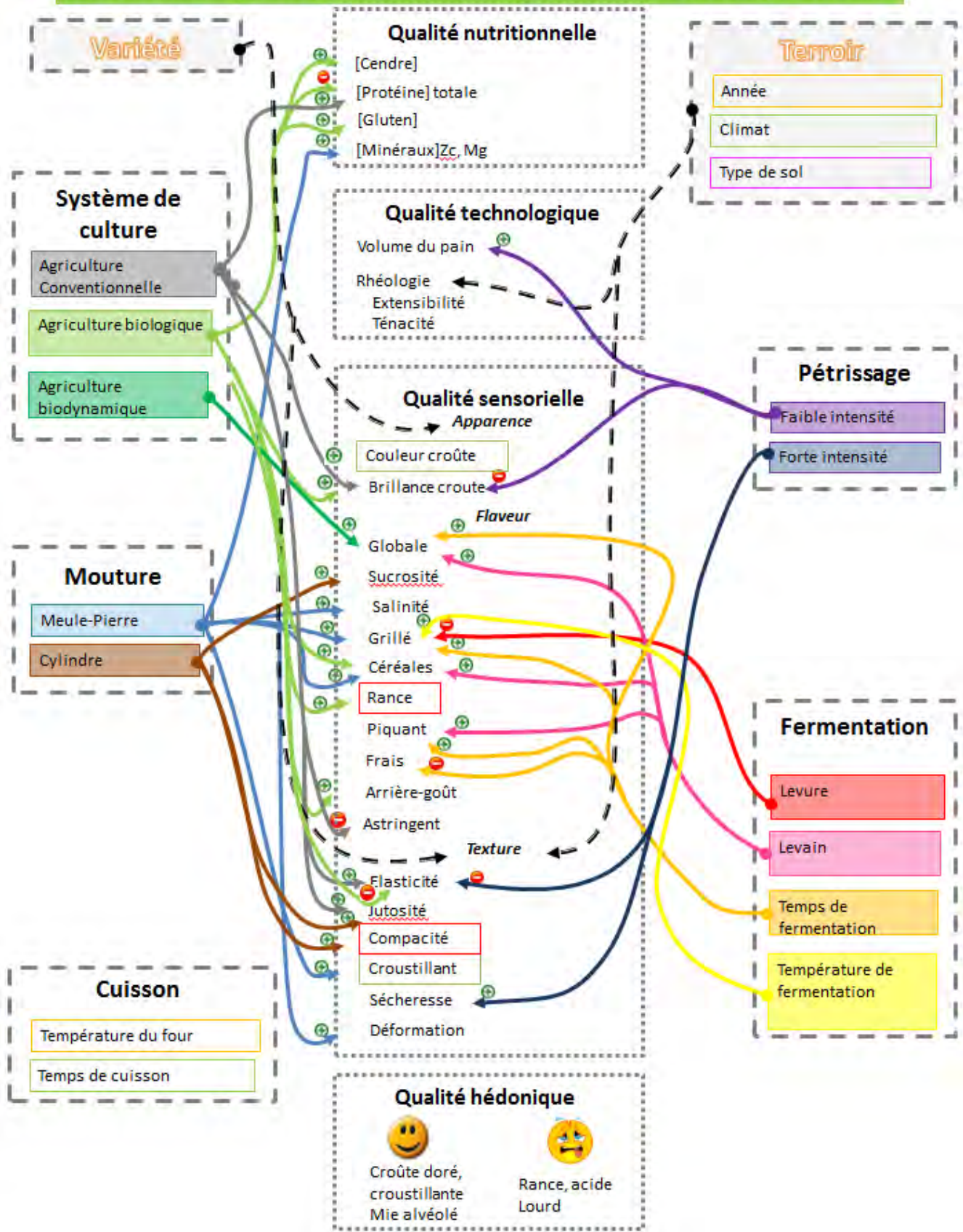


Figure 9: facteurs influençant la qualité nutritionnelle, sensorielle et hédonique du pain

3. QUALITES DU BROCOLI ET LEVIERS D'ACTION

Les choux croissent à l'état sauvage sur les falaises littorales de l'Europe. L'éloignement géographique des populations de choux a favorisé leur différenciation et a donné lieu à de nombreuses sous-espèces (*oleracea* le long de la mer du Nord, *robertiana* sur la côte méditerranéenne, *insularis* en Corse...).

Le chou pommé aurait été introduit par les romains en Angleterre (Gates, 1953). Il a ensuite été domestiqué en plusieurs endroits simultanément en Europe. Nos choux occidentaux sont le fruit de la diversification de plusieurs espèces méditerranéennes (Gilles, 1941). Par sélection, ils auraient ensuite évolué vers des formes variétales se rapprochant de plus en plus du chou-fleur. Les brocolis se caractérisent par une modification de l'appareil reproducteur (hypertrophie des rameaux pré-floraux), les boutons floraux étant bien différenciés à la récolte (Doré and Varoquaux, 2006). Leur centre de diversité est en Italie. Les premières formes de brocoli sont « à jets ». Ces derniers ont été couramment cultivés en France par les maraîchers jusqu'au début du siècle, mais ont disparu, alors que le type « calabrese », qui était alors peu cultivé, a remplacé cette forme « à jet » depuis 1980. Les variétés populations fermières de chou-fleur ont alors été remplacées par des variétés populations améliorées (plus homogènes) puis par des variétés hybrides F1 auto-incompatible et mâles stériles (CMS). L'introduction de la CMS, qui représente un tournant dans la sélection du chou, permet aux producteurs de semences de contrôler l'hybridation. Cette technique n'est cependant pas autorisée en Agriculture Biologique. Il en résulte que très peu de variétés modernes de brocolis (exemptes de CMS) sont actuellement disponibles pour la culture et la sélection en AB : les variétés 'Marathon' (Sakata seed) et 'Samson' (Johnson seeds). De plus, la forme de la tête a évolué vers un type compact (*crown*) qui repose sur une base génétique très étroite.

A la suite d'une décennie d'augmentation rapide de la production et de la consommation de brocoli, les ventes et la production ont commencé à stagner en Europe ces dernières années. En France, la production de brocoli a triplé pendant la décennie 1990 puis s'est stabilisée autour de 30 000t (Baros, 2003). Les producteurs tentent de contrer cette tendance, en diversifiant l'offre, notamment en introduisant des nouvelles variétés colorées (Schonhof et al., 2004). Cependant l'acceptation de tels produits par le consommateur n'est pas évidente, d'autant que le processus d'innovation variétale demande d'importants efforts de la part des producteurs. C'est ainsi que certains auteurs se sont intéressés aux préférences du consommateur concernant le brocoli.

En France, le bassin de production principal est la Bretagne qui produit trois quarts de la production nationale. Ce produit présente deux débouchés : la surgélation et le marché du frais. La période de production s'étend d'octobre à février et de juin à novembre. 32% des achats par les ménages ont lieu en hypermarché, 31% en supermarché, 21% sur les marchés et 12% chez des spécialistes en magasin. Les principales variétés commercialisées sont du type « crown ». Ils présentent une grosse tige, des branches très courtes insérées au sommet de la tige et une pomme compacte et bombée. Marathon, Chevalier et Monaco sont les trois plus importantes variétés cultivées. Comparé aux autres brassicacées (choux, choux de bruxelle), le brocoli présente une faible saveur et astringence.

Selon une enquête du CTIFL (Baros, 2003) le brocoli serait encore méconnu des consommateurs. On ignore son origine, sa provenance, s'il s'agit d'un légume nouveau ou ancien. Il bénéficie cependant d'une image de produit facile et rapide à préparer doté d'atouts nutritionnels indéniables. Les freins à l'achat du brocoli sont d'ordre hédonique : le fait de ne pas l'aimer. Cependant, même si l'entourage ne l'aime pas, certains consommateurs en achètent pour leur « plaisir solitaire ». Finalement un effort de communication en mettant en avant la praticité et la facilité de préparation mais aussi son parfum, sa saveur et sa texture devrait permettre d'augmenter sensiblement sa consommation.

3.1. QUALITES DU BROCOLI

3.1.1. QUALITE OBJECTIVE

Le goût typique du brocoli est dû aux glucosinolates (Glucobrassicine, Sinigrine, Glucoiberine, Glucoraphanine) et aux produits de leurs dégradations (Isothiocyanates et Cyanides), alcools (Pentanol, Pentanal, Hexanal, Heptanal, Nonanal), acides aminés sulfurés et acide gras libres.

Pour mieux comprendre les composés et les facteurs (culturels et post culturels) à l'origine des qualités sensorielles du brocoli (et des brassicacées) et en améliorer ses qualités organoleptiques, certains auteurs ont tenté de corréler des mesures instrumentales et sensorielles (Barrett et al., 2000; Hansen et al., 1997; Jacobsson et al., 2004; MacLeod and Nussbaum, 1977; Padilla et al., 2006; Radovich et al., 2004). Ces études ont permis de préciser les caractéristiques sensorielles du brocoli. L'arôme de brocoli est caractérisé par des notes de *foin*, de *cosse de petits pois*, d'*artichaut*, de *moutarde*, (Hansen et al., 1997) d'*herbe fraîchement coupée* et de *chou cuit* (Jacobsson et al., 2004). Au niveau du goût et de la flaveur, les descripteurs identifiés sont : des notes de *verdure*, dues aux alcools et aldéhydes provenant de la dégradation des acides gras libres, des notes de *choux*, dues au contenu en glucosinolate (sinigrine principalement) et en acide aminé sulfuré (et aux produits de leur dégradation enzymatique) qui peut se décomposer en goût *amer* et *piquant*. Finalement la texture est caractérisée par sa *fibrosité*, sa *fermeté* et son *croquant*.

La flaveur du brocoli peut se diviser en flaveurs provenant de composés caractéristiques de l'espèce chou et de composés volatiles communs (Hansen et al., 1997). Les composés volatiles caractéristiques des Brassicacées sont dus aux acides gras insaturés et aux aminoacides, plus particulièrement aux dérivés volatiles des glucosinolates isothiocyanates et cyanides provenant de la dégradation du sinigrine, glucoiberine et glucoraphanine (Mithen et al., 1997). Parmi les glucosinolates, les notes de *choux* sont dues aux glucosinolates et aminoacides sulfurés et aux produits de leur dégradation, parmi eux la sinigrine est le principal responsable. Les notes de *verdure* du brocoli cuit ont pour origine les alcools et aldéhydes résultant de la dégradation enzymatique des acides gras libres durant le processus de cuisson.

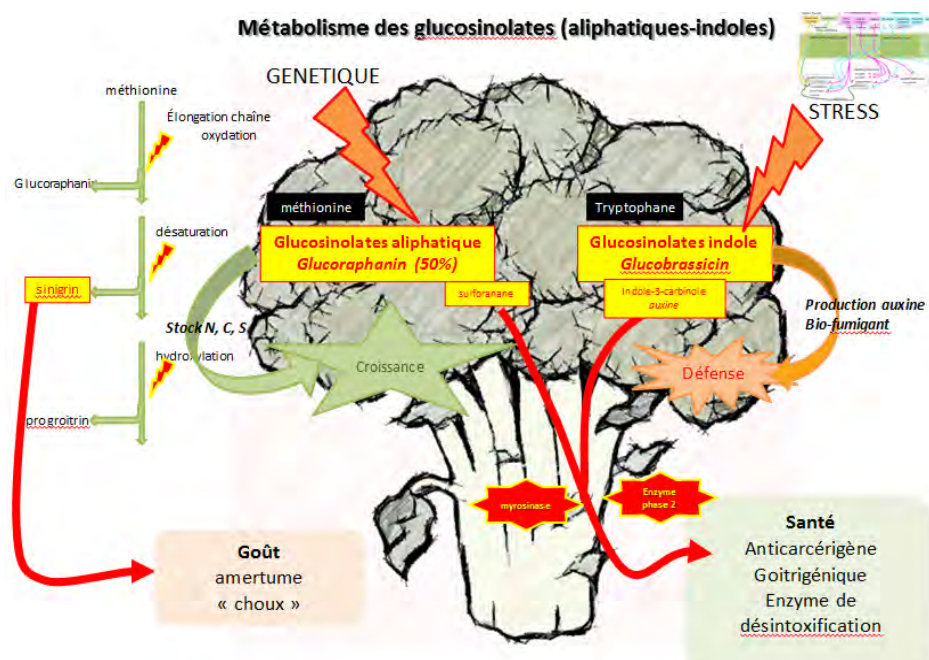


Figure 10: schéma représentant métabolisme des glucosinolates dans le brocoli

Les glucosinolates forment une classe uniforme de thioglucosides, ils sont dérivés d'acides aminés : les glucosinolates aliphatiques dérivent de la méthionine tandis que les glucosinolates indoles dérivent du tryptophane. Parmi les glucosinolates aliphatiques, le glucoraphanine représente environ 50% des glucosinolates totaux présent dans le brocoli. Parmi les glucosinolates indole, on trouve le glucobrassicin, en moindre quantité dans le brocoli, dont le produit de dégradation présente des propriétés protectrices contre le cancer du poumon et dont la chaîne de régulation est indépendante de celle du glucoraphanine (Jeffery et al., 2003).

D'autres glucosinolates non dégradés contribuent à l'amertume et leurs produits de dégradations provoquent un goût astringent et une réponse lacrymale lors de la mastication (MacLeod and Harris, 1978; Steinmetz and Potter, 1991). Schonhof et al. (2004) confirment cette hypothèse en combinant analyse instrumentale des contenus en différents glucosinolates et analyse sensorielle. Une corrélation multiple significative ($R^2=0,89$) a été mise en évidence entre l'attribut *amer* et le contenu en sinigrin, gluconapin, progoitrin, glucobrassicin et néoglucobrassicin. Ainsi deux types de glucosinolates agissent sur le goût amer : les alkényles glucosinolates et les indoles glucosinolates. Ils ont également démontré que les attributs *sucrés* et *amertume* étaient intimement liés.

Brückner et al. (2005) ont réalisé pendant trois années consécutives des profils sensoriels de brocolis verts, violets et à jets et de choux fleurs blancs, violets et pyramidaux. Les cultivars ont pu être différenciés sur une grande majorité des attributs mais les plus discriminants étaient *amertume*, *sucrosité*, *flaveur de brocoli* et *chou-fleur*, *flaveur piquante*, *note de verdure* (green/grassy), *texture juteuse* et *croquante*, *arrière-goût piquant* et *amer*. L'analyse en composantes multiples montre une dispersion des individus sur d'une part le *sucré*, l'arôme de *chou-fleur* et le *croquant* et d'autre part l'*amertume*, le *piquant* et les notes de *verdure*. La flaveur du chou-fleur 'Rosalind' est apparue plus proche du brocoli que du chou-fleur. Le brocoli à jet s'est avéré particulièrement *amer* et *piquant* et a été peu apprécié des consommateurs alors que le brocoli 'Viola' se situe en intermédiaire, relativement peu *sucré* et peu *amer* et est relativement apprécié (2^e position derrière 'Marathon'). Le contenu en sucre de la plante n'apparaît pas corrélé à l'intensité du goût *sucré* perçu (les brocolis les plus *sucrés* ne sont pas ceux présentant le contenu en sucres le plus important) alors que le contenu total en glucosinolate semble positivement corrélé à l'*amertume* et au *piquant* perçus et influence la *sucrosité* perçue en la masquant (des brocolis au contenu en sucre identique sont perçus plus ou moins *sucrés* en fonction de l'intensité *amère* perçue)(Beck et al., 2014).

3.1.2. QUALITE HEDONIQUE

Certains glucosinolates semblent être à l'origine de l'amertume et du piquant de ces brassicacées et contribuent à une baisse de l'acceptabilité de la part des consommateurs (Drewnowski and Gomez-Carneros, 2000; Schonhof et al., 2004). D'autres composés volatiles tels que l'isothiocyanate sont considérés comme désirables alors que les sulfides (diméthyl trisulfide) sont considérés comme non désirable.

Pour mieux comprendre les critères d'acceptabilité des consommateurs concernant le brocoli et le chou-fleur (Brückner et al., 2005; Schonhof et al., 2004), 8 profils sensoriels de cultivars ont été croisés avec les résultats d'un test consommateur concernant les mêmes cultivars. Un panel de 100 femmes au foyer (représentatif du consommateur cible car responsable des achats alimentaires du foyer) a évalué huit cultivars de choux et de brocolis sur *la première impression*, la *couleur*, la *flaveur* et l'appréciation *globale*. Trois groupes de consommateurs aux préférences distinctes ont ainsi été mis en évidence. Le premier (50%) ne supporte pas l'amertume et le piquant du brocoli et s'attache surtout à sa texture croquante tandis que le caractère *sucré* est plus important pour les consommateurs du groupe 2 (35%). Le dernier groupe, moins nombreux (15%) est constitué de consommateurs appréciant l'amertume et le piquant caractéristiques du brocoli. De façon générale, l'acceptabilité du brocoli augmente avec la *sucrosité* perçue et l'arôme de *chou-fleur* et diminue quand l'intensité de l'*amertume*, les notes *herbacées/de verdure* et du caractère *piquant* augmentent. Les brocolis violets sont parmi ceux qui ont obtenu les scores les plus faibles. La couleur apparaît être un frein à l'acceptabilité : plus la couleur est intense et moins le consommateur apprécie. Peut-être que le consommateur apprécie la garantie de la tenue de la promesse à travers l'impression visuelle et pour cette raison, rejette instinctivement la couleur pourpre. Cependant, après une période de contact avec les échantillons et une séance de dégustation, les consommateurs ont préféré des types clairs, avec un faible contenu en glucosinolates amers et des contenus en sucrose élevés. Ces tests confirment la tendance selon laquelle les consommateurs sélectionnent sur des critères de saveurs avant les aspects nutritionnels et de santé. Quoi qu'il en soit, bien que la couleur violette de brocoli soit apparue comme facteur de non acceptabilité, une meilleure communication (et notamment sur la couleur violette « naturelle ») faciliterait la mise en marché ainsi que l'acceptation par le consommateur. Le succès du chou 'Graffiti' (chou-fleur rose foncé) témoigne de cette ouverture. D'autres brassicacées sont arrivées sur le marché : le chou Romanesco, apprécié pour son aspect esthétique ou encore une nouvelle variété de brocoli (à jet), le « Bella Verde », qui bénéficie d'une

campagne de communication axée sur son aspect (à jet et vert vif) et son goût particulièrement sucré (<http://www.bellaverde.co.uk/>).

Ainsi, l'amertume et le piquant ont des effets négatifs sur l'acceptabilité du légume. Drewnowski and Gomez-Carneros (2000) précisent que bien que des composés telles que les phénols, flavonoïdes, isoflavones, terpènes et glucosinolates provenant des plantes sont connus pour avoir des propriétés antioxydantes et anti-carcinogéniques, elles sont pour la plupart amers, âcres ou astringentes. L'homme rejette instinctivement l'amertume d'un aliment car synonyme de poison et donc crucial pour la survie. En réponse l'industrie a sélectionné des variétés à moindre amertume et développé des processus de désamérisation. Les recherches menées sur les proportions et le contenu en glucosinolates des brocolis et choux fleurs démontrent que pour équilibrer leur ration, les consommateurs ne devraient pas uniquement manger des brocolis verts et des choux fleurs blancs mais également des variétés violettes ou vertes pyramidales (Romanesco). Une augmentation du contenu en alkényl glucosinolate amer et en indole glucosinolate aux atouts santé indéniables mais au goût malheureusement amer conduit à une diminution de l'acceptabilité de la part du consommateur (« flaveur » et « appréciation globale »). Ces résultats sont à relativiser avec le contenu en sucrose, qui est relativement faible pour ces variétés. Une stratégie marketing et/ou de sélection prometteuse pour des brocolis à forte concentration en glucosinolate serait de masquer le goût amer d'un groupe de glucosinolate en augmentant le contenu en sucre pour favoriser l'acceptation par le consommateur.

Pour favoriser une stratégie de différenciation, un effort de communication est là aussi recommandé, la mise en place de dégustations publiques permet par exemple de communiquer de façon ludique avec encore un meilleur étiquetage renseignant sur les qualités sensorielles des produits (Ecropolis, réunion qualité 09 /2011).

3.2. LES FACTEURS INFLUENÇANT LES QUALITES DU BROCOLI

La découverte de composés bioactifs chez l'espèce brassicacée suggère la possibilité d'améliorer la santé publique à travers son régime alimentaire. L'intérêt porté à ces composés pour la santé a ouvert le champ de recherche sur la régulation de l'expression de ces composés. Ces études offrent un intérêt supplémentaire pour l'amélioration des qualités gustatives, puisque certains de ces glucosinolates sont suspectés être à l'origine de l'amertume caractéristique de l'espèce (Drewnowski and Gomez-Carneros, 2000). Pour planifier des stratégies de sélection pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle et/ou sensorielle, il est nécessaire de considérer les rôles relatifs que jouent la génétique et l'environnement sur le niveau des composés bioactifs (le glucosinolate en l'occurrence pour le brocoli) (Jeffery et al., 2003). C'est seulement avec ces connaissances, qu'il sera possible de déterminer s'il faut développer de nouvelles variétés ou bien cultiver une variété existante sous un régime (nutritionnel, hydrique...) spécifique pour stimuler la synthèse de ces composés.

3.2.1. FACTEUR GENETIQUE

Des variations génétiques dans le spectre de glucosinolates (et non sur le contenu en glucosinolates total) entre différents cultivars ont été mises en évidence, et ces différences sont susceptibles d'influencer les qualités gustatives des cultivars (Mithen et al., 1897, Farnham et al., 2004; Hansen et al., 1997; Rosa and Rodrigues, 2001; Schonhof et al., 2004).

L'évaluation du contenu en glucosinolate de 50 variétés de brocolis montre des variations allant de un à vingt fois le contenu pour le glucoraphanine par exemple (Jeffery et al., 2003). Une étude portant sur le tourteau de colza (*brassica napus*) visait à comprendre le contrôle génétique pour la teneur des principaux glucosinolates (glucosinolates aliphatiques) (Kondra and Stefansson, 1970). L'objectif était d'en réduire le contenu par la sélection pour améliorer la palatabilité du tourteau. Afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la transmission du caractère contenu en glucosinolate, Kondra and Stefansson (1970) ont croisé deux parents au contenu en glucosinolate opposé (un présente un très faible contenu tandis que l'autre un contenu important). Les résultats indiquent que les gènes codant pour le contenu en trois glucosinolates (Butenyl isothiocyanate, Pentenyl isothiocyanate et Oxazolidinethione) sont génétiquement liés (pléotropie ou liaison entre les gènes) et sont

contrôlés par 3 à 5 loci chacun. Il est alors possible d'augmenter la fréquence de l'allèle codant pour l'absence ou la présence de glucosinolate pour jouer sur l'amertume du légume.

Concernant les choux et brocolis colorés, l'influence du cultivar sur le spectre de glucosinolates (concentrations caractéristiques) et les correspondances avec les attributs sensoriels ont été relativement peu étudiées. Seule une étude, qui a donné lieu à deux articles, s'y intéresse dans un objectif de diversification de l'offre en chou (Brückner et al., 2005; Schonhof et al., 2004). Les brocolis et choux violets présentent des taux d'indole glucosinolate (glucobrassicin) significativement supérieurs mais présentent le contenu en glucosinolate total le plus bas (Mithen et al., 1997). Une étude a investigué le potentiel des brocolis à jets à fournir le marché en aliment santé durant une période de faible production de choux (tout début du printemps), Reilly et al. (2014) ont montré que les contenus totaux en phénoliques, flavonoïdes et glucosinolates étaient plus élevés dans les types de brocolis à jets que les types verts (Ironman).

En plus d'une régulation génétique, il existe un certain nombre d'éléments indiquant que l'environnement joue un rôle dans la régulation de l'expression de certains métabolites de la plante. Les conditions climatiques mais également la disponibilité en nutriments ou encore les stress biotiques et abiotiques apparaissent intervenir dans la synthèse de ces composés. Par exemple, le niveau de glucosinolate dans le colza varie en fonction de la disponibilité en azote et soufre, du stress hydrique et au « broutage » (action de croquer pour un animal).

3.2.2. FACTEUR ENVIRONNEMENT

Tandis que la synthèse de glucoraphanine semble être clairement régulée par le génotype (60% contre 5% pour l'effet environnement et 10% pour l'interaction G*E), la régulation du contenu en glucobrassicine est principalement environnementale (33%, contre 12% pour l'effet du génotype et 21 % pour l'interaction G*E) (Brown et al., 2002; Kondra and Stefansson, 1970).

Schonhof et al. (2004) ont mis en évidence un important effet année, une explication est que le contenu en glucosinolate est fortement influencé par la température journalière moyenne. Un abaissement des températures induit une augmentation d'alkényl glucosinolates (glucoraphanine), inversement des températures élevées sont associées à des taux élevés en indoles glucosinolates (glucobrassicine) (Schonhof et al., 2007). Ces différences de comportement entre les deux groupes de glucosinolates pourraient s'expliquer par des différences de sensibilités (aux radiations et à la température) de la part des enzymes impliqués dans la synthèse respective des glucosinolates. Le contenu en glucosinolate total, à l'instar du spectre, semble être influencé par des facteurs environnementaux (température journalière moyenne) plutôt que génétique. Une étude récente (Steindal et al., 2013) a testé l'influence de la température et de la longueur du jour sur les composés à bénéfice santé contenu dans le brocoli (glucosinolates, vitamine C, flavonoïde...) et complète les résultats précédents. En effet, certains alkényl glucosinolates (quercetin and kaempferol) présentent le taux le plus élevé pour des conditions de cultures à forte température (21/15 °C) combiné à 12 h de jour. Même si des variations génétiques indiquent que le contenu en glucosinolates aliphatiques est en partie déterminé par le génotype, cette étude indique également qu'ils sont influencés par les conditions environnementales. Le niveau de glucosinolates total s'élevait avec les températures. L'étude conclue sur la complexité des processus en jeux et l'impossibilité de conclure sur l'itinéraire cultural le plus apte à fournir des brocolis à valeur santé.

Des pratiques culturales telles que le temps d'irrigation (Radovich et al., 2004), l'espacement à la plantation (MacLeod and Harris, 1978; MacLeod and Nussbaum, 1977) ou encore la date de plantation (Padilla et al., 2006) influencent significativement les propriétés organoleptiques du brocoli. En évaluant différents choux plantés sur lesquels ont été appliqués des stress hydriques à différents stades de croissance, Radovich et al. (2004) ont montré qu'un stress hydrique appliqué pendant le développement de la plante engendre une baisse d'acceptabilité de la part des consommateurs. L'étude de Padilla et al. (2006) qui compare des choux plantés en automne et au printemps, apporte des éléments complémentaires et associe cette baisse d'acceptabilité à une plus forte intensité de flaveur et une diminution de la sucrosité. Les cultures de printemps, plus stressées qu'en automne, donnent des choux moins tendres, moins sucrés et plus amers (Brown et al., 2002). Pour les mêmes raisons, la réduction de

l'espacement diminue les ressources des plants en eau et en nutriment, ce qui engendre une hausse des glucosinolates et donne des choux aux arômes amer/piquant plus intenses (MacLeod and Nussbaum, 1977).

Ces données suggèrent que des brocolis sélectionnés et cultivés en agriculture biologique (stress biotique et abiotique plus présents) pourraient présenter des niveaux plus élevés en indole glucosinolate que des brocolis cultivés en agriculture conventionnelle. Aucune étude n'a jusqu'à présent comparé les contenus en indole glucosinolate de légumes conduits sous régime biologique et conventionnel.

3.2.3. FACTEUR TRANSFORMATION

Enfin, des procédés post récolte, tels que le blanchiment (Barrett et al., 2000) ou encore le matériel d'emballage ou les conditions de stockage (Jacobsson et al., 2004; Jeffery et al., 2003; Rangkadilok et al., 2002) influencent significativement les propriétés sensorielles du produit. La meilleure méthode pour conserver les glucoraphanines (précurseurs des isothiocyanates anti-cancérigène sulforanane) est l'emballage en atmosphère modifiée, conservées à 4°C. En évaluant l'impact de différentes méthodes de blanchiment (vapeur, eau bouillante, micro-onde) sur le contenu en acide ascorbique, l'activité de la peroxydase, la couleur et les caractéristiques sensorielles du brocoli, (Brewer et al., 1995) ont montré que le blanchiment au micro-onde est la méthode qui maintient le mieux les caractéristiques sensorielles.

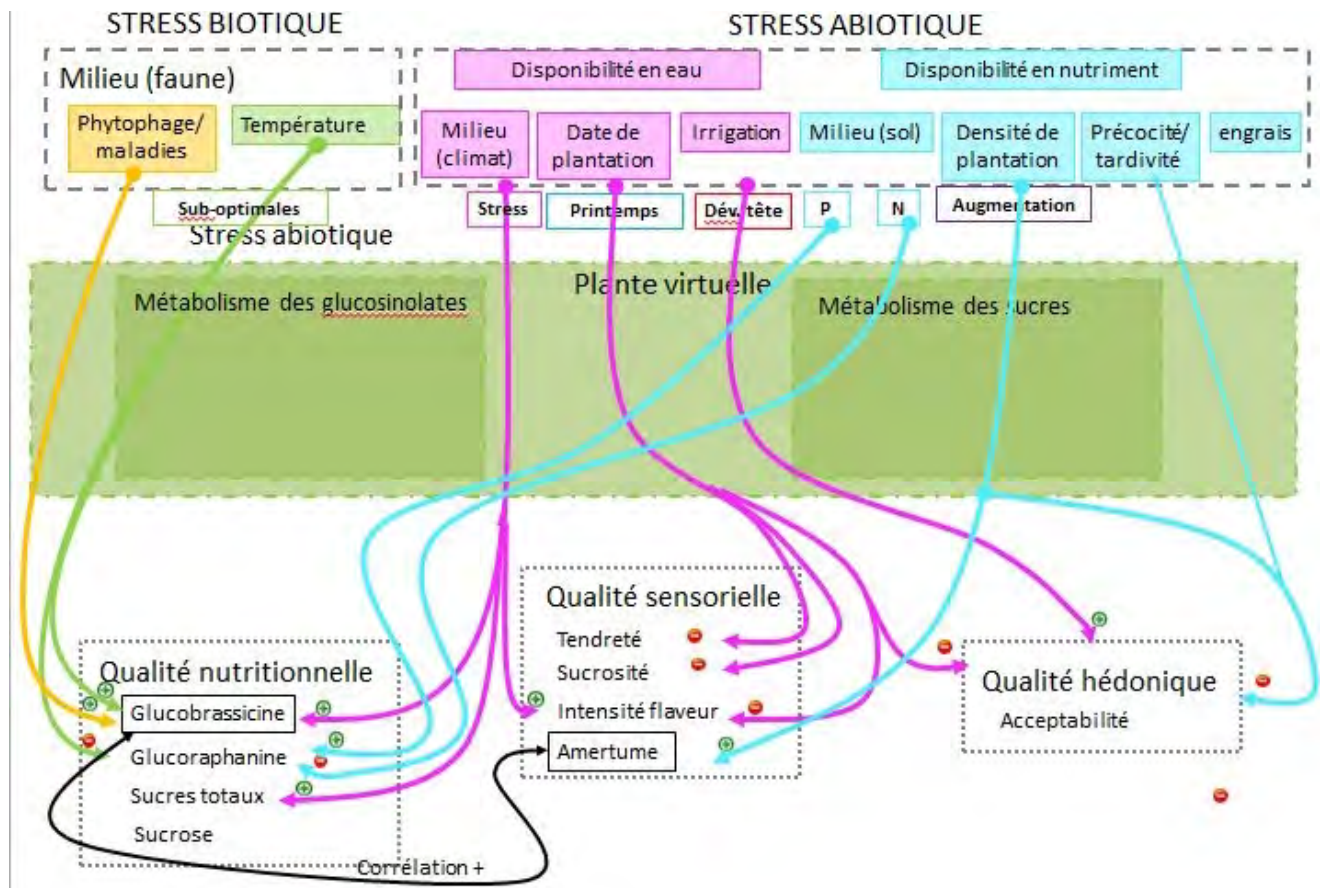


Figure 11: facteurs influençant la qualité sensorielle du brocoli

Le goût typique du brocoli est dû aux glucosinolates. Des effets santé positifs sont attribués à certains glucosinolates présents dans le brocoli et le chou-fleur, mais l'effet qu'a cette substance sur la flaveur est moins clair. Certains glucosinolates semblent être à l'origine de l'amertume et du piquant de ces brassicacées et contribuent à une baisse de l'acceptabilité de la part des consommateurs. Cependant la seule mesure de sa teneur ne rend pas compte de l'amertume perçue.

Tandis que la synthèse de glucoraphanine semble être clairement régulée par le génotype, la régulation du contenu en glucobrassicine est principalement environnementale. Ces données suggèrent que des brocolis cultivés en agriculture biologique (stress biotique et abiotique plus présents) pourraient présenter des niveaux plus élevés en indole glucosinolate que des brocolis cultivés en agriculture conventionnelle.

Une publication récente vient compléter ces conclusions et suggère la possibilité de sélectionner sur ce critère. Pour tester et sélectionner des génotypes adaptés aux pratiques et principes de l'AB (stabilité, robustesse, qualité), Wolf et al. (2014) ont sélectionnés pendant trois ans des populations sur les performances agronomiques et la teneur en glucosinolates. Les résultats confirment des variations dans le contenu en glucosinolates en fonction du génotype et de l'environnement. De plus, la descendance présente une teneur plus élevée que les parents. La mesure de la teneur en glucosinolate pourrait alors servir d'indicateur indirect de la qualité finale.

L'amélioration de la qualité sensorielle vise à satisfaire les attentes des consommateurs mais également des agriculteurs. Pour la mesurer et l'optimiser différents instruments et leviers sont mobilisables. Des mesures instrumentales et des dégustations sont complémentaires pour comprendre les mécanismes en jeu. Le levier sélection apparaît pour les deux études de cas pertinent mais d'autres facteurs sont à intégrer pour une optimisation du processus de sélection. Un lien entre qualité nutritionnelle et sensorielle apparaît et ouvre des pistes vers l'identification de marqueurs indirects de la qualité finale.

1. DECENTRALISATION DU PROCESSUS DE RECHERCHE

Le développement de l'agriculture pendant la « révolution verte » s'est basé sur le principe du « transfert de technologie » : les priorités sont définies par les scientifiques, qui produisent des techniques dans les stations de recherche et laboratoires, lesquelles seront transmises aux agriculteurs par les services de valorisation. Les conditions contrôlées des stations de recherche sont assez proches de celles que connaissent les agriculteurs disposant de bonnes ressources, les techniques développées en laboratoire ont alors de fortes chances de produire des résultats chez l'agriculteur. Ce modèle n'est cependant pas adapté à l'agriculture biologique, où les systèmes sont complexes, diversifiés et soumis aux risques et où les objectifs de production sont très différents (Almekinders and Koehler-Rollefson, 2001; Pircher et al., 2012).

Pour développer des connaissances et technologies adaptées à l'hétérogénéité des besoins individuels, des conditions locales et des préférences culturelles, une solution est de développer la capacité de recherche des agriculteurs locaux par entre autre l'apprentissage de l'expérimentation (Ashby et Sperling, 1995). Un exemple concluant de ce mouvement est la création de Comités d'Investigation Agricole Locale (CIAL) en Amérique Latine. Pour institutionnaliser une recherche communautaire décentralisée et alimenter le système formel par les résultats de cette recherche locale, l'approche CIAL a été développée de 1990 à 1994 par le CIAT (International Center for Tropical Agriculture). Un principe de base de cette approche est d'apprendre aux agriculteurs les principes de la recherche formelle (design expérimentaux, témoins, répétitions). Cette familiarisation des agriculteurs avec les démarches scientifiques (hypothético-déductive, mesure objective, calibrée) pourrait améliorer les capacités de recherche locale et développer un vocabulaire commun entre agriculteurs et chercheurs, ce qui, en retour rendrait plus facile les retours des résultats locaux et leur intégration dans le processus de recherche. Cependant, ce modèle a montré des limites dans un contexte d'agriculture vivrière où l'objectif premier de l'agriculteur est de se nourrir avant d'apprendre. Ce modèle peut cependant être adapté au contexte de l'agriculture biologique en pays développés, les agriculteurs AB ayant démontré dès les débuts du mouvement AB leur capacité d'expérimentation. D'autre part, plutôt que de vouloir transformer les agriculteurs en chercheurs, les chercheurs pourraient reconnaître l'expérimentation informelle pratiquée par les agriculteurs (Volker Hoffmann et al., 2007).

Le développement et l'optimisation d'un réseau de recherche décentralisée dans le cadre d'une recherche adaptés à la diversité des contextes agrobiologique et orientée vers l'action :

- D'un point de vue technique, cette organisation de la recherche assure l'efficacité du programme de recherche en assurant un ancrage dans le contexte et une adaptation des méthodes et outils. Cet aspect est particulièrement visible dans le cas d'un programme de sélection (qu'il soit participatif ou non). En effet, pour optimiser l'identification de génotypes adaptés aux différentes situations agronomiques, il est nécessaire de développer un réseau d'essais fiable qui permette une mesure précise de l'interaction G*E sur un certain nombre de caractéristiques sur un grand nombre de situations agronomiques. Plus le nombre d'environnements testés est grand, plus la mesure de l'interaction est précise.
- D'un point de vue social, l'intégration des acteurs locaux dans le processus de recherche favorise d'une part l'appropriation des résultats du programme et le développement d'une capacité locale d'expérimentation.

Pour développer et optimiser un tel réseau des outils et méthodes sont à développer pour

- Evaluer l'efficacité des projets et ainsi faciliter l'analyse et l'amélioration des processus
- Faciliter l'adaptation des méthodologies et la gestion des données,
- Favoriser le co-apprentissage.

L'organisation participative de la recherche est une option qui favorise ce co-apprentissage et assure l'efficacité des résultats de la recherche.

2. ORGANISATION PARTICIPATIVE DE LA RECHERCHE

2.1. LES DEUX ECOLES DE LA PARTICIPATION

La recherche participative veut répondre de manière effective aux besoins des agriculteurs, qui sont au centre des priorités de recherche. Nous allons en traiter deux exemples avec deux niveaux d'avancement dans le processus. « Elle (la recherche participative) naît de la rencontre entre une volonté de changement et une intention de recherche. Elle poursuit un objectif dual qui consiste à réussir un projet de changement délibéré et ce faisant, faire avancer les connaissances fondamentales [...]. »(Liu, 1992).

Dans le cas des dispositifs de recherche participative présentés dans la thèse, deux objectifs révèlent deux niveaux d'action :

- Le premier objectif se situe à un niveau local. Il vise le changement des pratiques de sélection et une meilleure compréhension des processus d'élaboration de la qualité. C'est une problématique technique identifiée à un niveau local. La connaissance produite doit ici être actionnable et présente un caractère très localisé.
- Le deuxième objectif est de développer une démarche collective d'expérimentation sur la qualité sensorielle des populations. C'est une recherche de méthodologie qui vise à organiser et fiabiliser la production de connaissances au sein d'un réseau. L'organisation d'un tel système de connaissance permettrait de donner une plus grande genericité aux connaissances produites au niveau local et ainsi de mieux prendre en compte la diversité des contextes dans l'étude de système.

Pretty (2008) définit deux grandes écoles de la participation dans les sciences agronomiques.

- La première considère la participation comme un moyen pour améliorer l'efficacité, la notion centrale étant que l'implication des populations locales favorise l'adoption et l'appropriation des innovations, technologies et connaissances.
- La deuxième école considère la participation comme un droit fondamental et pour laquelle le principal objectif est d'initier des mobilisations pour l'action collective, la responsabilisation des populations locales et la construction d'institutions.

L'état des lieux des recherches participatives met en évidence que la participation est un élément essentiel à la réussite de ces dispositifs

2.2. PRINCIPES ET OUTILS DE LA RECHERCHE PARTICIPATIVE

Le paradigme dominant associé au développement de l'agriculture conventionnelle montre ses limites dans des contextes où l'incertitude est élevée et où les problèmes sont sujets à interprétations. Les connaissances empiriques détenues par les agriculteurs-expérimentateurs sont de plus en plus reconnues (Volker Hoffmann et al., 2007) et leur intégration dans le processus de recherche (d'apprentissage) est un élément clé pour rendre la connaissance applicable. De nouveaux systèmes d'apprentissage sont nécessaires, intégrant des méthodes participatives et recherchant de nouveaux critères de fiabilité. Plus que les connaissances elles-mêmes c'est la manière selon laquelle les connaissances sont construites qui intéresse la recherche participative et qui définit leur applicabilité. Les interactions entre les partenaires, l'échange de connaissances et l'apprentissage en groupe qu'ils réalisent conditionnent la qualité des connaissances produites (fiabilité, adéquation ...). Selon Pretty, (2008) six principes importants sont communs à toutes les nouvelles approches d'apprentissage participative :

L'existence d'une méthodologie définie et d'un processus d'apprentissage systématique.

- La prise en compte des multiples perspectives, pour chercher la diversité des points de vue et limiter les biais liés à l'interprétation individuelle.
- L'apprentissage collectif à travers des réseaux impliquant agriculteurs, citoyens-consommateurs, chercheurs et conseillers techniques pour mieux appréhender la complexité du problème.
- L'adaptation au contexte.
- Le co-apprentissage entre experts et parties-prenantes pour favoriser le changement des pratiques
- Le lancement d'actions durables grâce aux processus d'apprentissage et à travers la mise en débat.

2.3. TYPOLOGIES DES RECHERCHES PARTICIPATIVES

L'approche participative a été développée d'abord dans les sciences sociales pour l'éducation, la médecine puis étendue notamment à l'agronomie, des domaines où le changement des pratiques est un objectif prioritaire. Les recherches participatives sont multiples. Leur objectif commun est de mieux ancrer la science dans la pratique et donc de produire des « connaissances pour l'action ». Le changement des pratiques passe par le changement des mentalités. Elles se basent sur un processus de réflexions et d'actions séquentielles. Les connaissances et perspectives locales ne sont pas seulement reconnues mais sont les bases de la recherche et de l'organisation. Les recherches participatives se distinguent des recherches « déléгатives » (Bonneuil and Demeulenaere, 2007) sur la localisation du pouvoir dans le processus de recherche (prise de décision) et se distinguent entre elles par différents degrés d'implication des partenaires. Une clé de typologie se trouve donc dans la question « comment et par qui la question de recherche est-elle formulée ? » et « par qui et pour qui les résultats de la recherche sont-ils utilisés ? ». L'approche participative engendre des changements dans les relations entre les chercheurs et ceux qui participent à la recherche et implique une transformation politique et personnelle.

Une des caractéristiques de l'approche participative réside dans l'adaptation innovante de méthodes conçues initialement pour la recherche conventionnelle (Cornwall and Jewkes, 1995).

L'approche participative en agronomie répond à une deuxième contrainte, la complexité émergente des agrosystèmes, rendue nécessaire pour la recherche d'alternatives à l'agriculture intensive. En effet, les sciences agronomiques peuvent être qualifiées de 'quasi-discipline', et appellent une approche multidisciplinaire. Comme le dit (Probst et al., 2003) «[...] Si de nouveaux problèmes apparaissent, différentes disciplines devraient être intégrées pour les résoudre [...]».

Les démarches participatives en agronomie voient le jour dans les années 1980, face à une impossibilité à généraliser le modèle de la « révolution verte » dans des régions à forte diversité. Ces approches visent au départ à mobiliser et capter les savoirs ruraux pour optimiser les projets de recherche et de développement (Bonneuil and Demeulenaere, 2007). L'approche participative s'est ensuite développée en amélioration des plantes et a donné lieu à une multiplication de projets de sélection participative dans les pays en voie de développement, là où la problématique de la diversité des besoins se faisait fortement ressentir. Elle s'est étendue par la suite dans les pays développés où les agriculteurs biologiques faisaient face à des problématiques similaires.

En agronomie, la recherche participative en est encore conceptuellement et opérationnellement à ses balbutiements et une large gamme d'activités distinctes sont labélisées « recherche participative ». Pour évaluer l'efficacité de telles recherches, et clarifier leur diversité et ainsi se situer dans ce paysage, plusieurs auteurs ont proposé des typologies et/ou cadre d'analyse. Sperling et al. (2001) ont proposé un cadre d'analyse basé sur l'étude de projets de sélection participatif pour faciliter l'évaluation de l'efficacité de tels projets. Ce cadre repose sur quatre variables clés :

- Le contexte institutionnel, c'est-à-dire qui des agriculteurs ou des chercheurs sont à l'initiative du programme de sélection ?

- L'environnement bio-social, composé de deux paramètres, l'environnement agro-écologique (échelle allant d'un faible stress à un stress intense) et l'environnement économique au sens large qui est le degré de demande homogène versus demande hétérogène.
- Les objectifs du projet de sélection tels que développer des variétés adaptées, augmenter la biodiversité, rendre les programmes de sélection plus rentable...
- La qualité de la participation, caractérisée par trois dimensions, le stade de la participation dans le processus de sélection, le degré de participation (consultatif, collaboratif, collégial) et le rôle des acteurs dans la participation.

L'idée de base de la recherche participative est que les agriculteurs et les chercheurs détiennent différentes connaissances et compétences, qui peuvent se compléter et que par un travail collectif les deux groupes peuvent atteindre de meilleurs résultats qu'en travaillant chacun de leur côté (Volker Hoffmann et al., 2007).

Un premier constat résultant de l'étude des échecs et succès de la recherche participative est la diversité des dispositifs dit « participatifs ». Par l'analyse de 53 projets participatifs autour de la gestion des ressources naturelles menés au sein du Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), (Probst et al., 2003) ont mis en évidence les faiblesses de certains projets de recherche participative :

- Beaucoup de projets manquent d'une réelle stratégie pour parvenir à l'impact escompté. Le point central est souvent une technologie ou une pratique culturale sans prendre en compte la nécessité d'un changement individuel et collectif des utilisateurs des ressources.
- Les priorités de recherches proviennent plus souvent du milieu scientifique par intérêt de la discipline.
- La pratique de l'interdisciplinarité est difficile à mettre en œuvre, il en résulte plus une juxtaposition de connaissances de diverses disciplines plutôt qu'une interaction.
- Le modèle recherche-extension-développement présente des limites dans beaucoup de projets.
- Le participatif est trop souvent vu comme un moyen de favoriser l'appropriation de connaissances et d'outils externes

La question de faciliter l'apprentissage participatif à long terme tout en continuant à étudier des questions de recherche stratégique a rarement été exploré dans la pratique. Ce travail de thèse, à travers la coordination d'initiatives locales (sous l'égide d'un réseau relativement développé, le RSP) et le montage de projet visant à répondre à des questions de recherche spécifique tend à répondre à ce manque.

Face à cette diversité et aux difficultés que rencontre la recherche participative certains auteurs ont proposé des typologies (ou cadre analytique) pour mieux caractériser les dispositifs, identifier leurs faiblesses et proposer des voies d'amélioration (Morris and Bellon, 2004; Probst et al., 2003; Sperling et al., 2001). Cette diversité est particulièrement visible dans les projets de sélection participative, une des premières disciplines à avoir fourni ce type de typologie sur la participation en sciences agronomiques.

Afin de comprendre quels types d'approches sont utiles pour quels types de question de recherche, d'objectifs et de contextes, (Probst et al., 2003) ont proposé un cadre d'analyse conceptuel basé sur l'étude de 53 projets participatifs menés au sein du CGIAR. L'étude met en évidence 4 clés de déterminations majeures :

- L'impact escompté : à quel type d'impact aspire le projet ?
- Les priorités de recherche : quelles sont les priorités de recherche et quels en sont les bénéficiaires ?
- Les stratégies d'action : quelles stratégies pour parvenir à impacter au niveau local ?
- Rôle de la recherche participative : quelle est le rôle de la recherche participative dans la stratégie du projet ?

2.3.1. LE CONTEXTE INSTITUTIONNEL

Le contexte institutionnel tente de décrire l'origine de la demande. Deux types de contexte ont été mis en évidence:

- Le contexte dirigé par les pouvoirs publics (“formal-led”), où les agriculteurs se joignent aux programmes de sélection initiés par les institutions. Ce contexte se trouve dans le secteur de la recherche publique, de l’administration et des organisations non gouvernementales. Cela implique un lien fort entre le système officiel de distribution de semences et le système de production de semences, dans le cas de la sélection participative.
- Lorsque l’initiative vient des agriculteurs le contexte institutionnel est qualifié de “farmer-led”. Les scientifiques sont ici pour soutenir le propre système des agriculteurs. Ce contexte survient aussi bien dans un contexte international que communautaire ou dans le cadre d’agences non gouvernementales. Les professionnels impliqués sont censés faciliter le processus dans lequel les agriculteurs établissent leurs objectifs de sélection. Les agriculteurs supportent les principales responsabilités. Ce type de démarche tend à travailler pour un groupe spécifique d’individus sans large adaptabilité.

Il est important ici de ne pas confondre l’échelle du projet avec l’approche institutionnelle.

2.3.2. LES TYPES DE PARTICIPATIONS

Dans les programmes de sélection participative, le stade de la participation se réfère au stade du cycle de sélection dans lequel l’agriculteur a été impliqué. Dans un programme de recherche le degré de participation est défini par le stade du processus de recherche dans lequel le partenaire participe à la prise de décision. Le cadre d’analyse proposé est celui de Probst et al., (2003), un des plus récents et s’appuyant sur un large étude de projets participatifs ainsi que sur l’expérience des auteurs en la matière.

- La participation contractuelle : un unique acteur social possède le pouvoir de décision. Les partenaires sont considérés comme des prestataires de services.
- La participation consultative : la majorité des décisions est prise par un groupe d’acteurs, mais l’accent est mis sur la consultation et la collecte d’informations provenant des autres partenaires, pour identifier les contraintes et opportunités et les priorités de recherche
- La participation collaborative : les différents partenaires collaborent et sont sur un pied d’égalité. L’accent est mis sur l’échange de connaissances et un partage de la prise de décision durant le processus d’innovation.
- La participation collégiale : les partenaires travaillent ensemble en tant que collègues. La propriété et les responsabilités sont distribuées de façon égale entre les partenaires et les décisions sont prises d’un commun accord.

Le degré de participation le plus fréquemment rencontré est la participation consultative, les praticiens étant rarement impliqués dans un réel échange et dans une réelle prise de décision commune.

La question de qui participe dans quel processus est un élément important dans une telle classification. Les objectifs et résultats attendus de cette participation sont multiples :

- La légitimisation : la participation peut être invoquée pour légitimer une action
- L’efficacité : la participation permet l’utilisation des connaissances locales et/ou sert à s’assurer de la bonne orientation de la demande.
- La capacité à apprendre : la participation est ici un moyen de développer des capacités d’apprentissage en groupe. Cela peut aboutir à un changement d’attitude.
- L’émancipation/transformation : la participation est considérée comme un moyen d’émanciper les populations locales, en leur donnant les moyens de chercher et en favorisant leur responsabilisation dans la recherche de solutions alternatives.

2.3.3. CADRE D'ANALYSE PROPOSE

De ces études de cas et expériences, Probst et al., (2003) proposent un ensemble de paramètres qu'ils considèrent appropriés pour classer les différentes approches impliquées dans le développement d'innovations (tableau 2). Le projet participatif dans lequel s'insère ces travaux a été caractérisé selon cette grille de lecture.

La recherche décentralisée et participative apparaît adaptée pour répondre à la diversité des besoins identifiés en AB. La grande diversité de ces approches et la faiblesse de certains projets participatifs a conduit certains auteurs à proposer une typologie pour cibler de potentielles améliorations.

Tableau 2: Typologie proposée par Probst et al. 2003 pour l'analyse des projets de recherche participative

Paramètre déterminant	Description
Hypothèses épistémologiques <i>Positivism</i> ou <i>Constructivism</i>	« Pour la conception d'approches de recherche, il est critique d'être conscient des hypothèses que l'on formule. Elles ont des répercussions sur la définition des objectifs, des rôles, des méthodes... »
Objectif de recherche	« Les objectifs de recherche pourraient aller de Développement de technologies spécifiques ou de recommandations pour une dissémination à large échelle (nationale et mondiale). Développement de solutions pour résoudre une contrainte technique spécifique identifiée à un niveau local. Développement de nouvelles options pour offrir un choix élargi aux agriculteurs à faibles ressources. Développement d'approches qui permettent aux populations locales de conduire leur propre processus de résolution de problème. »
Type de participation et de gouvernance <i>Consultative, collaborative, collégiale</i>	« Consultative : la plupart des décisions clés sont prises par un groupe de partie-prenante, mais l'accent est mis sur la consultation et le recueil d'informations des autres groupes, particulièrement pour identifier les contraintes et opportunités, les priorités et les évaluations. Collaborative : différents acteurs collaborent et sont mis sur un pied d'égalité, l'accent est mis sur le lien à travers un échange de connaissance, de différentes contributions et un partage de la prise de décision durant le processus d'innovation. Collégiale : les différents acteurs travaillent ensemble en tant que partenaires, les gouvernances et responsabilités sont également réparties, et les décisions sont prises par consensus commun entre les acteurs.»
Implications des acteurs (sélection, interactions)	« La sélection basée sur des critères d'efficacité tels que la connaissance, les compétences ou le statut fait une différence qualitative due au niveau d'éducation moyen [...] La sélection « auto » est probablement la moins proactive et l'approche la plus susceptible d'engendrer des biais et/ou de l'élitisme [...] La sélection par la communauté est également susceptible d'engendrer des biais dans le processus envers des groupes favorisés de la société à moins qu'un accord soit atteint et promouvoir l'intégration de groupes désavantagés.»
Rôles des acteurs externes et locaux	« Les agents externes ou les parties-prenantes secondaires peuvent être distingués selon deux groupes : Les agences nationales ou responsables dans la recherche pour l'agriculture durable (conseillers agricoles, chercheurs, salariés d'ONG) Un set d'acteurs qui supporte ces responsables nationaux (donneurs internationaux, donneurs ONG, Centre de recherche international)
Procédures/processus	La procédure peut être verticale (des chercheurs vers les agriculteurs) ou horizontale (des agriculteurs vers les chercheurs). L'approche peut être linéaire (caractérisée par un planning rigoureux, des rôles fixés, des procédures clairement définies) ou ils peuvent prioriser la facilitation d'un cycle d'apprentissage à répétition (cadre souple et évolutif, contrôle interne continu...)
Méthode de recherche	L'approche peut s'appuyer sur des méthodes de recherche formelles ou des expérimentations chez les agriculteurs moins contrôlées. Elle peut être basée sur une approche systémique ou analytique ou les deux.

L'AB est bien une alternative pour une agriculture durable. Cependant son développement dépend de plusieurs facteurs. Parmi eux, le développement de variétés adaptées aux principes et pratiques agrobiologiques et la réponse aux attentes du consommateur en sont des déterminants. La sélection de variétés spécifiques à l'AB devra intégrer ces multiples critères. Pour prendre en compte toutes les attentes, il est proposé une organisation décentralisée et participative de la sélection en s'appuyant sur l'étude et le renouvellement de la diversité génétique. L'intégration du critère sensoriel est complexe et nécessite une organisation spécifique. Son intérêt est majeur pour répondre aux attentes des consommateurs en termes de qualité mais également favoriser l'expression des terroirs.

La nature transdisciplinaire de la recherche menée dans cette thèse transparait à travers le caractère diversifié de l'étude bibliographique couvrant le contexte du système agricole, de la sélection pour l'AB, la qualité des produits et les systèmes de connaissances mobilisés. La thèse aborde des recherches à la fois organisationnelles, méthodologiques et interdisciplinaires où l'intérêt des résultats s'évalue à l'interface des deux disciplines scientifiques : amélioration des plantes et science de l'aliment. Ces résultats ont ainsi plusieurs facettes : connaissances génériques, méthodologiques et valorisation par les acteurs. La dimension valorisation est directement intégrée dans le résultat en recherche participative.

Pour bien ancrer la problématique dans son contexte, la partie suivante décrit les enjeux et pose les questions de recherche soulevées dans la thèse. La troisième partie fait état des résultats pour les deux espèces blé et brocoli, de l'intégration des critères de qualité sensorielle dans un processus de sélection participative. Enfin la discussion en quatrième partie offre une analyse de l'organisation participative mise en œuvre pour aboutir à des propositions concrètes de schéma de sélection « gustative ».

PARTIE 2. IDENTIFIER LES LEVIERS D' ACTIONS POUR OPTIMISER LA QUALITE SENSORIELLE DES PRODUITS AB EN SELECTION INTEGREE

A. LA DEMANDE A L'ORIGINE DU PROJET DE RECHERCHE

1. ETUDE DE CAS : LE BLE

1.1. LES PAYSANS-BOULANGERS DU RESEAU SEMENCES PAYSANNES

Parmi les organisations adhérentes au RSP, on trouve l'association Triptolème et l'Association Régionale de Développement Agricole et Rural Rhône-Alpes (ARDEAR RA) dont font partie les paysans-boulangers intégrés dans ce projet de recherche. Ce réseau réunit des agriculteurs dont une partie sont paysans-boulangers, c'est-à-dire des « hommes-filières » qui suivent le blé du grain au pain (Bonneuil and Demeulenaere, 2007). En travaillant sur la diversité des blés qu'ils panifient, ils font le pari que les consommateurs se soucieront autant de l'assemblage variétal dans leur pain que des cépages dans leurs vins.

En France, de nombreux paysans cultivent des céréales, souvent en bio, et fabriquent du pain avec des techniques traditionnelles (meule de pierre, levain naturel), et le vendent dans des circuits de proximité. Parce qu'ils sont paysans et boulangers, ils ont remarqué que les variétés modernes de blé ne correspondaient pas à leurs besoins. C'est pourquoi ils ont commencé, souvent de manière isolée, à repartir de variétés anciennes de blé, qualifiées d'ipanifiables par l'industrie, à la recherche de caractéristiques plus intéressantes pour eux : aptitude de la plante à développer le lien avec le sol (plutôt que l'aptitude à utiliser l'azote soluble des engrais chimiques), aptitude à la panification artisanale au levain, qualité gustative et nutritionnelle du blé. **Les paysans intéressés par les semences paysannes et AB émergent, en Bretagne**, à des groupes complémentaires. D'une part, de par leur activité en bio, certains appartiennent aux structures et associations adhérentes à Initiative Bio Bretagne (ex - Inter Bio Bretagne (IBB)), dont les missions sont de structurer les filières, d'assurer la concertation interprofessionnelle entre les acteurs de la filière, la communication et la promotion de l'agriculture biologique et des produits bio bretons.

D'autre part, au sein de Triptolème, association membre du Réseau Semences Paysannes, l'activité de paysan-boulangier est très largement représentée et les fondateurs se sont organisés autour de la sélection de variétés anciennes et populations optimisant leur pratique. Une partie importante de l'activité au sein de Triptolème est de communiquer (bulletin trimestriel, nombreux échanges informels), d'accueillir des porteurs de projet, et d'assurer des formations modulaires en boulange paysanne qui existent depuis 2004. Ils ont particulièrement à cœur la remise au goût du jour des variétés de pays anciennement cultivées dans leur région : les blés de Redon

Les blés de Redon proviennent d'une collection de 330 variétés constituée de 1968 à 1971 par Gérard Doussinault, ancien chercheur à l'Inra de Rennes. D'autres ont été cultivés depuis des générations par des paysans de la région, comme chez Nicolas Supiot, avec des mélanges qui comprennent une centaine de phénotypes différents. Le Pays de Redon est la seule région de France à avoir bénéficié d'une telle mesure de sauvegarde. Barbus, non barbus, proche des variétés modernes car courts sur pied ou au contraire très élancés, ils ont comme seuls point commun d'avoir été cultivés parfois depuis plus de 30 ans dans cette région bretonne. Ils servent aussi à la fabrication du pain depuis une dizaine d'années. Les blés de terroir bretons entrent ainsi dans un circuit court d'une boulange artisanale au levain. Les variétés de terroir montrent des qualités d'adaptation agronomiques intéressantes et, surtout, elles répondent à de nombreux critères de qualité pour la panification au levain, que n'ont plus les variétés modernes. Elles confèrent de plus une palette de goûts plus importante que celle observée pour les variétés modernes.



Les paysans boulangers en Rhône-Alpes associés au RSP réalisent des actions par le biais de l'ARDEAR, dont l'objectif est d'aider les initiatives qui ont des répercussions favorables sur l'emploi agricole et rural.

Parmi leurs actions, on trouve l'organisation annuelle de la tournée des blés paysans organisée chez certains agriculteurs possédant des collections. Ces journées sont l'occasion d'observer en situation les variétés paysannes et de partager des savoir-faire liés à ces variétés. Contrairement aux bretons, il n'existe pas de variétés « patrimoniales » en Rhône-Alpes ou très peu. Une phase d'adaptation longue des variétés anciennes nouvellement introduites est alors nécessaire à la culture de ces blés. La recherche d'informations concernant des variétés anciennement cultivées dans la région est plus laborieuse, l'étude d'archives d'abbayes ou de commerces le permet lorsqu'elles sont disponibles.

1.2. LES BESOINS DES PAYSANS BOULANGERS

Les arguments qui justifient leur engagement dans une telle démarche d'évaluation des blés anciens sont le besoin de variétés adaptées à la diversité de leurs environnements et de leurs besoins et usages. Ils citent également la passion et le plaisir à accomplir un travail qui a du sens et le besoin d'autonomie (financière mais également civique) (Bonneuil and Demeulenaere, 2007)

Parce qu'il existe une grande diversité de populations et que chaque population présente des caractéristiques particulières, une meilleure connaissance des aptitudes agronomiques et technologiques est nécessaire pour favoriser le développement de ces cultures.

La proximité qu'ont les paysans boulangers avec leur clientèle donne à la problématique de la qualité sensorielle une importance primordiale. La qualité de leur pain varie en fonction de l'année de récolte, du génotype récolté et de la transformation. Contrairement au meunier qui cherche à adapter la farine aux boulangers et qui fournit au boulanger une farine de qualité régulière, le paysan boulanger doit à l'inverse s'adapter à la farine.

Pour mieux répondre aux attentes de leurs clients, ils ont besoin d'améliorer leur compréhension de la sélection, de la culture et de la transformation des populations de blés. Des informations telles que le lien entre un phénotype et une caractéristique gustative (et/ou technologique) leur permettraient d'identifier les populations dans leurs champs et de mieux diriger leur sélection pour un blé adapté à la panification artisanale (qualité sensorielle et de panification). D'autres informations concernant les spécificités de panification des variétés anciennes sont susceptibles d'améliorer leurs pratiques.

1.3. SAVOIR-FAIRE DES PAYSANS BOULANGERS

La particularité des paysans-boulangers est de gérer la production du pain du « grain au pain », ce qui assure une traçabilité des matières premières et une meilleure valorisation du blé. Parmi les paysans du RSP, certains, reconnus dans le milieu, sélectionnent actuellement leur population de blé pour la transformation. Ces populations sont le fruit d'une sélection adaptée, intégrant notamment des critères d'aptitude à la panification artisanale. Une première observation de ces « mélanges-boulanges » fait apparaître une proportion importante de phénotype « grain rouge ». Une compréhension de leur critère de sélection apparaît dès lors comme une piste pour améliorer la connaissance des facteurs impliqués dans l'élaboration de la qualité et expliciter leur critère de sélection, qui seront peut être applicables dans d'autres terroirs.

Une autre observation réalisée par ces paysans-boulangers est que l'aptitude à la panification ne semble pas due uniquement au taux de protéines, mais également à la qualité des protéines (proportions de classes de protéines). Ce fut un des résultats d'un premier projet¹ mobilisant des membres de la filière en 2006-2008 (*Rapport Final Qualités des blés biologiques et qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques*, 2007). En effet, les

¹ Coordination INRA-ITAB-Arvalis : "Evaluation de la qualité d'un blé panifiable en agriculture biologique et contribution à l'élaboration des qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques", de mars 2005 à mars 2007.

populations qu'ils panifient, bien que pauvre en protéine comparativement aux variétés modernes, donnent des pains tout autant « levés » que s'ils étaient confectionnés à partir de blés modernes. Les critères de qualité boulangère actuellement utilisés dans la filière conventionnelle n'apparaissent dès lors pas adaptés à la qualité boulangère requise pour la panification artisanale. Une amélioration de la compréhension des variables (autres que le taux de protéine) intervenant dans l'élaboration de la qualité boulangère d'un blé pour la panification artisanale permettrait de mieux valoriser ces blés.

2. ETUDE DE CAS : LE BROCOLI

Le brocoli appartient à la famille des brassicacées qui sont particulièrement bien adaptées au climat breton. En matière de sélection participative, l'espèce chou a été pionnière en Bretagne dès 2001 (Chable et al, 2008). Actuellement, des variétés de choux fleurs blancs et le brocoli du Cap sont valorisées commercialement. Cependant, pour le brocoli, la question est plus complexe puisque c'est un légume récemment apparu sur les marchés sous sa forme actuelle et que la sélection n'a été faite que pour une agriculture conventionnelle. Il n'existe pas de variétés traditionnelles en France (donc pas de ressources génétiques) avec la forme de « tête » ronde et verte, à bouton floraux fins et réguliers, des hybrides F1 commercialisés. Ainsi, très peu de variétés existent sur le marché pour les producteurs en AB, d'autant plus que les techniques modernes de sélection utilisent des procédés biotechnologiques incompatibles avec les principes de l'AB pour assurer l'hybridation: la Stérilité Mâle Cytoplasmique (CMS) (Cf. les principes de l'agriculture biologique, International Federation of Organic Agriculture Movements, IFOAM).

Une enquête récente réalisée par l'ITAB dans le cadre d'un programme national CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural) piloté par l'Agence Bio révèle que 40% des agriculteurs utilisant des semences de brocolis biologiques ne sont pas satisfaits de la gamme de semences qui leur est proposée (Rey et al, 2012). Parmi les attentes spécifiques à l'AB, la qualité organoleptique figure au premier rang.

B. CONTEXTE ET ENJEUX

1. CADRE DE RECHERCHE

Les expérimentations réalisées dans cette thèse ont pour point de départ un projet européen SOLIBAM autour duquel gravite un certains nombres de projets régionaux. Le projet SOLIBAM vise à développer de nouveaux concepts de sélection, conduites de culture pour renforcer l'efficacité des systèmes de production alternatifs (AB et Faible Intrant (FI)). SOLIBAM s'inscrit donc dans une approche à la fois environnementale, sociale (via la sélection participative) et agronomique ; il cherche à répondre à la diversité des besoins des acteurs en favorisant la diversité génétique des cultures, elle-même associée et soutenue par une diversité de pratiques culturelles. **L'objectif général du projet est donc de développer des approches intégrées de la sélection et des pratiques agricoles pour améliorer la durabilité, la qualité, les performances agronomiques et la stabilité de ces performances en AB et FI.**

SOLIBAM s'articule autour de 10 volets :

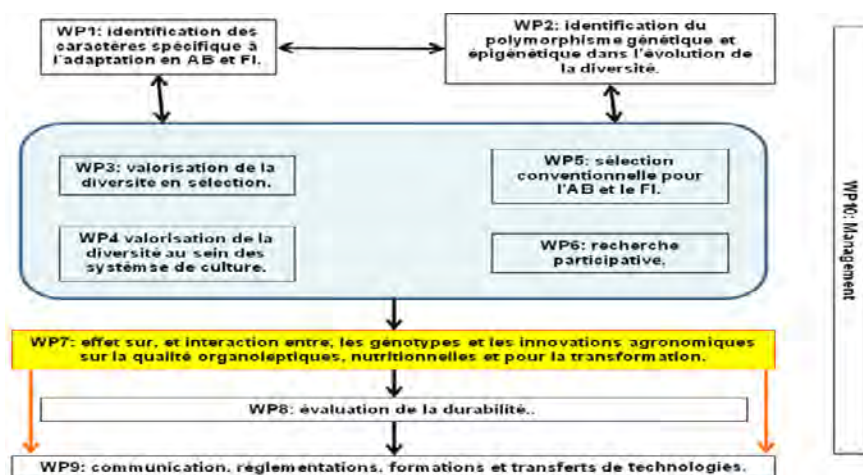


Figure 12 : Relation entre les 10 volets du Projet SOLIBAM

Afin de répondre d'une part aux attentes des consommateurs concernant les qualités gustatives et nutritionnelles, d'autre part aux besoins du producteur et transformateur concernant les qualités de transformations, le 7^e volet de SOLIBAM veut intégrer des critères sensoriels et nutritionnels dans le processus de sélection et de conduite de culture pour l'AB. Plus précisément, la tâche 1 de ce volet (sous la responsabilité de l'ITAB) a pour objectif :

- **La prise en compte des paramètres organoleptiques dans le processus de sélection.** Il s'agit d'établir une méthode de caractérisation sensorielle des produits permettant de prendre en compte des critères gustatifs en plus des critères agronomiques dans le processus de sélection.
- **La mesure de l'impact des pratiques culturales et du type de sélection sur les qualités gustatives et l'acceptabilité du produit.** Il s'agit ici de définir d'une part s'il existe une différence perceptible entre les produits issus du programme et les témoins, d'autre part si les variétés ainsi sélectionnées sont mieux acceptées par le consommateur.

2. LE DISPOSITIF DE RECHERCHE PARTICIPATIVE

2.1. CAS DU BLE

Le dispositif de recherche « Qualité sensorielle des blés populations », réseau national qui regroupe différentes associations, toutes sous l'égide du RSP, regroupe plusieurs projets participatifs, reposant sur différentes sources de financements (fondations, dispositifs de financement pour la coopération scientifique entre chercheurs et sociétés civiles (Action pour l'Appropriation Sociale des Sciences (ASOSc), Partenariat Institutions-Citoyens pour la Recherche et l'Innovation (PICRI)...). Ces projets, moteurs de la dynamique de recherche, permettent de contractualiser des partenariats et d'avancer ainsi sur des questions précises tout en maintenant une problématique de fond : l'amélioration de la connaissance sur les variétés anciennes et populations (réapprentissage des savoirs, développement de variétés adaptées, meilleure valorisation des produits issus de la filière paysans-boulangers). Cet objectif commun se concrétise à travers la réalisation de réunions au-delà des projets pour coordonner des expérimentations dans le réseau de recherche décentralisée que représente le RSP, à travers également des rencontres nationales des Paysans-Boulangers du RSP pour échanger sur les pratiques. Plusieurs équipes de recherche, institutions et associations gravitent autour de cette dynamique, l'équipe de Biodiversité cultivée de Rennes, l'équipe de génétique du Moulon (blé et micro-organismes), l'unité Eco-anthropologie et Ethnobiologie, CNRS, l'ITAB, la Fondation Science Citoyenne ou encore « Nature et Progrès ». Ainsi la recherche sur la problématique de la qualité sensorielle des variétés anciennes et population prend la forme d'un grand dispositif formé de multiples sous-dispositifs (=projets de recherche) dont un exemple est le projet de recherche participative PaysBlé dans lequel a été réalisée la première expérimentation présentée dans cette thèse.

Christine Audoux a analysé 11 projets participatifs réalisés entre 2005 et 2009 dans le cadre d'un appel d'offre PICRI visant à favoriser le partenariat citoyen-chercheur. Elle a identifié plusieurs étapes du processus, ou épreuves (Audoux and Gillet, 2011). Le schéma ci-dessous identifie ces différentes étapes dans le projet de recherche PaysBlé.

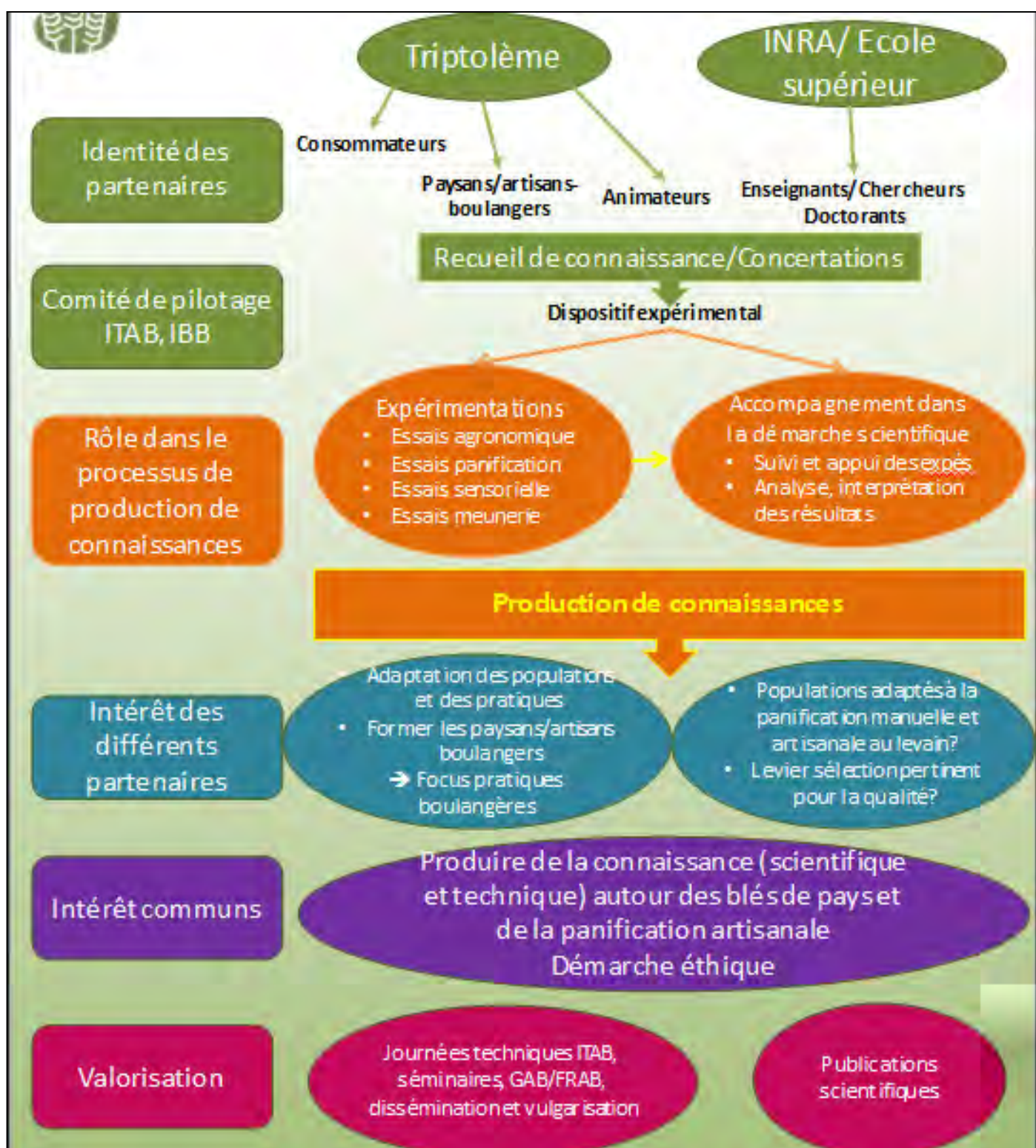


Figure 13: le dispositif de recherche participatif mis en œuvre dans le projet PaysBlé

2.2. CAS DU BROCOLI

Dans le cas du brocoli, le dispositif de recherche est celui de SOLIBAM. Les structures partenaires sont le sélectionneur Gautier Semences, la station expérimentale de la PAIS (IBB et Kaol kozh), l'ITAB et l'INRA. L'objectif de ce partenariat est d'étudier le levier sélection sur la qualité organoleptique des brocolis et de développer des populations et lignées (en vue de la création d'hybrides F1) adaptées à l'AB et au FI et différenciées sur le plan sensoriel. Les populations « sources », c'est-à-dire un ensemble d'individus brocolis hétérogènes génétiquement mais présentant des caractéristiques communes seront ensuite distribuées aux de Kaol kozh, mais aussi des associations voisines du RSP telle que Bio Loire Océan, agriculteurs pour qu'ils continuent la sélection selon leurs propres critères pour une meilleure adaptation aux conditions pédoclimatiques et socio-économiques. Parallèlement, Gautier tentera de créer des variétés fixées pour une inscription au catalogue officiel, en vue d'une commercialisation future.

3. ENJEUX ECONOMIQUES

Les besoins des commanditaires sont d'ordre économique, à savoir améliorer la viabilité de la filière par une connaissance agronomique et sensorielle des populations pour une valorisation de leurs produits et une meilleure adéquation avec les attentes des consommateurs. L'autonomie en production se pose effectivement pour la filière pain, les variétés actuellement cultivées présentant des rendements limités permettent difficilement une production de pain toute l'année basée uniquement sur une récolte.

Les résultats issus de l'étude des leviers d'actions mobilisables pour optimiser la qualité sensorielle seront directement intégrés dans la filière pour une meilleure valorisation des produits et une meilleure adéquation aux attentes des consommateurs.

4. ENJEUX METHODOLOGIQUES

La recherche sur les systèmes complexes nécessite le développement et/ou l'amélioration de nouvelles méthodologies (approche système, approche intégrée, approche participative...) et outils de recherche (statistiques, intégration des connaissances empiriques, modélisation conceptuelle, technique d'animation...).

Le développement de statistiques adaptées au contexte de la recherche participative où le nombre de données peut être limité ou encore la répétitivité des essais peut être compromise est un enjeu primordial pour conclure sur ces dispositifs de recherche. Des dispositifs expérimentaux en blocs incomplets et ou des outils statistiques tels que la Réduction des Carrés Partiels (Partial Least Square, PLS) sont des pistes de recherche. De même, les outils de mesure doivent être adaptés au contexte de la recherche participative où le manque de moyens peut se faire ressentir surtout si un des objectifs de ce dispositif est l'appropriation de la démarche scientifique pour une autonomie « partielle » des agriculteurs en expérimentation. Ceci pour favoriser l'adaptation locale des solutions de recherche aux contextes très variés de l'agriculture biologique.

L'évaluation sensorielle en participatif pose la question de l'outil. En effet la mise en œuvre de telles pratiques représente un coût élevé (7 000 à 14 000 € pour l'évaluation sensorielle de 10 échantillons en prestation). Les communautés locales voulant travailler sur les qualités sensorielles de leur produit ne peuvent y faire appel de façon systématique.

Un enjeu de coordination des initiatives locales est également mis en avant. Par la mise en commun des résultats et démarches, il est possible de multiplier les sources, les études de cas et d'améliorer ainsi la compréhension de problématiques complexes.

C. ETUDE DES LEVIERS D' ACTIONS POUR LA SELECTION PARTICIPATIVE EN FILIERES INTEGREES ET/OU CIRCUITS COURTS

En filière viticole, le terroir viticole comprend l'interaction de l'environnement (pédoclimatique), du cépage et de la technologie vigne-vin. L'action du vigneron est reconnue comme impactant sur la qualité de la vendange et la typicité du vin. L'héritage historique et la dimension socio-culturelle sont importantes et renforcent leur caractère unique (Deloire et al., 2004). Contrairement à la filière viticole, la filière intégrée pain ne bénéficie pas d'autant de reconnaissance. Pourtant, ces agriculteurs cultivent des variétés/populations spécifiques à leur région et les transforment selon une recette qui leur est propre (quelque fois transmises depuis des générations). La mise en évidence d'un tel terroir « panicole », c'est-à-dire l'existence d'une qualité spécifique associée à l'action conjointe de l'environnement, de la structure variétale cultivée et du transformateur, donnerait lieu à une meilleure valorisation des pains artisanaux au levain.

L'intégration de la qualité sensorielle dans les critères de sélection est alors un enjeu de la filière intégrée paysan-boulangier, question qui fait apparaître deux objectifs majeurs conduisant à deux axes de recherche.

Le premier axe est une réflexion autour de la pertinence de sélectionner pour la qualité sensorielle. En effet, l'impact de la structure génétique ne fait pas consensus parmi tous les partenaires. Pour l'exemple du blé, certains émettent l'hypothèse que le facteur « pratiques boulangères » (en particulier le levain) gomme l'effet potentiel que peut avoir la variété ou encore l'environnement. L'étude bibliographique met en évidence un grand nombre de publications s'intéressant à l'effet d'un facteur sur la qualité sensorielle mais très peu d'études prennent en compte l'interaction des facteurs. Une seule étude notamment a pour objet l'interaction Génotype*Environnement*pratiques Boulangères (G*E*B), problématique au centre des préoccupations de la filière pain intégrée. En prenant pour cas d'étude le pain artisanal au levain et le brocoli, cet axe de recherche vise à déterminer l'importance relative des facteurs influençant la qualité sensorielle, en prenant en compte les aspects génétiques, environnementaux, les pratiques culturelles, les procédés de transformation ainsi que les attentes des consommateurs.

Ce travail repose sur les hypothèses suivantes : certains génotypes présentent un potentiel aromatique remarquable qui peut être optimisé à travers l'environnement (terroir et pratiques culturelles) et la transformation. Plusieurs questions ont pu être formulées :

Dans quelle mesure le levier « sélection » permet-il d'agir sur la qualité sensorielle du produit transformé?

Si le levier sélection est validé, d'autres questions émergent :

- **Existe-t-il des génotypes aux caractéristiques sensorielles remarquables ?**
- **Si oui, est-il possible de trouver des marqueurs morphologiques de la qualité pour faciliter la sélection au champ ?**

Le second axe de recherche concerne les méthodes d'évaluation de la qualité sensorielle dans un contexte de recherche participative. En effet, les méthodes d'évaluation de la qualité sensorielle les plus fiables requièrent l'entraînement spécifique d'un jury, méthode coûteuse en temps et en argent. Des travaux sur la pertinence des descriptions libres, reposant sur l'expertise des professionnels de la filière, ouvrent la voie à des alternatives fiables et moins coûteuses pour mesurer la qualité sensorielle. La caractérisation sensorielle des pains artisanaux au levain offre la possibilité d'agir et de communiquer sur la qualité pour une meilleure valorisation des produits. Derrière cette qualification objective des caractéristiques sensorielles des pains se cachent la volonté de mutualiser les résultats pour alimenter un réseau et favoriser la description sensorielle d'un plus grand nombre de population de blé en circulation dans le réseau semences paysannes. **L'objectif est de proposer un cadre méthodologique pour la mise en œuvre d'une sélection intégrant des critères de qualité.**

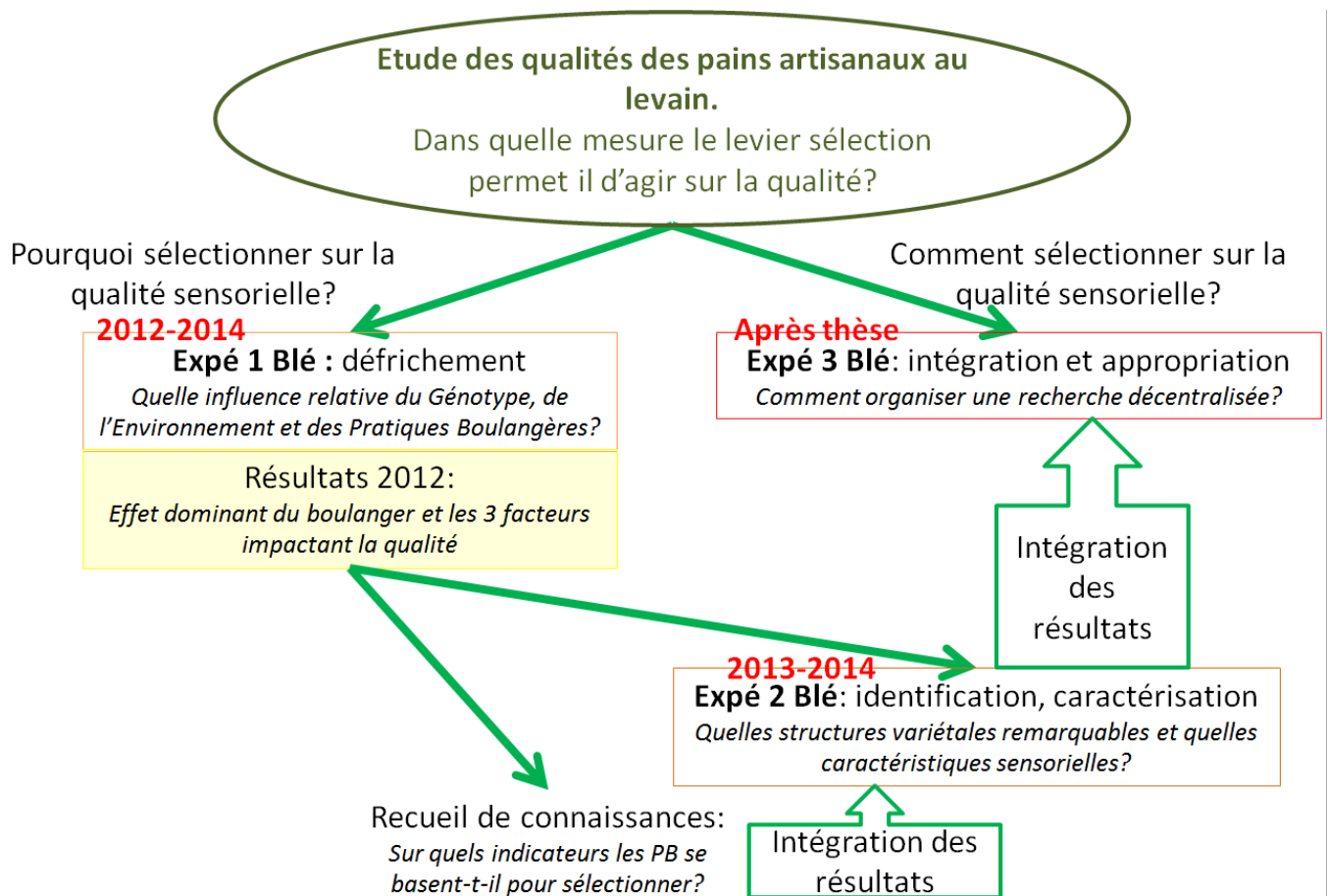


Figure 14: Etude de la qualité du blé: expérimentation principale et expérimentations complémentaires

Coordination entre les expérimentations

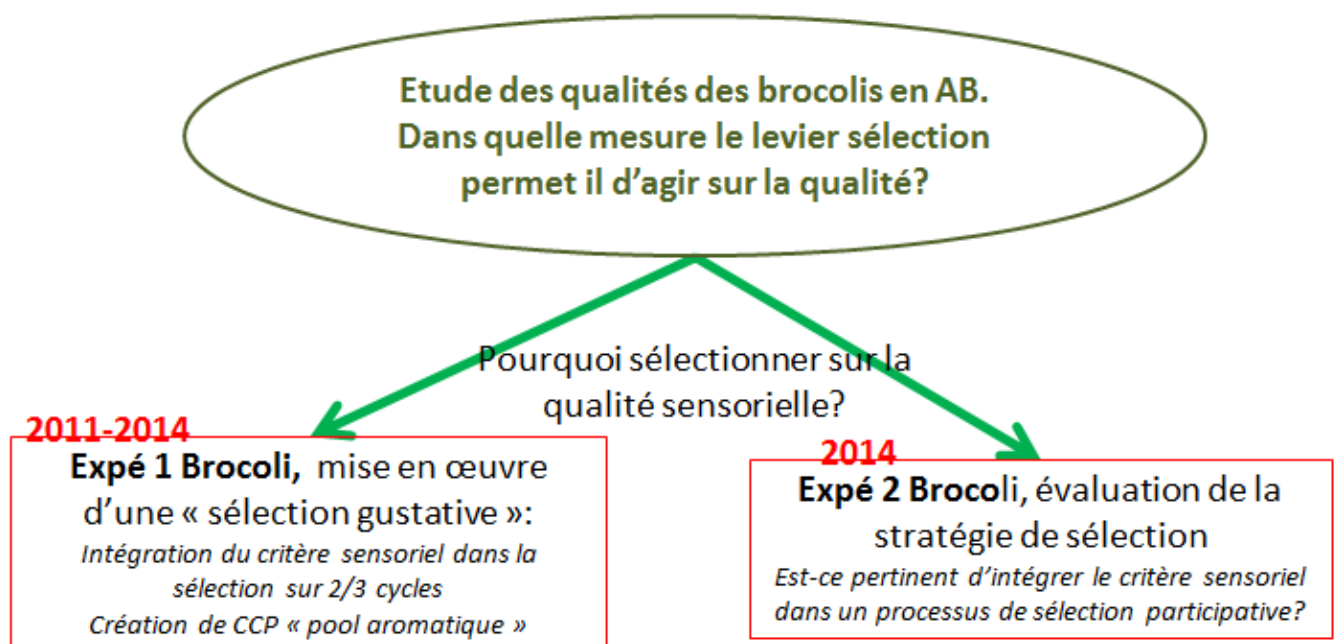


Figure 15: Etude de la qualité sensorielle des brocolis, protocole expérimental

1. ETUDE DE CAS : LE BLE

Concernant le blé, le projet PaysBlé a donné lieu à la mise en place d'un protocole expérimental sur 3 ans, qui a constitué l'expérimentation centrale de la thèse. La démarche globale consiste à croiser les données agronomiques, technologiques et sensorielles, à la manière d'un diagnostic agronomique pour identifier les causes des variations de la qualité. La dynamique lancée par cette expérimentation centrale a donné lieu à la réalisation d'expérimentations complémentaires visant à répondre à des questions plus précises et à identifier et valider des connaissances empiriques (Figure 14).

2. ETUDE DE CAS : LE BROCOLI

Concernant le brocoli, une expérimentation pluriannuelle a été mise en œuvre dans le cadre de SOLIBAM. La question est posée au premier stade de la sélection lors du choix des RG et du brassage de la diversité génétique initiale. Une stratégie de sélection intégrant des critères sensoriels a été mise en œuvre sur trois cycles. Cette stratégie a conduit à la création de Composite Cross Population (CCP) regroupées par « caractéristiques aromatiques ». Un profil sensoriel en externe sur les CCP a été réalisé en 2014 pour évaluer la pertinence d'une telle stratégie (Figure 15).

D. UNE PROBLEMATIQUE COMPLEXE ET PARTICIPATIVE

1. DEMARCHE GLOBALE

La démarche globale adoptée dans cette étude consiste à intégrer progressivement les facteurs potentiellement impactant dans l'étude de la qualité sensorielle. Dans la mesure du possible, les différents niveaux de la production (culture, transformation) ont été caractérisés pour faciliter la mise en évidence des causes des variations observées au niveau sensoriel (dans l'assiette) et la contextualisation des résultats. Pour le cas du blé, les résultats de ces expérimentations associés à un recueil de connaissances servent à la conception d'un outil d'évaluation de la qualité sensorielle, dont le mode de conception participatif vise à favoriser son appropriation. Dans le souci d'alléger le travail de thèse de dernière année et dans l'optique de pouvoir généraliser la démarche mise en œuvre à d'autre produit, la partie « mise au point d'un outil » ne concerne que le cas du blé.

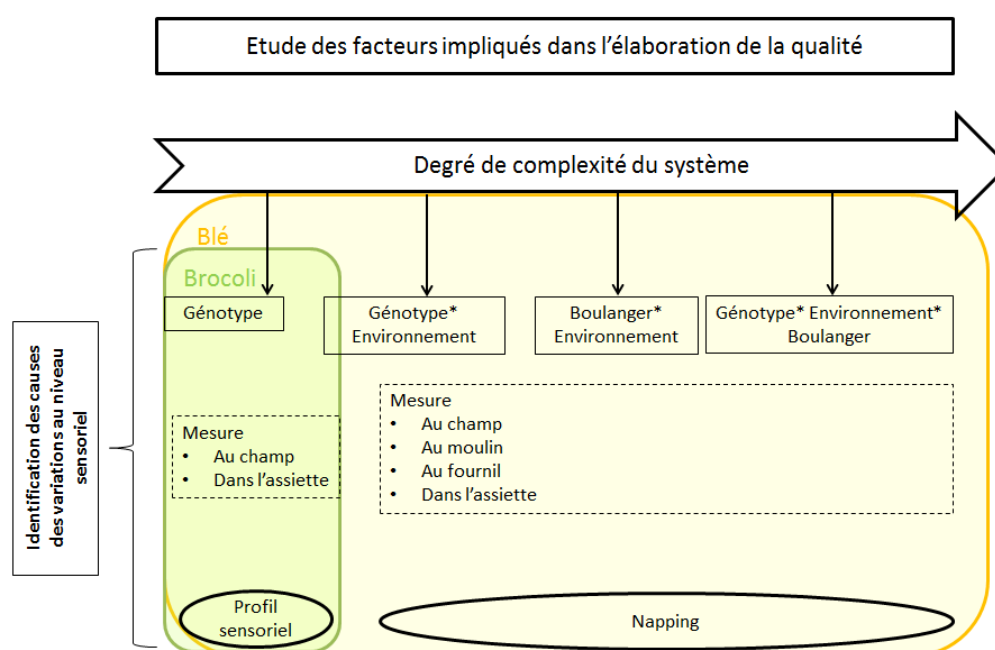


Figure 16: Démarche mise en place pour l'étude des facteurs impliqués dans l'élaboration de la qualité sensorielle

2. BROCOLI ET BLE : COMPLEMENTARITE DES DEUX MODELES

2.1. COMPLEMENTARITE DES ETUDES DE CAS

Les deux espèces choisies sont emblématiques de la région Bretagne mais les études proposées ont un intérêt général dans les méthodologies mises en œuvre. Elles sont complémentaires pour leur intérêt scientifique sur les plans agronomique, de la biologie florale et de la nature du produit : grande culture/culture légumière, espèce autogame/allogame, produit transformé/produit frais.

2.2. AMONT ET AVAL DE LA SELECTION.

Dans le cas du blé, la question se pose en amont de la sélection, mais se base sur des populations déjà repérées et/ou sélectionnées. Dans le cas du brocoli, aucune démarche de ce type n'a été recensée à ce jour. La question ne bénéficie donc pas de potentielles connaissances du terrain, l'objectif est bien ici de valider la pertinence d'une telle démarche.

3. UNE RECHERCHE PARTICIPATIVE

La démarche empruntée dans la thèse est participative. Différents acteurs (agriculteurs, sélectionneurs, chercheurs) ont pris part activement dans la définition des priorités de recherche, l'établissement des plans d'expérimentations, les observations et réflexions.

Les dégustateurs participant à cette étude sont des professionnels des filières concernées : paysans-boulangers, artisans boulangers, agriculteurs céréaliers, pour la filière pain, sélectionneurs pour la filière brocoli, chercheurs et techniciens travaillant sur la problématique des blés et/ou des choux populations, tous des consommateurs « chevronnés » de pain artisanal au levain ou de brocolis. Leurs participations aux séances de dégustations sont de l'ordre du bénévolat, leurs disponibilités déterminent donc le choix du test sensoriel. Disposer d'un éventail de méthodes apparaît donc comme condition inhérente à la mesure de la qualité sensorielle en condition de recherche participative. Par exemple, la caractérisation des génotypes nécessite l'entraînement d'un panel et donc une plus grande disponibilité des dégustateurs : en Rhône Alpes, un panel de 10 paysans boulangers a accordé quatre journées à l'entraînement/évaluation en 2013. L'étude des interactions peut se faire par des regroupements, plus grossiers, nécessitant moins d'entraînement et donc moins de temps : en Bretagne, seuls quatre à cinq paysans-boulangers ont été réellement impliqués dans l'épreuve et ne pouvaient accorder qu'un temps limité aux expérimentations sensorielles.

Une réflexion plus poussée sur ces aspects est proposée en partie IV afin d'identifier la valeur ajoutée d'une telle démarche face à un modèle de recherche délégitif (terme emprunté à Christophe Bonneuil (Bonneuil and Demeulenaere, 2007)).

PARTIE 3. ETUDE DES LEVIERS D' ACTIONS DE LA QUALITE ET DES METHODES D'EVALUATION DE LA QUALITE

A. CAS DU BLE

1. MATERIELS ET METHODES

1.1 CHOIX D'UNE STRATEGIE POUR INTEGRER DES CRITERES DE QUALITE EN SELECTION

La recherche sur l'amélioration de la qualité sensorielle offre deux stratégies. La première stratégie réside dans l'identification d'indicateurs de la qualité sensorielle pour une application en routine dans un programme de sélection à grande échelle par exemple. La deuxième stratégie cherche à adapter des méthodes d'analyses sensorielles aux contextes et aux produits. Nous avons adopté la seconde dans la thèse. D'une part, l'existence d'un réseau de paysans-boulangers désireux de vouloir expérimenter les qualités des variétés-populations rend la prise en compte du contexte socio-économique cruciale pour la réussite d'un programme de sélection et plaide pour une recherche délocalisée et adaptée à la diversité des situations. D'autre part le caractère intégré et court de la filière limite la possibilité d'appliquer des mesures instrumentales en routine pour des questions de moyens.

Pour améliorer la connaissance sur les variétés anciennes et favoriser la sélection décentralisée intégrant des critères sensoriels, deux expérimentations ont été mises en œuvre dans la thèse. Ces deux expérimentations contribuent à répondre à deux objectifs :

- L'étude des leviers d'actions mobilisables pour adapter la qualité sensorielle de pains aux levains fait à partir de variétés-populations. Cet objectif présente un enjeu à la fois individuel et collectif. Chaque paysans-boulangers pourra ainsi sélectionner dans sa ferme et échanger dans le réseau.
- L'étude des méthodes d'évaluations de la qualité sensorielle adaptées au contexte de la sélection participative. Cet objectif présente un enjeu collectif de structuration du réseau pour une meilleure organisation du réseau de recherche décentralisée.

1.2 EXPERIMENTATION 1 : INFLUENCE RELATIVE DES FACTEURS GENOTYPE, ENVIRONNEMENT ET PRATIQUES BOULANGERES : ETUDE EXPLORATOIRE

Cette expérimentation propose une « évaluation intégrée » du blé, c'est à dire du grain au pain. L'étude bibliographique met en évidence trois facteurs potentiellement impliqués dans l'élaboration de la qualité sensorielle (le génotype, l'environnement et les pratiques boulangères) mais aucune étude ne s'est intéressée à leurs interactions. Cette expérimentation veut combler ce manque en étudiant l'influence relative de ces facteurs sur la qualité sensorielle à trois niveaux de la production du pain : au champ (étude du comportement agronomique du blé), au moulin (étude du comportement technologique de la pâte) et au fournil (étude des caractéristiques sensorielles du pain). **Les facteurs environnementaux** sont pris au sens large dans la mesure où ils incluent les pratiques culturelles. L'approche retenue se veut réaliste. L'élaboration de la qualité sera donc abordée de manière systémique et intégrée. **Le facteur génétique** est défini par la structure variétale, caractérisée par la diversité intra génétique (des lignées pures aux populations), le phénotype qui comprend le comportement agronomique (rusticité, rendement) mais également les caractéristiques morphologiques. **Le facteur « pratiques boulangères »** est également pris au sens large pour être au plus proche des conditions réelles. Le système « Pratiques boulangères » comprend la recette propre à chaque boulanger-expérimentateur (nature et quantité de levain, intensité de pétrissage, nombre de rabat, taux d'hydratation, temps de pointage et d'apprêt...). L'inconvénient de ce choix est que les éléments composants ce système ne pourront être étudiés qu'à travers la diversité des pratiques. Cependant, des analyses des levains utilisés dans ces expérimentations ont été réalisées dans des thèses portant sur la diversité des bactéries et levures. Ces résultats pourront être croisés avec les

résultats sur la qualité sensorielle. Chaque recette est de plus bien caractérisée pour favoriser la mise en évidence des facteurs impactant.

La complexité de la problématique et de l'objet de recherche implique une démarche évolutive, s'adaptant aux aléas, à l'évolution des questions du groupe suite aux résultats partiels. Cela implique également de bien contextualiser et caractériser les cas d'études. De tels changements peuvent paraître peu propices à l'établissement de conditions expérimentales idéales, mais sont parfois inévitables. L'étude des moteurs de cette évolution, proposée en partie 4, permet d'en évaluer la pertinence.

1.2.1. LES ECHANTILLONS : DU GRAIN AU PAIN

a) ENVIRONNEMENTS DE CULTURE ET ECHANTILLONAGE

La démarche participative soutenue par le Programme PaysBlé a conduit à la recherche d'un compromis entre les exigences des uns et des autres dans l'élaboration du dispositif expérimental. Les génotypes à étudier, la taille des parcelles expérimentales ou encore la nature des observations ont donc fait l'objet de discussions.

Le protocole expérimental a été conçu de manière à maximiser les différences. En effet, les effets relatifs des facteurs environnement, génotype et « pratiques boulangères » étant méconnus, la stratégie consiste à maximiser les différences pour identifier les variations au niveau de la qualité et favoriser la mise en évidence de lien avec les causes des variations tel un diagnostic agronomique. La différence avec le diagnostic agronomique réside dans le nombre de parcelles suivies, moins nombreuses dans notre cas. Pour contrebalancer, un plus grand nombre de variables ont été relevées sur les 3 ans du projet ce qui fait de cette étude un compromis entre l'étude de cas et le diagnostic agronomique. De telles approches, compromis entre expérimentation et diagnostic agronomique, ont été rapportées dans la littérature (Doré, 2000) et offre une complémentarité : des hypothèses sont émises lors de la définition du dispositif expérimental (la diversité favorise la stabilité), parallèlement, le travail de diagnostic permet de bâtir progressivement un système d'interprétation à partir d'une observation du réel.

Les environnements de cultures ont été choisis pour leur diversité et caractérisés sur le plan pédoclimatique et sur les itinéraires techniques. Sur les trois ans d'études, huit environnements aux caractéristiques (pédoclimatiques et agronomiques) très différentes ont été sélectionnés pour maximiser les différences entre les environnements de culture : fermes de Gille Simonneaux (GS), Pierre Tranchant (PT), Nicolas Supiot (NS), Florent Mercier (FM), Julie Bertrand (JB), Damien Houdebine (DH), Vincent Colléau (VC) et Jean Pierre Cloteau (JPC). Les essais chez NS n'ont pû être analysés pour des raisons de faibles rendements en 1^o et 2^o année. Par la suite, NS a souhaité arrêter l'expérimentation. Un autre environnement (ferme) est venu compléter le dispositif : la ferme de Vincent Colléau (VC).

Les parcelles expérimentales sont répétées deux fois par environnement. Chaque parcelle fait 100 m² pour permettre la réalisation des observations, des essais en panification et le semis pour l'année suivante. Chez chaque paysan partenaire, un essai consiste en 6 parcelles (2 répétitions par génotype, chacune sur un bloc) (Figure 19). Pour limiter le biais représenté par l'hétérogénéité des parcelles (condition expérimentale à la ferme), le positionnement des blocs a été réfléchi en fonction de la cartographie de la parcelle pour les positionner dans une zone la plus homogène possible. Les largeurs et longueur des bandes ne sont pas prédéfinies, les paysans sont libres de semer leurs parcelles de 100 m² comme ils le veulent. Le semis doit être réalisé dans un certain ordre de manière à éviter le mélange de grains : d'abord Renan, puis Sixt puis Mélange Dynamique.

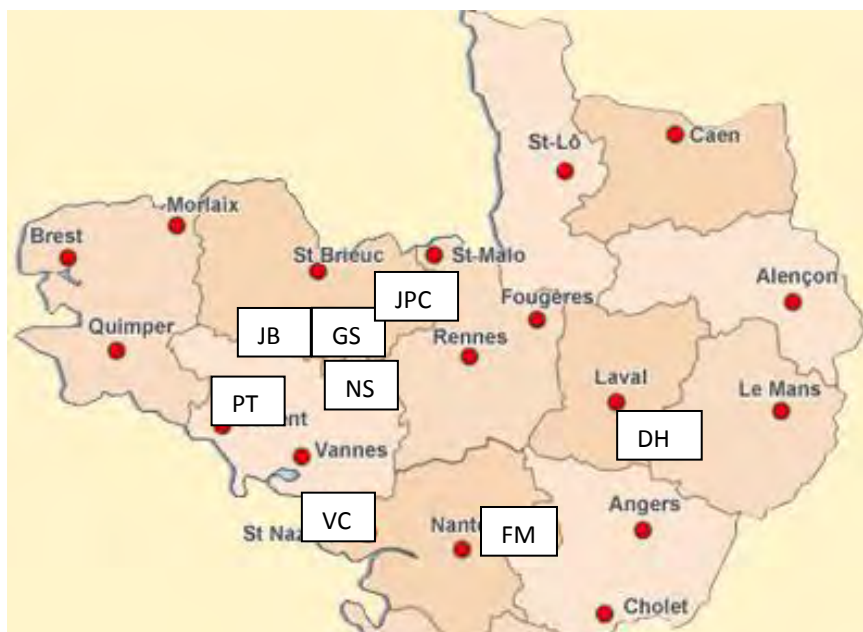


Figure 17: Localisation des environnements de cultures

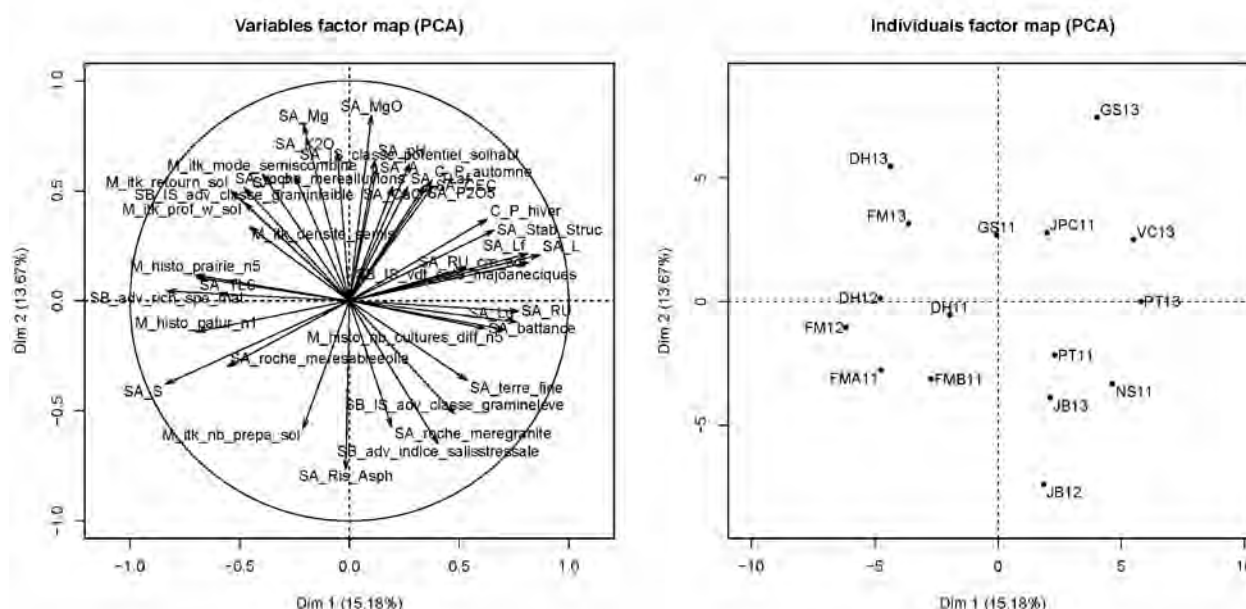


Figure 18: Analyse en Composante Principale sur les données pédoclimatiques et culturelles des 6 environnements PaysBlé : caractérisation de la diversité des environnements de culture, variables les plus significative (>30%).

Pour visualiser la diversité des environnements en fonction des variables mesurées, une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée. La Figure 18 présente les variables dont la significativité est supérieure à 30%. Un environnement correspond ici à une ferme et une année. Les environnements sont bien répartis sur le premier plan, ce qui indique une certaine diversité sur l'échantillon. La première dimension semble distinguer les environnements d'une même ferme sur des variables liés à l'itinéraire technique. La deuxième différencie les environnements sur les années et semble liée à des variables rendant compte des caractéristiques pédoclimatique des parcelles.

L'hypothèse sous-jacente des expérimentations est que la diversité au sein des cultures est un facteur d'adaptation et donc un facteur de stabilité des performances. Pour affiner une méthode d'évaluation afin de tester cette hypothèse trois structures variétales, représentant un gradient de diversité ont été sélectionnées :

- une variété témoin, lignée pure '**Renan**' (**R**), inscrite en 1983 par Agri-Obtention, référence en AB (18% des surfaces en blé biologique en France en 2012) (Fontaine et al., 2013). Renan est un blé court (68 cm en moyenne) et demi-tardif. Son poids spécifique (indicateur du remplissage) est élevé.
- une population, 'Sixt sur Aff 15746' (**S**), un génotype récupéré dans les années 70 et maintenu dans la collection des « blés de Redon » de Gérard Doussinault, conservé aujourd'hui au Centre de Ressources Génétiques de Clermont Ferrand, puis remis en culture en 2003, par Florent Mercier, un des paysans partenaires de PaysBlé.
- une population dynamique, Mélange de Florent Mercier (**M**), constituée de 12 populations, dont le 'Sixt sur Aff', et cultivée depuis 2008 sur sa ferme. Ce mélange est composé à l'origine de : 'Gua' (16%), 'Rojo de Sabendo' (15%), 'Marat Barbu', 'Sixt/Aff' 15746 et 346 (12%), 'Oulianowska' (10%), 'Gris de Saint Laud' (7%), 'Blé de Gâtine' (6%), 'Alauda' et 'Saint Priest' (4%), 'Saissette de Provence' (2%). Ces proportions évoluent chaque année, les génotypes favorisés gagnant en proportion, d'où le nom de mélange dynamique. C'est un mélange à paille haute (115cm en moyenne) avec une forte diversité génétique.

Dans cette étude, les blés, farines et pains sont nommés selon leur origine (terroir et année), la variété et le boulanger. Le tableau 3 ci-dessous précise ce code de lecture.

Tableau 3 : Noms des échantillons

Nom de l'échantillon	Origine	Génotype	Boulangier
Environnement*Année_Génotype_Boulangier	Lieu : IL, DH, GS, JPC, PT, FM, VC Année : 11, 13	R (Renan), S (Sixt), D (Mélange dynamique)	EG, JB, NS, TBR, INR
Exemple : GS11_R_EG	GS11	R	EG

Expérimentations Paysblés

Originalité:

Approche Intégrée: du grain au pain
Approche système: étude de l'interaction
Génotype*Environnement*Boulangier

Difficultés:

Un ou des facteurs dominants qui peuvent gommer les autres
Beaucoup d'objets à étudier de façon exhaustive: 6*3*3 (ou 5) pains

Données agronomiques :

Composantes du rendement, biomasses, concurrence du blé face aux adventices, état sanitaire (mycotoxines, crises), description phénotypique...

Caractérisation du terroir (= données environnementales et pratiques culturales):

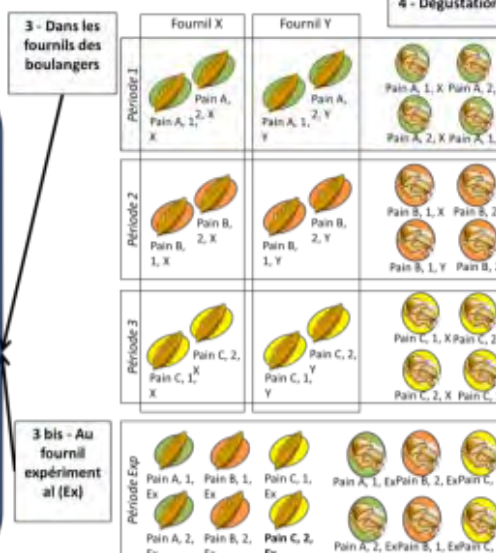
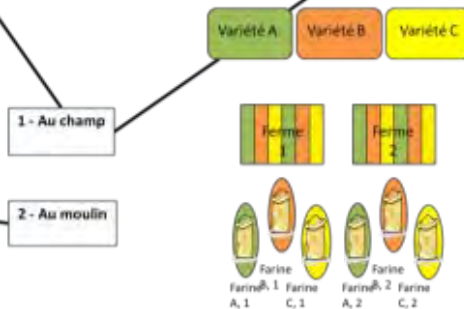
Sol : analyses physico-chimiques classiques, roche mère, bio-indication, vers de terre, activité biologique...
Climat : températures et précipitations de l'année, comportement par rapport à une année « normale »
Pratiques : passé de la parcelle depuis 5 ans (cultures, travaux du sol, apports)

Données technologiques meunières :

Rendement farine, tailles des particules, protéines, glutens, amidons, alvéomètre de Chopin, absorption de l'eau, sédimentation, dureté...

Comportement de la pâte au cours de la panification :

Pétrissage : consistance, extensibilité, relâchement hydratation...
Pointage : pousse, suintement, tonicité...
Façonnage : allongement, déchirement, tonicité...
Apprêt : porosité, déchirement, cloquage...
Mise au four : collant, tenue, expansion...
Aspect pain et mie : brunissement, brillance, dureté, couleur, texture, alvéolage...



Qualités sensorielles et organoleptiques des pains :

Goûts malté, grillé, acide, caramel, feuille, noix, prune...
textures (sableux, moelleux, sec...)

Différentes étapes d'un cycle d'expérimentation :
Exemple avec 2 fermes et 2 boulangers

Source: rapport final PaysBlé, Serpolay et al.

Figure 19: Schéma expérimental et données collectées

b) PREPARATION DES ECHANTILLONS

i. LA MOUTURE

Les blés récoltés en 2011 et 2013 chez les expérimentateurs-agriculteurs ont fait l'objet d'un prélèvement pour analyse au laboratoire de Hongrie, au centre de Recherche Agronomique de l'Académie des Sciences (partenaire du projet SOLIBAM). Ces analyses ont été réalisées directement sur le grain de blé puis sur la farine qui a été élaborée en mouture d'essai (moulin à cylindres dont les taux d'extraction varient entre 55 et 65 %).

A partir de ces récoltes, des lots ont été constitués par variété et par producteur ; les répétitions aux champs ont été mélangées afin d'obtenir une quantité de farine suffisante pour être panifiée par 4 à 5 boulangers. Cet assemblage n'a pas été possible avec les quantités de blé trop faibles obtenues chez Pierre Tranchant en 2012 sauf pour les essais panifications INRA. De même en 2014, seuls 3 environnements ont pu être testés par les boulangers mais 5 ont pu être évalués en laboratoire pour les panifications INRA.

Toutes les moutures d'une même année de récolte ont été réalisées dans le même moulin, chez Samuel Poilâne (un fabricant de moulin) en 2012. En 2014, pour des raisons logistiques, les trois premières moutures (une variété provenant de 3 environnements) ont été réalisées dans le moulin de Nicolas Supiot selon un même réglage. La dernière mouture (3 variétés * 5 environnements) a été faite chez Samuel Poilâne pour pouvoir comparer les résultats entre les deux années. Le moulin est un moulin Astrié, le plus couramment utilisé en boulangerie artisanale AB, dont le taux d'extraction est de 80%, les farines qui en ressortent sont dites « semi-complètes ». Les expérimentateurs-boulangers ont volontairement choisi de travailler avec une farine fraîche, les échantillons de grains concernés ont été moulus une semaine avant chaque panification. Des analyses infra-rouge ont été réalisées après chaque mouture. Le tableau 4 synthétise les mesures réalisées sur les grains et farines dans le cadre de SOLBAM (Hongrie) et PaysBlé (INRA). Les farines ont ensuite été distribuées aux expérimentateurs (paysans-artisans-boulangers ou chercheurs INRA) pour l'étape de panification.

Tableau 4 : Mesures réalisées sur grains et farines

	Hongrie (T55)	INRA (T80)	Définition/méthode d'analyse
Grains	Protéine		Méthode Kjeldhal, détermination de la quantité d'azote (Kjeldahl, 1883) (NF V03-050)
	Gluten (%Glutomatic)		Méthode Glutomatic
	Gluten (% hand)		Méthode Gluten Index (Norme ICC n°155 et 158)
	Taux d'absorption d'eau (WA)		
	Amidon		Dosage du glucose libéré après hydrolyse enzymatique (NF 03-606)
	Indice de sédimentation de Zeleny		Analyse dans le proche infrarouge (NF ISO 5529)
	Poids spécifique kg/hl		
	Poids de mille grains		
	Diamètre du grain		
	Indice de dureté		Spectrométrie de réflexion dans le proche infrarouge, indique la friabilité (ou la résistance) du grain à la mouture.
	Humidité		
Grains	Poids de mille grains		
	Granulométrie		
	Taille du grain		
Farines	Gluten %		
	Gluten Index		

	Hongrie (T55)	INRA (T80)	Définition/méthode d'analyse
Farines	Indice du temps de chute de Hagberg		Pouvoir diastasique : activité enzymatique (amylasique)
	Indice de Zélny		Aptitude de la farine à gonfler en milieu acide
	Protéine		
	Rendement de la farine		
		P	Ténacité, élasticité : pression maximale enregistrée dans la bulle de pâte
		G	Extensibilité : gonflement maximal avant que la bulle n'éclate
		W	Force boulangère de la farine
		Taux de cendre	Teneur en matière minérale de la farine, pesage des matières résiduelle après incinération (900°C) de la farine

ii. LA PANIFICATION

La panification s'est déroulée deux jours avant les dégustations pour chaque séance de dégustation selon les pratiques individuelles des boulangers. Chaque expérimentateur-boulangier a panifié selon ses habitudes, et a évalué les pâtes selon la grille de panification élaborée en commun avec le groupe d'expérimentateurs. Les pains ont été ensuite stockés dans du papier kraft à l'abri de l'humidité en attendant le transport dans les deux jours vers le lieu de dégustation.

Les expérimentations INRA se sont déroulées selon les standards en test panification (BIPEA, annexe 2). Un même diagramme de fabrication a été appliqué aux 30 échantillons. Le levain a été récupéré le matin à 8h30, la veille de la panification à Pain Virgule (la SCOP de Erwan Gentric, un boulangier impliqué dans les expérimentations). Le premier rafraîchi, à 12h00, consiste en l'ajout de 750g de farine de chaque échantillon respectifs. Le levain est ensuite mis au repos pour fermentation 1h à 27°C puis 4h à 22°C puis mis au froid à 4°C pendant 13h. La formulation des pains est indiquée dans le tableau 5.

Tableau 5: Formulation des pains pour l'expérimentation 1

Farine totale	100	2000,000
Sel	3,2	64
Eau	66,4	1328
levain chef	72,7	1454
	242,3	4846

Le pétrissage a été réalisé au pétrin mécanique spiral pendant 4 minutes à vitesse lente, puis 10 min d'autolyse suivi d'un second pétrissage pendant 4 minutes à vitesse lente. La pâte à 26°C est mise au pointage pendant 2 h entrecoupée d'un rabat à 1h15. La pâte est ensuite façonnée en format « bâtard » de 500g (sorte de boule allongée) et mis à l'apprêt pendant 2h30 à 25°C. Les pâtons sont ensuite enfournés à 250°C pendant 35 minutes environ.

La démarche intégrant une description précise des étapes du processus de production, du grain au pain a été adoptée et nécessite des mesures réalisées au champ, au moulin, au fournil et « dans l'assiette ».

1.2.2. EVALUATION AGRONOMIQUE

Les mesures agronomiques réalisées visent à évaluer :

- Le niveau moyen des performances de rendement et de qualité (composantes du rendement, biomasses végétative)
- la santé des populations (concurrence du blé face aux adventices, état sanitaire...)

- la variabilité des caractères dans l'espace et le temps.

La caractérisation phénotypique des peuplements cultivés accorde autant d'intérêt à la valeur moyenne qu'à la variance pour mesurer l'adaptation aux conditions d'agriculture biologique et faibles intrants).

Tableau 6: mesure pédoclimatique et agronomique réalisée dans l'expérimentation 1

Stade du blé	Observations et prélèvements terrains	Observation du blé	Description de l'environnement
Avant tallage	Densité des plantes en sortie d'hivers	☒	
Plein tallage	Couverture du blé, adventices, sol	☒	
	Adventices	☒	☒
	Vers de terre		☒
Stade 2 nœuds	Biomasse blé	☒	
	Couverture du blé, adventices, sol	☒	
	Hauteurs des plantes	☒	
	Mycorhizes	☒	☒
	Analyse de terre classique et activité biologique du sol		☒
	Profondeur du sol		☒
	Passé de la parcelle		☒
Maturité	Couverture du blé	☒	
	Couverture des adventices et du sol	☒	
	Biomasse des adventices	☒	
	Biomasse blé (séparation grain/paille)	☒	
	Hauteurs des plantes	☒	
	Verse	☒	
	Aspect sanitaire	☒	
Post récolte	Composante du rendement (nombre d'épillets, longueur de l'épi, nombre de grains par épillet, couleur de l'épi	☒	

1.2.3. EVALUATION TECHNOLOGIQUE

a) EVALUATION AU MOULIN

Les variables mesurées au moulin sont des données meunières technologiques classiques : rendement farine, tailles des particules, protéines, glutens, amidons, alvéomètre de Chopin, absorption de l'eau, sédimentation, dureté... Elles visent à expliquer les différences perçues au niveau sensoriel. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire hongrois partenaire du projet SOLIBAM. L'ensemble des mesures réalisées sont résumés dans le tableau 7.

Tableau 7: Mesures de la qualité technologique (aptitude à la panification) des échantillons

Mesure de paramètre de la qualité technologique		Données instrumentales	Données sensorielles
Sur grains	Sur farines		
Extraction du gluten		☒	
Absorption eau (WA)	Absorption eau	☒	
Taux d'amidon		☒	
Dosage d'humidité		☒	
Indice de sédimentation de Zélény		☒	
Poids de milles grains		☒	
Gluten Index		☒	
Rendement de la farine		☒	
Taux de protéines	Taux de protéines	☒	
	Amidons endommagés (UCD)	☒	
	Note de pate		☒

Mesure de paramètre de la qualité technologique		Données instrumentales	Données sensorielles
Sur grains	Sur farines		
	Taux de cendres	☒	
	Elasticité au pétrissage		☒
	Tonicité au façonnage		☒
	Relâchement à l'apprêt		☒
	Tenue au four		☒

b) EVALUATION AU FOURNIL

L'évaluation de l'aptitude à la panification de farine est basée traditionnellement sur une évaluation par l'observation sur des descripteurs liés à la qualité de la pâte. Cette approche a été formalisée dans la méthode AFNOR de panification et a conduit à définir une échelle de notation par intensité des écarts ou des défauts (très insuffisant à très excessif) et une liste de descripteurs sensoriels clairement définis. Le langage en boulangerie fait apparaître des confusions entre les termes (par exemple entre extensibilité et élasticité) et un caractère non adapté des descripteurs définis dans la grille BIPEA avec le contexte de la panification artisanale au levain à partir de variétés anciennes. Un travail important réalisé tout au long de PaysBlé a été d'adapter cette grille au contexte du projet et de définir clairement les descripteurs par des gestes, des photos, des partages d'expériences. Un recueil de connaissance a d'abord donné lieu à la construction d'une grille d'évaluation. Des rencontres entre les paysans-boulangers ont permis à la fois d'identifier des pratiques, des observations et des évaluations différentes et d'introduire un mode d'observation qualitative des produits. Pour valider la démarche d'évaluation, des journées de formation ont été organisées (en laboratoire et en fournil). Cette démarche a donné lieu à la rédaction d'un dossier technique boulanger intitulé « appréciation des caractéristiques rhéologiques des pâtes par le boulanger » qui sert à présent de support de formation dans le réseau.



Au fournil, le choix a été d'évaluer les pains à travers une grille de notation de type BIPEA, dont le vocabulaire et les variables ont été adaptés à la panification artisanale au levain (annexe 3). La méthode BIPEA est un test de panification normalisé permettant de comparer les pains d'un laboratoire à un autre. La fabrication des pains se déroulent selon un processus rigoureusement établi. Chaque étape de la panification fait l'objet d'un relevé des caractéristiques observées sur une grille de notations basée sur le principe d'insuffisance et d'excès. Dans notre étude, les notes ont été attribuées par les expérimentateurs (boulangers et chercheurs) sur le comportement de la pâte au cours de la panification et sur des critères adaptés à la panification artisanale au levain : pétrissage (consistance, extensibilité, relâchement, hydratation...), pointage (pousse, suintement, tonicité...), façonnage (allongement, déchirement, tonicité...), apprêt (porosité, déchirement, cloquage...), mise au four (collant, tenue, expansion...), aspect pain et mie (brunissement, brillance, dureté, couleur, texture, alvéolage...).

1.2.4. EVALUATION SENSORIELLE

Les mesures « dans l'assiette » correspondent à l'évaluation de la qualité sensorielle du pain. Une épreuve de Napping® a été choisie, car elle permet, avec peu d'entraînement, de positionner les pains les uns par rapport aux autres sur un espace sensoriel et d'expliquer qualitativement les différences. De plus, comme le souligne (Perrin et al., 2008), c'est une méthode adaptée pour mesurer l'influence de différents éléments techniques les uns par rapport aux autres. C'est donc une mesure **globale** et **spontanée** de la qualité sensorielle qui a été réalisée pour cette expérimentation. L'influence relative des facteurs est évaluée par les regroupements entre les pains (distance sensorielle globale) mis en évidence par le Napping®.

L'épreuve du Napping® a été choisie pour mesurer la qualité sensorielle des pains pour son caractère adapté au contexte : difficulté pour trouver des jours communs à tous les paysans-boulangers pour un entraînement sensoriel poussé et faible expertise des dégustateurs.

a) LE PANEL

Le panel est composé de chercheurs, ingénieurs, (paysans)-boulangers, consommateurs membre de l'association Triptolème ou encore de salariés INRA. Le tableau 8 détaille la composition des panels les 8 jours de dégustations. Un noyau d'environ 8 individus reste présent lors des 4 séances de 2012. En 2014, au moins 5 juges ont été présents lors des 4 dégustations.

Tableau 8 : Compositions des panels de dégustateurs lors des 4 séances d'évaluation sensorielle

N°Panel	Recherche	Professionnel	Consommateur	Total
Année 2012				
Panel n°1	4	4	5	13
Panel n°2	1	4	6	11
Panel n°3	2	2	6	10
Panel n°4	4	6	4	14
Année 2014				
Panel n°5	4	2	4	10
Panel n°6	12	2	10	24
Panel n°7	8	0	4	12
Panel n°8	7	3	15	25

b) LES SEANCES DE DEGUSTATION

Le tableau 9 décrit la date, le lieu et les échantillons évalués par séances.

Tableau 9 : détail des séances de dégustation

N° Séance	Date	Lieu	Echantillons évalués
Année 2012			
Séance n°1	22/02/2012	Fournil de Daniel Testard, Quily (56)	GS11_S, JPC11_S, FM11_S, DH11_S*5 boulangers
Séance n°2	07/03/2012	Cinelac, Cinéma de Ploermel (56)	GS11_D, JPC11_D, FM11_D, DH11_D*5 boulangers
Séance n°3	21/03/2012	Café « La vie enchantée », Rennes (35)	GS11_R, JPC11_R, FM11_R, DH11_R*5 boulangers
Séance n°4	05/05/2012	Fournil de Laure Rossi, Péaule (56)	GS11_S, JPC11_S, FM11_S, DH11_S, PT11_S, GS11_D, JPC11_D, FM11_D, DH11_D, PT11_D, GS11_R, JPC11_R, FM11_R, DH11_R, PT11_R
Année 2014			
Séance n°5	22/01/2014	INRA du Rheu (35)	FM13_D, GS13_D, VC13_D*4 boulangers
Séance n°6	19/02/2014	INRA du Rheu (35)	FM13_S, GS13_S, VC13_S*4 boulangers
Séance n°7	19/03/2014	INRA du Rheu (35)	FM13_R, GS13_R, VC13_R*3 boulangers
Séance n°8	29/05/2014 et 30/05/2014	Fournil d'Erwan (44) et INRA du Rheu	FM13_D, GS13_D, VC13_D, JB13_D, DH13_D, FM13_S, GS13_S, VC13_S, JB13_S, DH13_S, FM13_R, GS13_R, VC13_R, JB13_R, DH13_R

c) PRESENTATION DES ECHANTILLONS

Les tranches qui servent à la dégustation sont prélevées au milieu du pain (de part et d'autre), juste avant les dégustations, de 11 mm d'épaisseur environ, puis coupées en 4 (de façon homogène), de manière à garder la mie et la croûte sur le même échantillon pour une évaluation globale du pain. Les échantillons sont présentés simultanément et de façon anonyme, à chaque échantillon est assigné un code à trois chiffres. Une liste de descripteurs caractéristiques du pain réalisée à partir de la bibliographie est proposée aux juges pour faciliter la caractérisation (verbalisation des sensations).

1.2.5. LES JEUX DE DONNEES

L'originalité de cette expérimentation est d'évaluer les individus (blés) à tous les stades de la production. Cependant, les résultats des 4 épreuves de Napping® ne peuvent être ajoutés au jeu de donnée en tant que tel, chaque résultat est en effet lié à un espace produit à un moment donné. Les conclusions, tendances mises en évidence lors de chaque session seront comparées d'une session à une autre. Néanmoins, les mots générés par tous les juges et tous les produits sur l'ensemble des épreuves peuvent être compilés et ajoutés au jeu de données « du grain au pain ». Par conséquent cette expérimentation génère deux jeux de données, détaillés dans la Figure 20 et la Figure 21. Les données de Napping® sont utilisées d'une part comme indicateur pour qualifier la qualité organoleptique autre que la texture. Ces descripteurs permettront de répondre à la question : peux-t-on qualifier un génotype, un terroir ou un boulanger par des descripteurs sensoriels ?

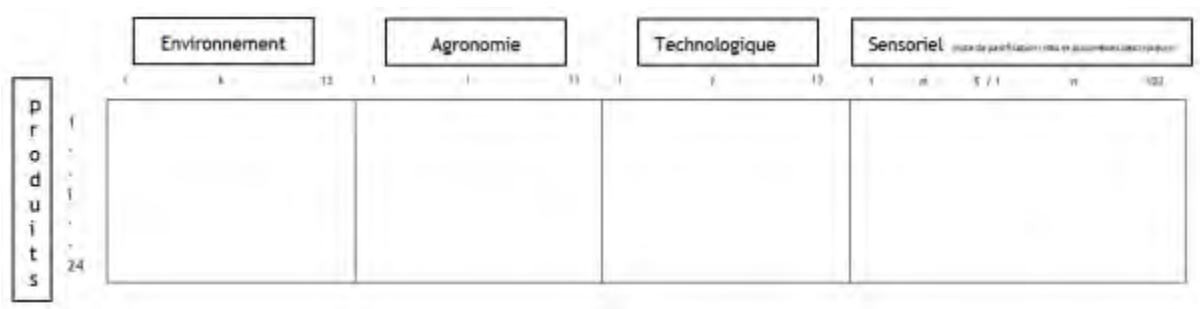


Figure 20: jeu de données « du grain au pain »

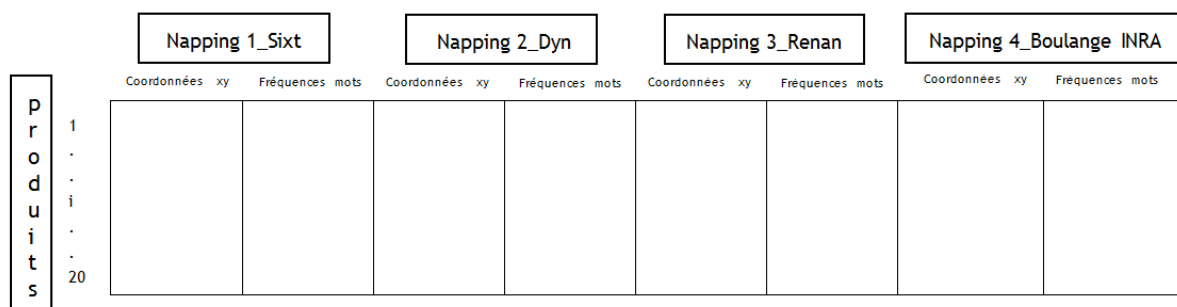


Figure 21: Jeu de données « Napping® »

1.3 EXPERIMENTATION 2 : IDENTIFICATION, CARACTERISATION DE GENOTYPES D'INTERET

Bien que les pains évalués dans l'expérimentation 1 montrent un effet dominant du facteur « Pratiques Boulangères » dès la première année, cela ne veut pas dire pour autant que le facteur génétique n'a aucun impact. Pour évaluer la pertinence du levier sélection, il faut se demander si pour un même terroir et un même boulanger (les conditions réelles) la panification de différentes variétés donnent des pains différenciables sensoriellement. Cette expérimentation, complémentaire à l'expérimentation centrale « PaysBlé », a débutée en 2012 et s'attache à

décrire plus précisément les variations sensorielles induites par le génotype. Pour cela, un groupe de paysans-boulangers (attachés à l'ARDEAR) s'est porté volontaire pour un entraînement à l'évaluation de pains artisanaux au levain. Une partie d'entre eux ont été interviewés à différentes étapes du processus.

Après une année d'expérimentation, des observations et rencontres ont révélé l'importance des connaissances empiriques détenues par les agriculteurs pour l'expérimentation. Ces agriculteurs-expérimentateurs, ont pu au cours de leurs pratiques repérer des motifs dans leurs cultures étant en relation avec la qualité finale de leur pain. En effet, le choix des populations à tester dans de telles expérimentations est cornélien, certaines ne présentent aucun intérêt sensoriel, la place et le suivi limitant le nombre de populations tests, des phénotypes, typologies peuvent offrir des indicateurs pour le choix et la sélection de populations. Cette connaissance, pour être « utilisable », doit être validée scientifiquement. C'est sur quoi s'est penché le projet Paysblé mais essentiellement sur les pratiques boulangères. Pour identifier et valider cette connaissance, un recueil de connaissances a été réalisé. A travers des enquêtes et une caractérisation morphologique des mélanges-boulanges, cette expérimentation s'est attachée à identifier les pratiques de sélection qu'exercent les paysans-boulangers en rapport avec la qualité finale. Parallèlement, toujours en partant de l'hypothèse que les paysans-boulangers sélectionnent pour la qualité de transformation, des « mélanges-boulanges » et populations ont été évalués sensoriellement par le panel entraîné à cet effet.

1.3.1. LES ECHANTILLONS : DU GRAIN AU PAIN

a) NATURE ET NOM DES ECHANTILLONS

i. 2012/2013 : CREATION D'UN PANEL DE DEGUSTATION ET IDENTIFICATION DES STRATEGIES DE SELECTION

En 2012/2013, 10 kg de grains de 4 « mélanges-boulanges » cultivés respectivement chez leur propriétaire, et deux génotypes « témoins », le 'Florence Aurore' (lignée) et le 'Rouge de Bordeaux' (population) provenant de terroirs différents ont été moulus dans le même moulin le même jour. Les grains ont été moulus sur meule de pierre de manière à obtenir une farine de type 80.

ii. 2013/2014 : CARACTERISATION SENSORIELLE DE GENOTYPES

La dynamique étant lancée et le panel déjà entraîné, le groupe s'est lancé dans une deuxième année d'expérimentation. Un comité de pilotage s'est déroulé à Lyon dans les locaux de l'ARDEAR à la mi-octobre pour définir ensemble les différentes populations à tester et définir le calendrier des expérimentations. Le choix des populations s'est fait selon 3 critères : une entrée phénotypique (blé méditerranéen, rouge...), des variétés anciennement cultivées dans la région (et prometteuses au vu de la collection), un maximum de variété sur un minimum de terroir pour évaluer le facteur génétique.

Il a été choisi de réaliser trois sessions d'évaluation :

- Session 1 : Une population transformée par cinq boulangers. Pour tester l'effet du boulanger (sa conduite de fermentation), une population provenant d'un environnement et panifiée par 5 boulangers a été évaluée par le panel.
- Session 2 : Autres populations d'intérêt cultivées sur divers terroirs
- Session 3 : 5 populations cultivées chez Raphaël Balthassat

Pour tester le facteur « couleur sombre du grain », 6 mélanges « Rouge de Bordeaux/Blanc des Flandres » en proportions variable (100%/0%, 80%/20%, 60%/40%, 40%/60%, 20%/80%, 0%/100%) ont été mis en culture sur un environnement (Gilles Simmoneaux) en six répétitions. Ces échantillons ont été évalués au cours des deux dernières séances d'évaluation.

Pour caractériser objectivement la couleur (liée à la teneur en pigment/anthocyanine), des mesures colorimétriques à l'aide d'un colorimètre ont été réalisées sur les 36 échantillons, à raison de trois répétitions par échantillon. Le colorimètre (de la marque Minolta) est un appareillage qui mesure la couleur de la surface d'un objet en la définissant par des coordonnées dans un espace colorimétrique. Le modèle utilisé est celui du CIE Lab (plus précisément L^*a^*b), modèle de représentation des couleurs développé en 1976 par la Commission Internationale de l'éclairage. Il caractérise une couleur à l'aide d'un paramètre d'intensité correspondant à la luminance (L , de 0 (noir) à 100 (blanc)) et de deux paramètres de chrominance qui décrivent la couleur :

- a : du rouge (+299) au vert (-300)
- b : du jaune (+299) au bleu (-300)

Le protocole de mesure consiste à remplir une boîte de pétri avec l'échantillon de manière à ce qu'on ne voie pas le fond de la boîte. Le tout est ensuite tassé. La mesure est alors effectuée en 3 répétitions, puis la moyenne est calculée et utilisée pour caractériser l'échantillon.

Une analyse de variance a été appliquée sur ces données pour déterminer les échantillons présentant une différence significative et un gradient de couleur. Sur les 6 mélanges, suite à des problèmes de germination du 'Rouge de Bordeaux', seuls quatre mélanges présentaient des différences significatives et ont été sélectionnés pour les dégustations : le mélange A (100% Rouge de Bordeaux), B (80% 'Rouge de Bordeaux' / 20% 'Blanc des Flandres'), D (40% 'Rouge de Bordeaux' / 60% 'Blanc des Flandres') et F (100% 'Blanc des Flandres').

b) PREPARATION DES ECHANTILLONS

i. 2012-2013

La panification a été réalisée par Ludovic Durif-Varambon (assisté de Marc Dubois, boulanger bio émérite) dans son fournil de Saint-Clair-sur-Galaure le 19 avril. Les grains ont été moulus à la ferme sur meule atriée deux semaines avant la panification. La panification s'est faite à partir du même levain et un enrichissement avec les farines respectives (les 6 farines testées). La forme Batard a été préférée à la boule, pour assurer une meilleure homogénéité du pain. Après un pétrissage mécanique à vitesse lente et un gros frasage, la pâte est mise au repos durant 30 minutes. Un deuxième frasage de 2 min 30 suivi d'une phase de repos d'une heure entrecoupée de rabats a ensuite été réalisé. Les détails des 6 panifications sont reportés en annexe D.

ii. 2013-2014

Deux séances d'évaluation ont été réalisées en 2014 respectivement dans le fournil de Ludovic Durif-Varambon (Saint-Clair-sur-Galaure (38)) et dans le fournil de Paul Rochet (Viuz la Chiesaz (74)). A chaque journée de panification, deux boulangers travaillaient ensemble pour assurer la panification simultanée et l'enfournement simultané. Pour optimiser la comparaison, la quantité d'eau ajoutée à la pâte a été ajustée pour obtenir une texture de pâte équivalente. De même, les temps de fermentation ont été ajustés autant que possible en fonction des échantillons afin d'avoir une fermentation optimale pour chaque échantillon. Tous ces ajustements ont été réfléchis en groupe et résultent donc de discussions entre les partenaires. Après une année d'expérimentation, une distinction primordiale a été faite entre le goût du pain et le goût de la céréale. En effet, une fermentation mal conduite ou une hydratation mal adaptée peut engendrer des défauts de panification au point de cacher le goût de la céréale (de la variété). De ces discussions ressortent des paramètres de la panification qui permettent d'optimiser le goût de la variété dans le pain. Le diagramme de fabrication des pains pour les deux séances d'évaluation est présenté en annexe D.

1.3.2. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE

L'objectif de la grille de caractérisation phénotypique est d'identifier les mélanges-boulanges cultivés par les paysans-boulangers et d'en réaliser une photographie à un instant donné. Cette constitue un dispositif d'observation objectif venant compléter une enquête sur les pratiques de sélection des paysans-boulangers, en visualisant au champ le résultat de la sélection éventuellement exercée sur leur mélange-boulanges.

L'étude porte sur un nombre restreint de « mélanges-boulanges », et a avant tout un objectif méthodologique. Néanmoins, la méthode est un compromis entre l'efficacité de la caractérisation et les moyens humains mobilisés pour la réaliser. En effet, un seul stagiaire était dédié à cette tâche. Par conséquent, ces relevés ont été réalisés sur une centaine d'individus pour rendre compte au maximum de la biodiversité cultivée et caractériser les mélanges des paysans-boulangers. Le fait d'avoir une seule personne pour l'observation des caractéristiques évite le biais qui pourrait exister entre différents expérimentateurs.

Les brins de blé mesurés ont été choisis aléatoirement dans le champ à l'aide d'une toise tout en progressant dans la parcelle. Les caractéristiques retenues pour construire ce deuxième outil sont inspirées des mémoires de (Charriau, 2010; Giuliano, 2010) ainsi que les critères de sélection de l'Union P Obtenteur V (UPOV, 2002) lors des tests de distinction d'homogénéité et de stabilité et complété par des éléments transmis par d'autres paysans-boulangers lors d'échanges informels. Cette grille a pour but d'identifier les populations et mélanges de blés en culture et d'observer le résultat des pratiques paysannes sur le choix des différentes variétés de blé. Elle permet d'apporter la part de contexte qui sera nécessaire à l'étude de cas lors de l'analyse et du croisement avec les résultats des entretiens. Les caractéristiques morphologiques retenues pour décrire l'épi sont présentées dans le tableau 10 :

Tableau 10: Descripteurs de l'épi

Descripteur	Mesure
Longueur de l'épi (sans les barbes)	en cm
Quantité d'épillets sur l'épi	nombre d'épillets
Densité de l'épi	nombre d'épillets par cm
Couleur de l'épi	blanc, doré, jaune, rosé, brun clair, rouge-brun foncé, noir
Forme de l'épi	effilé (1), faces parallèles (2), semi-claviforme (3), claviforme (4), fusiforme (5)
Aristation	non barbu (0), semi-barbu (0.5), barbu (1), barbes longues (2)

Les descripteurs dans le tableau 10 sont mesurés au champ. L'aristation de l'épi est déterminée d'après la référence de la figure 22. La forme de l'épi s'appuie sur la figure 23 suivante.

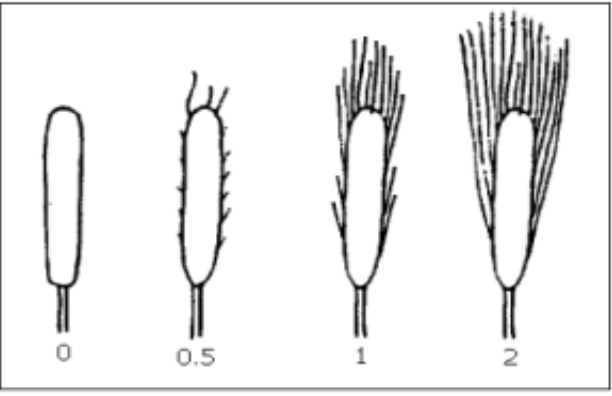


Figure 22 : Aristation des épis (CPVO, 2008 modifié)

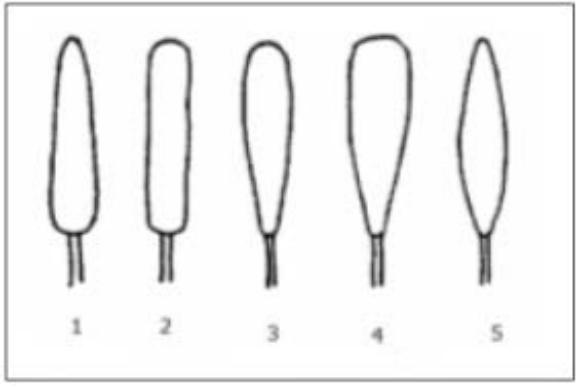


Figure 23: Forme de l'épi (Charriau, 2010)

Les caractéristiques morphologiques retenues pour décrire la paille sont détaillée dans le tableau 11:

Tableau 11: Descripteurs pour la paille

Descripteur	Mesure
Distance sol-dernier nœud	en cm
Distance sol-dernière insertion de feuille	en cm
Sol-base épi	en cm
Sol-tête épi	en cm
Epaisseur de la tige	très fine (1), fine (2), intermédiaire (3), épaisse (4), très épaisse (5)
Port au sommet de la plante	dressé (1), légèrement inclinée (2), fortement inclinée (3), incurvée (4), fortement incurvée (5)

L'ensemble de ces descripteurs sont mesurés au champ (tableau 11). L'épaisseur de la tige n'est en aucun cas une mesure quantitative mais bien une mesure qualitative, observée visuellement sur la longueur de la paille entre la base de l'épi et le dernier nœud et illustrée par la figure 24 La courbure au sommet de la plante est aussi déterminée visuellement suivant la référence présentée dans la figure 25.

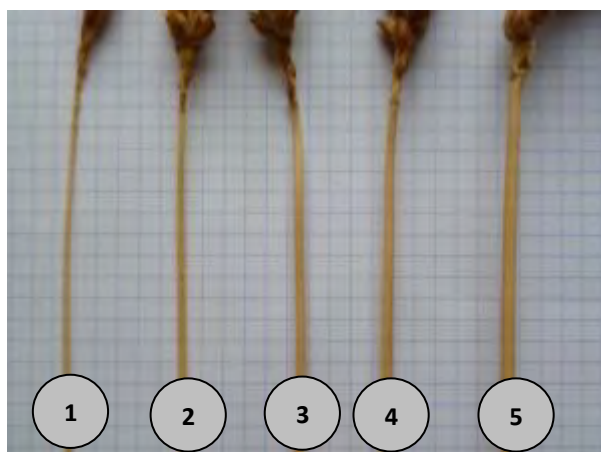


Figure 24: Epaisseur de la paille, de très fine à gauche à très épaisse à droite

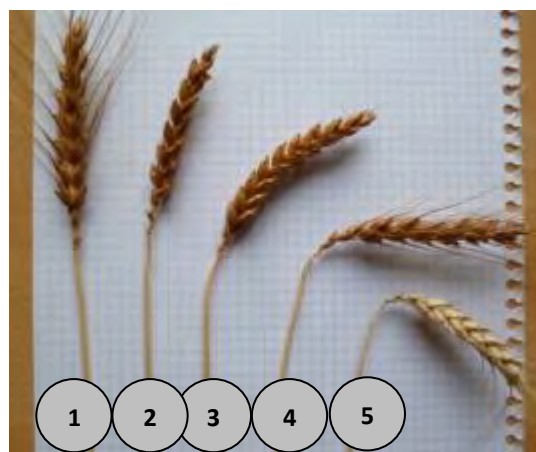


Figure 25 Port au sommet de la plante

Les caractéristiques retenues pour la planta entière et le comportement dans la parcelle sont présentées dans le tableau 12 :

Tableau 12 : Descripteurs pour la plante entière

Descripteur	Mesure
Talles	nombre de talles
Niveau de verse	non versé (0), au collet (1), entre collet et premier nœud (2), au premier nœud (3), au-dessus du premier nœud (4)
Etat sanitaire	Parfait état (1) à très mauvais (5)

Les deux premiers descripteurs du tableau 12 sont observés directement au champ. Le niveau de verse est observée au niveau du brin choisi par l'échantillonnage, c'est pourquoi un niveau 0 est nécessaire pour attester d'un brin non versé. L'état sanitaire est déterminé qualitativement à l'observation de l'épi, suivant sa noirceur : la

note de 1 est attribuée à un épi ne présentant aucune anomalie liée à une quelconque maladie tandis que la note de 5 est attribuée à un épi entièrement recouvert de moisissures.

1.3.3. EXPLICITATION DES CRITERES DE SELECTION

L'analyse des pratiques existantes et contraintes s'est articulée autour d'interviews semi-directives de 11 Paysans-(Boulangers), associées à une caractérisation phénotypique des mélanges-boulanges. La méthode de l'étude de cas a été privilégiée, l'échantillon interrogé est constitué de pionniers ainsi que de nouveaux installés.

(a) L'ETUDE DE CAS

L'objectif de la démarche de recherche est de rendre explicite les connaissances empiriques que possèdent les paysans-boulangers en lien avec leurs actions de sélection sur leurs variétés ou leurs mélanges-boulanges orientés vers une finalité liée au goût du pain. Elle sera menée suivant le principe de l'étude de cas.

Cette démarche s'inspire de celle réalisée par Baars (2010) sur des travaux de 1990 et 2005 dans lesquels il a étudié précisément le cas d'un éleveur ainsi que ses connaissances puis les a comparés à d'autres éleveurs afin de clarifier les éléments de sa réussite dans la sélection animale et de diffuser cette connaissance explicitée auprès de ces éleveurs.

L'étude de cas permet d'étudier en profondeur quelques entités et doit être assumée comme non généralisable mais à but exploratoire. C'est une méthode simple à mettre en œuvre utilisant des moyens humains facilement mobilisables. Elle facilite l'étude des phénomènes complexes qui peuvent être fortement reliés à un contexte particulier, ce qui est le cas en agriculture biologique où l'environnement impose de fortes contraintes sur la culture (climat, sol, pression des ravageurs et adventices) et qui est propre à une région ou un terroir.

Deux outils ont été choisis pour réaliser ces études de cas. Le premier est l'entretien semi-directif avec chaque paysan et le second est une grille de caractérisation phénotypique de plants de blés.

(b) DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON

L'étude porte sur un échantillon de huit paysans-boulangers et trois paysans-sélectionneurs en variétés anciennes de blé à destination de la panification artisanale au levain. Neuf de ces dix paysans sont directement ou indirectement liés au Réseau Semences Paysannes et sont impliqués dans la démarche expérimentale entamée par le RSP sur les leviers mobilisables pour améliorer la maîtrise de la qualité gustative du pain. Ceux-ci sont pionniers parmi leurs pairs et ont la volonté de faire évoluer les connaissances sur leur métier. Ils sont donc ouverts au partage de leurs connaissances. Un des paysans sélectionneurs cultive des variétés anciennes de blé à destination de la panification artisanale sans pour autant qu'il fasse du pain à sa ferme. Habitué des programmes de recherches, plutôt en agroforesterie, il possède lui aussi une démarche pionnière dans son domaine. Son expertise concernant la sélection des variétés anciennes de blé en vue d'un débouché concernant la boulange apportera des éléments supplémentaires à l'analyse générale.

Cinq des paysans sont situés en Rhône-Alpes. Ils habitent et cultivent respectivement en Haute-Savoie, en Isère, dans la Loire et la Haute-Loire (figure 26). Les trois paysans résidant dans l'Ouest de la France sont situés respectivement en Loire-Atlantique (Pays de la Loire), dans le Morbihan (Bretagne) et en Ile-et-Vilaine (Bretagne). Quant aux deux paysans du Sud-Ouest, ils résident respectivement dans le Lot-et-Garonne (région Aquitaine), et dans l'Aude (Languedoc-Roussillon). Le dernier paysan, qui est intégré dans une filière particulière de valorisation d'un blé ancien est situé dans les Alpes de Haute Provence.



Figure 26 : Emplacement des paysans enquêtés

(c) LE QUESTIONNAIRE

L'enquête a pour support un questionnaire composé de questions ouvertes visant à aborder les connaissances tacites détenues par les paysans (annexe F). Il veille à ne pas forcer leur réflexion au sujet de la sélection mais bien à mettre en lumière quel type de démarche ils adoptent, si elle existe, pour réaliser un choix sur leurs variétés. Il part d'abord de la présentation de l'idéotype de blé et de pain que le paysan souhaite afin de comprendre les objectifs qu'il veut atteindre. Le questionnaire enchaîne par l'observation de la situation réelle et actuelle sur les variétés et la qualité de leur pain chez ce paysan. La suite des questions aborde les changements auxquels a procédé le paysan afin de correspondre à la fois à ses attentes et à celles de ses clients (consommateurs pour les paysans-boulangers et boulangers artisanaux pour les paysans sélectionneurs). Pour finir, le questionnaire permet d'aller plus loin si le paysan boulanger réalise effectivement une action de sélection sur ses variétés.

Le questionnaire est soumis et validé au préalable par quelques paysans-boulangers qui font office de pionniers dans leur démarche.

1.3.4. EVALUATION SENSORIELLE

L'expérimentation s'est déroulée sur deux campagnes, entre 2012 et 2014. La première année a été l'occasion de constituer un panel de dégustateurs entraînés et de caractériser quelques mélanges-boulanges et populations caractérisés sur le plan morphologique aux champs. Lors de la deuxième année, l'objectif était de caractériser l'influence de la variété sur le goût du pain, les échantillons testés étaient alors issus du même environnement de culture.

(a) L'EPREUVE DU PROFIL SENSORIEL

Le profil sensoriel vise à décrire et à quantifier les perceptions sensorielles (grandeurs complexes qu'on cherche à décomposer en des dimensions c'est-à-dire en descripteurs). Il permet de comparer les produits par l'analyse de leurs différences (ou ressemblances) perçues et exprimées (façon dont on le verbalise). L'objectif est de décrire le

produit avec un minimum de mots et un maximum d'efficacité afin d'obtenir une carte d'identité sensorielle précise, reproductible et compréhensible par tous.

Le profil sensoriel est la référence d'usage en termes de caractérisation sensorielle. Cette méthode fait appel aux compétences d'un panel de juges entraînés. L'entraînement a pour objectif de générer une expertise commune entre les juges et de vérifier leurs performances sensorielles pour assurer une évaluation strictement objective des caractéristiques du produit. La phase de formation des juges s'étale généralement sur plusieurs mois.

(b) LE PANEL

Une volonté de travailler sur les qualités gustatives des blés populations s'est révélée au sein du pôle « semences et diversité animale » de l'ARDEAR. Le panel de dégustateur ainsi réuni est composé de 10 dégustateurs : agriculteurs (2), paysans-boulangers (4 à 5), artisans-boulangers (2), formateur en boulangerie (1), animateur (1), tous de fins connaisseurs du produit.

Pendant deux ans, 3 jours espacés d'un mois ont été consacrés à l'entraînement, un 4^e jour a été consacré à l'évaluation des six pains. Le

Tableau 13: détails des séances d'entraînement et d'évaluation du profil sensoriel

N° et date séance	Contenu
Automne-Hivers 2012-2013	
Séance 1 : 28/01/2013 : 9h00-16h00	Initiation à l'analyse sensorielle Génération des descripteurs (liste de 13 descripteurs) Entraînement collectif à la notation
Séance 2 : 18/02/2013 : 9h00-16h00	2 séances d'entraînement à la notation sur les 13 descripteurs, réduction de la liste des descripteurs de 13 à 11. Mise en commun des résultats et discussion
Séance 3 : 18/03/2013 : 9h00-16h00	Discussion sur les performances du panel, ajustement 2 séances d'entraînement à la notation sur les 11 descripteurs Mise en commun des résultats et discussion
Séance 4 : 29/04/2013 : 9h00-16h00	2 séances d'évaluations = 2 répétitions
Automne-Hivers 2013-2014	
Séance 1 : 18/11/2013 : 9h00-16h00	Rappels techniques sur l'analyse sensorielle Epreuve de classement collective
Séance 2 : 12 et 13/01/2014	Brainstorming pour révision de la grille de descripteurs 2013 Entraînement avec pains, références sur descripteurs non discriminants 2013 (<i>fumé, levuré, résineux</i>)
Séance 3 : 10/02/2014	2 séances d'entraînement à la notation sur grille de descripteurs améliorés sur 5 pains d'une même farine panifiée par 5 boulangers
Séance 4 : 10/03/2014	2 séances d'évaluation (2 répétitions) sur 6 pains de 6 farines issues de blés cultivés respectivement sur 6 terroirs panifiées par 1 boulanger
Séance 5 : 7/04/2014	2 séances d'évaluation (2 répétitions) sur 6 pains, 4 farines de 4 variétés cultivées sur un environnement et deux farines de deux variétés cultivées sur un autre environnement

1.3.5. JEU DE DONNEES

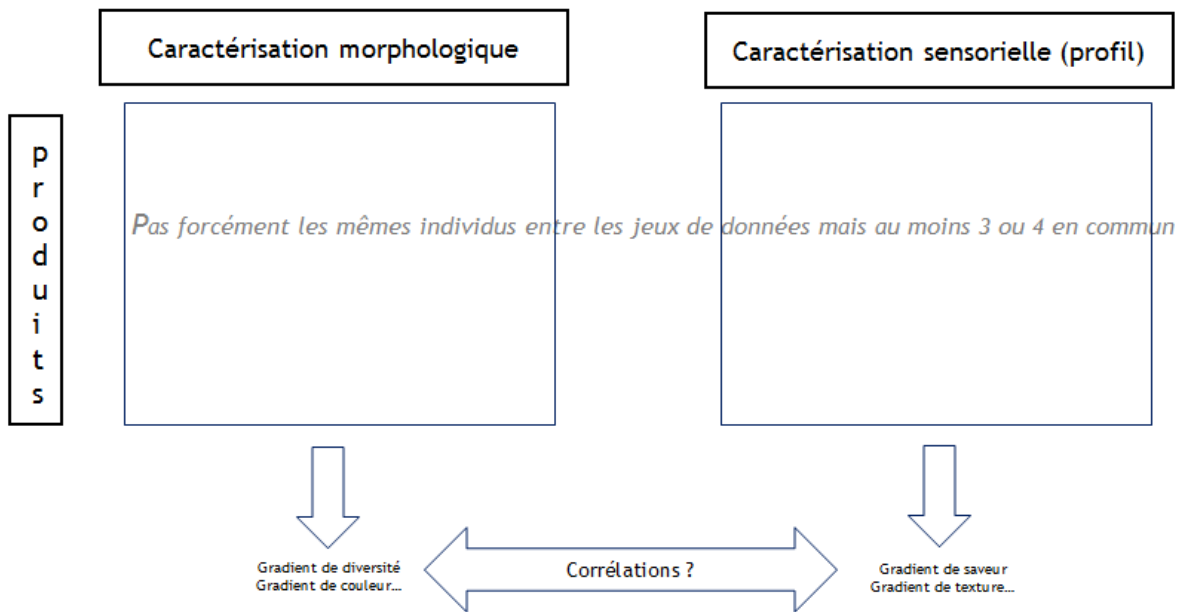


Figure 27: Jeu de données issu de l'expérimentation 2 : « profil sensoriel RA »

1.4 METHODES STATISTIQUES

1.4.1 L'ECART TYPE

L'écart type est la mesure de la dispersion d'une variable autour de sa moyenne. Il est défini comme la racine carrée de la variance (moyenne des carrés des écarts à la moyenne). Afin de décrire la gamme de variations phénotypiques de chaque critère au sein des 6 « mélanges-boulanges » et ainsi d'appréhender la diversité des mélanges, l'écart-type a été calculé sur les 100 individus de chaque mélange et analysé pour chaque caractéristique.

1.4.2 ANALYSE DE VARIANCE (ANOVA)

L'analyse de variance à un facteur est une méthode statistique permettant de modéliser la relation entre une variable explicative qualitative à i modalités et une variable à expliquer quantitative. L'objectif principal de cette méthode est de comparer les moyennes empiriques de la variable à expliquer pour les i modalités de la variable explicative. L'analyse de variance permet ainsi de déterminer s'il existe des différences significatives entre plusieurs objets, évalués par une variable quantitative pour laquelle on dispose de plusieurs répétitions. Lorsque l'Analyse de Variance (ANOVA) est significative, un test de comparaisons multiples des moyennes est utilisé sur la base du test de Newman & Keuls.

L'analyse de variance a été utilisée à plusieurs reprises pour traiter les données issues des expérimentations 1 et 2 :

- pour mesurer les performances des panélistes pour les épreuves de profil sensoriel. Chaque descripteur a été analysé pour sa significativité dans la différenciation des produits. Le test de Fisher indique une différence significative entre les échantillons avec $p < 0,05$. La discrimination s'évalue à travers la significativité du facteur « produit », la reproductibilité à travers la non-significativité de l'interaction produit*juge et la répétabilité du panel à travers la non-significativité de l'interaction produit*répétition
- pour mettre en évidence des différences significatives entre les « mélanges-boulanges » à partir des données de caractérisations morphologiques. Chaque caractéristique morphologique est soumise à une

analyse de variance à un facteur pour déterminer s'il existe réellement des différences significatives entre les mélanges et si des sélections différentes sont réalisées entre paysans-boulangers. Un test de comparaison multiple des moyennes pour les facteurs significatifs détermine quels mélanges se différencient des autres et sur quels critères.

1.4.3 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) sert à décrire des tableaux « individus-variables quantitatives » de grandes dimensions. Lorsque les individus sont décrits par un grand nombre de variables, aucune représentation graphique simple ne permet de visualiser le nuage de points formé par les données. L'ACP propose une représentation dans un espace de dimension réduite, favorisant ainsi la mise en évidence d'éventuelles structures au sein des données (corrélation, anti-corrélation). Dans l'ACP usuelle, les variables sont centrées et réduites (en divisant les valeurs par l'écart-type de la variable en cause) afin que toutes les variables aient la même variabilité et donc la même influence dans le calcul des distances entre individus, on parle d'ACP normée. Il est également possible d'introduire des variables et individus supplémentaires dans les ACP. Ces derniers ne participent pas à la construction des axes mais leur projection sur le plan factoriel, à partir des corrélations avec chacune des composantes principales, offre une visualisation de leurs relations avec les individus et les variables principales.

- L'ACP a été utilisée pour traiter les données de profil conventionnel afin d'obtenir une représentation synthétique des produits (individus) et de leur caractéristiques sensorielles (les variables). L'ACP est appliquée au tableau des moyennes sur le panel et les données sont normées afin de donner un poids égal à tous les descripteurs, qu'ils soient discriminants ou non. Ceci permet de gommer les différences individuelles de notations (plus ou moins étalées sur l'échelle) et de compréhension des descripteurs. Certains descripteurs sont plus faciles à évaluer et risquent de prendre plus de poids dans l'analyse finale. Les notes de panifications réalisées par les paysans-boulangers et l'INRA sont apparentées à un profil sensoriel. En effet, bien que la grille de notation soit sur un modèle d'excès/insuffisance, les données sont ensuite traitées pour donner des notes allant de 0 à 20. De plus le panel a subi un entraînement poussé sur la grille qui a été élaborée par l'ensemble des panelistes avant l'entraînement.
- L'ACP a aussi été utilisée pour visualiser les différences entre les mélanges boulanges à partir des données de caractérisation morphologique. L'analyse en composantes principales offre une vision plus globale des caractéristiques qui différencient les mélanges entre eux. Les variables qui le nécessitaient, exclusivement des variables qualitatives, ont été discrétisées suivant un gradient dans le but de réaliser cette ACP.

1.4.4 ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est particulièrement adaptée à l'étude des tableaux de contingence, à laquelle elle fournit un outil puissant. Le tableau de contingence est défini par deux variables qualitatives. Les objectifs de la méthode sont analogues à ceux de l'ACP : il s'agit d'obtenir une typologie des lignes, une typologie des colonnes et de relier les deux typologies ensemble (Escoffier and Pagès, 1998). Dans l'AFC, les lignes et les colonnes jouent le même rôle et leur représentation est simultanée.

Dans cette étude, l'AFC a été utilisée pour traiter les données des Nappings®. Lors des 8 séances de Napping®, un grand nombre de mots associés aux produits ont été générés, le nombre de citations a été comptabilisé pour chaque pain. Au vu du très grand nombre de mots, liés à la génération libre de descripteurs, seuls les mots dont le nombre de citations totales (sur tous les juges et tous les produits) est supérieur ou égal à 3 ont été introduits dans les analyses.

1.4.5 REGRESSION DES MOINDRES CARRES PARTIELS (PARTIAL LEAST SQUARE, PLS)

Dans les cas où le nombre de variables est bien plus important que le nombre d'individus observés, il est difficile, voire impossible d'utiliser la méthode des moindres carrés ou un modèle de régression linéaire classique

(Cornillon et al., 2008). La régression PLS est particulièrement adaptée à ce cas de données à grande dimension comme c'est le cas en spectrométrie et en génétique ou ici dans l'expérimentation 1 où des données pédoclimatiques, agronomiques et technologiques ont été recueillies sur 24 individus. La régression PLS recherche de façon itérative une suite de composantes (ou variables sous-jacentes) orthogonales entre elles (Cornillon et al., 2008). Ces composantes, appelées composantes PLS, sont choisies de façon à maximiser la covariance avec la variable explicative Y.

La PLS a été appliquée pour identifier les causes des variations de la qualité finale à partir des mesures effectuées sur l'environnement, le génotype et la farine. Le plan expérimental mis en place est un compromis entre étude de cas (analyse détaillée d'un petit nombre d'individus) et diagnostic agronomique (étude d'un grand nombre d'individus sur un nombre restreint de variables). L'objectif de cette expérimentation est de prédire une variable quantitative (qualité sensorielle) par p variables quantitatives. Les données « du grain au pain » ont donc été analysées par régression PLS (Partial Least Square) à l'aide du logiciel R et du package pls. Un premier tri des variables explicatives a été réalisé, basé sur leurs rôles supposés dans l'élaboration de la qualité.

1.4.6 ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE

L'Analyse Factorielle Multiple (AFM) est utilisée pour analyser des tableaux de type individus*variables dans lequel un même ensemble d'individus est défini par plusieurs groupes de variables. Cette méthode consiste en la réalisation d'ACP sur une matrice nouvelle constituée par les sous-tableaux pondérés par l'inverse de leur première valeur propre. Comme l'ACP, l'AFM permet d'obtenir une représentation des individus et des variables, une configuration de l'ensemble des groupes mais aussi une comparaison entre ces groupes.

- L'AFM a été utilisée pour analyser les données de Napping®. Dans cette étude, la structure de la nappe est prise en compte en réalisant une AFM (Escoffier and Pagès, 1998) où chaque nappe joue le rôle d'un groupe. Afin de préserver l'importance relative de l'abscisse et de l'ordonnée, les données ne sont pas réduites. Les mots générés librement pour qualifier les groupes de pains sont projetés sur les résultats de l'AFM. Ils ne participent donc pas à la construction des axes, mais leur position sur la carte revêt une signification vis-à-vis des individus. Cela permet ainsi d'expliquer le positionnement des pains. Seuls les mots cités au moins deux fois pour un même pain sont gardés. Enfin, pour faciliter l'interprétation et apporter des indicateurs sur la fiabilité des résultats, un tableau indiquant les variables significativement corrélées avec les dimensions est proposé pour chaque analyse de Napping®.
- Elle a également été utilisée pour comparer les performances du panel de professionnels (paysans-boulangers) et des expérimentateurs INRA.

1.4.7 ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE HIERARCHIQUE

L'Analyse Factorielle Multiple Hiérarchique (AFMH) est une variante de l'AFM qui prend en compte une structure hiérarchique entre les données (Le Dien and Pagès, 2003). Il est possible ainsi de comparer les performances de plusieurs panels ou méthodes sensorielles.

L'AFMH a servi à la comparaison des épreuves sensorielles de Napping® et de profil sensoriel (notes de panification) mise en œuvre dans l'expérimentation 1. Comparaison des différents panels (Boulangers, INRA, Consommateurs).

1.4.8 LOGICIELS

Les packages statistiques FactoMineR (Husson, Lê et Mazet, 2006) et SensoMineR (Husson et Lê, 2006) sont utilisés pour analyser des données sensorielles et les analyse des données multidimensionnelles. Les résultats de la tâche de verbalisation sont recueillis sous la forme d'un tableau de contingence des mots cités.

Tableau 14: synthèse des analyses statistiques

Objectif globaux	Objectifs spécifiques	n° expé	Jeu de donnée	facteurs étudiés	données agronomique	Données phénotypiques	Données sensorielles	Analyse statistique	Résultats attendus
Etude des leviers d'actions	Corrélation : Quelles variables des facteurs environnement et génétique impactent la qualité sensorielle?	1	du grain au pain	G*E	x	x	x	PLS	Identification des variables explicatives
	Interaction: quelles influences relative des facteurs globaux?		Napping® (N1, N2, N3, N5, N6, N7)	E*B			x	AFM	Identification des facteurs dominants
			Napping® (N4, N8)	G*E			x	AFM	Identification des facteurs dominants
			tableau de contingence mot	G*E*B			x	AFC	Caractérisation « terroir panicoles »
	Quelles caractéristiques, différences sensorielles des génotypes?	2	Interviews + caractérisation morphologique	G		x		ANOVA/ACP	Identification critères de sélection intégrant qualité sensorielle
			QDA-RA1	G*E (mélange-boulanges)		x	x	ANOVA/ACP	Caractérisation des « mélanges-boulanges »
			QDA-RA2	G			x	ANOVA/ACP	Caractérisation des génotypes
	Quels liens entre caractéristiques morphologiques et sensorielles?		QDA-RA	G	x		x	PLS (ou ACP ?)	Corrélations caractéristiques phénotypiques et sensorielles
Etude des méthodes d'évaluation	Quelle configuration optimale Napping®?	1	Napping®	%expert/conso + nb de juges + nb de produits			x	ACP	nombre de juge optimale, expert ou conso?
			Napping®	Expertise			x	AFMH	Consensus au sein des 2 panels

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. ETUDE DES LEVIERS D'ACTIONS

2.1.1. EXPERIMENTATION 1 : PAYSBLE/SOLIBAM ET L'ETUDE DES INTERACTIONS

(a) ETUDE DES CORRELATIONS

Afin de mieux comprendre les processus d'élaboration de la qualité, une approche du grain au pain a été réalisée. Trois structures variétales cultivées sur cinq environnements ont été évaluées du champ à l'assiette. Par la caractérisation de l'environnement, du comportement agronomique des variétés dans un environnement, du comportement technologique du blé lors de la panification et des propriétés sensorielles des pains mesurées sur ces mêmes individus, une recherche de corrélations entre ces différentes observations à l'aide d'une analyse PLS facilitera la mise en évidence de tendances et la compréhension des processus en jeu dans l'élaboration de la qualité finale. Les variables à expliquer sont donc les variables liées aux performances agronomiques et à la qualité sensorielle et les potentielles variables explicatives sont les variables environnementales. Afin d'alléger la lecture des cartes, l'analyse s'est faite en plusieurs étapes. D'abord une analyse sur données complètes (toutes les variétés) puis des analyses par structures variétales.

i. ANALYSE SUR LE JEU DE DONNEES COMPLET

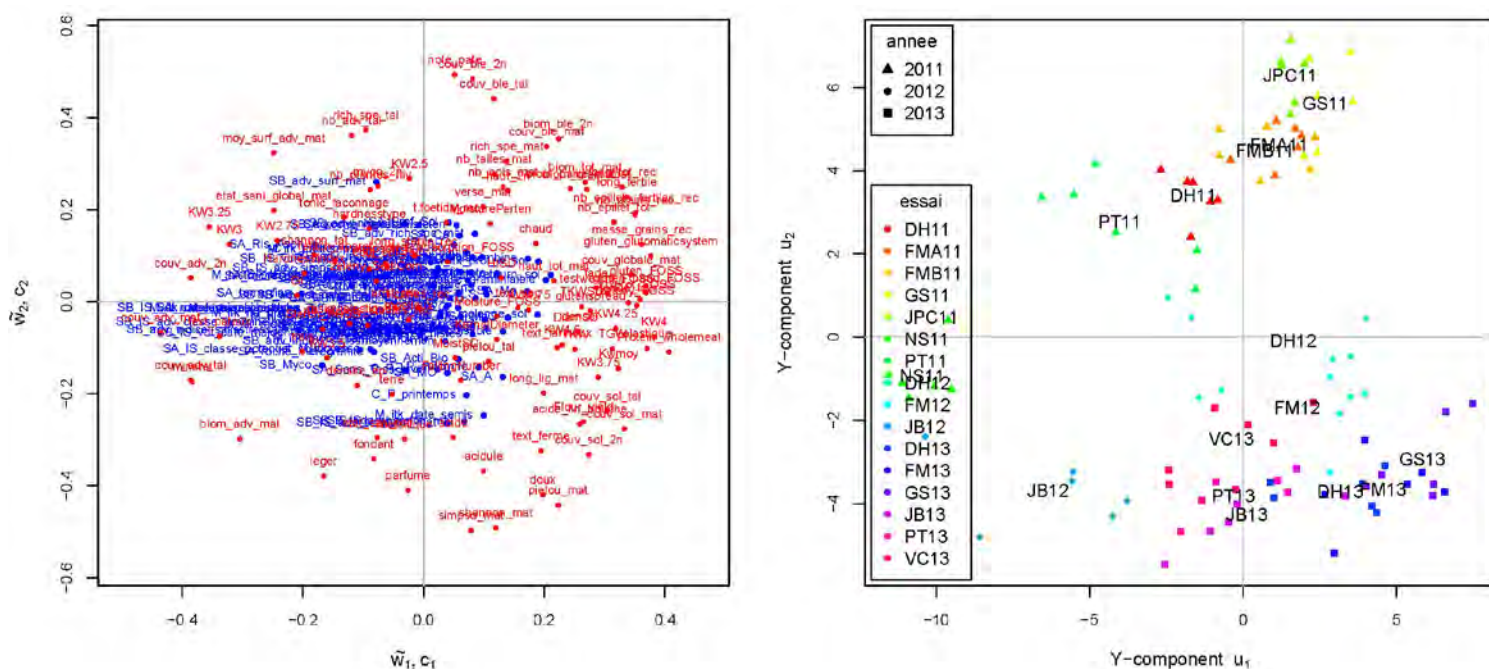


Figure 28: Analyse PLS sur le jeu de données "du grain au pain" pour toutes les variétés

ETUDE DES VARIABLES

Le graphe des variables présente une structure particulière (figure 28). Les données colorées en bleu représentent les variables liées à l'environnement (les variables explicatives). Le nuage de variables environnementales est relativement compact et centré autour de l'origine. Cependant certaines variables se distinguent du nuage sur la dimension 2 : en haut la surface des adventices à maturité, en bas, les précipitations au printemps, la date de semis.

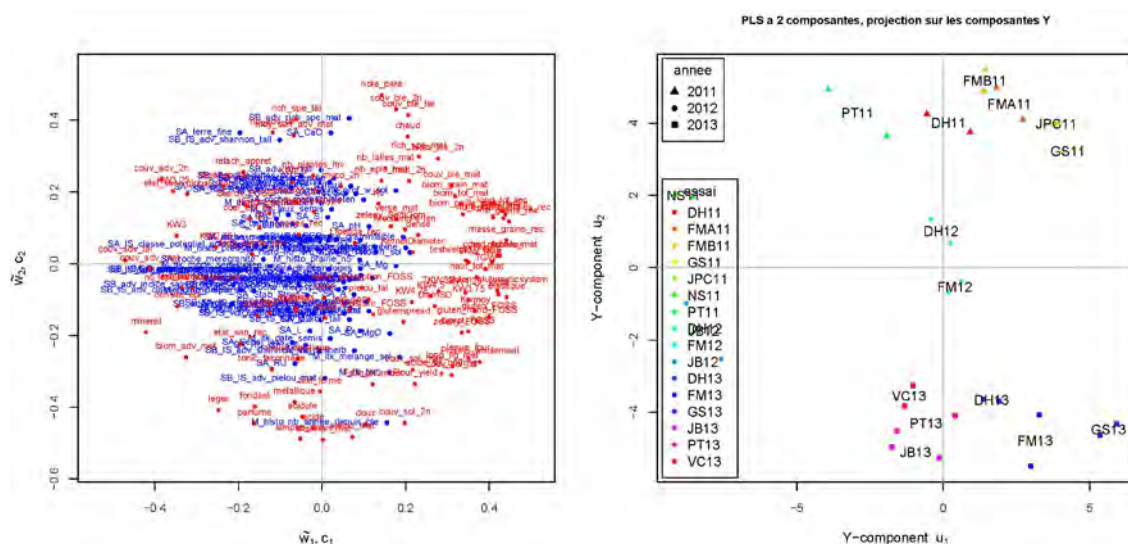
Les variables rouges (les variables à expliquer) représentent les variables agronomiques et technologiques (notes de panification et descripteurs sensoriels). Le nuage des variables à expliquer est plus étalé sur les deux dimensions. Les variables liées à l'aptitude à la panification se distinguent nettement sur la première dimension 1, à droite : la teneur gluten, la teneur en protéine. Elles sont corrélées avec des variables de composantes du rendement : le poids et le diamètre des grains. Enfin un net gradient du poids du grain apparaît sur la dimension 1 : à droite on trouve les plus gros grains de blé, à gauche les plus petits. Cette répartition semble refléter les potentiels agronomiques des environnements mais semble également liée aux caractéristiques sensorielles, les descripteurs étant situés plutôt à gauche du cadran. La deuxième dimension oppose des variables liées à la capacité de concurrencer des blés à des variables qui concernent la qualité sensorielle des blés. En haut du nuage, les variables *couverture du blé à deux nœuds* et à *maturité* sont corrélées positivement avec des variables qui concernent la richesse et la surface des adventices ; la note de pâte (qui est une combinaison des différentes notes de panification, résistance élastique, tenue au four...) est également corrélée avec ces variables. Les variables qui composent le nuage en bas sont liées aux caractéristiques sensorielles (léger, fondant, parfumé, acidulé...). Des indices de diversité à maturité sont également fortement corrélés à cette dimension.

ETUDE DES INDIVIDUS

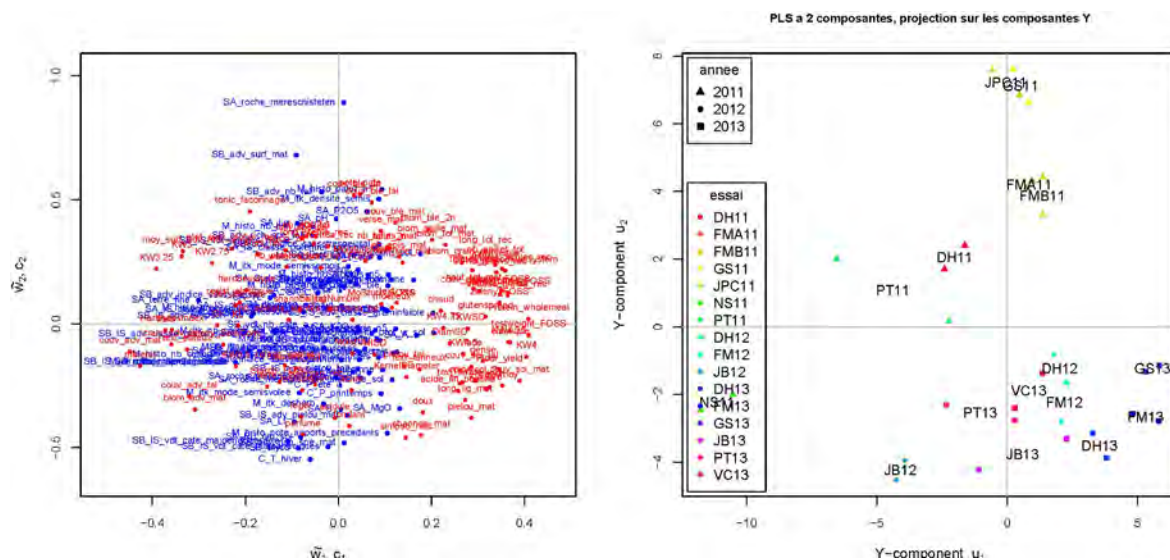
Les individus sont répartis sur les deux dimensions selon un gradient de rendement. Les individus présentant de forts rendements sont situés en haut à droite. Ce sont les blés issus des environnements JPC11, GS11 et FM11. Les blés issus d'environnement à rendements moyens sont situés en bas à droite (DH13, FM13, GS13). Enfin les blés présentant les plus faibles rendements se situent à gauche au niveau de l'origine (NS11 et PT11). Les blés issus des environnements à haut rendement présentent les meilleures notes de pâtes. Cependant, les variables mesurant les quantités et qualités des protéines sont aussi proches des individus à fort et moyen rendement. De plus, les caractéristiques aromatiques décrivent surtout les pains issus des environnements à moyen et faible rendement.

La représentation ci-contre ne permet pas d'étudier le facteur variété. Pour comparer le comportement des trois structures variétales sur les environnements et traduire ces résultats en termes de stabilité, il est proposé par la suite de réaliser une PLS2 pour chacune des structures variétales.

a) Renan



b) Sixt



c) Population Dynamique

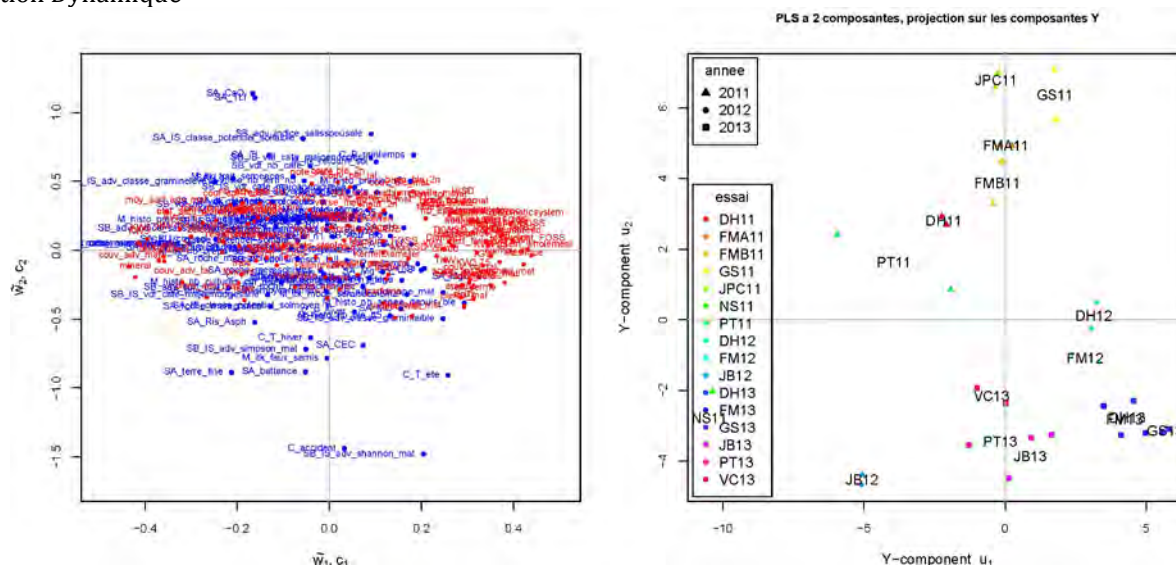


Figure 29: Analyse PLS sur le jeu de donnée "du grain au pain" par variété: a:'Renan', b:'Sixt', c: Mélange dynamique

ii. COMPARAISON DES STRUCTURES VARIETALES

ETUDE DES VARIABLES

Les nuages de variables et d'individus présentent une structure similaire pour les trois structures variétales et proche de l'analyse sur jeu complet. Les mêmes dimensions sont décrites et le gradient de rendement est visible pour les trois structures variétales (figure 29).

Une première observation réside dans l'étude des échelles. Les échelles sur la dimension 1 ne varient pas pour les trois structures variétales. En revanche, les échelles de la dimension 2 varient et suivent le gradient de diversité. Les variables sont comprises entre [-0.6 ; 0.4] pour la variété 'Renan', [-0.5 ; 1] pour la population 'Sixt' et [-1.5 ; 1] pour la population dynamique. Ceci se traduit par le fait que certaines variables environnementales (bleu) se détachent plus du nuage pour les populations que pour la lignée pure. La population dynamique a été marquée par les températures (été, hiver) et les accidents de culture (variables situées en bas du nuage). Elle apparaît de plus sensible à la nature de sol (calcaire, limon fin, variables en haut du nuage). La population 'Sixt' quant à elle est également sensible à la nature du sol et donne les meilleurs rendements sur une roche mère schiste et n'est pas dérangée par la présence d'adventices.

La dimension 1 est donc la même pour les 3 structures variétales. Elles opposent à droite des variables (à expliquer) liées aux performances agronomiques (poids de mille grains, biomasse..) à des variables liées à la présence d'adventices. En revanche, la deuxième dimension, dont la dispersion augmente avec le degré de diversité génétique, porte beaucoup de variable pédologique (composition du sol (minéraux, structure, roche mère). Cette dimension est corrélée avec une dimension sensorielle, les pains présentant une intensité aromatique supérieure se situent en bas du quadrant. La présence de minéraux (Mn, P) dans le sol suggère un lien entre composition minérale du grain et caractéristique aromatique.

ETUDE DES INDIVIDUS

Les cartes des individus pour les trois structures variétales présentent une répartition similaire. Deux groupes sont distinguables de part et d'autre de la première bissectrice. Cependant, le nombre d'individus en dessous de la première bissectrice est plus important pour les populations que pour la lignée pure. Ce sont ces pains qui ont présenté des caractéristiques sensorielles remarquables (doux, parfumé, acidulé). Pour l'année la plus propice à la culture du blé (qui a présenté les meilleurs rendements), la lignée pure 'Renan' montre une plus grande proximité que pour les populations. La relation est inverse pour les années de culture 2012 et 2013 : des individus intermédiaires (DH12 et FM12) apparaissent sur les résultats de la variété 'Renan' et non sur les résultats concernant les populations. Les populations présentent ici une plus grande stabilité pour des environnements à faibles et moyens potentiels. Les variations entre les pains sont d'ordre qualitatif (descripteurs sensoriels, la quantité et qualité des protéines semblant être relativement stable).

La variété 'Renan' présente contrairement aux deux populations, des individus intermédiaires (DH12, FM12) qui ne présentent donc pas de variations flagrantes sur les variables mesurées. La variété Renan pourrait alors être adaptée aux environnements DH12 et FM12.

iii. DISCUSSION : DIVERSITE INTRA-SPECIFIQUE ET STABILITE DES PERFORMANCES

Une première observation réside dans la répartition des individus selon l'année de culture et en lien avec des variables liées à l'aptitude à la panification. Selon Kihlberg et al. (2006), l'année de récolte est le facteur de production qui influence le plus la qualité finale du pain, en modifiant la quantité et la qualité des protéines.

Une autre observation est l'opposition observée entre les variables liées aux performances agronomiques (rendement, poids de mille grains, diamètre du grain) et les variables qualifiant la qualité sensorielle des pains. Globalement, la taille du grain (petite) et les stress (biotiques et abiotiques) semblent influencer positivement la

qualité sensorielle et négativement la qualité technologique. Les variétés anciennes présenteraient des caractéristiques sensorielles particulières qui s'expriment dans des environnements à faible ou moyen rendement. Une plus grande concentration en minéraux dans la farine pourrait expliquer ces différences d'intensité d'arômes. Tous les blés sont cultivés en AB dans cette expérimentation, cependant les stress auxquels ils sont confrontés varient en fonction entre autre de l'année et de l'environnement de culture. Smith et al. (2012) démontrent une plus grande capacité des blés cultivés en AB à extraire les éléments nutritifs du sol. Une étude comparant la qualité nutritionnelle de variétés anciennes et modernes en condition de culture faible intrant (Di Silvestro et al., 2012) confirme ces conclusions et montrent une meilleure utilisation de l'azote dans le sol pour les populations que pour les lignées pures. Une relation négative entre teneur du grain en phosphate et potassium et fertilisation azotée a été observée (Kihlberg et al., 2006).

Le génotype intervient également dans la composition nutritionnelle du grain (Murphy et al., 2008). Ainsi la culture de populations en AB favoriserait une plus grande diversité dans la composition nutritionnelle des farines. De plus, une plus grande stabilité des rendements est observée pour les populations, les individus étant plus proches lors des années moins favorables à la culture du blé (2012 et 2013). Ces observations s'accordent avec les conclusions d'une étude sur les intérêts de la diversité cultivée pour une agriculture durable (Costanzo and Bàrberi, 2014). La diversité intraspécifique permet cinq services écosystémiques : réduction des adventices, efficacité de l'utilisation de l'azote, tolérance aux stress abiotiques, réductions des maladies et stabilisation des rendements.

La capacité des variétés-populations à mieux valoriser les environnements à faible potentiel se retrouvent sur d'autres espèces : sur le maïs (Marianna Fenzi, communication personnelle), sur le brocoli (Torricelli et al., 2014). La lignée pure 'Renan' présente une certaine stabilité sur les environnements à bons potentiels mais présente cependant de performances supérieures à celles observées pour d'autres lignées pures. Cette observation se recoupe avec les observations de terrain. En effet, beaucoup d'agriculteurs biologiques ont remarqué une certaine capacité d'adaptation de cette lignée pure. En revanche, bien qu'elle présente souvent une bonne aptitude à la panification, aucun arôme particulier ne la qualifie.

L'objectif de cette expérimentation était d'identifier les variables de l'environnement susceptibles d'influencer les performances agronomiques et qualitatives des blés et d'évaluer l'effet de la diversité intra-spécifique sur la stabilité de ces performances. Il est difficile de conclure sur la capacité d'adaptation des populations et lignées pures sur ces seuls résultats. Le nombre important des variables et leurs potentielles redondances limite la lisibilité de l'analyse et la mise en évidence de corrélations significatives. Un travail est en cours sur la recherche d'indicateurs synthétiques de la diversité pour limiter le nombre de mesures sur le terrain et favoriser l'étude de l'impact de la diversité sur les performances agronomiques, technologiques et sensorielles. Les résultats suggèrent une plus grande plasticité des variétés hétérogènes. De plus, un certains nombres d'études encouragent la recherche de corrélations entre diversité intra-spécifique, robustesse des cultures et stabilité des rendements.

(b) ETUDE DES INTERACTIONS GENOTYPE*ENVIRONNEMENT*BOULANGER

L'évaluation de pains fabriqués à partir de trois « génotypes » cultivés sur plusieurs environnements (3 à 5) et panifiés par plusieurs boulangers (3 à 5) a pour objectif d'étudier l'influence de ces trois facteurs sur la qualité finale du pain. Les mesures dans cette étude sont essentiellement sensorielles : mesure de l'aptitude à la panification selon une grille de notation (similaire à la démarche du profil sensoriel) et mesure de la qualité sensorielle par Napping®. Comme l'analyse des trois facteurs simultanément n'apparaît pas propice à la mise en évidence de leur influence respective et la mise en œuvre d'une telle étude n'est pas réaliste sur le plan pratique, l'évaluation des pains s'est déroulée en deux temps :

- La première étape s'intéresse à l'interaction entre les facteurs « pratiques boulangères » et « environnement ». Pour cela, cinq boulangers en 2012 et quatre boulangers en 2014 ont panifié quatre farines en 2012 et trois farines en 2014 d'une même variété cultivée sur respectivement quatre et trois environnements.
- La deuxième étape s'attache à l'étude de l'interaction entre les facteurs « environnement » et « génotype ». Pour cela 15 farines provenant de la culture de trois génotypes sur cinq environnements ont été panifiées en laboratoire par des expérimentateurs INRA puis dégustées selon le même protocole que celui mis en œuvre pour les pains « B*E ». L'objectif est l'évaluation des influences relatives des facteurs « globaux » (pris comme un système) environnement et génotype.

Une AFM réalisée sur chaque Napping® favorise la mise en évidence de groupes de pains aux caractéristiques sensorielles proches. La mise en relation avec les facteurs techniques (environnement, génotype, boulanger) permet d'interpréter les cartes et d'identifier les facteurs prédominants. Enfin, pour faciliter l'interprétation et apporter des indicateurs sur la fiabilité des résultats, un tableau indiquant les variables significativement corrélées avec les dimensions est proposé pour chaque analyse de Napping®.

i. INTERACTION ENVIRONNEMENT*BOULANGER

N1 : SIXT 2011, 5 BOULANGERS, 4 TERROIRS

Le pourcentage d'inertie du premier plan représente 35% de l'inertie totale (figure 30), ce qui traduit un faible consensus entre les dégustateurs.

Tableau 15: Description des dimensions de l'AFM pour la session N1

Dimension 1			Dimension 2		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value
X3	0.829	6.26E-06	X2	0.638	0.002
Acide	0.812	1.36E-05	X9	0.567	0.009
Y11	0.796	2.67E-05	Alcoolique.vineux	0.503	0.024
Y8	0.728	2.74E-04	Sec	0.479	0.033
X4	0.720	3.43E-04	Salé	0.447	0.048
Piquant	0.694	6.83E-04	Y5	-0.736	0.000
Y9	0.628	3.00E-03			
Y10	0.621	3.50E-03			
Y12	0.586	6.60E-03			
Caramel.beurre.salé	0.528	1.67E-02			
Caramel	0.499	2.51E-02			
X10	0.456	4.32E-02			
Equilibré	-0.462	4.03E-02			
Moelleux	-0.465	3.89E-02			
Doux.pas.acide	-0.492	2.75E-02			
X5	-0.550	1.20E-02			
X9	-0.556	1.09E-02			
Fade	-0.614	3.95E-03			
X6	-0.639	2.43E-03			
Dense	-0.665	1.36E-03			
group.sup	R2	p.value			
Boulangier	0.729	0.00035817			
Modalité.group.sup	Estimation	p.value			
Nicolas	2.959	4.59E-05			
TREBARA	-2.006	1.63E-03			

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

Le graphe des individus ci-contre (figure 30) présente les 10 pains qui ont le plus contribué à la construction des axes. Pour plus de clarté, toutes les analyses suivantes représentent les 10 individus (pains) ayant le plus contribué à la construction des axes. Le premier plan de l'analyse du Napping N1 présente une opposition remarquable entre les pains de Nicolas et de la SCOP Trébara. Les pains de Nicolas sont ceux qui contribuent le plus à l'axe 1 et s'opposent sur cet axe aux pains de la SCOP Trébara et de Julie et Florian. La dimension 1 montre de bonnes corrélations avec les descripteurs *acide* et *piquant* (à droite) et *doux* et *fade* (à gauche). Ainsi les pains de Nicolas sont caractérisés par leur *piquant* et leur *acidité* et s'opposent au pain de la SCOP Trébara, qualifiés de *doux* et *fade*. **A cette dimension de saveur, s'ajoute une dimension de texture, les pains dans le cadran gauche étant caractérisés par une texture *moelleuse* et *dense*.** L'axe 2 est en grande partie construit sur le pain JPC11_S_TBR (41.48%) caractérisé par sa texture *dense* et *moelleuse*. Il s'oppose au pain JPC_S_JF caractérisé par des arômes alcooliques. La troisième dimension oppose les pains de TREBARA caractérisés par une saveur de *caramel* aux pains de Daniel *salé*. La dimension 2 est corrélée avec les descripteurs *alcoolique*, *sec* et *salé* qui qualifient les pains de Julie (JPC_S_JF) qui s'opposent sur ces critères aux pains de la SCOP Trébara. C'est une deuxième dimension de différenciation sur les boulangers. Bien qu'une différenciation des terroirs apparaisse en dimension 3 (figure 31),

aucune variable n'est significativement corrélée avec cette dimension. Le graphe des corrélations (annexe H) met en évidence un faible consensus au sein des juges, les juges 3 et 8 ont participé majoritairement à la construction de la dimension 1, les individus 2, 5 et 9 ont participé à la construction de la 2^e dimension.

Corrélations aux facteurs techniques

La projection des barycentres des variables supplémentaires sur la carte des individus permet de visualiser d'éventuelles corrélations avec les facteurs techniques. La représentation conforte les descriptions réalisées ci-dessus. La première dimension semble bien différencier les pains de différents boulangers, particulièrement ceux de Nicolas et de la scop TREBARA (Tableau 15). La deuxième dimension différencie encore les pains de boulangers, ceux de Julie et Florian.

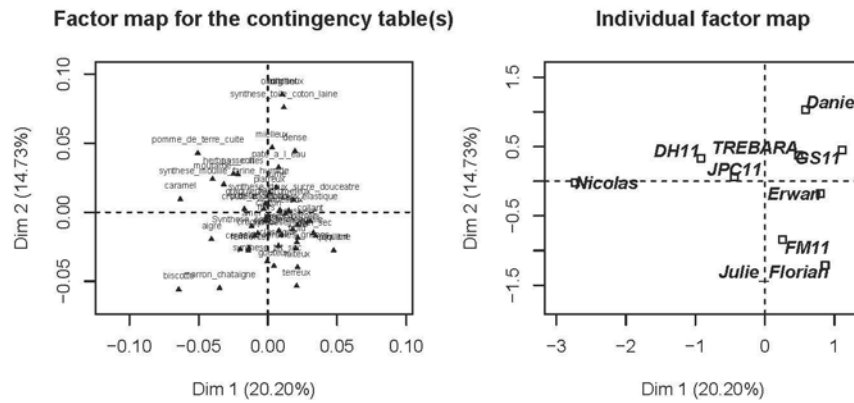
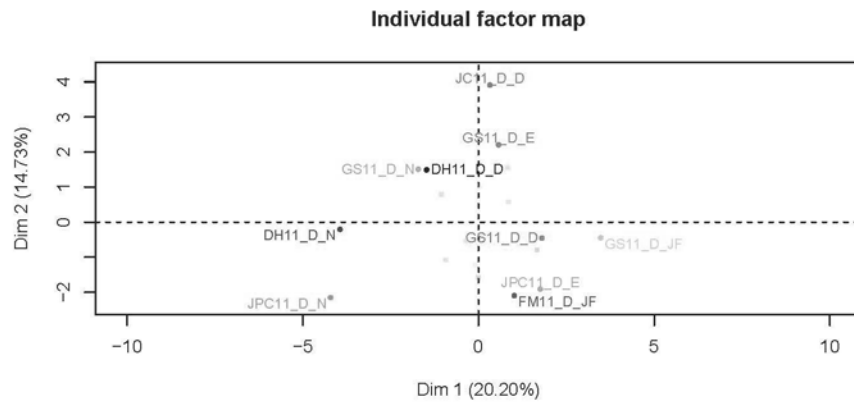


Figure 32: 1er plan de l'AFM sur les données de Napping® N2

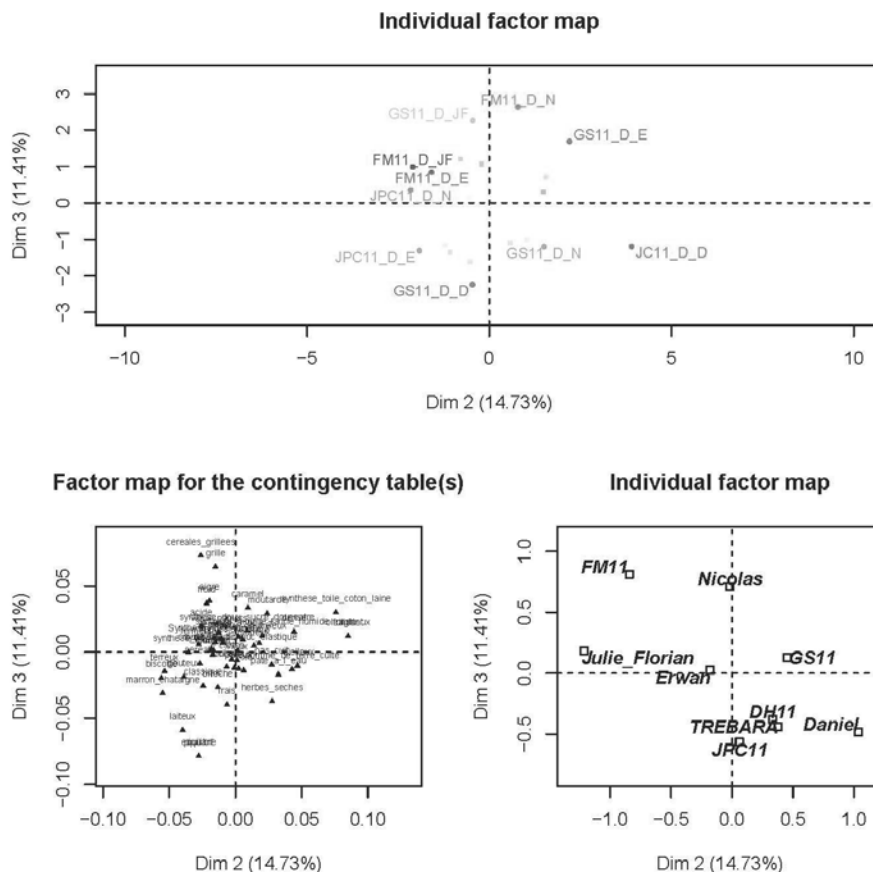


Figure 33: 2ème plan de l'AFM sur les données de Napping® N2

La séance s'est déroulée dans le hall d'un cinéma à proximité d'une confiserie. L'odeur de ces dernières ont pu biaiser la perception de certains juges. Cependant, le consensus apparaît plus grand que lors de la première séance comme les deux premières dimensions expliquent 35% de la variabilité (figure 32).

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

Tableau 16: Descriptions des dimensions de l'AFM pour la session N2

Dimension 1			Dimension 2			Dimension 3		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value	Variables	corrélations	p.value
X10	0.5940	0.006	X7	0.706	5.0996e-04	Céréales_grillées	0.597	0.005
X3	0.556	0.011	X6	0.705	5.112e-04	Grillé	0.541	0.013
Y12	0.501	0.024	Oléagineux	0.617	3.718e-03	Aigre	0.481	0.031
Y8	0.481	0.031	Fondant	0.617	3.717e-03	Y2	0.451	0.045
vieux	0.466	0.038	Rillette	0.617	3.718e-03	X11	-0.512	0.020
aigre	-0.504	0.023	Y9	0.554	1.120e-02	X12	-0.682	0.001
caramel	-0.521	0.019	Synthèse_toile_cot on_laine	0.513	2.067e-02			
X11	-0.553	0.011	X1	0.493	2.705e-02			
X9	-0.642	0.002	Dense	0.477	3.344e-02			
X2	-0.664	0.001	X10	-0.475	3.413e-02			
X5	-0.690	0.001	Acide	-0.549	1.200e-02			
group.sup	R2	p.value	Y2	-0.583	6.912e-03			
Boulangier	0.565	0.010	Synthèse_txt_sec »	-0.803	1.957e-05			
Modalité.group.sup	Estimate	p.value						
Nicolas	-2,73	0,0005						

La dimension 1 oppose les pains de Nicolas (à gauche) caractérisés par les descripteurs *aigre* et *caramel* aux pains des autres boulangers. A droite, les pains de Julie, Daniel et Erwan se répartissent de haut en bas. Six des juges présentent leur première dimension corrélée avec celle de l'AFM. Ces juges sont donc perçoivent d'abord les arômes de *caramel* et de la saveur *aigre* des pains de Nicolas. La dimension 2 oppose les pains de Daniel (en haut) qualifiés de *fondants* et de *gras* (*oléagineux* et *rillette*) à ceux de Julie et Florian *acides* et *secs*. Treize variables sont significativement corrélées avec cette dimension (tableau 16). C'est une dimension de saveur qui oppose des pains *acides* à des pains aux arômes d'*oléagineux* et de *rillette*. Enfin la troisième dimension (figure 33) oppose des pains de Nicolas, caractérisés par des notes de *grillées*, des saveurs *aigres* aux pains de la SCOP Trébara.

Corrélations aux facteurs techniques

Les trois dimensions semblent différencier les boulangers. Les pains de Nicolas définissent deux des trois dimensions (la première et la troisième dimension (tableau 16). Les pains de Julie, de la scop Trébara, de Daniel et d'Erwan se répartissent sur la deuxième dimension selon un gradient de saveur et de texture opposant des pains aux notes *grasses* et à texture *fondante* à des pains *acides* et *secs*. Le facteur dominant influençant la qualité finale du pain apparaît clairement être le facteur « pratiques boulangères ».

Le premier plan de l'AFM exprime 32% de la variabilité (figure 34). La séance s'est déroulée dans un bar associatif pour attirer un plus grand nombre de consommateurs.

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

Tableau 17: Description des dimensions de l'AFM pour la session N3

Dimension 1			Dimension 2			Dimension 3		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value
X11	0.810	1.54e-05	X7	0.716	0.000	Synthèse pâte	0.575	7.871e-03
Y4	0.693	7.02e-04	Y9	0.545	0.013	Synthèse dense/compacte	0.483	3.062e-02
Café torréfié	0.578	7.55e-03	Agréable	0.504	0.023	X10	-0.529	1.636e-02
X8	0.571	8.46e-03	X8	0.466	0.038	Froment chaud	-0.630	2.886e-03
X3	0.482	3.10e-02	Synthèse.crouste.élastique	-0.445	0.049	X5	-0.828	6.492e-06
Puissant	-0.444	4.97e-02	Y2	-0.450	0.047	Modalités.group. sup		
X9	-0.457	4.28e-02	Moelleux	-0.475	0.034	Nicolas	-1.183	0.034
Foin	-0.485	2.98e-02	X2	-0.483	0.031			
X1	-0.650	2.03e-03						
Acide	-0.660	1.56e-03						
group.sup	R2	p.value						
Boulangier	0.649	0.002						
Modalité.grou p.sup	Estimate	p.value						
Daniel	1.792	0.003						
TREBARA	1.200	0.031						
Erwan	-1.236	0.027						
Nicolas	-1.606	0.006						

La première dimension oppose clairement les pains de Daniel et de la SCOP Trébara aux pains de Nicolas et Erwan (figure 34). Les pains de Daniel comme ceux de Nicolas se répartissent sur la deuxième dimension de part et d'autre de l'origine. La dimension 1 est fortement corrélée aux descripteurs *café torréfié*, *puissant*, *foin* et *acide*. Les pains de Nicolas et d'Erwan sont qualifiés d'*acides*, *puissants* aux arômes de *foin* et s'opposent sur la première dimension aux pains de Daniel et de la Scop Trébara caractérisés par des arômes de *café torréfié*.

La deuxième dimension oppose les pains d'Erwan et de Daniel aux pains de Nicolas. La dimension 2 fait apparaître des critères de texture (*élastique* et *moelleux*) qui qualifient les pains de Nicolas et de la scop Trébara. Enfin la troisième dimension distingue le terroir DH11 des autres qualifiés de *dense*. Les pains de Nicolas s'opposent une nouvelle fois aux restes des pains et sont qualifiés de *dense* et aux arômes de *froment chaud*.

Comme l'indique, le pourcentage d'inertie du premier plan, le consensus au sein des panélistes est relativement faible.

Corrélations aux facteurs techniques

La projection des facteurs techniques sur les trois dimensions de l'AFM permet de consolider les observations précédentes. Encore une fois les pains de Nicolas définissent deux des trois dimensions (tableau 17). La première dimension est marquée par l'*acidité* des pains du boulanger Nicolas, la troisième dimension par leur texture *dense*. La deuxième dimension différencie les pains de Erwan, Daniel, Julie et de la scop Trébara sur des critères de texture *élastique* et *moelleux*.

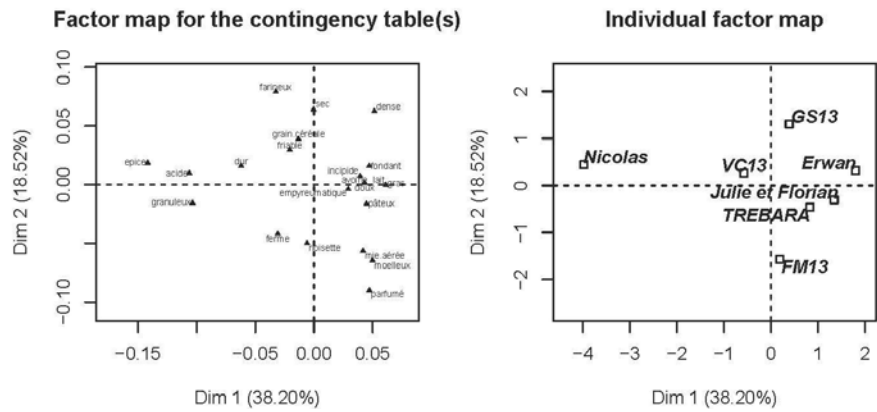
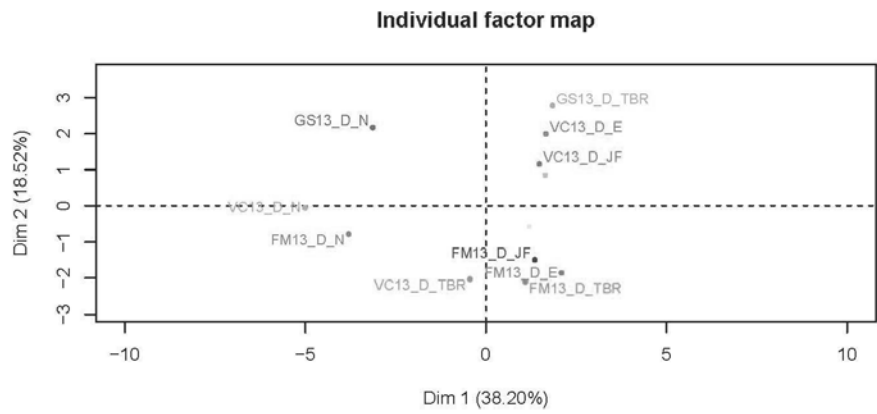


Figure 36: 1er plan de l'AFM sur les données de Napping® N5

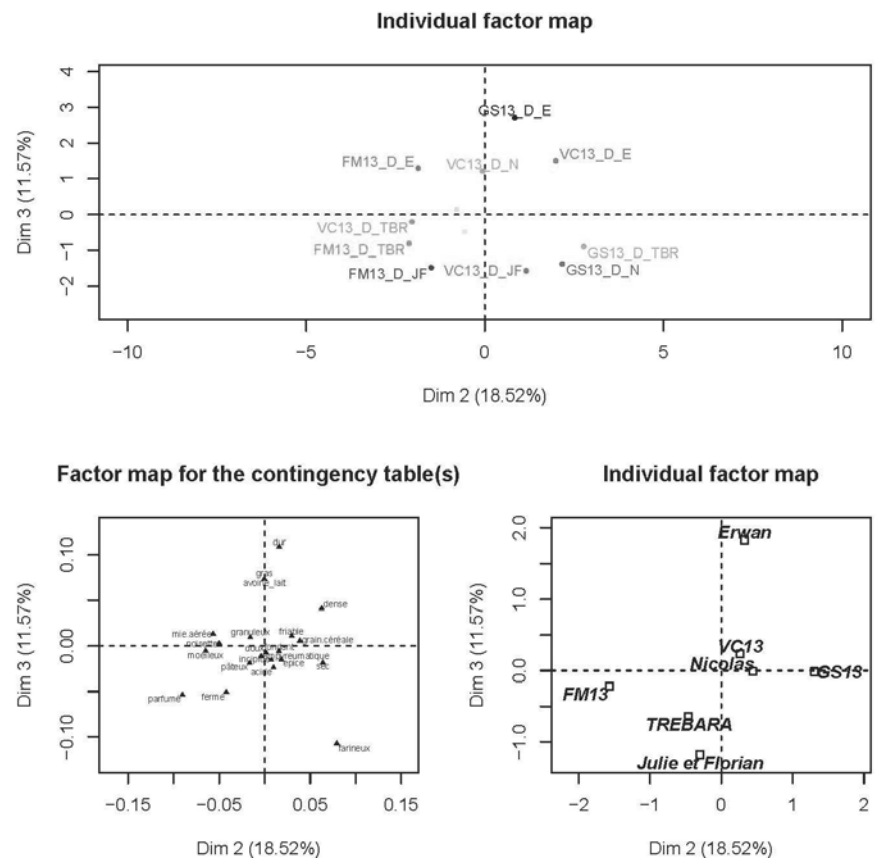


Figure 37: 2ème plan de l'AFM sur les données de Napping® N5

Les deux premières dimensions expliquent presque 57% de la variabilité (figure 36). C'est la séance de Napping® présentant le meilleur consensus. La troisième dimension apporte 11% d'inertie supplémentaire et est donc étudiée (figure 37).

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

Tableau 18: Description des dimensions de l'AFM pour la session N5

Dimension 1			Dimension 2		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value
X4	0.912821857	3.42E-05	X11	0.7715926	0.00328779
Y7	0.907506155	4.56E-05	Sec	0.63049639	0.02795294
X1	0.874205092	0.00020011	X10	0.62151149	0.03097723
X9	0.866928072	0.000261726	Parfumé	-0.57807208	0.04898219
Pâteux	0.841690162	0.000596516	Moelleux	-0.59341232	0.04195055
Y11	0.818617653	0.001130351	Y2	-0.60845104	0.03578298
doux	0.738047937	0.006133652	Mie aérée	-0.65395628	0.02106599
Y10	0.67897183	0.015181846	Y3	-0.66423742	0.01847628
Y2	0.660738207	0.019329918	X2	-0.70094887	0.01110017
Y1	0.616615751	0.032720642	Groupes supplémentaires		
Empyreumatique	0.587137853	0.044733824	Environnement	0.5018257	0.04347263
Y8	-0.578996066	0.048536708			
X3	-0.680035967	0.014962002			
Y5	-0.727074536	0.007379077			
Granuleux	-0.892999224	9.21E-05			
Acide	-0.940813982	5.18E-06			
Epicé	-0.955298546	1.30E-06			
Groupe supplémentaire					
	R2	p.value			
Boulangier	0.932624585	4.93E-05			

Comme d'habitude, la première dimension oppose les pains de Nicolas qualifiés d'*acides*, *épicés* et *granuleux* aux autres pains caractérisés par des saveurs *douces*, des arômes *emphyreumatiques* et une texture *pâteuse* (figure 36). C'est une dimension de saveur opposant les pains *acides* aux pains *doux*. La deuxième dimension est portée par des descripteurs de textures. Les pains en haut sont liés au terroir GS13 et présentent une texture *sèche* tandis que les pains issus du terroir FM13 présentent une *mie aérée* et une texture *moelleuse*. Cette deuxième dimension de texture fait apparaître l'influence du facteur terroir. Enfin la troisième dimension oppose les pains d'Erwan aux pains des autres boulangers (figure 37), mais aucune variable n'est corrélée significativement avec cette dimension (tableau 18).

La carte des variables atteste du consensus qui règne au sein du panel. Une majorité des juges ont au moins une dimension en commun avec celle de l'AFM. Alors que certains juges ont d'abord différencié sur le goût (J4, J1, J3) d'autres ont d'abord discriminé sur des critères de texture (J11, J10, J2).

Corrélations aux facteurs techniques

Le facteur dominant influençant la qualité finale du pain est encore une fois le facteur « pratiques boulangères ». Toutefois, pour la première fois le facteur « environnement » impacte de façon significative la texture du pain.

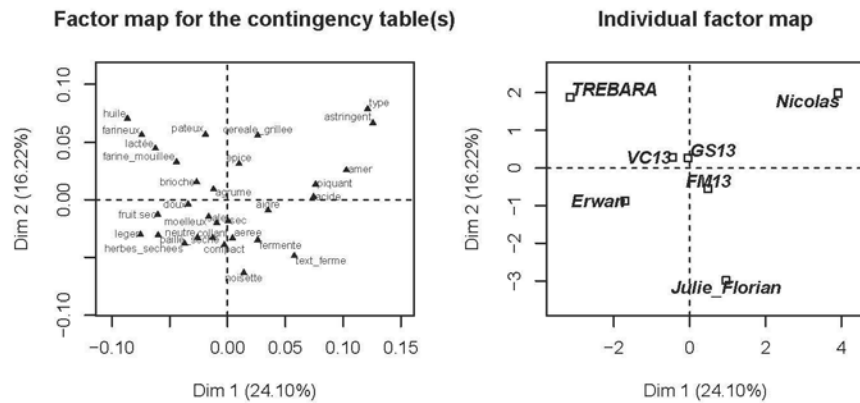
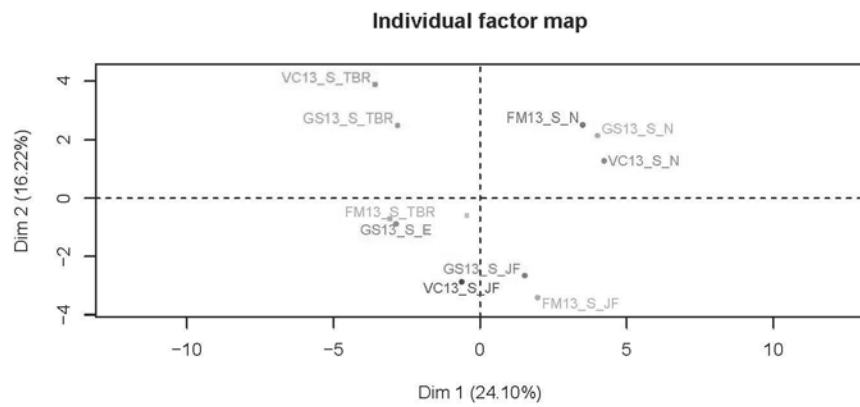


Figure 38: 1er plan de l'AFM sur les données de Napping® N6

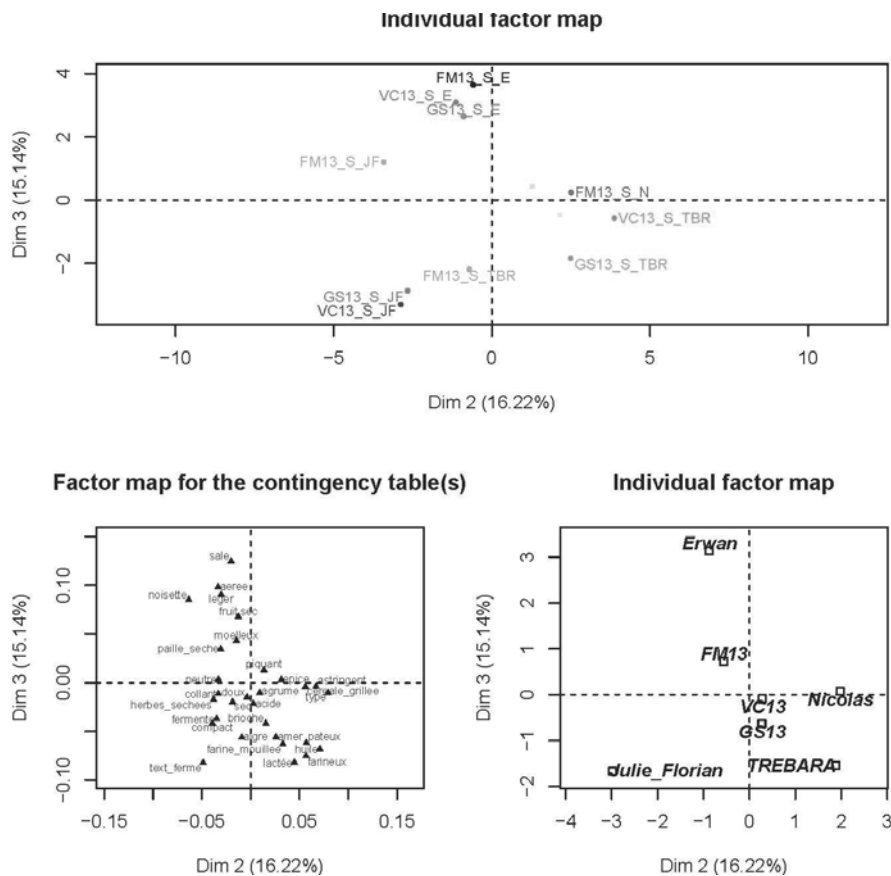


Figure 39: 2ème plan de l'AFM sur les données de Napping® N6

L'inertie apportée par les trois premières dimensions est de 55% (figure 38). Le panel présente un consensus moyen.

Tableau 19: Description des dimensions de l'AFM pour la session N6

Description de la dimension 1			Description de la dimension 2		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value
X20	0.93581721	7.70E-06	Céréale grillée	0.81838965	0.00113701
Acide	0.86982138	0.00023568	X5	0.80246348	0.00168222
X23	0.77903691	0.00282383	Y2	0.68803494	0.01338378
type	0.76246914	0.00393293	X16	0.64197915	0.02440561
Astringent	0.75188749	0.00479657	X17	0.61817781	0.03215693
X15	0.66267061	0.01885502	X22	0.57890212	0.04858187
Piquant	0.65518621	0.02074302	X2	-0.64725646	0.02289003
X9	0.62937661	0.02831771	Y21	-0.72553257	0.00756819
Huile	-0.58043129	0.04785041	X1	-0.73781946	0.00615785
Doux	-0.68189208	0.01458417	Y23	-0.74554232	0.00537891
X10	-0.6845498	0.01405547	Groupes supplémentaires		
X21	-0.78450781	0.002516		R2	p.value
X25	-0.83938444	0.00063862	Boulangier	0.80663752	0.00316245
Groupes supplémentaires					
	R2	p.value			
Boulangier	0.9225002	8.60E-05			

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

La première dimension oppose les pains de Erwan et de la Scop Trébara caractérisés par des arômes d'*huile* et par une saveur *douce* aux pains de Nicolas qualifiés de *typés*, d'*astringents* et d'*acides* (figure 38). C'est une dimension de saveur. La deuxième dimension oppose les pains de la scop Trébara et de Nicolas aux arômes de *céréales grillées*, aux pains de Julie et Florian. Cette deuxième dimension semble très liée à la cuisson. En effet, les pains étant fabriqués dans les fournils respectivement, leur fabrication n'est pas à l'abri d'accident de fabrication. Pour cette fournée, Julie et Florian ont manqué de chaleur dans le four, manque de cuisson qui a été perçu de la même manière par un grand nombre de juges (9 juges). Aucune variable n'est significativement corrélées avec la troisième dimension de l'AFM ce qui limite son interprétation (tableau 19). Cependant il semble que cette troisième dimension oppose les pains d'Erwan (proches du descripteur *salé*) à tous les autres pains comme dans le Napping® analysé précédemment (figure 39).

Corrélations aux facteurs techniques

Les trois dimensions semblent ici différencier les pains fabriqués par les différents boulangers ce qui appuie l'effet dominant du facteur « pratiques boulangères » sur la qualité finale du pain. Cette séance de dégustation a été marquée par une différence de cuisson pour les pains de Julie. Cette différence a pu masquer les différences de textures. En effet, aucun descripteur de texture n'apparaît dans les variables significativement corrélées aux trois premières dimensions.

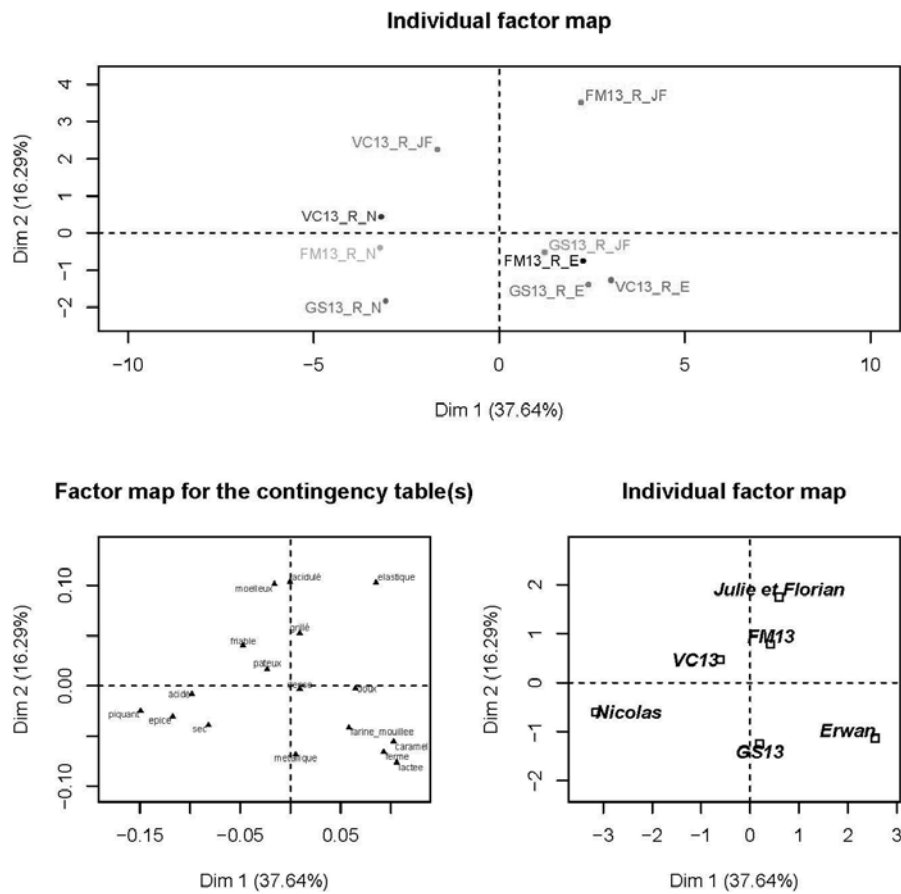


Figure 40 : 1er plan de l'AFM sur les données de Napping® N7

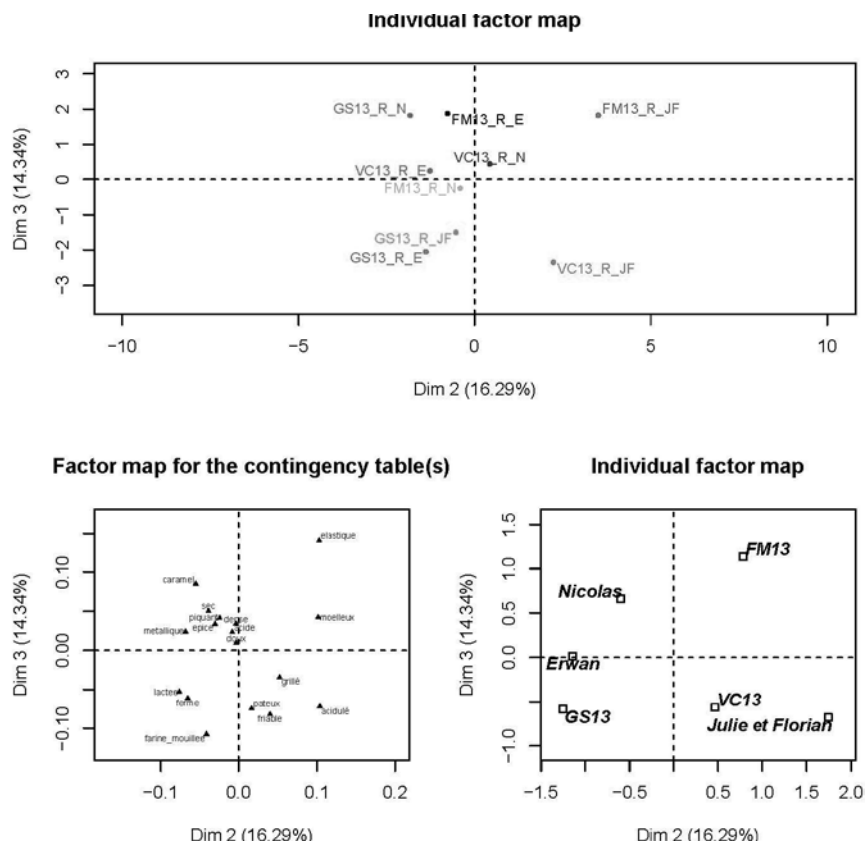


Figure 41: 2ème plan de l'AFM sur les données de Napping® N7

Tableau 20 : Description des dimensions de l'AFM pour la session N7

Description de la dimension 1			Description de la dimension 2		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value
Doux	0.87610585	0.00194854	Moelleux	0.75240105	0.01932921
X6	0.84762793	0.00390439	X12	0.72377187	0.02749192
X5	0.6787423	0.04441124	Y10	-0.71528998	0.03028311
Y11	-0.74503295	0.02125064	X8	-0.72437221	0.02730102
Acide	-0.80825146	0.00837982			
Piquant	-0.81187866	0.00786771			
Epicé	-0.85625902	0.00321191			
X3	-0.90421721	0.0008145			
X9	-0.93934579	0.00017047			
X1	-0.95339211	6.88 ^{E-05}			
Groupes supplémentaires					
	R2	p.value			
Boulangier	0.85652039	0.00295373			

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

Deux groupes se distinguent fortement sur la première dimension de la représentation des individus : les pains de Nicolas (à gauche) et ceux d'Erwan (à droite) (figure 40). Les pains issus de chacun de ces boulangers présentent une forte proximité sensorielle, la plus forte sur toutes les séances de Napping®. Cette première dimension est une dimension de saveur qui oppose des pains *acides*, *piquants* et *épicés* (ceux de Nicolas) à des pains *doux* (ceux d'Erwan). La deuxième dimension oppose deux pains de Julie aux autres pains. Ces derniers sont caractérisés par une texture *moelleuse*. Un environnement (GS13) semble se différencier des autres sur cette deuxième dimension. La troisième dimension bien que ne portant pas de variables significativement corrélées (tableau 20) semble opposer les pains du terroir FM13 aux pains issus des deux autres environnements (figure 41). Une proximité avec le descripteur *moelleux* suggère une dimension de texture.

Corrélations aux facteurs techniques

La dominance du facteur « pratiques boulangères » se confirme. Cette fois ce n'est pas la particularité des pains de Nicolas qui définit les axes de l'AFM. La variété 'Renan' semble conférer une stabilité de la qualité pour un boulangier donné. Cette séance offre une caractérisation sensorielle du levain des boulangers, les descripteurs de goût étant liés aux caractères *acide* et *doux* des pains. Une deuxième dimension révèle une relative différenciation des terroirs. Ce sont surtout les descripteurs *moelleux* et *dense* qui ressortent pour décrire les terroirs.

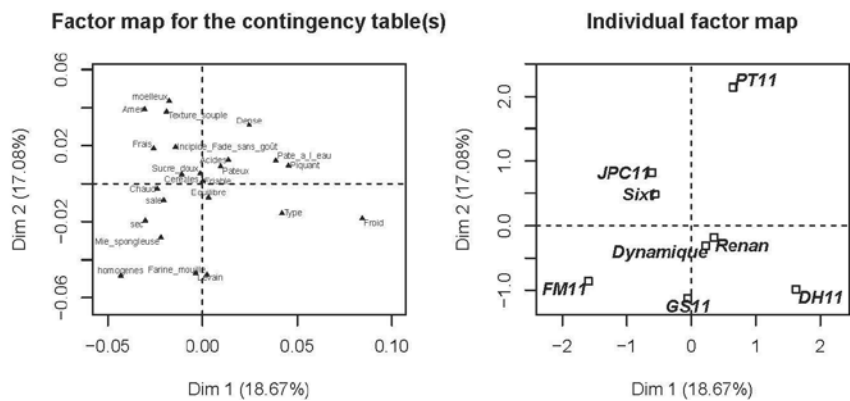
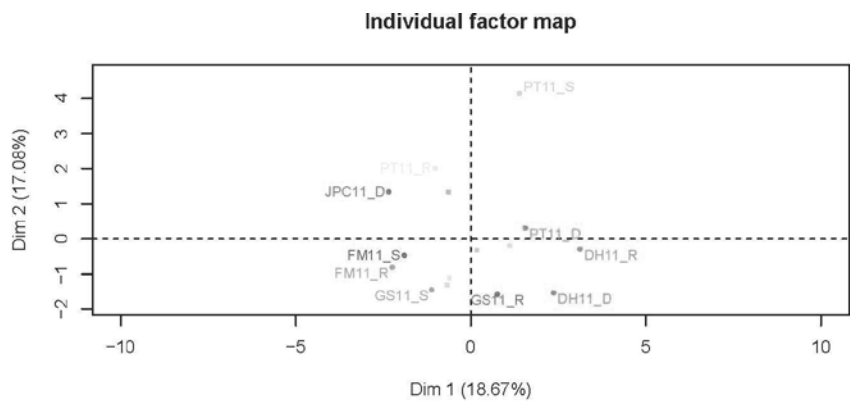


Figure 42: 1er plan de l'AFM sur les données de Napping® N4

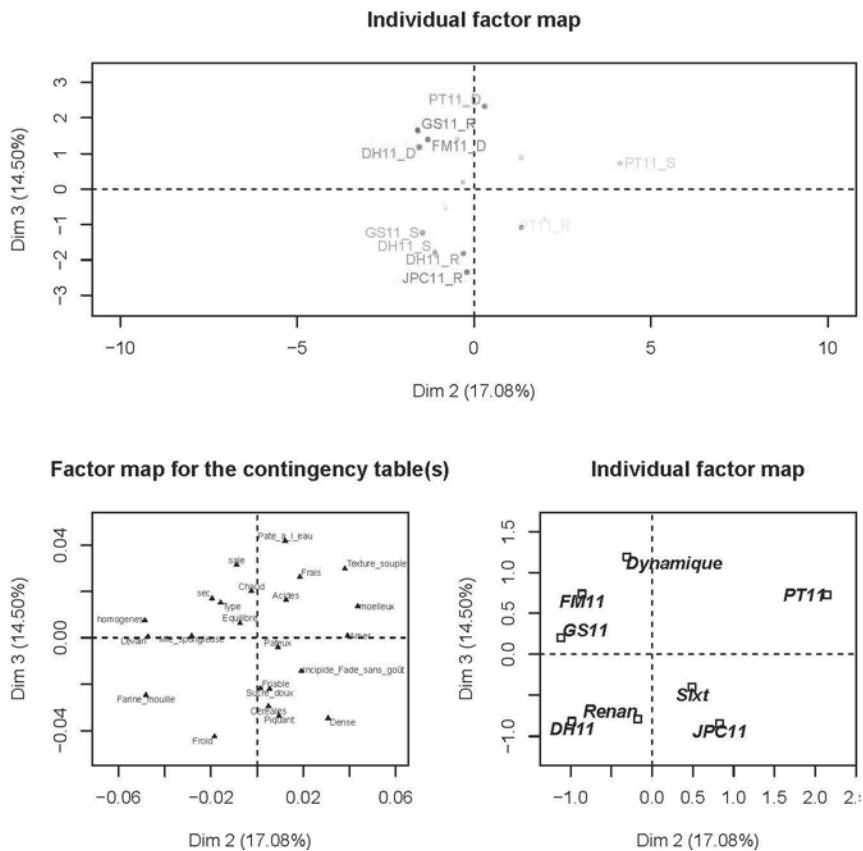


Figure 43: 2ème plan de l'AFM sur les données de Napping® N4

ii. INTERACTION GENOTYPE*ENVIRONNEMENT

N4 : PANIFICATION INRA, 3 GENOTYPES, 5 TERROIRS

L'inertie du premier plan est de 36% (figure 42). Un consensus moyen règne au sein du panel.

Tableau 21: Description des dimensions de l'AFM pour la session N4

Dimension 1			Dimension 2			Dimension 3		
Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value	Variables	Corrélations	p.value
X8	0.83489048	0.00010767	X5	0.85849931	4.19E-05	X9	0.74837328	0.00133032
Y11	0.74287551	0.00150886	Amer	0.62476059	0.01277183	Y4	0.59812037	0.01851017
Froid	0.64917196	0.00882624	Texture_souple	0.52639288	0.04382036	Y6	0.57219626	0.02581775
X11	0.55466091	0.03187816	Y13	-0.55622307	0.0312986	X2	-0.61731202	0.01421352
Y7	-0.54559153	0.03540374	X13	-0.64652777	0.00920028	Groupes supplémentaires		
X4	-0.55309844	0.03246587	Groupes supplémentaires				Estimation	p.value
X7	-0.59578872	0.01909334		R2	p.value	Dynamique	1.19167	0.02462761
			Environnement	0.69066762	0.01261283			
			Catégories					
				Estimation	p.value			
			PT11	2.143048	0.00275856			

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

La première dimension oppose les pains provenant de l'environnement FM11 aux pains provenant de DH11 (figure 42). Seul le descripteur *froid* est significativement corrélé avec la première dimension et qualifie les pains issus de l'environnement DH11. La deuxième dimension oppose les pains de PT11 caractérisés par une saveur *amère* et une texture *souple* aux pains issus de l'environnement GS11. Enfin la troisième dimension oppose les pains issus de la population dynamique aux autres pains (figure 43). Aucun descripteur sensoriel n'est significativement corrélé avec la troisième dimension (tableau 21). Cependant, la proximité avec le descripteur *acide* suggère la particularité sensorielle de cette population.

Corrélations aux facteurs techniques

L'évaluation sensorielle de pains issus de différents génotypes cultivés sur plusieurs terroirs révèlent deux dimensions liées au facteur technique. La deuxième dimension différencie les pains issus des cinq terroirs. Cette dimension de texture (*souple*) et de saveur (*amer*). La troisième dimension distingue les pains issus des différentes variétés. Bien qu'aucun descripteur ne soit corrélé significativement, la projection des barycentres sur l'AFM suggère une dimension de saveur, la population dynamique semblant caractérisée par une saveur *acide*.

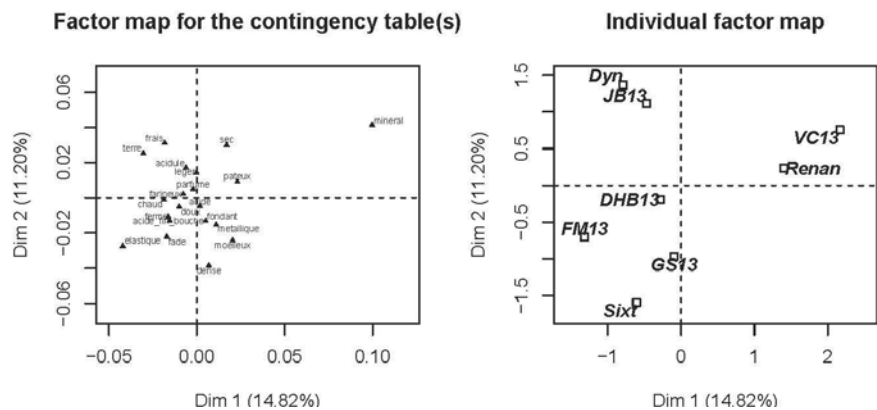
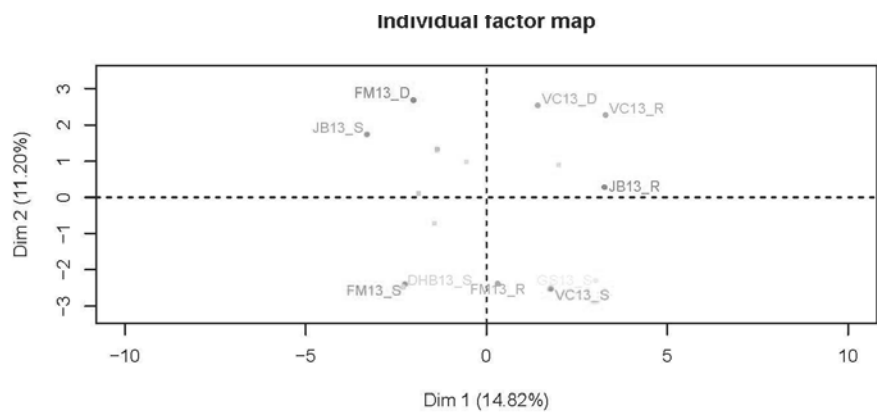


Figure 44: 1er plan de l'AFM sur les données de Napping® N8

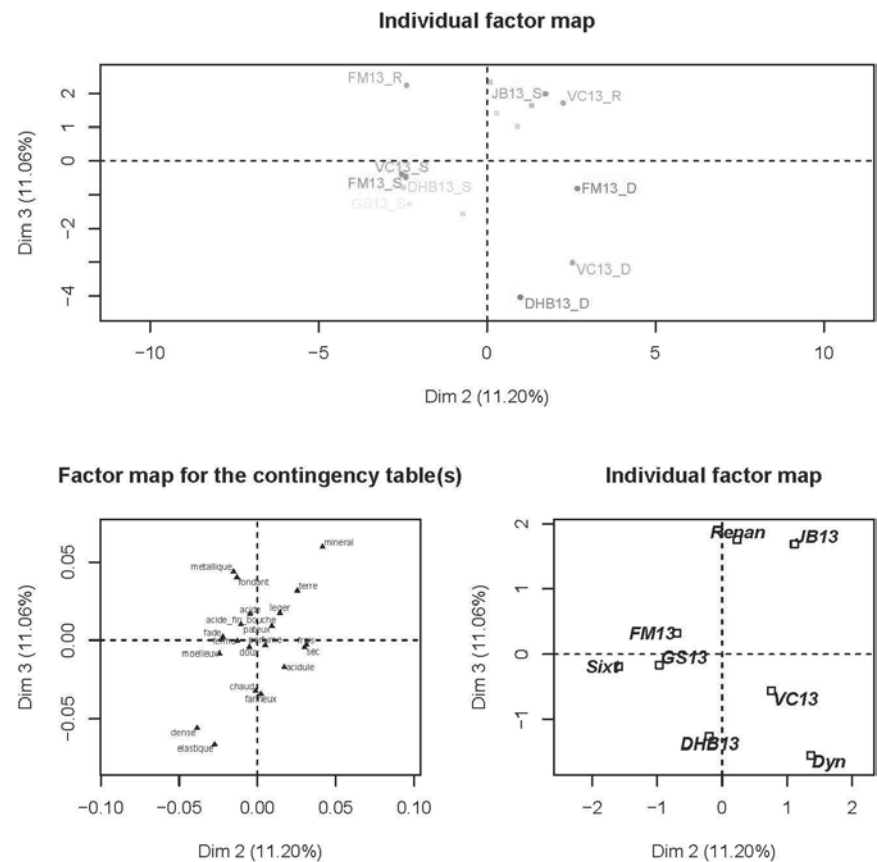


Figure 45: 2ème plan de l'AFM sur les données de Napping® N8

Les trois premières dimensions expliquent 37 % de la variabilité (figure 44 et figure 45). Au vu du nombre de juges (25), le consensus est relativement bon.

Tableau 22: Description des dimensions de l'AFM pour la session N8

Dimension 1			Dimension 2			Dimension 3		
Variables	Corrélations	p-value	Variables	Corrélations	p-value	Variables	Corrélations	p-value
X6	0.7186987	0.003778340	Y3	0.8150420	0.0003830703	X9	0.8308818	0.0002321733
X4	0.7069642	0.004693682	X5	0.7040658	0.0049444472	Y6	0.7046065	0.0048968842
Y14	0.6710707	0.008603122	Y9	0.6163037	0.0189202067	Y5	0.5782978	0.0302853868
Y12	0.5689754	0.033717107	X2	-0.6049014	0.0219161714	Terre	0.0473071144	0.5377859
Acide	0.5658518	0.034928923	X7	-0.6351137	0.0146683435	Fade	0.0025139423	-0.7393195
Pâteux	0.5369112	0.047738124	X12	-0.660534	0.0101290325	Groupes supplémentaires		
Ferme	-0.5831221	0.028615139	Catégorie				R2	p.value
Elastique	-0.5900911	0.026324950		Estimation	p-value	Variété	0.6682804	0.002313349
X10	-0.6482192	0.012167709	JB13	2.119075	0.03803818	Catégories		
						Dyn	1.882665	0.0007729184
						Sixt	-1.207118	0.014751459

Description des individus et des variables en fonction des dimensions

La première dimension oppose les pains issus de VC13 et de Renan à tous les autres pains (figure 44). Ces deux derniers types de pains sont caractérisés par leur saveur *acides* et leur texture *pâteuse*. La deuxième dimension oppose les pains issus de JB13 aux pains issus GS13 mais également ceux issus de la population dynamique et de la population 'Sixt'. Aucun descripteur n'est corrélé significativement à la deuxième dimension de l'AFM. La troisième dimension différencie les pains provenant de différentes variétés (tableau 22). Les pains issus de 'Renan' sont caractérisés par les descripteurs *terre* et *fade* et s'oppose aux pains de la population dynamique (figure 45).

Corrélations aux facteurs techniques

La première dimension n'est corrélée avec aucune variable qualitative (tableau 22). C'est un axe essentiellement de texture (*pâteux*, *élastique* et *ferme*) associé à la caractéristique de saveur la plus discriminante dans tous les Napping® (*acide*). La deuxième dimension distingue les pains issus de différents terroirs. Ce facteur semble donc prédominant par rapport au facteur « génétique » qui apparait sur la troisième dimension. Cette troisième dimension est une dimension de saveur et distingue les pains *fades* à des pains *terreux*.

iii. COMPARAISON DES CONFIGURATIONS

Tableau 23: synthèse des effets dominants des facteurs observés sur les 8 épreuves de Napping®

	B>E	B<E	G>E	G<E	Text=f(E)	Goût=f(G)	Goût=f(B)
N1	1	0			0		1
N2	1	0			0		1
N3	1	0			0		1
N5	1	0			1		1
N6	1	0			0		1
N7	1	0			1		1
N4			0	1	1	1	
N8			0	1	1	1	

L'évaluation de l'interaction E*B montre systématiquement une influence prépondérante du facteur « pratiques boulangères » (tableau 23). La distinction entre les pains de différents boulangers se traduit essentiellement par des descripteurs de goût. Le choix des boulangers n'a peut-être pas été judicieux : l'objectif était d'avoir un panel de boulangers représentatif de la diversité. Or un boulanger parmi eux fait son pain à partir d'un levain de son ce qui donne des caractéristiques très acides à son pain. Cette caractéristique sensorielle forte a pu gommer des

variations dues à l'environnement. Cependant deux séances permettent de discerner l'influence du facteur environnement (N5 et N7). De plus, lors des panifications, trois des quatre boulangers ont perçus les mêmes différences de comportement de la pâte en fonction des terroirs. Les différences dues à l'environnement de culture sont donc peut-être plus discernables au moment de la panification que lors de la dégustation. Les boulangers, par leurs pratiques ont pu gommer ces différences pour donner des pains de qualité comparable. Le choix du levain (sa qualité) apparaît un paramètre essentiel à prendre en compte si l'on veut comparer des pains issus de différentes variétés. Concernant la nature du panel pour les épreuves de Napping® testant l'interaction E*B, les trois premières séances présentaient une grande proportion de professionnels tandis que les trois dernières présentaient plus de consommateurs connaisseurs. Les paysans-boulangers, au courant des différentes pratiques de panification de leurs collègues ont pu focaliser leur attention sur les caractéristiques du levain et mis de côté ainsi les différences de texture par « déformation professionnelle ».

L'évaluation de l'interaction G*E a mis en évidence l'influence prépondérante de l'environnement sur la qualité sensorielle. Les pains lors de ces sessions ont été rigoureusement panifiés de la même manière avec un levain doux (Erwan) et endogène. Ceci a permis de mettre en évidence des différences de goût entre les variétés.

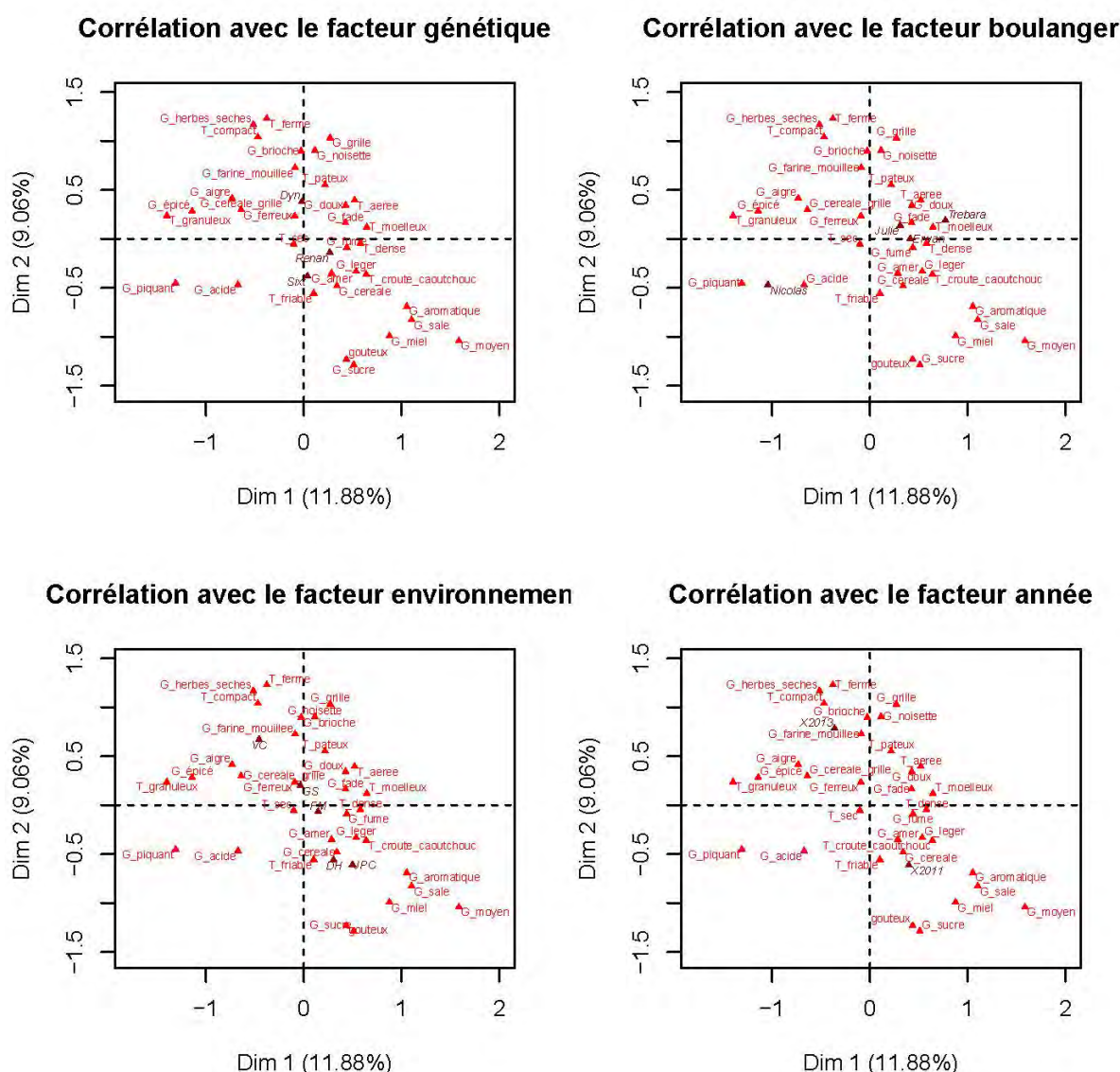


Figure 46: AFC sur les descripteurs et corrélations avec les facteurs techniques

Pour évaluer la stabilité de la qualité sensorielle dans le temps, une AFC a été appliquée sur les descripteurs libres générés au cours des épreuves de Napping® (figure 47). Les lignes ont fait l'objet d'un regroupement (variété/année) pour visualiser plus facilement la proximité des couples variété/année.

Les individus d'une même variété ne présentent pas de proximité sensorielle. La carte des produits présente une différenciation sur la dimension 1 entre les individus de 2011 (à gauche) et ceux de 2013 (à droite). Bien que les distances entre individus d'une même variété soient semblables, les 'Renans' semblent les plus proches, ce qui suggère une plus grande stabilité de la lignée pure face aux populations concernant la qualité sensorielle (descripteurs sensoriels). La différence évidente entre les deux années peut également être due à la nature du panel. En effet, le panel en 2011 était presque exclusivement composé de paysans-boulangers alors que celui de 2013 était davantage composé de consommateurs. Alors que les populations semblent présenter une plus grande stabilité des performances agronomiques comparées à la lignée pure, la tendance semble inversée pour les caractères sensoriels. L'hypothèse selon laquelle le génotype influence la qualité sensorielle du pain est renforcée. Les populations varient en composition d'une année sur l'autre et donnent des qualités différentes tandis que la lignée pure, stable en composition donne de ce fait, une qualité sensorielle stable d'une année à l'autre.

Pour conclure sur l'influence relative des facteurs génétique, environnement et pratiques boulangères, il apparaît que le facteur « pratiques boulangères » est déterminant de la qualité finale du produit et peut gommer des variations dues à l'environnement et au génotype. Cependant, le facteur environnement semble influencer de façon prépondérante la texture finale du pain et le facteur génotype le goût du pain. L'évaluation de l'aptitude à la panification aidera à qualifier les différences engendrées par l'environnement et le génotype, puisque ces différences apparaissent plus discernables au niveau de la farine. Les résultats présentés ici concernent le volet sensoriel de Paysblé, bien que l'étude de liens entre données agronomiques et technologiques ait été initiée, une analyse des corrélations plus approfondie entre ces données est nécessaire et prévue pour l'interprétation complète des résultats de PaysBlé.

(c) DISCUSSION : DIVERSITE INTRA-SPECIFIQUE ET STABILITE DE LA QUALITE

L'étude de l'effet du génotype et de l'environnement sur les caractéristiques sensorielles du pain montre une influence prédominante de l'environnement sur les deux années. L'environnement a été étudié au sens large dans cette étude mais de nombreuses variables ont été collectées pour le caractériser. Plusieurs éléments le définissent, parmi ceux étudiés dans la littérature on trouve : l'année climatique, les caractéristiques pédologiques et les pratiques culturales.

L'année de culture apparaît comme le facteur de production déterminant de la qualité sensorielle. Kihlberg et al., (2006) ont mené une des rares études s'intéressant à l'interaction des facteurs de production (système de culture, année de récolte et technique de panification) sur la qualité sensorielle du pain. L'année de récolte est le facteur qui a influencé le plus la qualité finale des pains, les différences mises en évidence sont essentiellement des différences de texture. Les résultats des expérimentations menées dans Paysblé confirment ces conclusions et montrent une influence prépondérante de l'année de récolte sur la texture. Les pains de 2011 présentent une texture *friable* tandis que ceux de 2013 sont *compacts*. Cette différence de texture est liée à la quantité et à la qualité du gluten, elle-même dépendante de la disponibilité des éléments azotés et soufrés lors de la croissance du blé (Zhao et al., 1999). Les premières observations sur l'ensemble des données (étude des corrélations) présentent une grande variabilité de ces variables technologiques en fonction de l'année. Cette hypothèse sera vérifiée dans la suite des travaux en comparant les données technologiques, plus particulièrement les valeurs d'extensibilité mesurées sur les pâtes au cours des deux années d'expérimentation. Les résultats de SOLIBAM des essais menés en Suisse apportent des éléments nouveaux à la réflexion. Ils ont démontrés une grande dépendance du rendement, de la teneur en protéine et de l'indice de sédimentation du blé aux conditions environnementales. En revanche, l'extensibilité de la pâte et le volume de la mie dépend plus fortement du génotype (Délivvable D1.7 final, SOLIBAM). Ainsi la quantité de protéines n'explique pas à elle seule l'aptitude à la panification des blés. L'année climatique (plus précisément la température de l'air et les précipitations) ont un effet significatif sur le teneur total en caroténoïdes (Lv et al., 2013). Un autre effet qu'a l'année climatique est la sélection d'individus (de génotypes) au sein d'une population. Cet aspect n'apparaît nulle part dans la bibliographie car aucune étude sur la qualité sensorielle des blés ne porte sur des populations. Pourtant il est évident que les conditions climatiques d'une année à l'autre vont favoriser certains génotypes par rapport à d'autres. Les proportions des génotypes au sein d'une population varient donc d'une année à l'autre, certains génotypes disparaissent même. L'étude des interactions présentent un plus grand gradient des performances technologiques pour les populations que pour la lignée pure sur l'année 2011. Or les deux facteurs environnement et génotype jouent un rôle dans la composition nutritionnelle du grain de blé. Murphy et al. (2008) ont étudié l'effet du génotype, des **caractéristiques du sol** (matière organique, pH et disponibilité en minéraux) et du système de culture. La concentration en minéraux du sol n'était pas responsable de la concentration en minéraux des grains de blé. En revanche, la culture en AB donne des blés aux teneurs plus élevées en certains minéraux (Cu, Mg, Mn, P et Zn). L'effet du génotype est apparu également significatif dans la détermination de la composition pour les minéraux Ca, Cu, Mg, Mn et P.

Ainsi **l'impact du génotype** sur la composition nutritionnel du blé et la qualité sensorielle du pain a fait l'objet de plusieurs études, certaines ne s'intéressant qu'aux génotypes, d'autre étudiant l'interaction avec d'autres facteurs. L'analyse de la composition nutritionnelles d'un grand nombre de génotypes montre un contrôle par le génotype d'un certain nombre de nutriment (Bordes et al., 2008; Di Silvestro et al., 2012; Leenhardt et al., 2006; Murphy et al., 2008; Oury et al., 2006; Peterson et al., 1992). Des études suggèrent le lien entre la composition en ces nutriments et les propriétés gustatives des pains (Fujino et al., 1996; Institut National de la Boulangerie Pâtisserie, 2003). Les plus susceptibles de participer à l'élaboration des qualités sensorielles sont les métaux alcalins (P) et alcalino-terreux (Ca, Mg), certains caroténoïdes et certains composés phénoliques (Challacombe et al., 2012).

L'étude du **système de culture** donne également des éléments de compréhension dans l'élaboration de la qualité nutritionnelle et le lien avec la qualité sensorielle. **La culture en agrobiologie** présente les plus grandes différences de qualité sensorielle et nutritionnelle (Kihlberg et al., 2004; Smith et al., 2012). Ces pratiques favorisent l'utilisation des défenses naturelles par la plante et développent chez la plante une plus grande capacité pour extraire les éléments nutritifs du sol. Une relation négative entre teneur du grain en phosphate et potassium

et fertilisation azotée a été observée (Kihlberg et al., 2006). Une autre étude s'intéressant cette fois à l'interaction entre les génotypes et l'environnement a mis en évidence une influence prédominante du génotype sur la qualité, là encore les différences résidaient dans la texture des pains (Ploeger et al., 2008). Les variétés, des lignées pures, ont été testées sur une année, et sur différents systèmes de culture. Cependant toutes les modalités des systèmes de culture n'ont pas été testées pour chaque variété, seule une variété a été cultivée selon les quatre modalités testées et ne présente pas de différence significative sur les qualités sensorielles. La comparaison entre variétés anciennes et modernes montre une plus grande variabilité de la composition nutritionnelle pour les variétés anciennes suggérant un plus grand potentiel d'amélioration pour ces dernières. Les différences de proportions de génotypes au sein d'une population sur plusieurs années peuvent donc engendrer des différences de qualité sensorielle. Ces résultats encouragent également le criblage pour des génotypes présentant des profils nutritionnels et sensoriels remarquables.

L'effet des pratiques boulangères sur la qualité finale du pain, alors qu'évidente dans les expérimentations PaysBlé, présente moins d'importance dans les études menées par Kihlberg et al., (2006, 2004). Les variations de techniques de panification consistaient en des modifications minimales tels que le temps de pétrissage (des variations de l'ordre de la minute) ou encore le taux d'hydratation de la pâte (entre -4% et +13%) alors que dans le cas de PaysBlé, les variations résident dans l'intégralité de la formulation (du levain à la conduite de fermentation). Il apparaît alors normale que les différences soient plus marquées dans les expérimentations PaysBlé.

La culture de population en AB semble conférer une plus grande stabilité des performances agronomiques (Costanzo and Bàrberi, 2014). Les lignées pures sont affectées par les aléas climatiques uniquement sur leur performance, étant homogène génétiquement, seule la quantité varie. En revanche, ces aléas climatiques modifient les proportions de génotypes au sein de la population. Il est donc normal d'observer des différences de qualités sensorielles plus importantes pour des populations de blé cultivées en AB. Ces résultats ne prennent cependant pas en compte le facteur d'adaptation. En effet, les proportions en génotypes des populations tendent à se stabiliser après plusieurs années de culture dans un même environnement. Les variations observées au niveau de la qualité sensorielle peuvent alors s'atténuer.

Vers un terroir panicole...

Ainsi les trois facteurs étudiés influenceraient la qualité sensorielle du pain. Le facteur boulanger apparaît dominant, plus particulièrement la conduite de fermentation du boulanger est un facteur clé de la qualité finale. L'environnement influence de façon prépondérante la texture et le génotype les caractéristiques de saveurs. Cette singularité de la qualité du pain dépendant du génotype, de l'environnement et du boulanger se rapproche de la définition du « terroir » en viticulture. La notion de terroir reste toutefois à mieux objectiver (l'étude ne portant que sur trois variétés et cinq environnements) et à conforter pour renforcer la typicité des produits et améliorer l'adaptation des pratiques agronomiques et boulangères. Cette variation de qualité peut contribuer à l'identité des produits de terroir pour une meilleure valorisation de ces produits. Cependant, bien que les variétés étudiées présentent des notes aromatiques caractéristiques en 2011 (doux pour la variété 'Sixt', acide pour le mélange dynamique), ces caractéristiques ne se retrouvent pas forcément en 2013. De même, les différences de texture entre environnement étaient plus flagrantes en 2011 qu'en 2013. Le choix des échantillons (variétés et paysans-boulangers) n'était pas adapté à la mise en évidence d'un tel « terroir panicole ». Ainsi le choix des variétés testées dans PaysBlé, fait sur une base essentiellement géographique et dans l'objectif de tester le gradient diversité, n'était peut-être pas judicieux pour mettre en évidence l'impact sensoriel de la variété sur le goût du pain. L'objectif de cette expérimentation était bien de tester l'impact de la diversité génétique sur la stabilité des performances (qualités agronomique et sensorielle). Pour identifier des génotypes remarquables par leur qualité, un screening variétal sur les caractéristiques apparaît nécessaire. L'identification de marqueurs morphologiques de la qualité permettrait également un premier tri pour ce screening.

2.1.2. EXPERIMENTATION 2 : PROJET QUALITE GUSTATIVE DES CEREALES (ARDEAR) ET L'ETUDE DU LEVIER SELECTION

(a) EXPLICITATION DES CRITERES DE SELECTION LIES A LA QUALITE FINALE

La mise en évidence d'une connaissance empirique sur les critères de qualité finale liée à la variété a conduit à un recueil de connaissances associées à des systèmes d'observations objectifs : une caractérisation morphologique et sensorielle des « mélanges-boulanges » issus de cette sélection. La question à laquelle veut répondre cette expérimentation est : existe-t-il des stratégies de sélection employées par les paysans-boulangers intégrant la qualité finale ?

Des analyses de variance et analyses en composantes principales ont permis d'identifier des différences significatives entre « mélanges-boulanges » et génotypes au niveau morphologique et sensoriel.

(i) SYNTHESE DES ENQUETES

LES ENQUETES

Les agriculteurs

Les études de cas, restituées en annexe H, ont été réalisées sur onze personnes. Toutes sont concernées par la sélection paysanne de blés panifiables. Sept se revendiquent paysans-boulangers, un se sent plus agriculteur-transformateur, un participe à une filière de valorisation des blés anciens et les deux restants sont paysans-meuniers mais proposent une farine de blés anciens. Tous ont une démarche agricole respectueuse de l'environnement, appliquant les préceptes de l'agriculture biologique voire de l'agriculture biodynamique.

Les paysans-boulangers

Stéphane Rouvès, Christian Dalmaso, Pascal Rascles, Julie Bertrand, Jean Mataouchek (nommé « Mata »), Nicolas Supiot et Jean-François Berthelot sont paysans-boulangers. Ils possèdent tous au minimum un mélange de blés anciens, choisi initialement suivant leurs propres aspirations, qu'ils cultivent et transforment en pain pour un circuit court et local. Ils vendent en effet soit à la ferme, soit dans des Associations pour le Maintien de l'Agriculture Paysanne (AMAP), ou sur des marchés.

Aucun parcours ne se ressemble. Les « pionniers » de ce métier récent sont Nicolas Supiot, en Bretagne et Jean-François Berthelot dans le Lot-et-Garonne. L'un vient d'un environnement urbain et ses choix de vie l'ont amené à s'installer en agriculture et à développer progressivement une activité autonome tandis que l'autre est déjà dans le monde agricole lorsqu'il choisit cette activité de transformation du blé pour s'affranchir des contraintes climatiques fortes qui pèsent sur son activité précédente d'arboriculture. Tous deux commencent la panification dans les années 1990.

Christian, issu d'école d'ingénieur en agriculture s'installe en Isère en 1995 avec d'autres associés et démarre en 2001 l'activité de transformation en pain, s'orientant vers une grande diversité de son mélange-boulanges pour des avantages agronomiques.

Julie Bertrand s'installe en Bretagne plus tard avec son compagnon Florian Marteau, en 2006, suivant son rêve le plus cher de réaliser une activité autonome, valorisant le patrimoine et le paysage de la région. Pascal, ancien kinésithérapeute, commence la culture des blés anciens dans la même période en Haute-Loire.

Pour les installations les plus récentes, Mata a commencé en 2008 en Bretagne et Stéphane dans la Loire en 2010. Le premier détient un diplôme d'architecte et le second est un ancien instituteur.

Les paysans-meuniers

Raphaël Baltassat et François Gardey de Soos sont paysans-meuniers. Ils cultivent leur mélange et le transforment en farine à destination de clients particuliers ou de boulangers bio. Le premier est installé en Haute-Savoie sur la ferme parentale en AOC Reblochon avec son frère et le second gère une partie du domaine familial depuis 1977. Les deux sont sensibles aux variétés anciennes pour leur esthétique et leurs avantages agronomiques concernant la production de paille ou la résistance à la verse.

L'agriculteur transformateur

Alain Pommart est aussi un pionnier paysan-boulangier mais ne panifie pas exclusivement des variétés anciennes. Il reste ouvert à ce que la sélection professionnelle a apporté au monde paysan mais privilégie l'échange de semences paysannes pour accroître la diversité des blés et renforcer le lien social entre paysans ou agriculteurs.

L'agriculteur dans la filière

Gérard Guillot cultive d'anciennes variétés de blés suivant ses convictions : la préservation et la valorisation d'un patrimoine associées aux bénéfices nutritionnels avancés par le monde paysan sur les anciennes variétés de blés comme la meilleure digestion et de meilleurs apports minéraux. Il participe à la filière du blé Meunier d'Apt qui produit le pain du Lubéron.

AUTANT DE STRATEGIES QUE D'INDIVIDUS

A l'image des parcours de chacun, leurs stratégies de sélection sont très diverses. Stéphane Rouvès privilégie l'arôme du pain et sélectionne son blé suivant des caractéristiques gustatives avant de lui trouver un lieu près de chez lui qui serait optimal pour sa culture. Raphaël, Christian et Pascal jouent plus sur le facteur diversité pour une adaptation du mélange aux conditions pédoclimatiques, estimant que la diversité variétale apportera une palette aromatique plus complexe. Nicolas et Jean-François ont adopté une sélection plus globale, comprenant le plus de critères possibles dans tous les aspects de la filière, autant agronomique, que gustatif ou technologique.

Le tableau 24 présente l'ensemble des 17 critères de sélection identifiés durant les entretiens avec les différents paysans. Ces critères sont rassemblés en six groupes distincts correspondant à un aspect de la filière et des préoccupations évoquées par les paysans.

L'intérêt pour la qualité finale du produit n'apparaît pas distinctement dans ce tableau, pourtant, tout le panel interrogé est engagé dans une réflexion collective sur la qualité finale, puisqu'ils participent tous aux expérimentations associées à la thèse. Malgré la différence manifeste de chaque association de critères par individu, un objectif commun orienté vers la performance agronomique est aussi visible. Les paysans ont aussi un impératif de production pour assurer un minimum de transformation et de revenu.

Tableau 24: Synthèse des critères de sélection abordés lors des enquêtes

	Agronomie - performance							Agronomie - apparence				Social		Panification	Goût	Santé	
Paysans-boulangers	gros- seur épis	longueur épis	paille	talles	verse	gros- seur grain	adaptation	diversité	couleur	barbes	courbure	patrimoine	échange	techno- logique	arôme	nutrition	digestibilité
Stéphane Rouvès	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Christian Dalmasso	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Raphaël Baltassat	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Julie Bertrand	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
Mata	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Pascal Rascles	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
François Gardey	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Nicolas Supiot	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
Jean-François Berthelot	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
Alain Pommart	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Gérard Guillot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

(ii) CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES « MELANGES-BOULANGES »

DETAILS DE QUELQUES CARACTERISTIQUES QUALITATIVES REPEREES

Couleur des épis

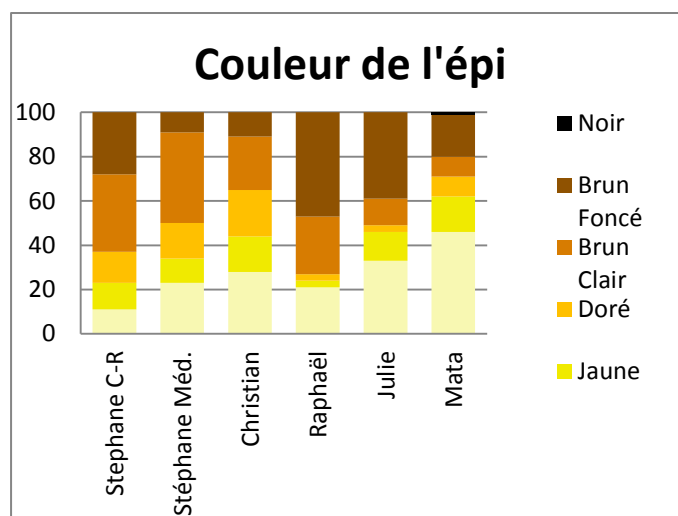


Figure 48: Répartition des couleurs observées dans les mélanges

Chaque mélange possède sa propre distribution de couleur. D'après la figure 48, le mélange comportant le plus d'épis bruns foncés est celui de Raphaël. Il possède très peu de couleurs intermédiaires contrairement aux autres. Le mélange qui apparaît avec des couleurs plus claires est celui de Mata, suivi par celui de Julie. Le mélange de Mata est un mélange de blé de Redon qui provient de Julie et qu'il cultive depuis quelques années sans avoir effectué de sélection particulière entre chaque campagne à part celui qui est réalisé par le trieur mécanique. Ces deux mélanges sont proches mais ils ont évolué différemment : celui de Mata comporte plus de phénotypes clairs comparé à celui de Julie. Soit le mélange de Julie s'est « assombri » par rapport à celui de Mata, soit le mélange de Mata s'est « éclairci » par rapport à celui de Julie. Les mélanges les plus équilibrés sont ceux de Stéphane et celui de Christian. Chaque couleur est en effet bien représentée dans ces trois mélanges.

Aristation

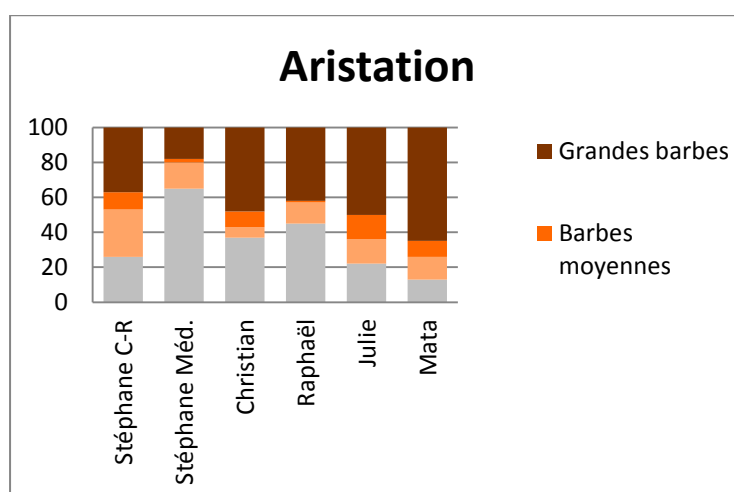


Figure 49: Répartition des niveaux d'aristation des épis dans les mélanges

D'après la figure 49, les mélanges les plus barbus sont ceux de Julie et de Mata. Ils comportent une forte proportion de grandes barbes et très peu d'épis n'en présentent aucune. Quant au mélange méditerranéen de Stéphane (Stéphane Méd.), il est caractérisé par un grand nombre d'épis sans barbe.

ANALYSE GLOBALE DES CARACTERISTIQUES DES MELANGES

L'analyse en composante principale décrit globalement la différenciation des mélanges étudiés.

Comme le montre la Figure 50, les deux dimensions de ce plan factoriel expliquent à elles seules 82,60% de l'information donnée par le nuage de point. La forme de l'épi, l'aristation, le niveau de la verse, la courbure, le nombre de talles et la densité de l'épi sont les variables les plus corrélées. Le premier axe oppose les mélanges de blés qui comportent des brins possédant une forte courbure, de grandes barbes et une forte verse aux mélanges composés par de fortes talles. Le second axe est essentiellement construit par la variable « forme de l'épi ».

La qualité de représentation des individus sur les deux axes de la figure 50, d'après les données fournies en annexe 3, ne permet de les interpréter que par rapport à un axe. En effet les mélanges de Stéphane et Christian ont un $\cos^2$ élevé sur l'axe 2 et les mélanges de Raphaël, Julie et Mata ont un $\cos^2$ élevé sur le premier axe.

D'après la figure 50, les mélanges de Julie et Mata sont surtout caractérisés par une forte note de niveau de verse, un grand nombre d'épis barbus et une forte courbure. Le mélange de Raphaël est composé de blés caractérisés par un fort tallage. Quant à lui, le mélange de Stéphane est caractérisé par des épis tendant vers une forme fusiforme.

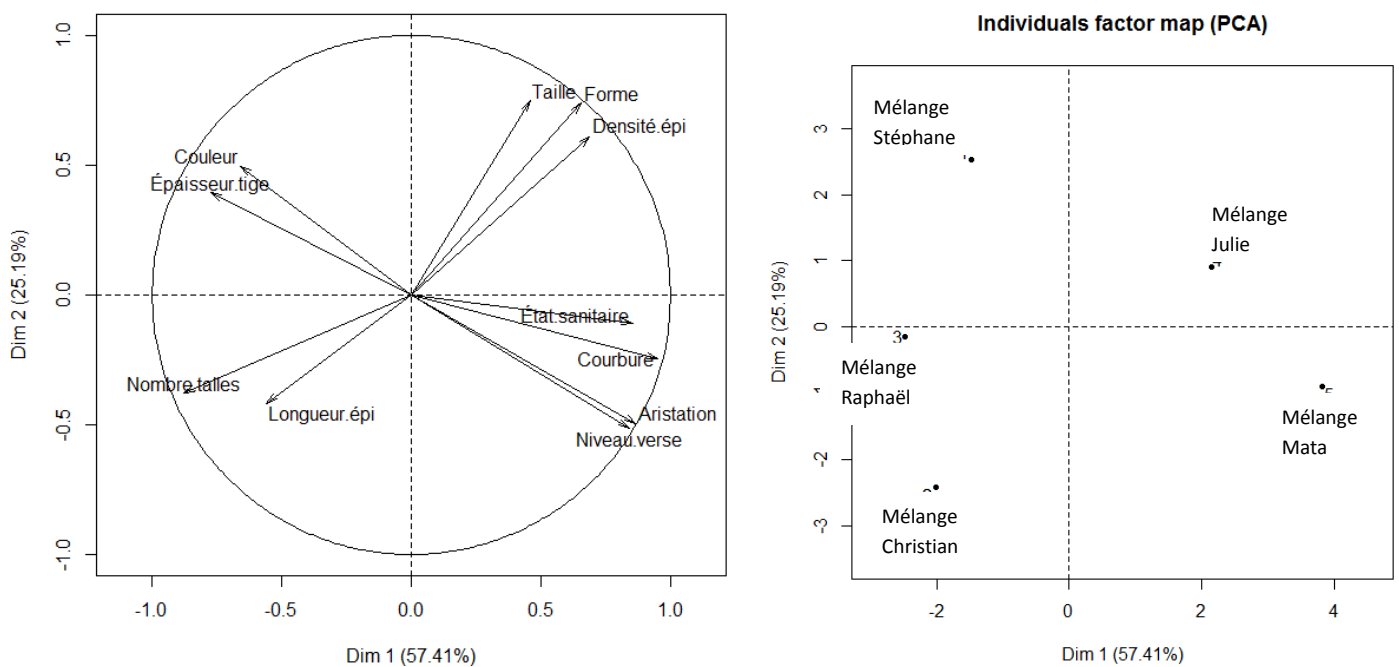


Figure 50: Analyse en composantes principales des résultats de la caractérisation morphologique

Significativité des caractéristiques observées

Le tableau 25 suivant synthétise les résultats obtenus après les analyses de variance à un facteur réalisées sur chaque caractéristique à l'aide du logiciel R. La forme de l'épi et le nombre de talles sont les seules caractéristiques non significatives. Elles ne contribuent pas à la distinction qui peut être faite entre les cinq paysans-boulangers. Les neuf autres caractéristiques étant très significatives, elles sont retenues pour effectuer sur chacune une comparaison multiple des moyennes afin de déterminer quels mélanges se démarquent des autres dans ces caractéristiques. Chaque moyenne est comparée deux à deux pour déterminer si la différence entre elles est

réellement significative. Le logiciel R renvoie pour résultat final un classement en groupes qui est présenté ci-dessous.

Tableau 25: Synthèse des caractéristiques morphologiques pour lesquelles les mélanges présentent des différences significatives

Caractéristique	p-value	Significativité
Forme de l'épi	0,279	
Aristation	1,44E-11	***
Niveau de verse	2,42E-10	***
Courbure	2,00E-16	***
Nombre de talles	0,115	
Densité de l'épi	2,88E-03	**
Taille	2,00E-16	***
Épaisseur de la tige	3,99E-13	***
Couleur	2,48E-09	***
État sanitaire	2,00E-16	***
Longueur de l'épi	8,18E-06	***

Caractéristiques les plus discriminantes

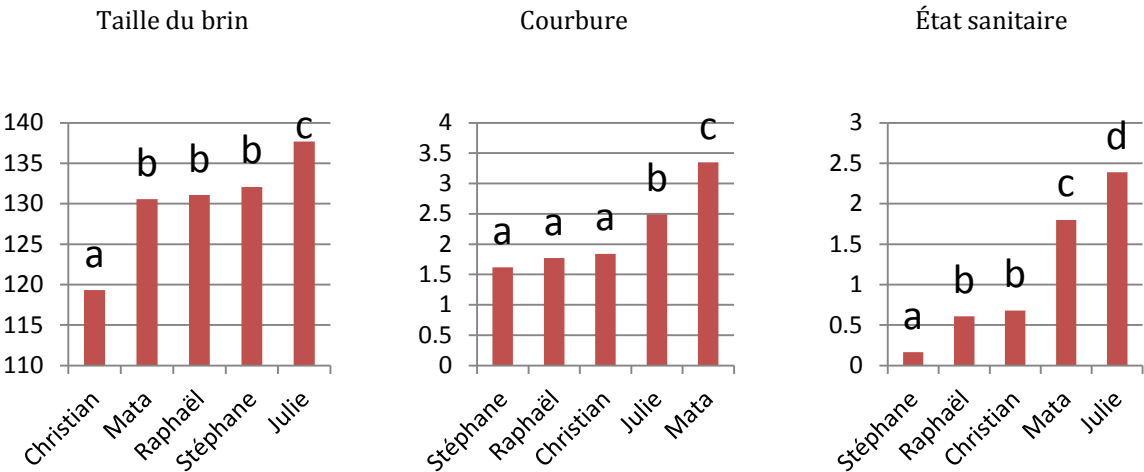


Figure 51 Groupes des paysans suivant les caractéristiques les plus discriminantes

Trois groupes distincts apparaissent pour la taille totale du blé repris dans la figure 51. Christian possède les plus petits individus, comparés à ceux de Julie. Mata, Raphaël et Stéphane constitue un groupe intermédiaire bien différencié. Concernant la courbure, Stéphane, Raphaël et Christian forment un seul groupe. Seuls Julie et Mata possèdent un mélange où les blés ont réellement une plus forte courbure. Quant à l'état sanitaire, quatre groupes se distinguent. Stéphane possède des blés les moins affectés par les maladies contrairement aux blés de Julie, qui appartiennent au groupe opposé.

Les paysans-boulangers n'ont pas sélectionné leurs blés suivant les mêmes caractéristiques. Leurs choix se traduisent au champ par des différences notables dans l'expression phénotypique des variétés choisies. Ainsi, les mélanges de Stéphane sont surtout caractérisés par des blés non barbus à fortes tiges et résistants généralement aux maladies. Le mélange de Raphaël a la particularité d'avoir un grand nombre des variétés dont l'épi a une

couleur plutôt sombre. Celui de Mata se distingue par des blés fortement courbés, aux épis barbus, aux tiges fines, sensibles à la verse. Le mélange de Julie se distingue des autres par une hauteur totale des brins plus élevée mais aussi par une forte sensibilité aux maladies. Quant au mélange de Christian, il partage toutes ces caractéristiques sans se distinguer vraiment, excepté par la taille plus petite des brins de blés qui le composent. D'après le tableau 26 suivante, les mélanges les plus diversifiés sont ceux de Julie et de Mata qui possèdent les écarts-types les plus élevés pour le plus grand nombre de caractéristiques. Ils sont précédés par le premier mélange de Stéphane et le mélange de Christian.

Tableau 26: Ecart types des mélanges sur les caractéristiques retenues (orange: écart type le plus élevé; jaune: écart type précédent)

Mélange	Taille brin	Courbur e	État Sanitaire	Longueur épi	Densité épi	Niveau verse	Aristatio n	Couleur épi	Épaisseur tige
Stéphane C-R	14,780	0,857	0,307	1,508	0,302	0,100	1,232	1,312	0,853
Stéphane Méd.	12,371	0,847	0,479	1,189	0,263	0,000	1,153	1,352	0,622
Christian	13,917	1,012	0,827	1,589	0,280	0,327	1,392	1,383	0,677
Raphaël	14,562	0,863	0,709	1,494	0,247	0,000	1,414	1,572	0,592
Julie	15,987	1,275	0,815	1,741	0,305	0,485	1,236	1,778	0,849
Mata	14,473	1,132	0,943	1,442	0,216	0,429	1,116	1,622	0,649

(iii) DISCUSSION : STRATEGIES DE SELECTION INTEGRANT LA QUALITE FINALE

Trois principales stratégies ont été identifiées :

- **La diversité génétique pour stabiliser les performances (quantitatives et qualitatives)**

D'un point de vue agronomique, ces paysans se concentrent sur l'adaptation aux conditions pédoclimatiques. Ils comptent pour cela sur la diversité génétique. Ils ne savent pas exactement de quoi est composé leur mélange mais l'enrichissent en ajoutant de nouveaux génotypes ou des génotypes qui ont disparu au cours des différents semis. Cette stratégie est mise en œuvre par Christian, Nicolas, François et Mata.

- **La stratégie de la typicité ou cultiver des génotypes présentant des caractéristiques sensorielles particulières.**

Cette stratégie repose sur quelques génotypes repérés pour leurs qualités sensorielles particulières lors d'expérimentations individuelles. Par ce moyen, ils essayent de maîtriser la qualité de leur pain et de se différencier des autres. Le petit nombre de génotypes facilite la conduite du mélange car les génotypes qui ont disparu sont facilement repérés. Dans cette stratégie, ils procèdent au mélange au champ mais également après la récolte au fournil. Certains ont développé des marques de parc naturel (exemple du pain du Lubéron). Les paysans identifiés sont Stéphane, Pascal et Gérard.

- **L'adaptation génétique par la culture de variété de pays**

D'autres paysans comptent sur la localité des variétés et posent l'hypothèse que ces variétés de pays (variétés ayant été historiquement cultivées dans la région) sont les mieux adaptées à leur terrain. Cette stratégie révèle un attachement aux valeurs ancestrales et souligne le réseau social lié aux pratiques agrobiologiques. Les paysans impliqués dans ces stratégies sont Julie, Raphaël et Gérard.

Une majorité des paysans-boulangers sont des néo-ruraux et proviennent d'un environnement urbain et d'un milieu professionnel souvent très différent de celui de l'agriculture. Etre en accord avec leurs valeurs et se rapprocher de la « terre » sont de fortes motivations. Ces valeurs se traduisent par un intérêt plus grand pour les principes agrobiologiques et pour la qualité plutôt que la quantité. Ils n'ont pas bénéficié de formation boulange

traditionnelle (CAP) et doivent donc apprendre par eux-mêmes. Ceci a favorisé une culture de l'expérimentation tant individuelle que collective.

De façon générale, chaque paysan passe par l'expérimentation pour créer son mélange-boulangage. Ils construisent leurs critères à travers ce processus. Une grande majorité mettent d'abord un grand nombre de variétés sur une petite surface (collection) et cultivent les années suivantes les variétés qui les intéressent sur de plus grandes surfaces pour les tester en panification. La réalisation d'un plan d'expérimentation commun inspiré de ces pratiques peut devenir pertinente pour mutualiser les compétences et résultats au-delà d'un simple récit d'expérience. Un autre résultat de ces interviews est l'importance du critère adaptation aux conditions environnementales (collection) dans les choix de sélection même si en second lieu la qualité finale du produit est prise en compte (test de panification).

(b) IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DE GENOTYPES D'INTERET

Pour aller plus loin dans la caractérisation sensorielle des génotypes et parfaire l'entraînement du panel, 6 variétés-populations ont été évaluées sur le plan sensoriel l'année suivante. Les questions auxquelles veut répondre cette expérimentation sont :

- Quelles différences/caractéristiques sensorielles des génotypes ?
- Existe-t-il un lien entre caractéristiques morphologiques et sensorielles ?

Deux séances d'évaluations ont été mises en œuvre en 2013 et 2014. L'objet de la première année était avant tout d'entraîner un panel à l'évaluation sensorielle de pains au levain. Ne disposant pas d'essais permettant d'évaluer des génotypes provenant d'un même environnement, la séance d'évaluation finale a porté sur les « mélanges-boulanges » et variétés de pays provenant chacune d'un environnement. C'est donc l'interaction « génotype*environnement » qui a été évaluée en 2013. En 2014, des populations provenant d'un même environnement ont été disponibles. La séance d'évaluation finale a donc permis d'évaluer sur le plan sensoriel quatre génotypes provenant d'un même environnement et deux autres génotypes provenant d'un autre environnement.

L'analyse des profils sensoriels utilise une analyse de variance associée à une ACP sur les descripteurs discriminants pour visualiser globalement les différences. Le lien entre la couleur du grain et les caractéristiques sensorielle a été exploré à l'aide d'une ACP.

(i) QDA1 : 3 « MELANGE-BOULANGE » ET 3 POPULATIONS PROVENANT D'ENVIRONNEMENTS DISTINCTS

PERFORMANCE DU PANEL

Le panel présente une bonne répétabilité (seuls 1 descripteurs présentent une interaction « juge : produit » significative) et une très bonne reproductibilité. Les pains peuvent donc être caractérisés de façon fiable sur ces 8 descripteurs (tableau 27).

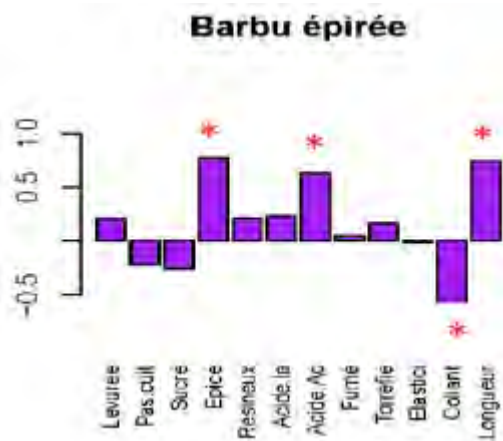
8 des 12 descripteurs permettent de caractériser les 6 pains (le dernier n'est pas significatif mais proche de la valeur). Les descripteurs suivants ne semblent pas être pertinents pour décrire les 6 pains: *levuré*, *fumé*, *résineux* et *sucré*

Tableau 27: Performances du panel Rhône-Alpes, évaluation 2013 (QDA 1)

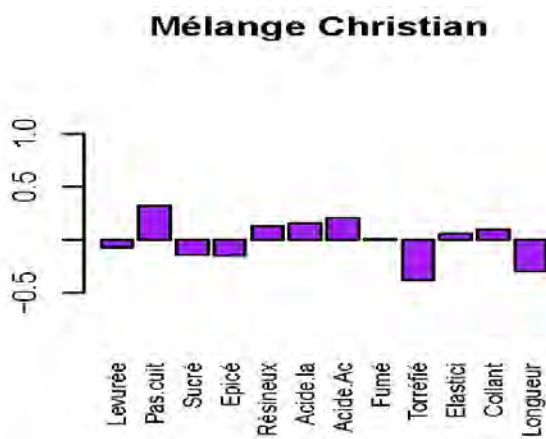
	produit	Panelist	session	produit:Panelist	Panelist:session	produit:session	median
Pas.cuit	4.258e-07	8.338e-07	0.04698	0.07614	0.4808	0.2163	0.06156
Torréfié	5.387e-07	1.7e-09	0.7149	0.6679	0.1858	0.6897	0.4268
Collant	0.000176	0.01627	0.6301	0.458	0.4962	0.8808	0.4771
Epicé	0.00209	3.018e-10	0.00884	0.02859	0.7391	0.1277	0.01871
Elasticité	0.003308	3.673e-09	0.01187	0.6358	0.9228	0.3906	0.2012
Longueur.en.bo uche	0.005642	3.663e-06	0.9012	0.5848	0.4131	0.5466	0.4799
Acide.Acétique	0.04922	5.49e-07	0.02239	0.056	0.3572	0.01929	0.03581
Acide.lactique	0.05348	5.507e-05	0.3698	0.6115	0.757	0.2708	0.3203
Levuré	0.06439	3.583e-17	0.5792	0.0895	0.124	0.02285	0.07695
Fumé	0.3053	7.58e-15	0.616	0.08067	0.7691	0.7717	0.4607
Résineux	0.3536	1.188e-14	0.03277	0.1189	0.6128	0.02021	0.07582
Sucré	0.5782	3.897e-08	0.451	0.253	0.09544	0.5922	0.352

DESCRIPTION UNIDIMENSIONNELLE DES PAINS

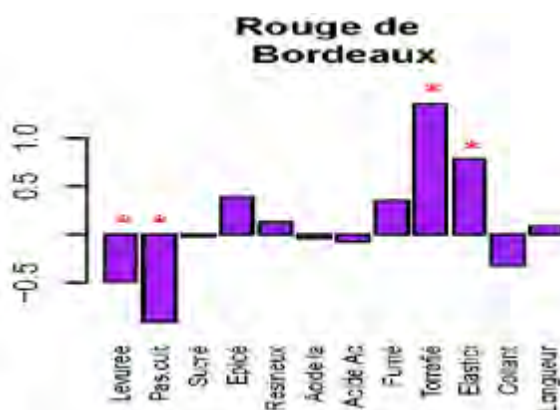
Le 'Barbu d'épire' donne des pains à forte *acidité* (vinaigré) avec des notes *épicées* et une forte *longueur en bouche*. Sa texture n'est *pas collante*.

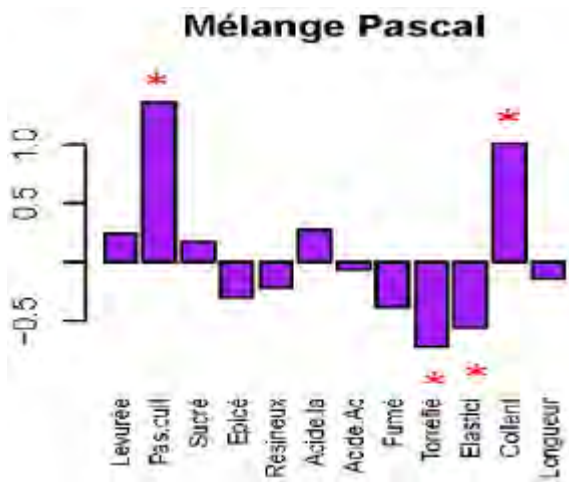


Les pains issus du mélange de Christian et panifiés de la même manière que tous les autres ne se caractérisent par aucun des 12 descripteurs retenus.

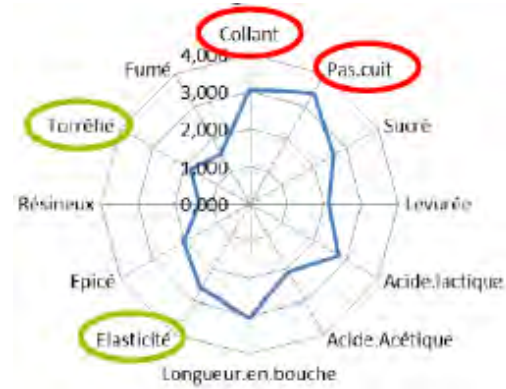


Le 'Rouge de Bordeaux' donne des pains aux arômes forts de *torréfaction* et à texture *élastique*. Ils présentent de faibles arômes de *pas cuit* et *levuré*.

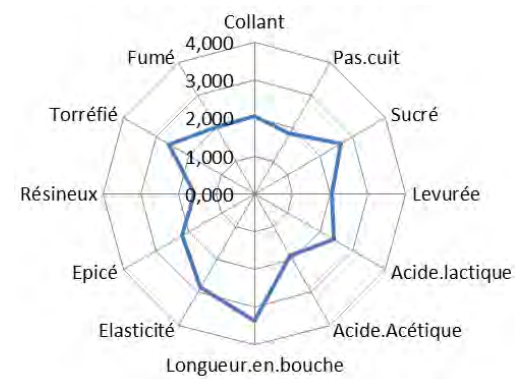
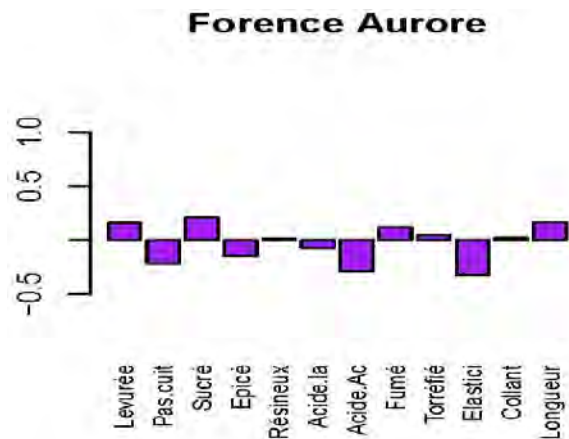




Les pains issus du mélange de Pascal présentent un goût de *pas cuit* et une texture plus *collante* que les autres pains. En revanche ils présentent significativement moins d'arôme torréfié et une texture *sableuse*.



Le pain fabriqué à partir de 'Florence Aurore' ne se caractérise par aucun des 12 descripteurs.



Le pain issu du mélange de Raphaël se caractérise par des notes significativement inférieures pour les descripteurs suivants : *acide lactique*, *longueur en bouche*, *épicé* et *torréfié*.

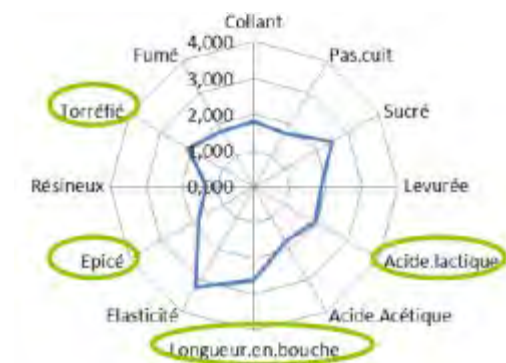
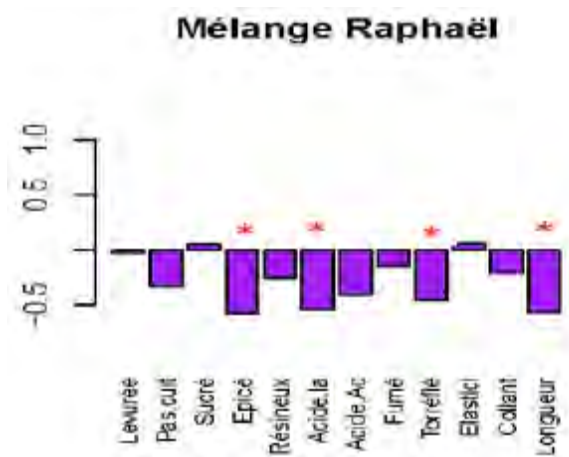


Figure 52: résumé des caractéristiques sensorielles des 6 pains évalués par profil sensoriel (QDA 1)

DESCRIPTION MULTI-DIMENSIONNEL

L'analyse en composante principale explique 81 % de la variabilité observées.

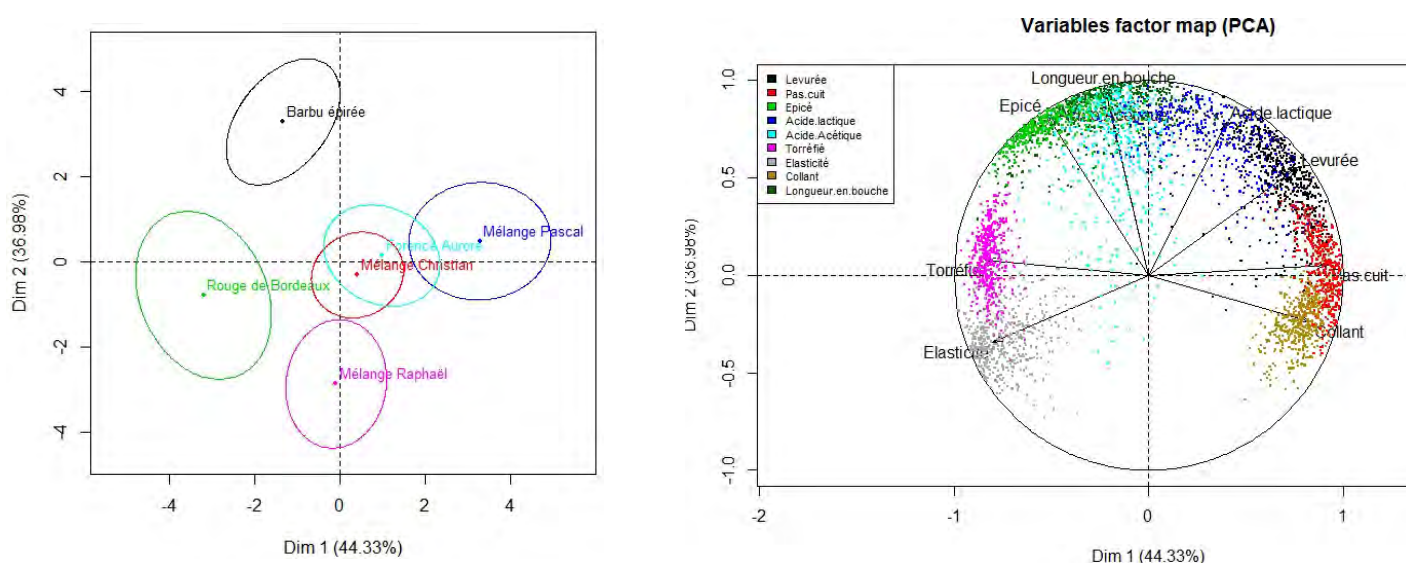


Figure 53: ACP sur les données de profil sensoriel du jeu de donnée QDA: graphe des individus (à gauche) et cercle de corrélation (à droite)

Le premier axe oppose des pains aux notes empyreumatiques et présentant une texture élastique à des pains levurés à texture collante (figure 53). Les pains de la variété de pays 'Rouge de Bordeaux' sont caractérisés par des notes torréfiées tandis que les pains issus du mélange de Pascal présentent des notes levurées.

Le second axe représente un gradient de saveur. D'un côté les pains issus de la variété de pays 'Barbu d'épée', présentant des notes épicées, de l'autre le pain issu du mélange de Raphaël présentant une faible intensité en notes épicées et une faible longueur en bouche.

Deux pains sont remarquables pour leur absence de caractéristiques spécifiques : ceux issus du 'Florence Aurore' et du mélange de Christian.

Les 6 échantillons ont été cultivés sur six localisations en région Rhône-Alpes. L'évaluation de l'impact du facteur environnemental et génétique sur la qualité sensorielle des pains n'était pas l'objectif de cette étude. Elle visait essentiellement à étudier les pratiques existantes par l'évaluation sensorielle des « mélanges-boulanges » et l'entraînement d'un panel.

Ces résultats montrent l'importance de la panification dans l'élaboration de la qualité sensorielle. Une même technique de boulange n'est pas adaptée à toutes les farines. Des techniques de panification adaptées sont requises pour optimiser le goût de la farine.

Ces résultats viennent également conforter les hypothèses concernant le lien entre le phénotype et le goût. Les populations « rouges » sont relativement proches sur le plan bidimensionnel et se différencient par leurs arômes de torréfaction (ceci est plus visible si l'on prend les résultats du panel entraîné (sans Leslie, Gilles et Raphaël). Le barbu d'épée, un blé qui tend vers le blé dur se caractérise par ses notes épicées, bien que moins marqué sur la récolte 2012). Cette entrée phénotype devrait alors nous permettre de choisir les populations à caractériser pour l'année à venir.

(ii) QDA2 : 4 GENOTYPES, 1 TERROIR, 4 MELANGES « DARKNESS », 1 TERROIR

L'expérimentation a consisté en l'évaluation de 6 pains fabriqués par 1 boulanger à partir de farines issues de 6 géotypes. Quatre proviennent de chez Raphaël Baltassat, deux d'une ferme bretonne près de Rennes. Dix des juges

de l'année passée étaient dans ce panel qui s'est trouvé complété par sept boulangers et/ou amateurs de pains au levain. Les analyses portent sur les dix juges entraînés.

PERFORMANCE DU PANEL

Tableau 28: Performances du panel Rhône-Alpes, évaluation 2014 (QDA2)

	Produit	Panelist	Session	Produit:Session	Produit:Panelist	Panelist:Session	median
acide_acétique	1.295e-07	9.41e-07	0.5706	0.0946	0.004471	0.004749	0.00461
sucré	0.03361	4.407e-06	0.7851	0.5687	0.628	0.4002	0.4844
longueur_bouche	0.05511	8.865e-05	0.9159	0.4181	0.7025	0.04972	0.2366
resineux	0.1094	4.405e-17	0.5599	0.7096	0.05161	0.2999	0.2047
pas_cuit	0.1185	0.0001927	0.8671	0.7362	0.1268	0.6465	0.3667
élasticité	0.2098	1.99e-05	0.3769	0.1768	0.2604	0.1597	0.1933
torréfié	0.2433	1.374e-06	0.1312	0.7968	0.357	0.07517	0.1872
épice	0.378	4.878e-08	0.7338	0.3503	0.4684	0.3459	0.3642
collant	0.3832	0.1313	0.3584	0.7656	0.2219	0.2263	0.2924
acide_lactique	0.4257	5.941e-05	0.784	0.02618	0.06652	0.0338	0.06016
levurée	0.6006	7.8e-11	0.6077	0.4328	0.07964	0.09416	0.2635
fumé	0.9832	6.107e-08	0.1916	0.2242	0.6409	0.5748	0.3995

Le panel montre un faible pouvoir discriminant, seulement deux descripteurs (presque trois) permettent de distinguer de façon significative les pains : *acide acétique*, *sucré* et *longueur en bouche*. Cependant le panel présente de bonnes performances, l'effet session n'est pas significatif, ce qui veut dire que les dégustateurs ont évalués de la même manière l'ensemble des produits d'une session à l'autre (tableau 28). Il montre également un bon consensus et une bonne reproductibilité (interaction « produit : session » et « produit : panelist » non significative sauf pour les descripteurs *acide lactique* et *acide acétique*), c'est-à-dire que le panel a évalué de la même manière chaque produit et ce d'une session à l'autre. Ces résultats permettent de conclure de façon fiable sur les résultats sensoriels du profil.

DESCRIPTIONS DES INDIVIDUS

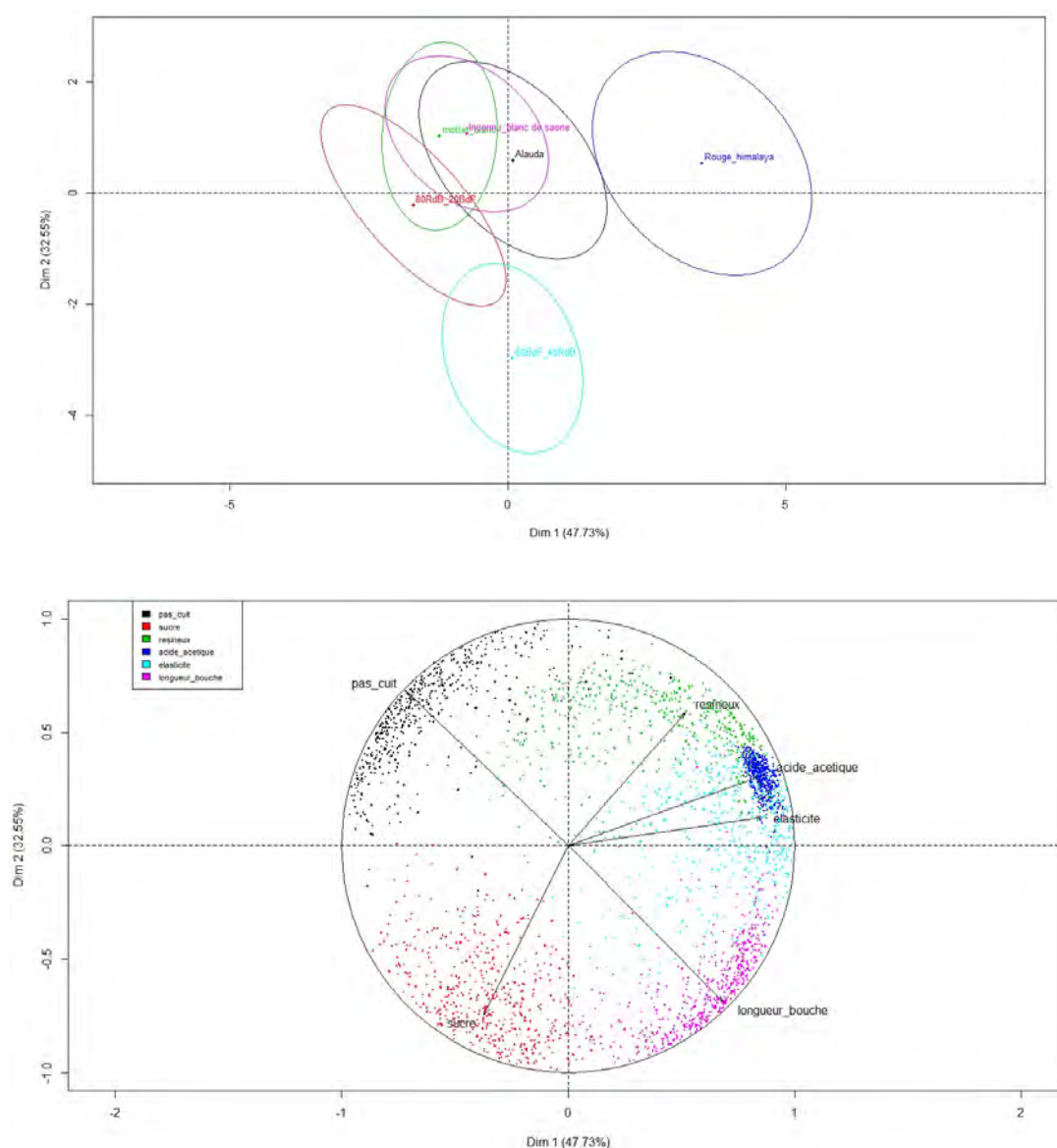


Figure 54: Profil multidimensionnel, QDA 2, carte des individus (en haut), cercle de corrélation (en bas)

L'analyse en composantes principales sur les six descripteurs les plus discriminants (seuls trois le sont significativement) explique presque 80% de la variabilité (figure 54). Ceci est normal au vu du faible nombre de variables. Les deux dimensions expriment des caractéristiques de saveurs.

La première dimension oppose des pains très peu *acétiques* à des pains très *acétiques*. La deuxième oppose des pains *sucrés* et à *forte longueur en bouche* à des pains aux notes faibles pour ces caractéristiques.

On note la dominance du 'Rouge de l'Himalaya', dont la conduite de fermentation a été très différente des autres pains, un temps d'apprêt très long qui a conduit à une forte acidité acétique (bien perçue par le panel). Cette dominance a engendré une faible distinction des autres pains (ellipses qui se recoupent pour la plupart des autres pains).

Cependant, les résultats présentent une différenciation significative des pains provenant d'un même terroir (tableau 29) :

- Sur le terroir de Raphaël : ‘Alauda’ diffère du ‘Mottet’ sur la *longueur en bouche* et le *sucré*, et l’inconnu blanc de Saône’ diffère pour une *acidité acétique* plus marquée.
- Sur le terroir breton, les deux mélanges se différencient presque significativement (p_value= 0,06) sur le ‘sucré’, le mélange contenant la plus grande proportion de ‘Blanc des Flandres’ étant le plus sucré.

Pour conclure, la qualité du panel est importante si l’on veut mettre en évidence des différences subtiles. De plus, l’ajout d’un pain très différent des autres a limité la mise en évidence de ces différences.

Tableau 29: Résultat du test hotelling, QDA 2

	Alauda	80RdB_20BdF	Mottet_blanc	Rouge_Himalaya	60BdF_40RdB	Inconnu_Blanc_de_saone
Alauda	1	0.03697	0.3535	0.02299	0.007315	0.6942
80RdB_20BdF	0.03697	1	0.3063	0.0001847	0.06458	0.07545
Mottet_blanc	0.3535	0.3063	1	0.001066	0.003666	0.8181
Rouge_Himalaya	0.02299	0.0001847	0.001066	1	0.0002852	0.004409
60BdF_40RdB	0.007315	0.06458	0.003666	0.0002852	1	0.002987
Inconnu_Blanc_de_sao ne	0.6942	0.07545	0.8181	0.004409	0.002987	1

(iii) DISCUSSION : CORRELATION ENTRE CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET SENSORIELLES

Pour tester la variable « couleur du grain » (ou « darkness »), quatre mélanges en proportion croissante/décroissante de ‘Rouge de Bordeaux’ et ‘Blanc des Flandres’ cultivés sur une même parcelle ont été évalués par le panel entraîné. Quartes des six mélanges mis en culture présentaient une différence significative au chromamètre et ont été choisis pour tester l’hypothèse de la « couleur » du grain. Les « mélanges purs » c’est-à-dire ‘100% Blanc des Flandres’ et ‘100% Rouge de Bordeaux’ ont été évalués pour des raisons logistiques lors de la dernière séance d’entraînement précédant la séance d’évaluation. Malheureusement, les dégustateurs n’ont pas été au rendez-vous et seul 5 juges ont pu évaluer ces deux échantillons. Malgré des résultats mitigés, les échantillons ont été différenciés sur les descripteurs *acide acétique* et *longueur en bouche* qui qualifiaient le ‘Rouge de Bordeaux’.

Lors de la séance d’évaluation finale deux mélanges ‘80%Rouge de Bordeaux/20%Blanc des Flandres’ et ‘40%Rouge de Bordeaux/60%Blanc des Flandres’ ont également été différenciés cette fois-ci sur le descripteur *sucré*. Bien que le mélange composé en majorité de ‘Rouge de Bordeaux’ ne présente pas la caractéristique *acide acétique*, c’est bien un mélange rouge qui emporte cette caractéristique : le ‘Rouge de l’Himalaya’. Cependant, comme dit précédemment, cela est sûrement dû à la différence de conduite de fermentation plus qu’au génotype.

Les résultats ne permettent donc pas de conclure sur un potentiel lien entre la couleur du grain et les qualités sensorielles. Ils n’infirmement pas en outre cette dernière hypothèse. Des expérimentations supplémentaires sur une plus grande gamme de couleur et autres caractéristiques morphologiques sont nécessaires pour identifier d’éventuels marqueurs de la qualité.

(c) DISCUSSION : CONFRONTATION DES STRATEGIES DE SELECTION AVEC LES OBSERVATIONS SENSORIELLES

Les premières observations concernent la couleur du grain des mélanges-boulanges. La caractérisation morphologique confirme une grande proportion de génotypes foncés. De plus, les résultats du profil sensoriel révèlent des caractéristiques sensorielles spécifiques de ces phénotypes foncés avec des notes *emphyreumatiques*, comme c'est le cas pour la variété de pays 'Rouge de Bordeaux' et dans une moindre mesure le mélange de Raphaël. Le génotype méditerranéen peut être également remarqué, comme le 'Barbu d'épire' (d'origine grecque) présente des notes épicées et se différencie nettement des autres génotypes.

Selon Liu et al. (2010), une couleur foncée de grains signifie un contenu en composés phénoliques plus important que dans les grains de couleurs claires. Ces composés phénoliques sont présents dans le grain sous forme d'acide férullique ou d'acide vanillique (Li et al., 2008). Starr et al. (2013) apporte des éléments de compréhension à l'action de ces flavonoïdes sur la qualité sensorielle du grain de blé. Les deux variétés aux grains sombres ('Purple Justin' et 'Konini') présentaient des caractéristiques sensorielles similaires avec des arômes de *vanille* et de *cacao*. Des études supplémentaires sont nécessaires pour valider cette caractéristique morphologique comme marqueur de la qualité.

Parmi les paysans interviewés, la stratégie de Christian est basée sur la diversité pour entre autre stabiliser la qualité. Les résultats sensoriels montrent que ses objectifs ont été atteints car ses pains ne présentent pas de caractéristiques particulières. De plus, la caractérisation morphologique présente le mélange de Christian comme étant un des plus diverses. L'hypothèse selon laquelle la diversité favorise la stabilité des performances semble être validée à travers cette étude de cas et nécessite une investigation à plus large échelle, avec des expérimentations focalisées sur cette hypothèse. Dans les expérimentations de PaysBlé, les résultats suggèrent une plus grande instabilité des qualités sensorielles des populations par rapport à la lignée pure. Cependant, ce cas d'étude ne prenait pas en compte le facteur d'adaptation (capacité des plantes à s'adapter à l'environnement de culture). En effet dans le cas de PaysBlé, ce sont bien des variétés extérieures à la ferme qui ont été cultivées et les graines étaient ressemées d'une année sur l'autre dans la mesure du possible (en 2012, les graines de départ ont dû être ressemées pour cause de mauvaise récolte). Le mélange de Christian à l'inverse est cultivé sur la ferme depuis plus de 5 ans, les génotypes composant le mélange ont pu se stabiliser et favoriser une certaine stabilité de la qualité. La stratégie de sélection de Stéphane repose sur l'identification de quelques génotypes possédant des caractéristiques sensorielles remarquables. C'est le cas de la population de pays 'Barbu d'épire' caractérisée par des notes *épicées* lors de l'analyse sensorielle.

Les nombreuses épreuves sensorielles associées aux aléas de mise en œuvre ont mis en évidence certains paramètres de la panification susceptibles d'optimiser le goût de la variété. En effet, une des premières questions soulevées par le groupe lors de la préparation des essais a été « veut-on évaluer le goût du pain ou bien celui de la céréale ? ». Par exemple, lors des premières évaluations il est apparu logique d'appliquer exactement la même recette à tous les échantillons. Cependant, chaque farine présentant des caractéristiques particulières (absorption d'eau notamment), une même quantité d'eau incorporée ne donne pas une même texture de pâte. Or c'est bien la texture de la pâte et non son hydratation qui importe. Ainsi plutôt que de fixer une même recette, il a été proposé de panifier les pains selon un même diagramme de fabrication, et ajuster notamment l'eau pour obtenir des pâtes à texture égale. D'autres paramètres de panification tels que la conduite de fermentation sont apparus cruciaux au fil des expérimentations et ont donné lieu à l'élaboration d'un guide technique permettant d'optimiser le goût de la céréale dans le pain.

2.1.3. CONCLUSION SUR LES LEVIERS D'ACTION

Les trois leviers étudiés impactent de façon significative la qualité finale du pain. Bien que le facteur « pratiques boulangères » apparaisse évident, la mobilisation des deux autres leviers peut conduire à des variations de qualités. Chaque paysan-boulangier souhaitant optimiser la qualité de ses pains peut alors choisir un ou plusieurs de ces leviers selon ses centres d'intérêts personnels. Ceci conduit à la création de produits identitaires et à l'apparition d'une notion de terroir pour des pains issus de la filière intégrée paysan-boulangier.

Des pistes concernant des marqueurs morphologiques de la qualité ont été formulées. La grande proportion de populations au phénotype « grain rouge » constitue une de ces pistes mais n'a pas pu être confirmée à travers ces expérimentations. Une démarche plus analytique ou encore l'étude d'un plus grand nombre de cas est susceptible de compléter cette réflexion.

La mise en œuvre d'un grand nombre d'épreuves a mis en évidence l'importance d'adapter les paramètres de la panification aux différents échantillons plutôt que de standardiser les paramètres et risquer des défauts de panifications.

Pour améliorer la connaissance sur les variétés anciennes et populations, une piste est donc de multiplier les tests au sein d'un réseau de recherche décentralisé. La comparaison des résultats au sein de ce réseau implique la mise en place d'un cadre méthodologique à la fois souple pour favoriser son appropriation et précis pour assurer la justesse de l'évaluation. L'adaptation d'une méthode d'analyse sensorielle au contexte est particulièrement importante dans un domaine comme l'analyse sensorielle où la frontière entre l'objectivité et la subjectivité peut parfois être floue.

La seconde partie des résultats présente cette démarche d'élaboration d'un cadre d'expérimentation adapté à la problématique et au contexte, partant du design expérimental à l'évaluation des pains, en passant par le protocole de panification.

A travers l'évaluation d'un grand nombre de variétés populations (réalisées soit dans le cadre de la thèse soit dans le cadre du réseau), certaines saveurs types sont apparues : notamment l'arôme de « pâte à modeler PlayDo® » (associé à des arômes vanillés et épicés proche du pain d'épice, repérés pour la première fois dans un pain issu de la population 'Barbu d'Epire' et ressentis également dans des pains fabriqués avec du 'Meunier d'Apt', du 'Khorazan' ou encore de la variété moderne 'Pyrénéo'). Le lien entre caractéristiques morphologiques et sensorielles est une nouvelle hypothèse scientifique qui est proposée au réseau d'expérimentation. Il sera nécessaire de maintenir l'activité de recherche du groupe pour conclure sur le lien entre couleur du grain et arôme de torréfaction par exemple ou pour identifier un (ou des) marqueur(s) phénotypique(s) pour l'arôme PlayDo®.

*Les résultats de 2013 et 2014 montrent que les différences entre des farines provenant d'un terroir et d'un génotype (génotype*environnement) sont plus marquées que celles entre farines provenant de plusieurs génotypes cultivés sur un même terroir. Le boulanger qui achète ses farines est donc plus sensible aux variations de qualité, et la recherche d'une filière de proximité associée à un ou deux agriculteurs pourrait favoriser une stabilité de la qualité. La culture de mélange est également encouragée par ces résultats, car elle limiterait encore plus la variation de qualité entre les génotypes. Les multiplications des tests et les discussions entre partenaires ont conduit à l'identification de paramètres de panification optimisant l'expression du goût de la variété dans le pain.*

Ainsi deux leviers d'action sont identifiés pour les aspects sensoriels et nécessitent validation par les praticiens : pour la spécificité du goût avec une liaison avec la coloration des grains et pour sa stabilité en jouant sur la composition et l'adaptation de variétés diversifiées.

2.2. ETUDE DES METHODES D'EVALUATION DE LA QUALITE SENSORIELLE

2.2.1. OPTIMISATION DES TESTS DE PANIFICATION POUR LA SELECTION

Pour faciliter l'intégration du critère sensoriel dans le processus de sélection, la différence sensorielle perçue entre les pains doit être dû uniquement à la céréale et non au processus de panification (sur-fermentation, sur-cuisson...). Un objectif pour ce protocole de panification est donc d'optimiser le goût de la céréale dans le pain. Ce protocole doit également être adapté au contexte de la recherche participative, les conditions réelles de panification en fournil (four à bois, taille du four...) doivent également être prises en compte pour favoriser son appropriation.

Les différents paramètres d'adaptation du protocole détaillés ci-dessous résultent d'une étude bibliographique poussée (étude scientifiques et techniques), d'échanges avec des boulangers et formateurs expérimentés et des diverses observations et discussions réalisées lors des expérimentations

(a) PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION COMMUN

Les interviews ont mis en évidence un processus d'expérimentation commun à une majorité des paysans-boulangers interviewés. Un screening variétal est d'abord réalisé essentiellement sur des caractéristiques agronomiques, les interviews ayant révélées un intérêt primordial pour l'adaptation agronomique des variétés aux conditions pédoclimatiques. Dans un deuxième temps les paysans boulangers multiplient les semences des variétés-populations repérées, pour les tester à plus grande échelle et tester leurs qualités sensorielles. Dans un processus individuel, les quantités nécessaires pour les tests de panifications sont limitées. Cependant, l'intégration d'une telle démarche dans un réseau d'expérimentation nécessite des surfaces des cultures plus importantes (minimum 50 m²). De plus la mise en place d'un témoin dans chaque ferme apparaît comme une condition sine qua non pour comparer les résultats entre les fermes. Le témoin habituellement pris pour les essais agronomique est la variété Renan, la variété moderne la plus cultivée en AB. Dans l'étude de la qualité sensorielle, la variété-population la plus utilisée et appréciée pour ses qualités est la variété 'Rouge de Bordeaux', témoin proposé pour le screening sensoriel. Des travaux statistiques permettant la culture d'un nombre restreint de génotypes par ferme (problématique de la place disponible pour les essais) et reposant sur des blocs incomplets sont en cours au sein du RSP. Leur application au screening sensoriel donnerait une plus grande puissance statistique tout en allégeant le travail d'expérimentation des agriculteurs.

Pour réaliser les essais, deux choix se sont offerts aux expérimentateurs. Le premier consiste à réserver une journée pour la fournée expérimentale, le second à réaliser la fournée expérimentale en parallèle de sa fournée habituelle.

La première solution a été réalisée par les paysans-boulangers de Bretagne et présente des avantages comme des inconvénients. Le fait de réserver la journée pour les expérimentations permet d'accroître l'attention de l'expérimentateur, plus à l'écoute de ses sensations. De plus, il peut facilement réaliser la notation sur les aptitudes à la panification, grille fastidieuse à remplir. Cependant, l'agriculteur est mobilisé une journée entière et des compensations financières (souvent pas à la hauteur des pertes) sont nécessaires. A cela s'ajoute une contrainte de remplissage : les fours à pains des paysans-boulangers étant des fours à bois, ces derniers une fois montés à température doivent être remplis dans les mêmes conditions qu'une fournée habituelle pour être au plus proche des pratiques. Or les quantités disponibles pour les essais sont souvent limitées et ne permettent pas ce remplissage. Cela entraîne de plus des gaspillages, car souvent un seul pain par échantillon suffit pour les évaluations sensorielles. Des différences de cuisson apparaissent alors entre boulangers, certains ayant moins remplis leur four, ont tendance à moins chauffer.

La deuxième solution a été adoptée par les paysans-boulangers de Rhône Alpes. Le remplissage du four n'est alors plus une contrainte et les conditions de panification sont aux plus proches des pratiques réelles des boulangers.

Cependant cela limite le nombre d'échantillons pour l'évaluation. De plus il apparait difficile dans ces conditions d'évaluer l'aptitude à la panification.

Dans les deux cas, la quantité limitée d'échantillons provenant des essais influe la conduite de fermentation. En effet, la prise de masse, effet bien connu des boulangers qui consiste en la multiplication exponentielle des levures et bactéries de la pâte et à une montée en chaleur rapide de la pâte ne peut avoir lieu avec 3 à 4 kg de pâte. La conduite de fermentation doit alors être adaptée (souvent rallongée) pour assurer une pousse optimale mais bien contrôlée pour éviter une sur-fermentation de la pâte. La capacité d'adaptation des pratiques du boulanger à la pâte reste donc une variable clé pour la bonne mise en œuvre de test de panification dédiée à l'évaluation sensorielle.

(b) PROTOCOLE DE PANIFICATION

Levain doux

La qualité du levain impacte de façon significative la qualité finale du pain. Dans l'expérimentation 1, l'acidité très forte du levain de Nicolas (fait à partir de son) a masqué en grande partie les différences entre les pains des autres boulangers. L'utilisation d'un levain doux (plutôt lactique, c'est-à-dire jeune, n'ayant subi que très peu de rafraîchi avant l'incorporation dans la pâte) permet une meilleure expression des qualités sensorielles intrinsèques des génotypes.

Adaptation de la recette en fonction des farines mais à texture égale

Pour optimiser le goût de la variété dans le pain il apparait essentiel d'adapter le diagramme de fabrication à chaque population testée. Afin de comparer ce qui est comparable, des paramètres doivent être homogénéisés. Plutôt que de fixer la quantité d'eau incorporée à la pâte, c'est la texture de la pâte après incorporation qui doit être la même. La conduite de fermentation doit également être ajustée, et l'indicateur est l'état de fermentation optimum plutôt que les différents temps de repos. Ces paramètres sont essentiellement basés sur des perceptions, la définition d'un référentiel commun (vocabulaire et perceptions sensorielles) entre les expérimentateurs est alors essentiel pour assurer une harmonisation des conditions expérimentales. Ces mises en commun s'apparentent à un entraînement au profil sensoriel et constituent une première phase expérimentale pour toutes tentatives d'expérimentations en groupe (décentralisée).

La nécessité d'adapter la recette à chaque échantillon en vue de comparer les génotypes au niveau du pain est un des plus importants aspects méthodologique mis en évidence dans ces travaux de thèse et constitue une des plus-values les plus remarquables de l'organisation participative de la recherche. Les différentes étapes qui ont amenées à cette conclusion sont restituées dans la partie 4 de ce mémoire.

2.2.2. METHODE D'EVALUATION DE LA QUALITE SENSORIELLE

Le Napping® est apparue comme l'épreuve la plus adaptée au contexte de la recherche décentralisée car elle ne demande pas d'entraînement aux juges et utilise leur expertise. Pour évaluer la pertinence de l'épreuve et identifier des paramètres qui optimisent la différenciation et la fiabilité des résultats, le pourcentage d'inertie des huit épreuves est comparé selon trois paramètres : l'expertise du panel, le nombre de juges et le nombre de produits.

Afin d'étudier l'influence des paramètres du Napping® sur la fiabilité de la mesure sensorielle une analyse en composantes principales est réalisée sur les individus Napping®. Les variables supposées explicatives sont le nombre de juges, nombre de produits à évaluer, l'expertise du jury. La variable à expliquer est le pourcentage d'inertie cumulé sur le plan 1 de l'AFM. En effet ce pourcentage cumulé est ici interprété comme l'expression d'un consensus (plus de chance d'être proche de la vérité si un grand nombre d'individus perçoivent la même chose).

(a) CONFIGURATION OPTIMALE

Résultats globaux

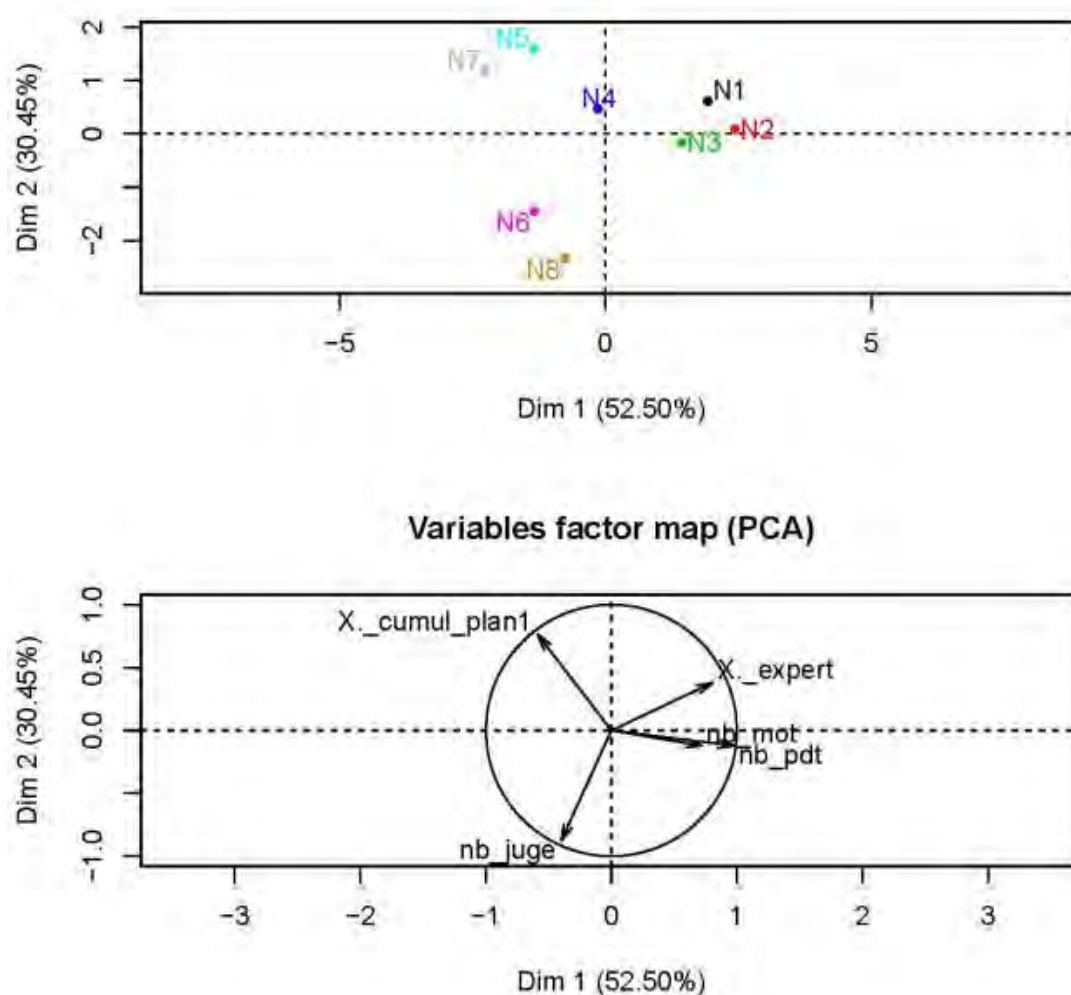


Figure 55: Résultats de l'ACP sur les 8 Napping®s réalisés en 2012 et 2014 en fonction des paramètres des tests

Le nombre de produits pour la dégustation est inversement corrélé aux performances du panel (figure 55). Ces résultats suggèrent de ne pas dépasser le nombre de 9/10 produits pour assurer un meilleur consensus au sein du panel. La théorie en métrologie de la perception voudrait que les « experts produits » soient plus aptes à différencier de manière objective. C'est ce que les résultats dans la filière vin suggèrent et la mise en œuvre du

Napping® a été conseillée dans cette filière où un grand nombre d'experts se côtoient et où un niveau de détail important n'est pas nécessaire. Il est cependant conseillé de réaliser un profil sensoriel en parallèle si plus de détails sont requis.

On note une plus grande dispersion des individus entre 2012 et 2014. Le panel en 2012 était en effet plus homogène d'une séance à l'autre. Cependant, ce sont surtout les lieux qui ont changé en 2012. La première séance a eu lieu dans un fournil, la deuxième dans un cinéma et la troisième dans un café associatif. Le pourcentage cumulé sur le premier plan varie peu pour ces quatre séances ce qui suggère que le lieu a peu d'influence sur la capacité des juges à distinguer les différences entre produits. Les séances de 2014 se répartissent sur l'axe deux. Celles où il y avait le plus grand nombre de dégustateurs présentent la plus faible inertie. La séance N6 a mis en évidence un effet « pratiques boulangères » très présent. Cette journée présentait des différences de cuisson pour un boulanger (Julie). La séance N8 a mis en avant des différences de texture entre pains de différents environnements. Enfin leur pourcentage reste important 40 et 26%, ce qui suggère que le nombre de juge ne limite pas le consensus. L'expertise du panel semble indépendante du pourcentage d'inertie cumulé.

Expertise du panel

Deux différences flagrantes peuvent être mises en évidence entre la composition des panels de 2012 et 2014 :

- Les professionnels ont beaucoup plus participé aux évaluations sensorielles de 2012. C'était en effet le début des expérimentations et beaucoup de paysans-boulangers étaient impliqués activement dans les expérimentations. Il en résulte une plus large proportion d'experts dans les 4 dégustations de 2012. En revanche le panel a rarement dépassé 12 juges
- En 2014, deux ans ayant passé depuis les premiers essais, beaucoup de paysans-boulangers ont perdu de l'intérêt dans les essais et ont très peu participé aux dégustations. Pour parer aux manques de juges, un recrutement local a été mis en place : des invitations pour les dégustations ont été diffusées sur l'intranet de l'INRA de Rennes et dans les Associations pour le MAPs aux alentours du Rheu. Ainsi, un plus grand nombre de juges ont participé aux dégustations de 2014, en revanche la grande majorité était composée de naïfs (naïfs aguerris car consommateurs de pains au levain pour la majorité).

Une première remarque concerne le pourcentage d'inertie des différentes représentations communes issues des 8 Nappings®. Le pourcentage est nettement supérieur pour les Nappings ® de 2014 que pour ceux de 2012. Les juges sont donc plus en consensus en 2014. Une manière de comprendre les divergences entre les juges est d'observer la représentation des groupes (des juges) sur les deux premières dimensions de la représentation commune. Pour illustrer la réflexion, deux Nappings ® présentant un nombre de juges identique mais une expertise différente sont proposés.

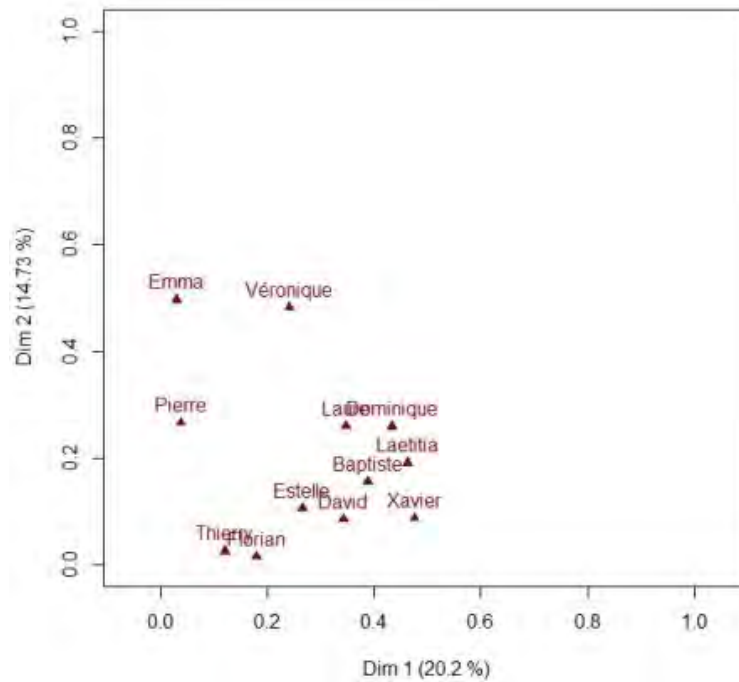


Figure 56: Représentation des groupes de l'AFM issus de l'analyse de N2

Les juges « experts », c'est-à-dire paysans et/ou boulangers sont Florian, David, Laure et Pierre. Leurs représentations sur le graphe montrent qu'ils n'ont pas perçu les pains de la même manière (figure 56). Tandis que Florian et David ont perçus des différences surtout sur la première dimension (saveur), Pierre a été plus attentif à la texture et Laure a perçu de manière égale des différences de texture et de goût. Il est remarquable que les juges ayant le plus participé à la construction des dimensions soient des consommateurs. La dimension 1 a été essentiellement perçue par Xavier et Laetitia, tandis que les cartes de Véronique et Emma ont principalement participé à la construction de la dimension 2 de la représentation commune. De plus, deux groupes de consommateurs se distinguent et un consensus flagrant à l'intérieur de ces groupes est notable (proximité sur la carte) ce qui n'est pas le cas pour les 4 boulangers.

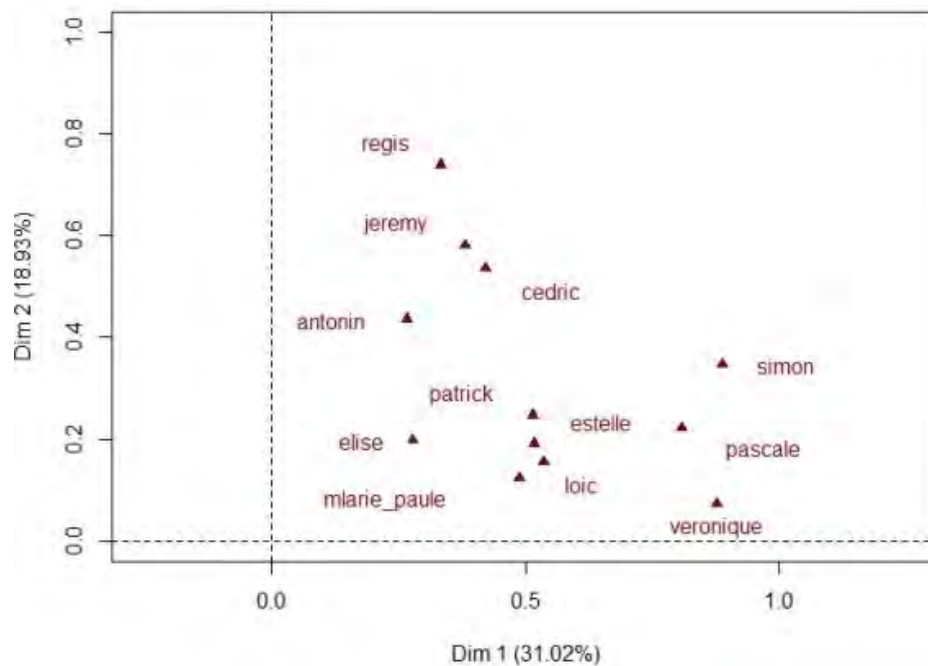


Figure 57: Représentation des groupes de l'AFM issus de l'analyse de N7

La représentation des groupes de l'AFM issus de l'analyse de N7 présente une plus grande répartition des juges sur les deux plans (figure 57). Ceci témoigne d'une plus grande diversité de points de vue. De plus, un plus grand nombre de juges apporte une contribution supérieure à 0,5. Malgré une plus grande diversité de point de vue, un plus grand consensus semble régner au sein de ce panel de consommateurs.

Ces tendances de répartition des groupes sont visibles pour les autres épreuves de Napping® et suggèrent une plus grande objectivité et une plus grande représentativité des points de vue lorsque les Nappings® sont réalisés par des naïfs.

Dans notre cas, le rapport qu'entretiennent les boulangers avec leur levain relève d'une dimension quasi « spirituelle ». Cet affect a pu biaiser leur jugement des pains, même lorsque ces derniers sont dégustés à l'aveugle. Une comparaison rapide du vocabulaire employé par les consommateurs et les boulangers (sur une épreuve de Napping® présentant des proportions égales) montre une prédominance de termes liés au goût et à la saveur (que l'on peut lier au levain) pour les boulangers. Les consommateurs semblent plus sensibles à la texture des pains.

(b) CAPACITE DES AGRICULTEURS A EXPERIMENTER

Pour évaluer la capacité à expérimenter des boulangers et donc la pertinence d'une expérimentation décentralisée, les notations sur les grilles de panifications ont été comparées entre expérimentateurs INRA et boulangers (figure 58). La grille d'évaluation de la qualité de panification est similaire à une grille de profil sensoriel. Les notes sont données par excès ou insuffisance puis traduites en note de 1 à 19. Un entraînement est donc requis pour assurer une évaluation fiable. Des différences notables entre des notations de différents laboratoires agréés (entraînés) témoignent de la difficulté de cette notation.

En 2012, les variations de qualité entre les farines provenant des différents environnements de culture mises en évidence par les expérimentateurs INRA ont été perçues par les paysans-boulangers. Les expérimentateurs INRA sont entraînés à maximiser les différences perçues, les différences entre notations présentent donc de moins grandes variations chez les boulangers que chez les expérimentateurs INRA.

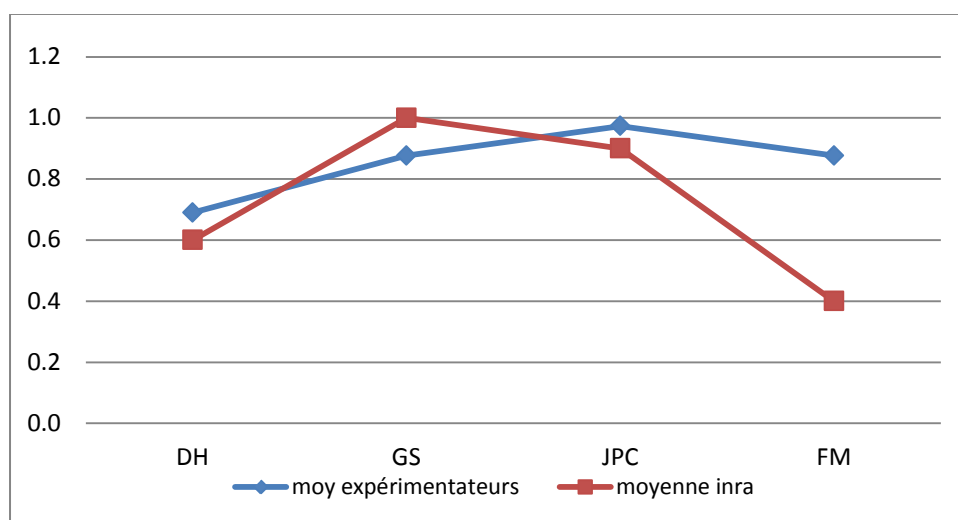
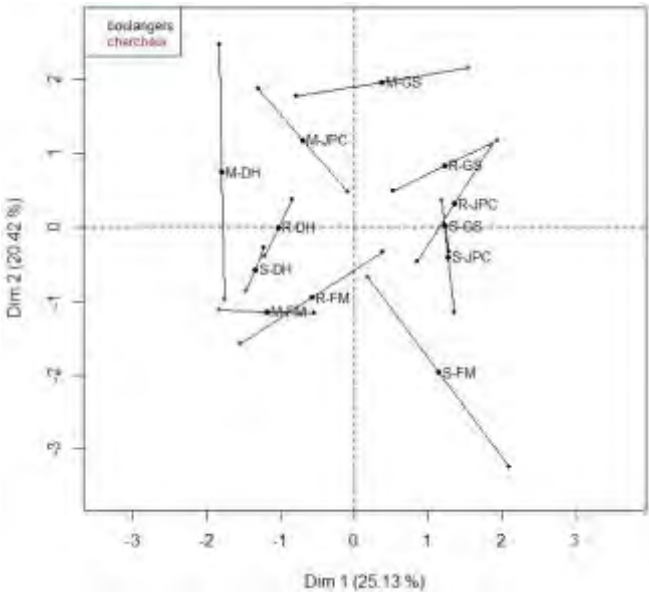


Figure 58: Comparaison des notations entre expérimentateurs INRA et boulangers pour la résistance élastique, moyenne sur les trois variétés, essais 2012

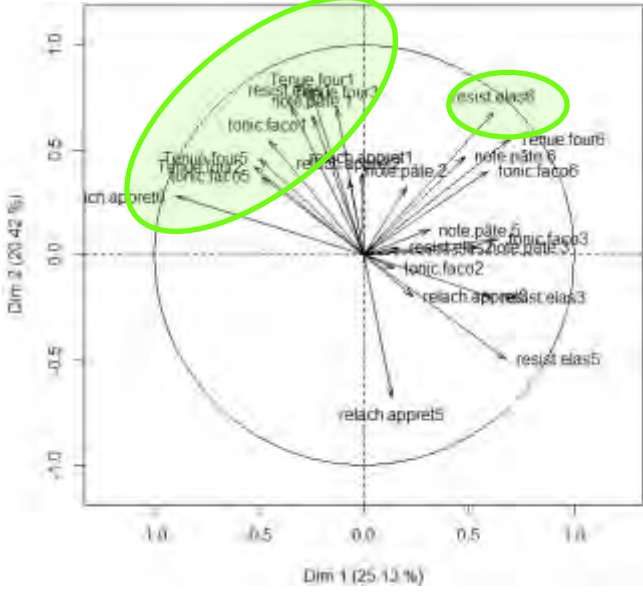
Pour comparer de façon plus globale les notes des expérimentateurs INRA et boulanger, une AFMH a été réalisée sur les notes de panifications 2012 et 2014.

Note de panification 2012

a)



b)



c)

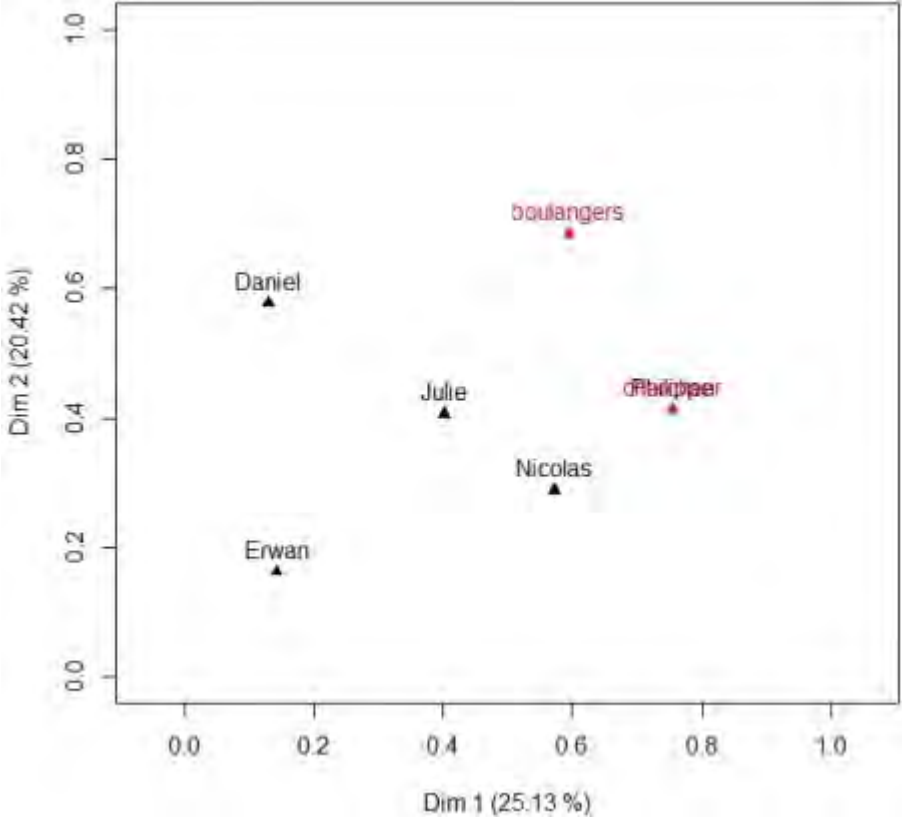


Figure 59: AFMH sur les notes de panifications réalisées en 2012 par les expérimentateurs-boulangers et les expérimentateurs-INRA :
a) représentation partielle des pains, b) cercles de corrélation, c) représentation des groupes)

Les notes réalisées en laboratoire (n°6) sont les plus représentatives de la variabilité (proche du cercle). La dimension 1 présente un gradient de gauche à droite de *relâchement à l'apprêt*, tandis que la dimension 2 présente un gradient de haut en bas pour la note de *résistance élastique au pétrissage*, tenue au four et note de pâte (figure 59). Le critère *Tenue au four* est celui dont la signification semble la plus partagée par les paysans-boulangers ; en effet, un fort consensus est mis en évidence, ce sont les pains situés dans le cadran en haut à gauche (Mélange DH, JPC et GS). Cependant, ils ne sont pas corrélés avec la note de *tenue au four* du chercheur. Une remise au point de la définition de ce critère pourrait permettre une amélioration significative de la validité des résultats.

La carte des individus montre un net effet terroir. Les pains issus du terroir de Florent Mercier ont tendance à présenter un fort *relâchement à l'apprêt*. Une hiérarchie entre les terroirs GS et JPC est observable pour les trois structures variétales : les pains issus du terroir de JPC sont systématiquement au-dessus de ceux issus du terroir de GS, la dimension 2 oppose des pains à forte *tenue au four* (Gilles Simmoneaux) à des pains à fort *relâchement à l'apprêt* (JPC).

La différence de notation se situe essentiellement sur la deuxième dimension. Il apparaît que les critères *résistance élastique au pétrissage* et *tenue au four* ne sont pas compris de la même manière entre les boulangers et les chercheurs. Les boulangers ont plus différencié les pains sur la deuxième dimension que sur la première.

Note de panification 2014

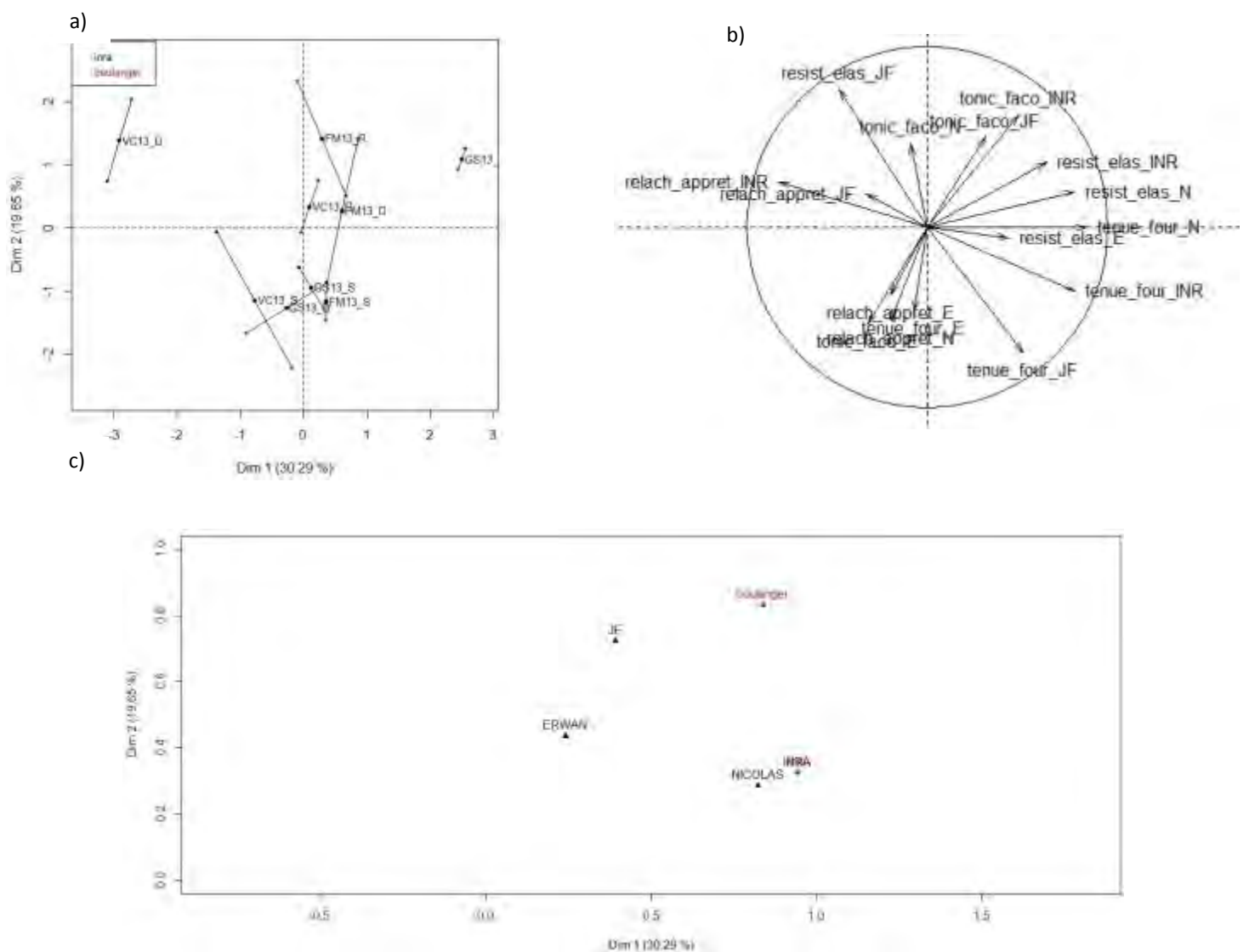


Figure 60: AFMH sur les notes de panifications réalisées en 2012 par les expérimentateurs-boulangers et les expérimentateurs-INRA (a) : représentation partielle des pains, b) cercle de corrélation, c) représentation des groupes)

La carte des individus met en évidence un effet de la variété. Les farines issues des variétés Sixt et Renan présentent une moins grande dispersion que celles issues de la population dynamique (figure 60). Cela semble refléter le gradient de diversité entre les structures variétale. La variété 'Sixt' est celle qui présente la plus grande proximité entre les terroirs. Le terroir VC13 se distingue systématiquement des autres terroirs pour toutes les structures variétales.

Le cercle de corrélation présente une répartition des variables sur les deux dimensions. Le boulanger Nicolas a noté de manière très similaire les pâtes, particulièrement sur les descripteurs *résistance élastique* et *tenue au four*. Trois des quatre notes les plus représentatives de la variabilité ont été attribuées par les expérimentateurs INRA. Deux descripteurs ne sont encore pas compris de la même manière par les expérimentateurs : la *résistance élastique* et le *relâchement à l'apprêt*.

La première dimension oppose des pains présentant un fort *relâchement à l'apprêt* (à gauche) à des pains présentant une bonne *tenue au four* et une bonne *résistance élastique* (à droite). La deuxième dimension oppose

des pains ayant une bonne *tonicité au façonnage* et une bonne *résistance élastique* du point de vue de Julie à des pains ayant une *bonne tenue au four*.

La représentation des groupes montre une grande proximité entre les notes de Nicolas et celle de l'INRA. Le groupe des boulangers sont représentés fortement sur les deux dimensions, tandis que les expérimentateurs INRA sont essentiellement sur la première dimension. Ceci est dû à des divergences de notations.

Ces résultats valident la capacité d'expérimentation des boulangers (notation de l'aptitude à la panification). Le fait de faire la notation par plusieurs boulangers permet d'avoir une moyenne des différences perçues. Des entraînements supplémentaires aux notations permettraient un meilleur consensus sur certains descripteurs et une même compréhension de ces descripteurs.

(c) CONCLUSIONS

Concernant les paramètres du Napping® permettant le meilleur consensus, le nombre de produits est déterminant de la performance du panel. Entre 9 et 20 pains ont été dégustés par les juges. Les meilleurs résultats sont ceux portant sur 9 pains.

L'épreuve de Napping® a présenté les meilleurs résultats quand le panel était composé de consommateurs. Et dans ce cas, c'est plus la diversité du panel et non son nombre qui a permis la meilleure représentation. Dans le cas d'un paysan-boulangier voulant comparer différentes variétés de blé, la mise en œuvre d'une épreuve de Napping® avec ses clients dans son fournil s'avère dès lors pertinent. Cependant, cela ne lui permettra pas de comparer ses résultats avec ceux d'un de ces confrères. Cette méthodologie apparaît adaptée dans le cas d'une sélection individuelle sur les critères sensoriels, d'autant que dans ce cas, les variétés de blés auront été cultivées dans le même environnement et panifiées par le même boulangier. Si le processus de panification est bien maîtrisé, les différences proviendront essentiellement du génotype.

B. CAS DU BROCOLI

Bien que la qualité sensorielle soit un caractère phénotypique complexe, la bibliographie suggère la possibilité d'améliorer sensiblement la qualité du brocoli par la sélection. La sélection pour la qualité passe alors par plusieurs étapes : identification de la variabilité génétique, introgression de cette variation dans des génotypes d'intérêt agronomique (rustique, rendement...), test de la stabilité du caractère introduit, distribution à grande échelle des semences pour une adaptation locale.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. CHOIX DE LA STRATEGIE POUR INTEGRER DES CRITERES DE QUALITE EN SELECTION

1.1.1. STRATEGIE GLOBALE

L'objectif est de mettre au point une stratégie de sélection intégrant le critère de la qualité sensorielle et de l'évaluer, pour la disséminer auprès des agriculteurs volontaires si elle s'avère pertinente. La stratégie employée consiste à créer une population composite à partir de parents aux caractères complémentaires (tableau 30). En 2010, 150 accessions ont été observées sur les deux sites. De cette évaluation, seulement six cultivars de brocolis ont été sélectionnés pour la création de CCP. Ces 6 cultivars (population ou hybride F1) ont été choisis pour leur forme de la pomme, le type de grains et les couleurs représentant la gamme de ce qui existe entre chou-fleur et brocoli. L'idée était de créer un brocoli à « bon goût » avec une combinaison forme/couleur/grain renouvelée par rapport au type « Marathon », premier hybride F1 de type « crown » (pomme ronde comme un chou-fleur) et vert.

Un brocoli à jets italien aux caractéristiques gustatives intéressantes (une population traditionnelle, Di Cicco), un chou-fleur violet (population issue des ressources génétiques, Rosalind) et des brocolis violets (populations issues des ressources génétiques, Violet Queen, Purple Cape) ont été intercroisés pour établir une population variée recombinaut tous les caractères d'intérêt dans l'espèce. Deux brocolis verts (Marathon et Samson, hybrides F1 sur auto-incompatibilité) ont été ajoutés pour avoir en référence la forme commerciale choisie par le marché actuel et s'adapter à la récolte mécanique.

Tableau 30: parents retenus pour l'étude

Nom du cultivar	Type	Forme de la pomme	Précocité - Critères goût
Di Cicco	Population	A jets et vert	Cycle court (60 jours), tendre et sucré
Violet de Sicile (Viola)	Population	Pomme ronde violette, type brocoli à grain très fin	Semis juin - Production fin d'automne (fin décembre, janvier), bonne vigueur, « bon goût »
Purple Cape	Population	Pomme violette (forme romanesco) à grain fin, entre chou-fleur et brocoli	Semis juin - Production hiver (février), bonne vigueur
Rosalind	Population	Pomme rose foncé à grain fin entre chou-fleur et brocoli	Semis juin - Production automne (début décembre)
Marathon	Hybride F1	Brocoli à pomme ronde et verte, grain fin	Cycle moyen (80 jours)
Samson	Hybride F1	Brocoli à pomme ronde et verte, grain moyen	Semis juin - Production fin d'automne, bonne vigueur

Ainsi, les parents sont très éloignés génétiquement. Les populations créées en 2° et 3° génération doivent être suffisamment large pour trouver des plantes de qualité. La 4° génération et les suivantes seront ensuite évaluées pour les caractéristiques d'intérêt une fois que le niveau d'homozygotie sera compatible avec une évaluation des critères de qualité de la pomme (forme, couleur, grain).

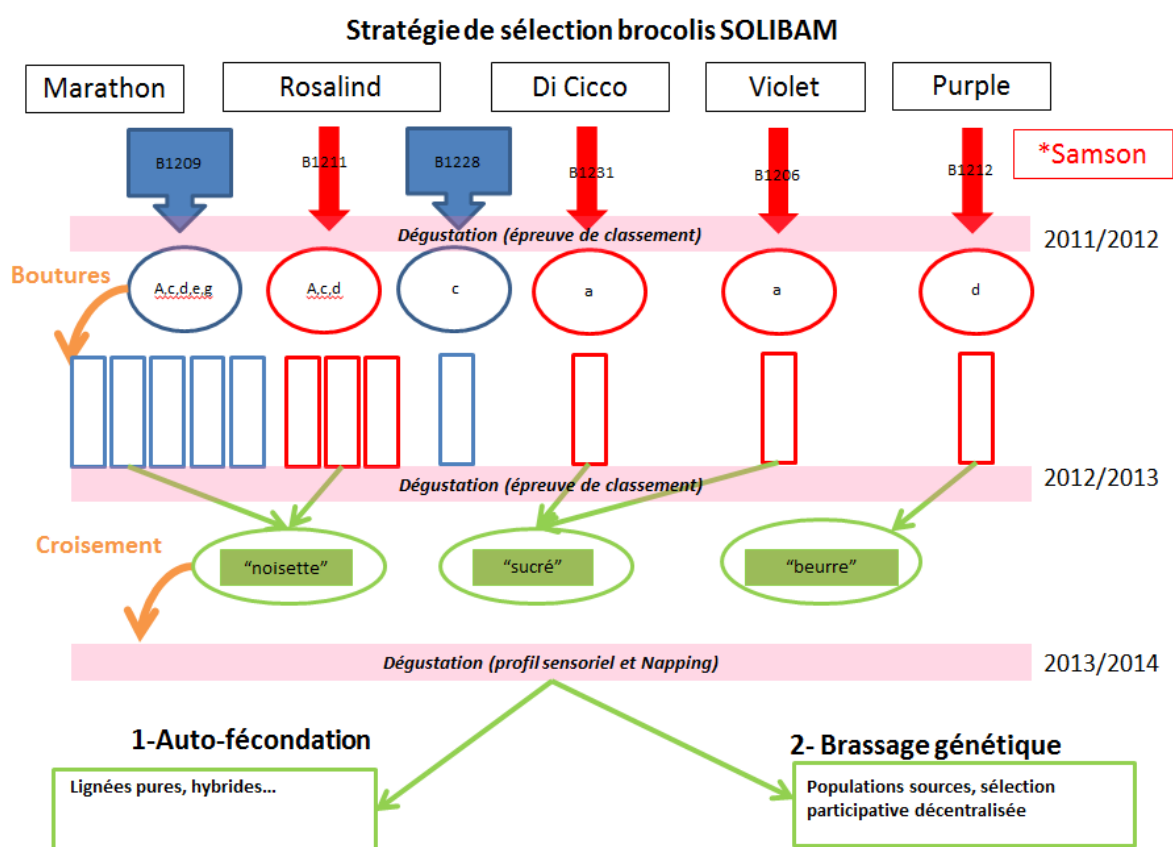


Figure 61: stratégie de sélection empruntée pour l'étude de cas brocoli. Les flèches rouges sur le schéma indiquent que le brocoli au-dessus a été croisé avec le brocoli Samson (indiqué en rouge tout à droite du schéma).

A partir de ces six parents, treize croisements (chaque parent étant à tour de rôle père et mère) ont été effectués en 2010 et cultivés en 2011 sur deux sites expérimentaux, à Morlaix dans le Finistère (29), et à Eyragues dans les Bouches du Rhône (13). L'objectif général de la sélection est de créer des populations où la qualité du produit soit relativement homogène (le degré d'homogénéité dépendant du marché visé) et où les autres caractères soient suffisamment hétérogènes pour assurer une aptitude à la résilience des populations végétales. A partir de ces croisements, les descendance en F2 provenant des deux sites de cultures ont été évaluées en 2012. Deux stratégies ensuite ont été envisagées selon l'organisation de la sélection : (i) des têtes de lignées ont été choisies pour une sélection conventionnelle chez Gautier Semences ; (ii) les plantes F2 aux qualités satisfaisantes ont été regroupées pour créer des populations. Les travaux présentés concernent cette dernière stratégie. Elle vise à regrouper les plantes aux qualités semblables de plusieurs F2 différentes pour créer une population de travail (ou population source) et poursuivre le processus de recombinaison. En 2013-2014, certaines populations et variétés ayant été repérées l'année précédente ainsi que deux témoins ont été évalués par profil sensoriel, tâche confiée en sous-traitance à un laboratoire spécialiste de l'espèce chou (Végénov à Saint Pol de Léon) pour évaluer l'efficacité de la stratégie de sélection.

Cette expérimentation présente un objectif très ambitieux car elle vise la création de nouvelles populations en seulement trois générations. La première condition pour atteindre cet objectif était de considérer uniquement les groupes génétiques qui présentent un cycle végétatif court de façon à obtenir une génération par an. Ainsi, cette expérimentation présente un intérêt avant tout méthodologique et pourra être appliquée sur des choux présentant des cycles plus longs. L'hypothèse scientifique est que la couleur, la forme et les caractéristiques sensorielles sont des caractères complexes et multigéniques. Aucune population/variété ne présente tous ces caractères. Par le croisement, les différentes caractéristiques d'intérêts identifiées ont été redistribuées de la façon aléatoire dans les descendance.

Du fait de cette stratégie, l'évaluation des plantes est individuelle (et non de la descendance dans son ensemble, puisque trop hétérogène). Il est donc impossible d'évaluer l'héritabilité du caractère (puisque nous ne

disposons pas de moyenne) comme cela se pratique dans des schémas de sélection classique sur par exemple des taux de glucosinolates, de sucrose... Le choix a été fait de s'intéresser à la qualité sensorielle perçue de plantes ayant déjà des critères morphologiques « harmonieux » (selon l'œil du sélectionneur), et donc de passer par l'analyse sensorielle pour intégrer le critère de qualité sensorielle dans le processus de sélection dès les premiers stades de sélection. Cette stratégie devra être applicable en sélection décentralisée pour répondre à la demande de la recherche participative et aux principes de l'agroécologie.

1.1.2. ORGANISATION DES RECOLTES ET EVALUATIONS SENSORIELLES

Les mêmes échantillons ont été cultivés sur deux environnements (à Morlaix et à Eyragues) pendant 3 ans. Pour éviter que l'hétérogénéité du sol ne masque d'éventuels effets génétiques, le dispositif expérimental est en bloc complet aléatoire. Deux répétitions de 20 individus ont été semées chaque année. Cependant, du fait de la variabilité inhérente au produit du croisement de deux parents éloignés, chaque plante représente un échantillon et chaque échantillon d'un même croisement ne peut pas être considéré comme une répétition. Chaque année, des croisements et autofécondations ont été réalisés sur les plantes repérées lors des dégustations puis mis en culture pour la saison future.

Pendant tout le processus, les qualités organoleptiques ont été évaluées par la mise en place d'épreuves sensorielles à chaque récolte : automne 2010 (choix des parents), automne-hiver 2011 (évaluation de la 1^o génération), automne-hiver 2012 (évaluation de la 2^o génération), automne-hiver 2013 (évaluation de la 3^o génération). Différentes épreuves sensorielles ont été mises en œuvre d'une année sur l'autre, fonction des quantités récoltées, du nombre d'échantillons à évaluer et des leçons tirées des précédentes dégustations. En revanche, le protocole de préparation des échantillons est resté le même sur les récoltes de 2011 et 2012.

Quatre saisons se sont succédées au cours desquelles le protocole s'est affiné et avec la contrainte d'avoir à traiter un nombre d'échantillon croissant. Trois épreuves de classement ont été réalisées sur les descripteurs *goût de chou*, *sucrosité* et *fondant* avec un panel de consommateurs amateurs de choux. En 2011, seize échantillons issus de douze croisements et quatre témoins (parents fixés) ont été dégustés suivant le même protocole. En 2012/2013, le nombre d'échantillons a augmenté depuis la 1^o génération de croisement, ce qui a conduit à changer le protocole d'évaluation. Un profil sensoriel a alors été réalisé à l'aide d'un panel recruté en interne (dans la Station Expérimentale Fruit de Rhône-Alpes, SEFRA) et entraîné à l'évaluation de deux caractéristiques déterminantes de la qualité sensorielle : la *sucrosité* et l'*amertume*. Enfin en 2014, l'évaluation sensorielle a été confiée à un prestataire (panel externe) et un choix de dix échantillons à évaluer a été fait sur la base des résultats des années précédentes et des observations agronomiques. Une épreuve de Napping® a été réalisée parallèlement par le panel interne pour comparer les résultats des deux épreuves et tenter de trouver une méthode d'évaluation sensorielle adaptée au contexte.

1.2. PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les deux principaux débouchés de la filière brocoli sont les surgelés et le frais. Pour stabiliser l'espace produit et évaluer l'ensemble des échantillons à un moment donné, le choix a été fait de blanchir puis surgeler au fur et à mesure les brocolis arrivant à maturité.

1.2.1. ECHANTILLONNAGE

Des différences marquées entre la tige et la fleurette du brocoli mais également entre la périphérie et le centre de la fleurette ont été notées lors des premières dégustations (2010). Pour réduire l'hétérogénéité au sein des échantillons et entre les échantillons plusieurs solutions sont possibles : la préparation en purée ou la sélection à un endroit bien localisé de la plante.

La consommation sous forme de purée se fait essentiellement pour les aliments pour bébé. Les brocolis sont plus généralement mangés sous forme de fleurette. Dans une étude où la problématique de l'hétérogénéité du fruit s'est posée pour la tomate, Casals et al. (2011) ont réalisé un profil sensoriel sur une purée de tomate

(mélange de six fruits homogènes) pour les descripteurs *sucrosité*, *acidité*, *arôme* et *intensité de l'arôme* pour limiter l'hétérogénéité du fruit entre le péricarpe et le contenu loculaire, mais également au sein même du péricarpe. Cependant les différences sensorielles mises en évidence étaient plus dues à la variabilité au sein d'une population qu'à celles entre les variétés. Une autre étude portant sur la fraise a comparé l'évaluation sensorielle sur le fruit individuel et sur une purée de plusieurs fruits (Gunness et al., 2009). Certains attributs tels que l'*odeur de fraise* sont mieux évalués sur fruit individuel qu'en purée car spécifique d'un fruit à l'autre. En revanche, l'évaluation de l'*acidité* et de la *sucrosité* présentent des résultats similaires entre échantillons intacts et purée : l'équilibre *sucré/acide* ne semble pas être affecté par la préparation sous forme de purée.

Une autre possibilité pour limiter l'hétérogénéité au sein d'un échantillon est de sélectionner uniquement la partie centrale des fleurettes de chaque échantillon pour les dégustations. Cela limite cependant la quantité disponible pour les dégustations et limite donc le nombre de répétition de la mesure sensorielle.

Tableau 31: Avantages et inconvénients de deux techniques d'échantillonnage permettant d'homogénéiser l'échantillon

Avantages	Inconvénients
Préparation en purée	
- Homogénéise la tige et la fleurette, - Limite les variations intra-variétales	- Evince la caractéristique de texture dans l'évaluation - Eloigne des conditions de consommation
Sélection du centre de la fleurette	
Proche des conditions réelles de consommation	Limite la quantité disponible à la dégustation par échantillon

*Finale*ment toutes les évaluations sensorielles de brocolis, de 2011 à 2014, ont été réalisées sur une **sélection de fleurettes homogènes issues d'une même plante** (= échantillon).

1.2.2. BLANCHIMENT ET SURGELATION DES ECHANTILLONS

Les échantillons étant récoltés à la date optimum (date à laquelle la pomme a atteint son développement maximum, avant éclatement et évolution des boutons en fleurs), la récolte s'étalait parfois sur plusieurs mois, compte tenu du choix des parents avec des cycles de durée très différente, de 60 jours à 9 mois. Dans l'objectif de comparer la qualité sensorielle des différents échantillons et donc de disposer de l'ensemble des échantillons à un moment donné, une stabilisation de l'espace produit a été nécessaire.

Trois modes de cuisson ont été testés dans la littérature (Barrett et al., 2000; Brewer et al., 1995):

- Cuisson à l'eau bouillante : ce mode de cuisson fait perdre 8-9% de solide (comparé à 2% pour la cuisson à la vapeur).
- Cuisson à la vapeur : ce mode de cuisson diminue les pertes d'éléments solides et maintient le contenu en vitamines.
- Cuisson au four à micro-ondes : ce mode de cuisson ne présente pas d'inconvénients pour maintenir l'intégrité du légume. Il permet de retenir la plus grande quantité d'acide ascorbique réduit, maintient les qualités visuelles (apparence et couleur) autant que la cuisson vapeur, et maintient la saveur autant que la cuisson à l'eau bouillante.

Brewer et al., (1995) ont comparé l'impact de différents modes de blanchiment sur les qualités sensorielles du brocoli. Le mode de cuisson obtenant le meilleur score de texture et d'acceptabilité est la cuisson à la vapeur. Pour cela 225 g de brocolis sont placés quatre minutes dans un panier vapeur en cocotte fermée contenant 300 ml d'eau bouillante.

Concernant le temps de blanchiment, Barrett et al. (2000) ont démontré que le temps de cuisson pour le blanchiment influençait significativement la texture du brocoli. La fermeté du brocoli augmente significativement entre 90 et 135 s de cuisson vapeur puis diminue. Un temps minimum de 90 s de cuisson

vapeur à 100°C est nécessaire pour inactiver les enzymes responsables des changements dans les qualités sensorielles du brocoli et ainsi éviter la formation d'arômes non désirés. Le temps de cuisson optimal pour assurer des propriétés texturales acceptable se situe donc entre 90 et 135 s.

Le même article démontre que les différences (de texture et de goût) entre les cultivars sont maintenues quel que soit le temps de cuisson. Des différences significatives entre les cultivars ont en effet été mises en évidence pour le contenu en dextrose et la fermeté.

Le mode de blanchiment choisi est donc un blanchiment à la vapeur dans une cocotte sous pression pendant 4 min. Les échantillons sont ensuite emballés dans des sacs de congélations puis surgelés à - 18°C.

1.2.3. TEMPERATURE DE DEGUSTATION

La dégustation d'aliment chaud limite le nombre d'échantillons qui peut être dégusté car cela sature plus rapidement le palais du dégustateur. Il est donc préférable de déguster les échantillons froids au risque de diminuer la flaveur des aliments.

1.2.4. SYNTHESE DES MODES DE PREPARATION DES ECHANTILLONS

(a) RECOLTES 2011 ET 2012

Sur les trois ans d'expérimentation, les fleurettes de brocolis sélectionnées pour leur homogénéité ont été blanchies puis surgelées dans les 24h après la récolte. Une heure avant l'évaluation, elles sont cuites séparément 20 min à l'autocuiseur. Bien que les échantillons soient de la même taille, des différences de cuisson persistent : la taille des grains apparaît comme un élément impactant la texture. Ces différences auraient pu être limitées par un étalonnage, en testant différents temps de cuisson sur des brocolis ayant différentes tailles de grain. Le parti a été pris de passer tous les échantillons sur un même temps de cuisson. Les caractéristiques de texture n'ont pas été évaluées, car elles sont mesurables par instrument et n'apparaissent pas comme critère déterminant des préférences des consommateurs.

Echantillonnage : Sélection de fleurettes homogènes provenant d'une même plante, coupées en morceaux de tailles homogènes (environ 4cm*3cm)

Blanchiment : 4 minutes. à la vapeur

Cuisson : 20 minutes à l'autocuiseur

(b) RECOLTE 2013

Dans le cas de la récolte 2013, les premières évaluations ayant été effectuées par le laboratoire Végénov selon leur propre mode opérationnel, la préparation des échantillons pour l'épreuve de Napping® faite en parallèle s'est calquée sur celle empruntée pour le profil sensoriel 2014.

200 g de chaque échantillon de brocolis surgelés ont été cuit à l'autocuiseur Clipso 8l à la vapeur sous pression avec 750 ml d'eau de Volvic pendant 2min 30 à partir de la sortie de vapeur de la soupape. Aussitôt après cuisson, les échantillons ont été mis dans des gobelets en polystyrène et placés dans une étuve à 60°C. Les échantillons ont été présentés par portion de 40 à 50 g à la température de 47 °C (+/- 3).

1.3. RECOLTE 2010 : TESTER UNE EPREUVE SENSORIELLE DISCRIMINATIVE

Avant le début des travaux de thèse, dans le cadre du projet SOLIBAM, une dizaine de brocolis, issus des ressources génétiques des partenaires italiens et anglais, ont été mis en culture lors du premier choix des parents intégrant des critères gustatifs. Pour tester la faisabilité d'une épreuve sensorielle requérant peu d'expertise de la part du jury et valider le choix des parents, une épreuve de classement a été réalisée avec un groupe d'expérimentateur impliqué dans SOLIBAM.

1.3.1. ENVIRONNEMENTS DE CULTURE ET NOM DES ECHANTILLONS

Une première approche de l'analyse sensorielle a été initiée sur des brocolis des parcelles de sélection de Gautier semences et de la PAIS, à maturité à ce moment-là (début novembre). Cinq plantes appartenant aux parents potentiellement choisis (Violet de Sicile, Rosalind, Di Cicco, deux Marathons) et deux plantes d'une population très différente pour sa couleur « brocoli à tête jaune », ont été cultivés à Eyragues de Juillet à Décembre. Les échantillons ont été récoltés au même moment pour des dégustations sur brocolis frais deux jours après en Bretagne dans les locaux de l'INRA du Rheu.

1.3.2. EVALUATION SENSORIELLE DES ECHANTILLONS

Ces six échantillons ont été complétés par du brocoli surgelé Picard, pour maximiser la palette des goûts et apporter une référence du commerce à l'échantillonnage. Ils ont été évalués sur le plan sensoriel par le moyen d'une épreuve de classement. En effet, le jury étant non entraîné mais consommateur régulier de choux, la méthode du profil sensoriel n'est pas paru adaptée pour une mesure objective de la qualité sensorielle. Trois attributs sensoriels ont été retenus sur des bases bibliographiques, car influençant le choix des consommateurs : *Goût de chou*, *sucré* et *fondant*. Le descripteur *goût de chou* a été préféré au descripteur *amer* car plus facile à appréhender par le groupe. Un chou dont la date optimum de récolte a été dépassée a été choisi en référence pour ce descripteur.

Deux épreuves de classement évaluant chacune quatre échantillons ont été réalisées. L'évaluation de sept échantillons d'un coup s'avérant difficile pour des dégustateurs non entraînés, le choix de scinder en deux a été fait, le même témoin a été évalué lors des deux sessions. Le témoin est un surgelé picard cuit selon le même mode que les autres échantillons (frais).

1.4. RECOLTE 2011 : DEFINIR LES DESCRIPTEURS ET EVALUER LES PREMIERS CROISEMENT

L'évaluation des générations F1 est primordiale pour repérer les croisements d'intérêt mais également comprendre la répartition des caractéristiques (gustative, visuelle...). Une épreuve de classement a été mise en œuvre pour évaluer certaines caractéristiques sensorielles des parents et des croisements de première génération.

1.4.1. LES ECHANTILLONS

Lors de cette séance de dégustation, seuls quatre des treize croisements réalisés ont pu être évalués pour des raisons de disponibilités. Seize échantillons (douze plantes provenant de quatre croisements et quatre témoins/parents), cultivés à Eyragues en automne 2011 ont été évalués sur le plan sensoriel (tableau 32). Les premières générations de croisement sont connues pour être très hétérogènes, chaque plante est alors considérée comme un échantillon. Pour avoir un ordre de grandeur de la variabilité sur des caractéristiques sensorielles de chaque individu issu d'un même croisement, trois individus de chaque croisement ont été évalués.

Tableau 32: Liste des échantillons de la récolte 2011 dégustés

Nom des échantillons	Origine	Détails croisement	Lieu de culture
B12 01	Croisement	F1 : rosalind*Viola	Eyragues
B12 09 b	Croisement	F1 : marathon*rosalind	Eyragues
B12 09a	Croisement	F1 : marathon*rosalind	Eyragues
B12 09c	Croisement	F1 : marathon*rosalind	Eyragues
B12 28a	Croisement	F1 : di cicco*rosalind	Eyragues
B12 28b	Croisement	F1 : di cicco*rosalind	Eyragues

Nom des échantillons	Origine	Détails croisement	Lieu de culture
Di cicco*Rosalind13	Croisement	F1 : di cicco*rosalind	Eyragues
Di cicco*Rosalind14	Croisement	F1 : di cicco*rosalind	Eyragues
Di cicco*Rosalind15	Croisement	F1 : di cicco*rosalind	Eyragues
Di Cicco*Viola1	Croisement	F1 : di cicco*viola	Eyragues
Di cicco*Viola2	Croisement	F1 : di cicco*viola	Eyragues
Di cicco*Viola3	Croisement	F1 : di cicco*viola	Eyragues
Di cicco1	Population		Eyragues
Di cicco2	Population		Eyragues
Di cicco3	Population		Eyragues
Marathon1	Hybride F1		Eyragues
Marathon2	Hybride F1		Eyragues
Rosalind	Population		Eyragues
Viola	Population		Eyragues

1.4.2. EVALUATION SENSORIELLE

Un panel de dix juges « naïfs » mais consommateurs usuels de choux ont réalisé quatre épreuves de classement. Le nombre d'échantillons étant relativement important (16 échantillons), le protocole a été modifié par rapport à l'année précédente de façon à alléger la procédure de dégustation et à maximiser le nombre d'échantillons évalués. Les échantillons ont été divisés en quatre lots, de façon à évaluer simultanément parents et croisements, pratique courante en sélection. Ce choix méthodologique limite cependant une vision globale des croisements (positionnement de l'ensemble des échantillons les uns par rapport aux autres) car il ne permet pas de comparer tous les échantillons entre eux (inter-lot). L'évaluation s'est faite sur un unique descripteur : *goût de chou*.

La consigne était donc de classer les échantillons par ordre d'intensité sur le critère *goût de chou*. Afin de s'accorder sur ce critère, des références ont été présentées aux participants. Plutôt que l'amertume, toujours difficile à caractériser, les dégustateurs se sont accordés sur le critère *goût de chou* dont la référence était un chou-fleur blanc frais récolté dans les champs de Frédéric Dalmon le 4 Novembre 2011.

Lors des sessions, les dégustateurs étaient encouragés à ajouter des commentaires sur les particularités aromatiques et gustatives qu'ils ont perçues en plus du critère sur lesquels ils devaient évaluer les échantillons. Ces commentaires se sont avérés très utiles et se recoupent parmi les participants.

1.5. RECOLTE 2012 : CREER DES POPULATIONS SOURCES

1.5.1. LES ECHANTILLONS

Un total de 96 échantillons a été récolté à Eyragues et à Morlaix. Les conditions climatiques dans les deux sites de cultures ayant été très différentes, une grande disparité entre le nombre et la quantité d'échantillons récoltés respectivement dans les deux sites s'est révélée. Les brocolis cultivés à Eyragues ont subi des conditions ventées et humides qui ont favorisé le développement de champignons.

Finalement, 59 échantillons ont pu être évalués par le panel (tableau 33), 14 provenaient du site d'Eyragues, 45 provenaient de Morlaix. Ce déséquilibre de fréquence est à garder à l'esprit lors de l'analyse d'un potentiel effet de l'environnement.

Tableau 33: Liste des échantillons de brocolis de la récolte 2012 évalués sur l'amertume et la sucrosité (dans la première colonne le premier chiffre latin qui suit le nom indique le numéro de la répétition, et le deuxième le numéro de la plante dans la répétition)

Nom des échantillons	Origine	Détails croisement	Lieu de culture	Code pour analyse
B1209aI1	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Eyragues	(ABa)E1
B1209aI20	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Eyragues	(ABa)E2
B1209aII2	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABa)M1
B1209cI1	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABc)M1
B1209cII1	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABc)M2
B1209cII4	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABc)M3
B1209dI1	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABd)M1
B1209gI1	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABg)M1
B1209gII4	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Eyragues	(ABg)E1
B1209gII9	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Eyragues	(ABg)E2
B1209gI3	Autofécondation	F2: Marathon*Rosalind	Morlaix	(ABg)M2
B1211aI2	Autofécondation	F2: Samson*Rosalind	Morlaix	(CBa)M1
B1211c*B1209aI15	Croisement	F2: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Eyragues	(CBc)*(ABa)E1
B1211d*B1209aI2	Croisement	F2: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(Aba)M1
B1211d*B1209cI1	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABc)M1
B1211d*B1209cI2	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABc)M2
B1211d*B1209cII1	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABc)M3
B1211d*B1209dI1	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABd)M1
B1211d*B1209dI2	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABd)M2
B1211d*B1209dII2	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABd)M3
B1211d*B1209eI1	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABe)M1
B1211d*B1209eI2	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABe)M2
B1211d*B1209gI1	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABg)M1
B1211d*B1209gII2	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABg)M2
B1211d*B1209gII3	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABg)M3
B1211d*B1209gII4	Croisement	F1: (Samson*Rosalind)*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(CBd)*(ABg)M4
B1211dII7	Autofécondation	F2: Samson*Rosalind	Eyragues	(CBd)E1
B1211dII9	Autofécondation	F2: Samson*Rosalind	Eyragues	(CBd)E2
B1211dII1	Autofécondation	F2: Samson*Rosalind	Morlaix	(CBd)M1
B1212dI1	Autofécondation	F2: Purple Cape*Samson	Morlaix	(DCd)M1
B1228cI1	Autofécondation	F2: Di Cicco*Rosalind	Eyragues	(EBc)E1
B1231a*B1211aII1	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*(Samson*Rosalind)	Morlaix	(ECa)*(CBa)M1
B1231a*MarathonI1	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*Marathon	Morlaix	(ECa)*(A)M1
B1231a*MarathonI3	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*Marathon	Morlaix	(ECa)*(A)M2
B1231a*MarathonI5	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*Marathon	Morlaix	(ECa)*(A)M3
B1231a*MarathonI6	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*Marathon	Morlaix	(ECa)*(A)M4
B1231a*MarathonII2	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*Marathon	Morlaix	(ECa)*(A)M5
B1231a*MarathonII4	Croisement	F1 : (Di Cicco*Rosalind)*Marathon	Morlaix	(ECa)*(A)M6
B1231aI2	Autofécondation	F2: Di Cicco*Samson	Morlaix	(ECa)M1
B1231aII2	Autofécondation	F2: Di Cicco*Samson	Morlaix	(ECa)M2
B1231aII3	Autofécondation	F2: Di Cicco*Samson	Morlaix	(ECa)M3
B1231aII4	Autofécondation	F2: Di Cicco*Samson	Morlaix	(ECa)M4

Nom des échantillons	Origine	Détails croisement	Lieu de culture	Code pour analyse
Dicicco	Population	Témoin	Eyragues	(E)E1
Marathon	Hybride F1	Témoin	Eyragues	(A)E1
Marathon*B1209aI2	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABa)M1
Marathon*B1209aI3	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABa)M2
Marathon*B1209aI4	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABa)M3
Marathon*B1209aI5	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABa)M4
Marathon*B1209aII1	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABa)M5
Marathon*b1209cII2	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABc)M1
Marathon*b1209cII3	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABc)M2
Marathon*b1209cII4	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABc)M3
Marathon*b1209cII5	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABc)M4
Marathon*B1209dII1	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABd)M1
Marathon*B1209dII3	Croisement	F1 : Marathon*(Marathon*Rosalind)	Morlaix	(A)*(ABd)M2
Marathon*RosalindI1	Croisement	F1 : Marathon*Rosalind	Eyragues	(A)*(B)E1
Rosalind	Population	Témoin	Eyragues	(B)E1
Rosalind*MarathonI1	Croisement	F1 : Rosalind*Marathon	Eyragues	(B)*(A)E1
Samson	Hybride F1	Témoin	Eyragues	(D)E1

1.5.2. EVALUATION SENSORIELLE

A cette étape de la sélection, le facteur limitant l'évaluation sensorielle des brocolis est le grand nombre d'échantillons. Cette contrainte associée à la nécessité d'avoir des données quantitatives et fiables a conduit au choix d'un compromis pour l'épreuve sensorielle : un profil sensoriel sur deux descripteurs et avec un panel réduit.

(a) L'ENTRAÎNEMENT

Pour cela, sept dégustateurs ont été recrutés sur volontariat dans la station inter-institut expérimentale Fruit de Rhône-Alpes (SEFRA). Treize séances d'entraînement, dont les détails figurent dans l'annexe I, au cours desquelles les dégustateurs se sont familiarisés avec les méthodologies d'analyse sensorielle, l'espace produit « chou » et à l'évaluation sur une échelle d'intensité sur trois à quatre caractéristiques sensorielles. L'entraînement et le nombre de juges étant également limité, un compromis est de réduire le nombre de descripteurs à évaluer. Seuls les descripteurs *amer* et *sucré* ont été retenus pour l'évaluation des échantillons, les attributs de textures étant très dépendants de la cuisson et d'autre part mesurables instrumentalement.

(b) L'EVALUATION

Dix séances d'évaluation ont permis l'analyse sensorielle de 59 échantillons de brocoli. Chaque échantillon a été dégusté soit deux fois par les panélistes au sein de la même séance, soit 1 à 2 fois selon un plan d'expérience incomplet optimisant le nombre de mesure en fonction du nombre de panéliste. Les séances d'entraînement et d'évaluation étaient dans la mesure du possible espacées d'une semaine maximum. Ce faisant, l'expertise produit développée par le panel lors de ces nombreuses séances (23) a permis la détection (de façon purement qualitative) d'arômes et de saveurs particuliers sur certains échantillons. Ces remarques qualitatives ont été recueillies et retenues lorsqu'au moins trois des dégustateurs avaient perçu la même caractéristique. Ainsi, chaque échantillon a pu être caractérisé par une note d'amertume et de sucrosité et certains marqués par des arômes ou saveurs spécifiques. Ces derniers ont été regroupés au champ pour favoriser les inter-croisements de manière à créer des pools de saveurs (Composite Cross Population à goût noisette, à forte amertume...) pour les années à venir.

1.5.3. ANALYSE DES DONNEES ET FORME DU JEU DE DONNEES

Comme décrit précédemment dans l'étude de cas pain, les données issues du profil sensoriel sont analysées à l'aide d'une analyse de variance pour mesurer les performances des panélistes ($Y = \mu + \text{produit} + \varepsilon$), pour mesurer le pouvoir discriminant du jury et l'accord entre les juges ($Y = \mu + \text{juge} + \text{produit} + \text{Produit} \times \text{juge} + \varepsilon$). Chaque descripteur a été analysé pour sa significativité dans la différenciation des produits. Le test de Fischer indique une différence significative entre les échantillons avec $p < 0,05$.

Pour qualifier les génotypes à l'aide des mots générés librement par le jury, une AFC a été réalisée.

Au cours des séances d'évaluation, le panel a acquis un « savoir évaluer » qui lui a permis de discerner certains arômes et saveurs. Ces commentaires ont été collectés et réunis dans un tableau de contingence. Seuls les mots dont le nombre de citation totale est supérieur ou égal à 3 ont été introduits dans l'analyse.

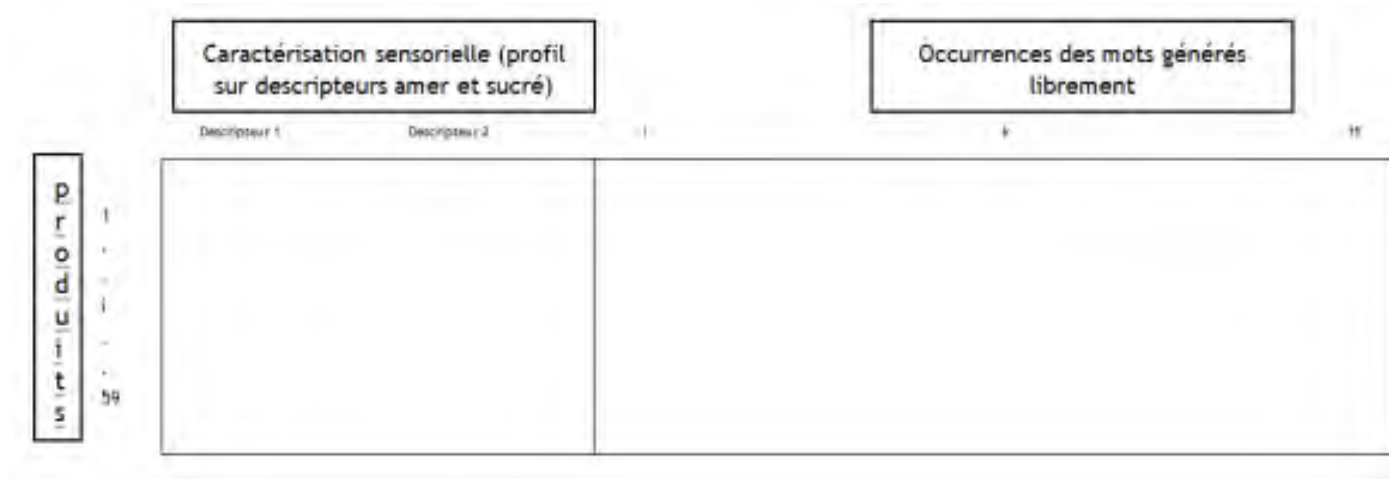


Figure 62: Jeu de donnée Brocoli 2013

1.6. RECOLTE 2013 : VALIDER LA STRATEGIE DE SELECTION

Afin d'évaluer l'efficacité de la stratégie de sélection, un profil sensoriel en prestation a été réalisé sur dix échantillons issus des trois ans de sélection (3^e génération). L'objectif est d'identifier des différences sensorielles, si elles existent, entre les plantes SOLIBAM et les témoins.

1.6.1. LES ECHANTILLONS

Le choix des dix échantillons évalués a été conditionné par les résultats de l'année précédente. Les quelques génotypes repérés pour leur saveur particulière de *noisette* (autofécondations et croisements intégrant un de ces génotypes d'intérêt) ou leur *douceur*. Seuls deux des parents sources ont pu être cultivés et récoltés la même année sur le même environnement (tableau 34). Cependant parmi les huit échantillons issus de la sélection, six sont issus d'un croisement des deux parents pris comme témoins dans cette évaluation : Marathon et Rosalind. Tous les échantillons provenaient du site d'Eyragues, aucun échantillon n'ayant pu être récolté à Morlaix du fait de conditions très pluvieuses.

Tableau 34: Liste des échantillons analysés par profil sensoriel en 2014

Nom des échantillons	Origine	Détails du croisement	Lieu de récolte
Rosalind	Population	parent	Eyragues
Marathon	Hybride F1	parent	Eyragues
B1209g1	Autofécondation	F3: marathon*rosalind	Eyragues
B1209g1Vi	Autofécondation	F3: marathon*rosalind	Eyragues
B1228c1*B1211d2	Croisement	F2*F2 :(di cicco*rosalind)*(samson*rosalind)	Eyragues
B1228c1*B1209a11	Croisement	(di cicco*rosalind)*(marathon*rosalind)	Eyragues
B1209c12	Autofécondation	F3: marathon*rosalind	Eyragues
LF*B1209g1	Croisement	F2*F2(Lignée Gautier)*(marathon*rosalind)	Eyragues
B1211d2Vi	Autofécondation	F3: samson*rosalind	Eyragues
B1209g1Ve	Autofécondation	F3: marathon*rosalind	Eyragues

1.6.2. EVALUATION SENSORIELLE

Deux épreuves ont été réalisées pour évaluer la qualité sensorielle des échantillons de la récolte 2013 : un profil sensoriel en externe et un Napping® avec le panel interne (2013). L'analyse et la comparaison des résultats favoriseront le choix d'une méthode adaptée au contexte de la sélection participative décentralisée.

(a) PROFIL SENSORIEL EN EXTERNE

(i) ENTRAÎNEMENT

La réalisation du profil sensoriel a été confiée à un laboratoire professionnel, Vegenov, Bretagne Biotechnologie Végétale. Ce laboratoire situé en Bretagne, possède une expertise en analyse sensorielle de chou, avec un panel déjà entraîné sur cet espace produit. Deux sessions d'entraînement ont été réalisées afin de faire découvrir aux dix membres du jury entraîné « chou » l'espace produit sur lequel porte l'étude, de valider le choix des descripteurs de flaveur, de l'entraîner à la reconnaissance et à la quantification des caractéristiques de saveurs retenues. Les descripteurs retenus ont été choisis à partir de la liste habituellement utilisée par le jury « chou » et après dégustation des échantillons fournis pour l'entraînement. Les performances du panel ont été évaluées au cours de l'entraînement pour ajuster le jury. Des références (solutions avec des extraits de champignon, noisette... dilués) ont été proposées pour ajuster le référentiel sensoriel du jury.

(ii) EVALUATION

Trois sessions d'évaluations ont été réalisées afin de recueillir les mesures sur les dix variétés (deux répétitions). Les produits étaient présentés sous lumière rouge en monadique aux dix membres entraînés du jury. Six à sept produits ont été présentés par séances. La répétition de la mesure des échantillons a été faite sur des séances différentes. Pour chaque échantillon, les sujets ont noté les critères sur une échelle structurée de 11 points (0 à 10). De l'eau et du pain ont été fournis aux dégustateurs pour se rincer la bouche entre chaque échantillon. Les essais ont été réalisés dans une salle d'analyse sensorielle répondant à la norme ISO 858.

(b) NAPPING® AVEC LE PANEL INTERNE

Onze dégustateurs dont six des anciens panélistes de 2013 ont évalués sept échantillons de brocolis selon l'épreuve de Napping®. Trois des dix échantillons évalués en externe n'ont pas pu faire l'objet d'une évaluation interne pour des raisons de disponibilités. Les modalités de l'épreuve ont été décrites précédemment.

1.7. METHODES STATISTIQUES

Certaines méthodes d'analyse telles que l'analyse de variance ou encore l'ACP ont déjà été décrites pour le cas du blé. Elles ne seront pas décrites dans cette partie. D'autres méthodes associées à des épreuves sensorielles particulières mises en œuvre pour étudier la qualité du brocoli utilisent en revanche d'autres outils.

1.7.1. LE TEST DE FRIEDMAN SUR LES RANGS

Le test de Friedman est un test non-paramétrique qui permet de mettre en évidence une différence de traitement entre k échantillons appariés correspondant à k traitements. C'est une alternative non paramétrique à l'ANOVA à deux facteurs dans le cas où l'hypothèse de normalité n'est pas acceptable. Il permet de tester si k échantillons proviennent de la même population, au sens d'un paramètre de position (le rang).

Ce test a été utilisé pour l'analyse des résultats des épreuves de classement réalisées lors des deux premières saisons dans l'étude de cas brocoli.

1.7.2. LA CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE

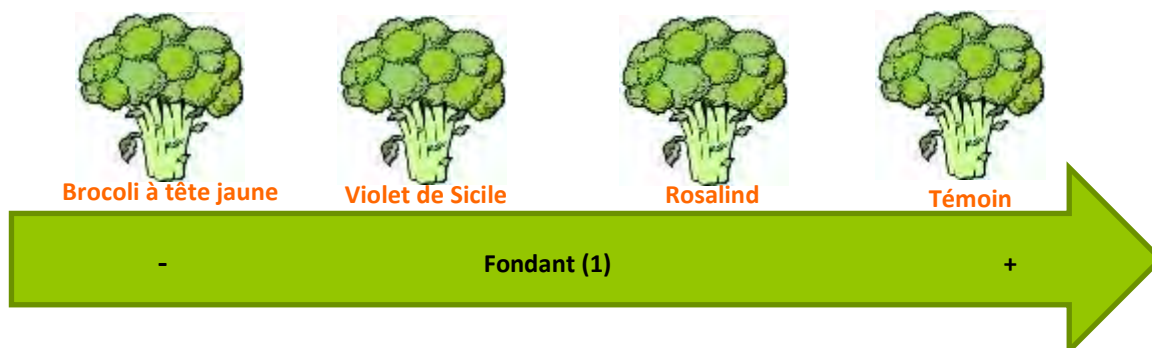
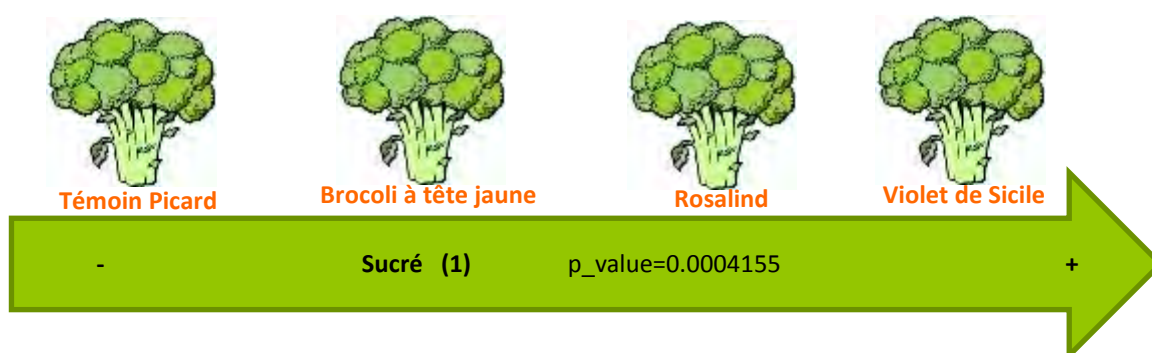
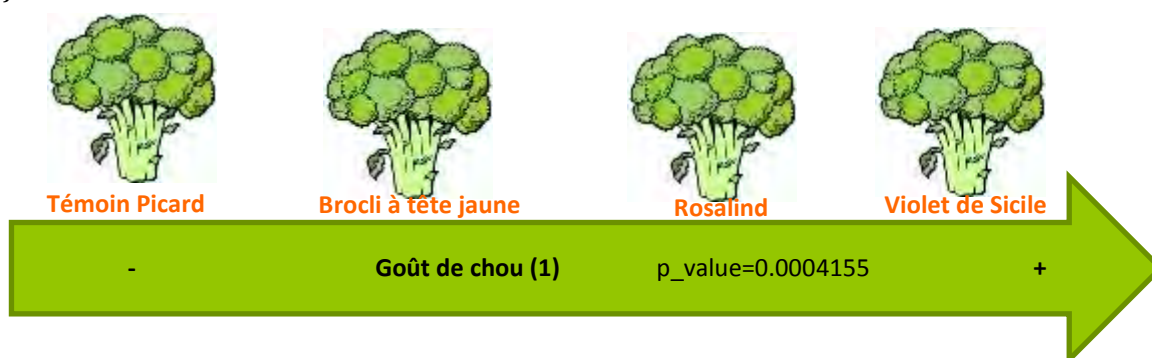
La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est une méthode de classification itérative. Le principe est de calculer la dissimilarité entre les N objets, regrouper les deux objets dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, et ainsi de suite selon un processus itératif. Ces regroupements successifs produisent un arbre binaire de classification, dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. On peut alors choisir une partition en tronquant l'arbre à un niveau donné.

La CAH a été mise en œuvre sur les épreuves de classement pour évaluer la qualité du consensus et identifier les groupes de consensus. Cela permet d'apporter des informations complémentaires aux résultats du test de Friedman si aucun consensus n'est mis en évidence sur le classement des échantillons.

1.7.3. L'ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE (HIERARCHIQUE)

Enfin la réalisation d'une AFM conduit à la comparaison des résultats des deux épreuves réalisées en 2014 sur les mêmes échantillons en 2014 par la projection en illustratif des groupes de l'une ou l'autre de l'épreuve. Pour comparer la richesse des informations obtenues par les deux méthodes une AFMH a été réalisée sur les deux groupes (profil sensoriel et Napping®).

a)



b)

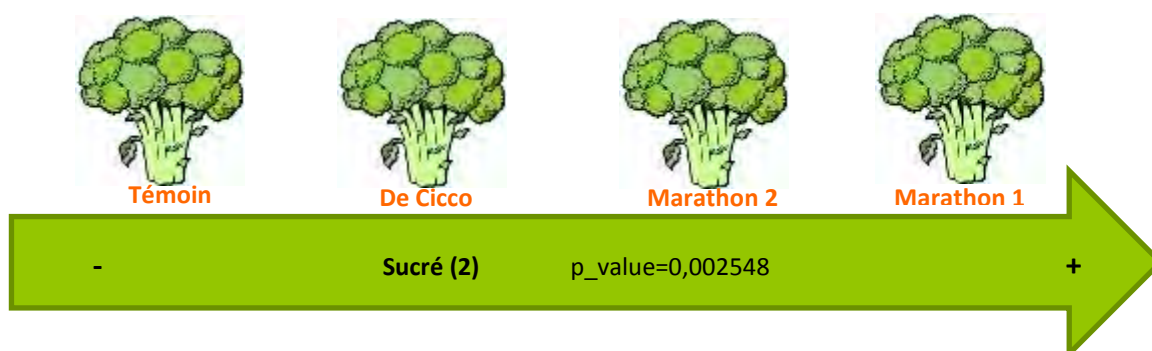


Figure 63: Résultats des épreuves de classements réalisées sur les brocolis de la récolte 2010 en session 1 (a) et 2 (b)

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. RECOLTE 2010 : TEST D'UNE EPREUVE SENSORIELLE DISCRIMINATIVE

2.1.1. RESULTATS DES DEGUSTATIONS

Les dégustations se sont déroulées en deux séances, chacune évaluant quatre variétés de brocolis. La première séance a été plus discriminante globalement que la seconde. En effet, tous les attributs ont permis de différencier significativement les variétés dans la première séance alors que seul l'attribut *sucré* s'est montré discriminant dans la deuxième séance.

(a) SESSION 1

Pour la première séance, le 'Violet de Sicile' et le 'Rosalind' sont les brocolis ayant le plus le *goût de chou* et étant les plus *sucrés* (figure 63). Le plus *fondant* est le témoin, mais la cuisson du témoin surgelé peut expliquer en grande partie ce classement, le 'Rosalind' vient en seconde position. Les tests pour les descripteurs *goût de chou*, *sucré* et *fondant* sont très significatifs (respectivement 0.006423, 0.0004155, 5,3 e-05), ce qui conforte sur le choix des descripteurs pour ce set d'échantillons. La composition de l'échantillon joue également un rôle dans cette significativité (différences évidentes entre les variétés). Les dix juges ont perçu les échantillons de la même manière. Pour l'attribut *goût de chou*, la CAH révèle un consensus au sein des dégustateurs et met en évidence deux groupes dont un réunissant cinq juges ayant réalisé exactement le même classement. Pour l'attribut *sucré* la CAH met en évidence deux groupes consensuels qui ont perçu le descripteur de deux manières différentes. Cependant quatre des dix dégustateurs ont réalisé le même classement (annexe J). Enfin pour le descripteur *fondant*, deux groupes sont mis en évidence. Il apparaît ici facile de renforcer la fiabilité du test par une répétition. Quatre dégustateurs ont réalisé exactement le même classement.

(b) SESSION 2

Concernant la deuxième séance, seul l'attribut *sucré* a permis de différencier les brocolis de façon significative, 'Marathon' n°1 puis 'Marathon' n°2 sont apparus comme étant les plus *sucrés*. La p-value est de 0.2177 pour l'attribut *goût de chou* et de 0,737 pour l'attribut *fondant*. En revanche pour le descripteur *sucré* le test est significatif (p_value=0,002548), malgré la mise en évidence de deux groupes de taille égale par la CAH, quatre dégustateurs ont réalisé exactement le même classement.

2.1.2. DISCUSSION

L'épreuve mise en œuvre présente des limites certaines, les résultats issus des différentes sessions ne peuvent être comparés. Elle a permis cependant de mettre en évidence l'importance de l'échantillonnage (choix des échantillons évalués simultanément, mode de cuisson...). En effet, la première séance a été plus discriminante globalement que la seconde. Ce manque de significativité peut s'expliquer par les faibles différences existantes entre les variétés de cette session. Le set d'échantillons comprenait deux brocolis dont l'origine et la variété était de type 'Marathon', donc ils étaient probablement très proches génétiquement. Enfin, le critère de texture fondant dépend de la cuisson des brocolis (et de leur préparation). L'échantillon témoin n'a pas suivi la même cuisson que les échantillons tests du fait qu'il était surgelé et a été perçu comme plus fondant.

Suite à ces premières séances de dégustations, les parents sélectionnés pour créer les populations sont : 'Di Cicco', 'Rosalind', 'Purple cape', pour leur forme originale (violet, à jet) et leur goût sucré. Des brocolis hybrides reconnus pour leur forme facilitant la récolte mécanique ont été choisis : 'Marathon' et 'Samson'. Les croisements réalisés suite à ces résultats sont présentés en annexe L

2.2. RECOLTE 2011 : DEFINIR LES DESRIpteURS ET EVALUER LES PREMIERS CROISEMENTS

Quatre épreuves de classement sur le descripteur *goût de chou* ont été organisées dans la même journée pour évaluer 16 échantillons dont quatre témoins. Les 16 échantillons ont été scindés en quatre groupes réunissant parents et croisements. Globalement, les tests n'ont pas été significatifs. Seule la deuxième session montre un consensus entre les dégustateurs. Cependant une génération libre de descripteurs a été encouragée lors des évaluations et a favorisé la caractérisation de quelques échantillons par des attributs sensoriels.

2.2.1. RESULTATS DES DEGUSTATIONS

(a) SESSION1

Le test de Friedman sur les rangs n'est pas significatif ($p\text{-value}=0,13$). Le panel de dégustateur n'est donc pas en consensus et ne perçoit pas les produits de la même manière. La CAH vient souligner le manque de consensus au sein du panel, deux groupes de taille égale s'opposent sur l'ordre des échantillons.

Lors de la première session, trois dégustateurs ont perçu une note de *noisette* dans les échantillons 'Di Cicco*Rosalind' n°14 et 15. Cette note n'a pas été systématiquement associée à un caractère agréable, cependant ce sont bien les croisements qui ont été préférés majoritairement (sept dégustateurs sur dix : trois dégustateurs ont préféré le croisement n°14, trois ont préféré le croisement n°13 et un dégustateur a préféré le croisement n°15).

(b) SESSION2

L'analyse de variance sur les rangs indique l'existence d'un consensus au sein du panel de dégustateurs ($p\text{-value}=0,018$). L'échantillon perçu comme ayant le *goût de chou* le plus intense est 'Di Cicco*Viola' n°3, puis 'Di Cicco', 'Di Cicco*Viola' n°1 ; les échantillons ayant le *goût de chou* le moins intense sont 'Di Cicco*Viola' n°2 et 'Viola' (figure 64). La CAH montre deux groupes d'individus de taille égale, leurs perceptions ne divergent cependant pas radicalement puisque le test de Friedman indique un consensus.

Lors de la deuxième session, les avis en termes de préférences ont été plus mitigés. Cinq des dix dégustateurs ont préféré le 'Viola', ce qui semble s'expliquer par sa *sucrosité* (la plus intense), deux panélistes ont préféré le croisement 'Di Cicco*Viola' n°1 et seulement un a apprécié respectivement le 'Di Cicco' et le croisement 'Di Cicco*Viola' n°2.



Figure 64 : Résultats de l'épreuve de classements réalisée sur les brocolis de la récolte 2011

(c) SESSION3

Les échantillons 'B12 09' sont issus du croisement d'un 'Marathon' et d'un 'Rosalind'. Le test de Friedman sur les rangs n'est pas significatif ($p\text{-value}=0,17$), les dégustateurs n'ont pas perçu le *goût de chou* de la même

manière. La CAH confirme le manque de consensus régnant au sein du panel: deux groupes distincts sont mis en évidence.

La troisième session ne confrontait pas l'intégralité des parents et descendance pour des problèmes de disponibilités. Les croisements 'B12 09a' et 'B12 09b' et le 'Marathon' ont été préférés. Les commentaires révèlent que l'individu 'B12 09c' n'a pas été apprécié de par son *goût de chou* fort associé à une saveur *acide* et peu *sucrée*.

(d) SESSION 4

Les échantillons 'B12 28' sont issus du croisement d'un 'Di Cicco' avec un 'Rosalind' et l'échantillon 'B12 01' est le fruit du croisement de deux choux fleurs violets: 'Rosalind' et 'Viola'.

Le test de Friedman sur les rangs n'est pas significatif (p-value= 0,25). Le panel n'est donc pas en consensus sur la perception du *goût de chou* pour ces cinq échantillons. La CAH montre deux groupes d'individus de taille moyenne. Pas d'individu hors norme susceptible de biaiser le consensus n'apparaît.

Dans la quatrième session, les échantillons les plus appréciés sont les 'B 12 28 a' et 'B 12 01'. Des notes d'artichaut ont été perçues par au moins trois dégustateurs dans l'échantillon 'B12 28b' dont la saveur est également perçue comme équilibrée. Le croisement 'B12 01a' a également été apprécié malgré une *amertume* en arrière-goût.

(e) REMARQUES QUALITATIVES

Une analyse des correspondances multiples est appliquée pour mettre en évidence les échantillons présentant des caractéristiques sensorielles autres que le *goût de chou* spécifique. Les descripteurs retenus par l'analyse ont été cités au moins deux fois par les dégustateurs au cours d'une séance et sont au nombre de huit : *noisette*, *fade*, *amer*, *sucré*, *haricot vert*, *acide*, *artichaut* et *souffré*.

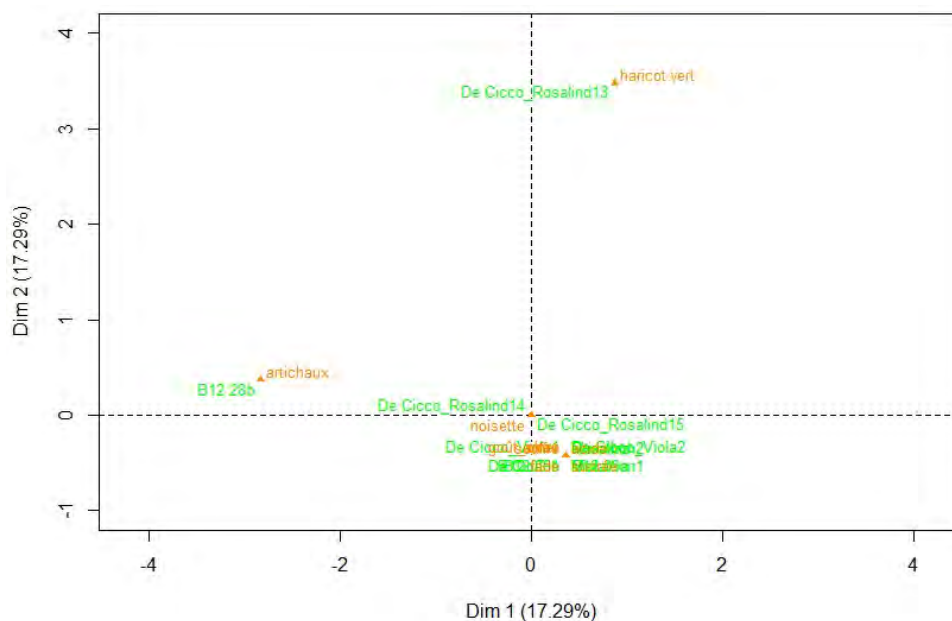


Figure 65: Résultats de l'analyse factorielle des correspondances réalisée sur les occurrences de descripteurs par échantillon

Deux échantillons ont été caractérisés par des descripteurs particuliers (figure 65). Le 'B12 28b' présente en effet des arômes d'*artichaut*. Le 'Di Cicco*Rosalind' n°13 présente quant à lui des notes de *haricot vert*. Les autres échantillons caractérisés par des descripteurs libres ne semblent pas se différencier fortement. On note cependant des arômes de *noisette* dans les 'Di Cicco*Rosalind' n°14 et n°15. Le faible nombre de descripteurs et d'occurrences rend l'analyse limitée en terme d'interprétation.

Ces résultats, bien que très peu détaillés et reposant sur un consensus fragile, facilitent le choix des croisements à conserver dans le programme de sélection. Les plantes repérées sont : **'B12 28b'** aux notes d'**artichaut**, le **'B12 01'** possédant l'arôme de **chou** le moins intense, le **'Di Cicco*Viola' n°3**, encore une fois perçu comme ayant un goût de **chou** prononcé dans l'épreuve de classement mais **sucré** et **sans amertume**.

2.2.2. DISCUSSION SUR LES RESULTATS

(a) LIMITE DE L'EPREUVE DE CLASSEMENT

Le nombre de dégustateurs requis pour une épreuve de classement est au minimum 12 individus pour favoriser la mise en évidence d'un vrai consensus. La difficulté de réunir ce nombre est ici pointée, cependant cela n'empêche pas la significativité du test dans la session 2. Ceci indique que les différences entre les cinq échantillons concernés sont facilement et communément discernables. Un maximum de cinq produits à classer est recommandé par la norme, nombre qui varie selon l'intensité des caractéristiques évaluées. Dans le cas des brassicacées (notes *souffrées*, *amères*), il s'avère que le classement de quatre échantillons simultanément est plus aisé et offre de meilleurs résultats. De plus, l'enchaînement des sessions a entraîné une certaine saturation chez les dégustateurs, ce qui a pu impacter sur les résultats.

Le grand nombre d'échantillons à évaluer a conduit à la composition de quatre groupes sur la base des liens généalogiques. Ceci a permis aux sélectionneurs/dégustateurs d'évaluer grossièrement la transmission du goût du parent au descendant. De plus, il n'y avait pas de témoins communs aux quatre sessions ce qui empêche une comparaison de l'intégralité des échantillons. Cette vision fractionnée empêche d'avoir une compréhension globale des qualités de l'ensemble de l'espace produit (tous les parents et croisements). Un test rendant possible l'évaluation simultanée de l'intégralité des individus y compris les parents apparaît nécessaire pour compléter cette vision fragmentée. Dans l'objectif de sélectionner les individus d'intérêt, les commentaires qualitatifs ont complétés les résultats des épreuves de classement pour le choix.

(b) AMELIORATIONS PROPOSEES

Finalement, cette épreuve a lancé la discussion pour des améliorations du protocole. Les améliorations proposées les plus importantes concernent la préparation des échantillons. Des disparités au niveau du goût et de l'apparence ont été relevées entre la tige et la fleurette mais également entre le centre et les périphéries d'une fleurette.

Lors de la séance de dégustation, les groupes d'échantillons ont favorisé la comparaison des qualités au sein d'une même « famille ». Des comparaisons entre environnements de culture pour évaluer l'effet de l'interaction Génotype*Environnement seraient intéressantes pour les futures dégustations. Le choix de futur test sensoriel devra se faire sur le nombre d'échantillons pouvant être évalué au sein d'une même session afin de comparer entre croisements, mais également entre environnements de culture.

Enfin, le choix du descripteur *goût de chou* a été discuté. Bien que comparé à une référence, celui-ci n'a pas fait l'unanimité. Certains dégustateurs ont ressenti le besoin de définir d'autres caractéristiques telles que l'*amertume* ou la note *fruitée*. L'épreuve de tri libre permettrait de dépasser cette problématique du choix des descripteurs en laissant la liberté au dégustateur de caractériser les produits avec ses propres descripteurs.

2.3. RECOLTE 2012 : CREATION DES POPULATIONS SOURCES

2.3.1. RESULTATS DES DEGUSTATIONS

(a) PERFORMANCE DU PANEL

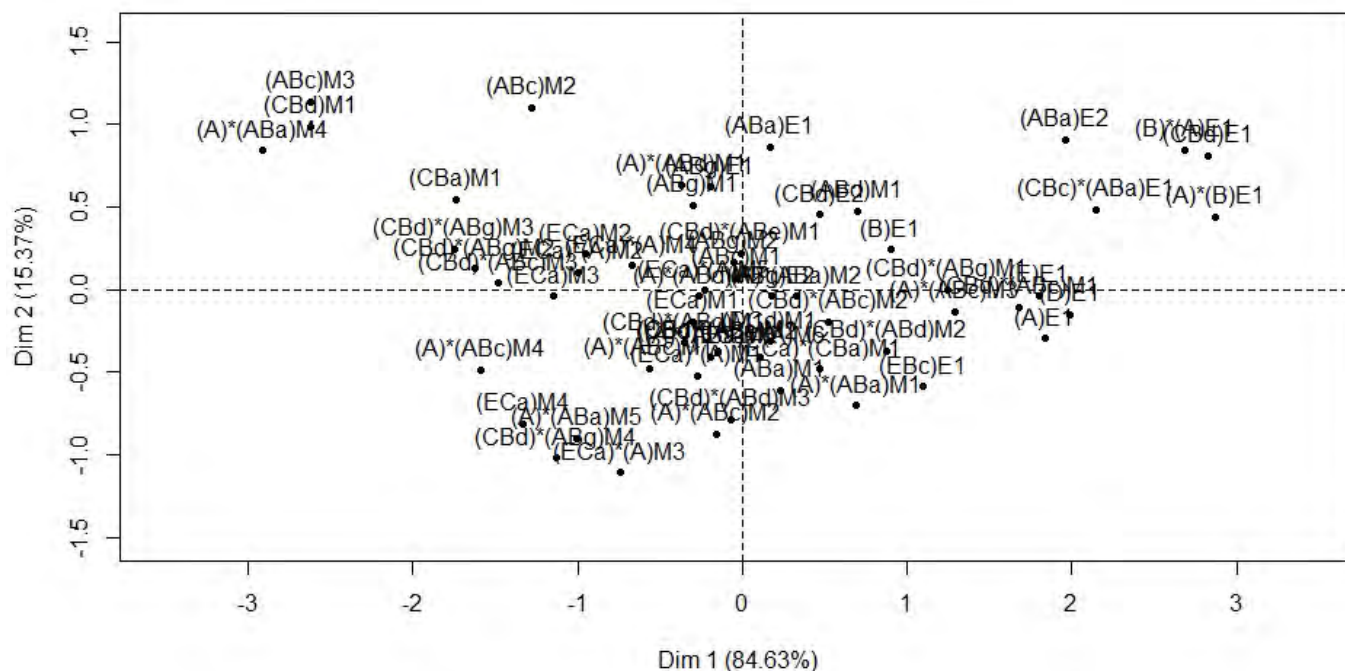
Les données issues des dix séances d'évaluation ont été rassemblées et analysées à l'aide d'une analyse de variance pour mesurer les performances des panélistes ($Y = \mu + \text{produit} + \varepsilon$), pour mesurer le pouvoir discriminant du jury et l'accord entre les juges ($Y = \mu + \text{juge} + \text{produit} + \text{répétition} + \text{Produit} \times \text{juge} + \text{Produit} \times \text{répétition} + \text{juge} \times \text{répétition} + \varepsilon$). Chaque descripteur a été analysé pour sa significativité dans la différenciation des produits. Le test de Fisher indique une différence significative entre les échantillons avec $p < 0,05$. Le panel a été discriminant car l'effet « produit » est significatif pour les deux descripteurs (tableau 35). En revanche, comme couramment en profil sensoriel, l'effet « juge » présente un effet significatif. De plus, la significativité de l'interaction « produit*juge » indique une mauvaise reproductibilité du panel malgré une bonne répétabilité (interaction « produit*répétition » non significative).

Tableau 35: Performance du panel, profil sensoriel sur 59 échantillons pour les descripteurs "amer" et "sucré"

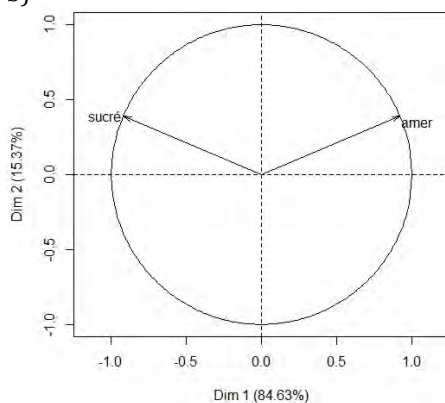
	Produit	Panélist	Répet	Produit.Panélist	Produit.Répet	Panélist.Répet	median
amer	2.162e-25	3.292e-22	0.3402	1.001e-05	0.6694	0.282	0.126
sucré	4.669e-11	2.31e-30	0.1657	3.497e-06	0.146	0.3095	0.07295

(b) DESCRIPTION DES PRODUITS SUR LES DESCRIPTEURS AMER ET SUCRE

a)



b)



c)

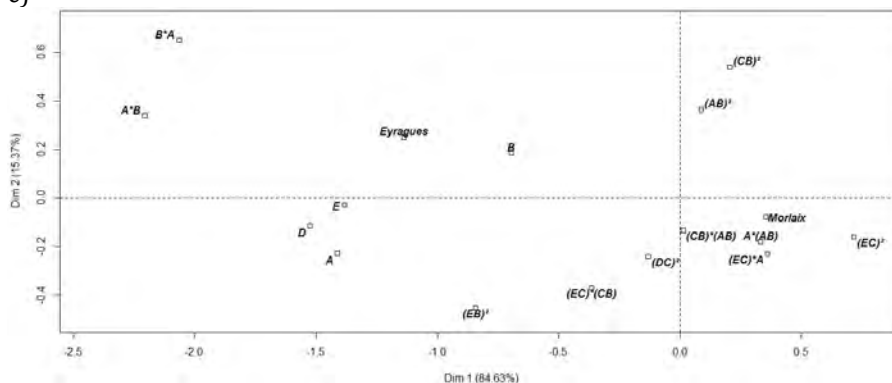


Figure 66: AFM sur les données de profil (notes sur amer et sucré : a) carte des individus et b) des variables et c) projection des variables sites et génotype en groupe supplémentaire (code_nom : A= Marathon, B=Rosalind, C=Samson, D=Purple Cape, E= Di Cicco)

Le premier plan de l'AFM explique 100% de la variabilité ce qui est normal au vu du nombre de variable (figure 66).

Les échantillons de brocolis sont répartis sur l'ensemble de l'espace bidimensionnel avec une prédominance d'échantillons dans le cadran du haut. La première dimension oppose des échantillons *amers* (à gauche) à des échantillons *sucrés* (à droite). La deuxième dimension est un gradient d'intensité. En bas du cadran les échantillons présentent de faibles notes pour les deux descripteurs, en haut les échantillons sont caractérisés par des notes plus élevées.

La projection des variables supplémentaires génotype et site de culture apporte des informations complémentaires pour interpréter les deux axes. La première dimension oppose les brocolis d'Eyragues (à gauche) qualifiés d'*amer* aux brocolis de Morlaix (à droite) qualifiés de *doux*. La deuxième dimension peut s'expliquer par le facteur génétique. Les échantillons présentant une saveur plus intense sont : 'Rosalind', 'Marathon*Rosalind', 'Rosalind*Marathon', 'B12 09' et 'B12 11'; cependant une corrélation génotype*environnement a pu se produire pour les échantillons 'Rosalind', 'Marathon*Rosalind' et 'Rosalind*Marathon' car tous proviennent d'Eyragues.

(c) ANALYSE DE VARIANCE

Bien que les performances du jury ne soient pas optimales pour tirer des conclusions de l'analyse par profil sensoriel des 59 échantillons de brocolis et que les proportions d'échantillons provenant des deux environnements soient déséquilibrées (14 à Eyragues contre 45 à Morlaix), les résultats précédents semblent montrer un fort impact du facteur environnement sur les descripteurs *amer* et *sucré*. Pour vérifier cette hypothèse une analyse de variance à un facteur a été réalisée sur les descripteurs *amer* et *sucré*.

L'analyse de variance présente un effet très significatif du facteur environnement sur les deux descripteurs (tableau 36). Les brocolis provenant du site Eyragues sont significativement plus *amers* et moins *sucrés* que ceux provenant de Morlaix.

Tableau 36: Résultats de l'ANOVA à un facteur sur les variables "amer" et "sucré"

	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Ficher	P_value	Moyenne Eyragues	Moyenne Morlaix
Variable « amer »							
Environnement	1	43.01	43.01	58.78	2.41 e-10***	3.85	1.01
Résiduelle	57	41.70	0.73				
Variable « sucré »							
Environnement	1	4.416	4.416	14.95	0.000286**	0.66	1.31
Résiduelle	57	16.84	0.295				

(a)



Lors des dix séances d'évaluations, les dégustateurs ont été encouragés à noter des descripteurs de façon libre sur les feuilles d'évaluation des échantillons. Le panel étant composé en moyenne de 5 juges, seuls les mots cités plus de 3 fois lors d'une séance ont été retenus pour l'analyse factorielle des correspondances.

L'AFC explique 53% de la variabilité observée (figure 67, a). Elle présente une différenciation flagrante des échantillons sur les deux premiers plans. La superposition sur le graphe des génotypes et des descripteurs associés met en évidence trois caractéristiques sensorielles remarquables. L'arôme de *noisette* a été associé aux échantillons issus des croisements 'Samson*Rosalind' et 'DiCicco*Samson*Marathon'. Des arômes de *foins* ont été trouvés pour les échantillons issus du croisement 'Marathon*Marathon*Rosalind'. La saveur *acide* a caractérisé les échantillons 'Marathon*Rosalind' et 'Rosalind*Marathon', également qualifié d'*amer*. Ces croisements sont tous situés à droite du cadran.

La superposition des colonnes supplémentaires environnements (figure 67, b) permet d'étoffer l'analyse de variance réalisée auparavant : les brocolis provenant d'Eyrague sont caractérisés par un goût *acide* prononcé. Ceci peut être dû aux attaques de champignon subies par ces échantillons lors de l'année de culture. Cette acidité semble masquer tout autre arôme ou a pu être également confondue avec le descripteur *amer*, car tous les autres descripteurs sont liés à des échantillons provenant de Morlaix.

2.3.2. DISCUSSION SUR LES RESULTATS

L'épreuve du profil sensoriel reste lourde à mettre en place car elle requiert un grand nombre de séances d'entraînement pour homogénéiser la façon de noter des dégustateurs. Cependant ces entraînements ont permis d'évaluer un grand nombre d'échantillons et ainsi de développer un certain « savoir évaluer ». Cette compétence se révèle par la capacité des juges à discerner des arômes au sein d'un set d'échantillons relativement proches sensoriellement.

Un autre problème rencontré tous les ans est un problème de récolte. Le fait de cultiver en plein champ les mêmes échantillons dans deux sites aux conditions pédoclimatiques très différentes rend la logistique de récolte et de préparation des échantillons complexe voire impossible (certains brocolis n'arrivant pas à maturité sur un site). La mise en place d'un programme de sélection multisite devient alors compliquée.

Une solution qui semble appropriée pour l'intégration de critères sensoriels dans un processus de sélection décentralisée réside dans la dégustation d'un grand nombre de références, échantillons cultivés à cet effet, et la réalisation d'un brainstorming sur les échantillons à évaluer pour la sélection. Cette proposition pourrait être une solution locale pour sélectionner des légumes dans un endroit donné pour des caractéristiques sensorielles remarquables.

2.4. RECOLTE 2013 : VALIDATION DE LA STRATEGIE DE SELECTION

Afin d'évaluer l'efficacité de la stratégie de sélection de la manière la plus fiable qui soit, dix échantillons prometteurs de la 3^e génération ont été évalués par profil sensoriel par un panel externe. Cette prestation représentant un coût élevé, n'est pas adaptée au contexte de la recherche participative. Pour trouver une méthode alternative réalisable en recherche décentralisée, une épreuve de Napping® a été réalisée par le panel interne de 2013 sur sept des dix échantillons évalués en externe. La comparaison des résultats entre les deux épreuves devrait permettre de trancher sur la pertinence de l'épreuve de Napping® dans un contexte de sélection participative décentralisée.

2.4.1. PROFIL SENSORIEL EN EXTERNE

(a) PERFORMANCES DU PANEL

Seul cinq des neuf descripteurs ont permis de discriminer significativement les dix échantillons (tableau 37). Le panel présente une bonne répétabilité (interaction produit*panéliste) sauf pour quatre descripteurs : l'arôme de *verdure*, de *champignon*, le goût *piquant* et l'*intensité globale de l'arôme*. Il est reproductible d'une séance à l'autre (interaction panéliste*session) pour sept des neuf descripteurs. Ces performances amènent à penser que les échantillons diffèrent essentiellement sur ces cinq descripteurs. L'analyse de variance peut donc être réalisée pour décrire la carte d'identité sensorielle des dix échantillons de brocolis.

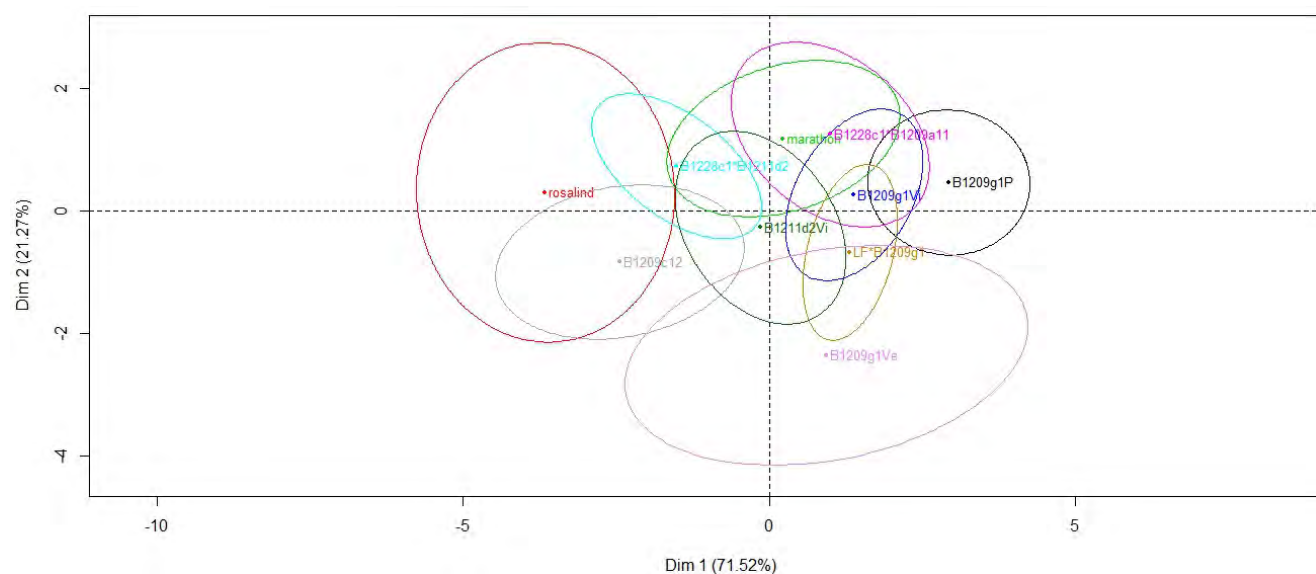
Tableau 37: Performance du panel externe

	produit	panéliste	session	produit:panéliste	panéliste:session	produit:session	median
sucré	1.06e-05	2.24e-14	0.1099	0.1218	0.0976	0.01303	0.05532
amer	0.01037	2.965e-20	0.2941	0.2764	0.01792	0.9021	0.1472
beurre	0.01251	1.824e-27	0.274	0.2293	0.8716	0.1344	0.1818
verdure	0.04105	1.272e-10	0.07013	0.01992	0.6767	0.3911	0.05559
champignon	0.06883	3.442e-20	0.3036	0.001709	0.3335	0.7301	0.1862
pomme.de.terre	0.3148	1.949e-15	0.7117	0.2431	0.1009	0.6661	0.2789
intensité.globale.arôme	0.6026	9.498e-14	0.341	0.04556	0.07037	0.7517	0.2057
piquant	0.6043	6.302e-23	0.8124	0.0006558	0.02611	0.5271	0.2766
noisette	0.627	8.566e-12	0.01824	0.311	0.9126	0.6704	0.469

Tableau 38: P-value pour le test Hotelling T2

	B1209g1P	rosalind	marathon	B1209g1Vi	B1228c1*B1211d2	B1228c1*B1209a11	B1209c12	LF*B1209g1	B1211d2Vi	B1209g1Ve
B1209g1P	1	6.561e-05	0.02406	0.1635	0.0002346	0.1189	0.0003231	0.05675	0.004194	0.02895
rosalind	6.561e-05	1	0.02138	0.0008026	0.1708	0.002747	0.4031	0.0003477	0.02104	0.008791
marathon	0.02406	0.02138	1	0.1738	0.2233	0.7795	0.02326	0.02862	0.2684	0.004915
B1209g1Vi	0.1635	0.0008026	0.1738	1	0.009464	0.5127	0.006491	0.5469	0.1732	0.06012
B1228c1*B1211d2	0.0002346	0.1708	0.2233	0.009464	1	0.01307	0.0861	0.003235	0.2876	0.007782
B1228c1*B1209a11	0.1189	0.002747	0.7795	0.5127	0.01307	1	0.00295	0.1295	0.07521	0.01074
B1209c12	0.0003231	0.4031	0.02326	0.006491	0.0861	0.00295	1	0.003866	0.1125	0.03663
LF*B1209g1	0.05675	0.0003477	0.02862	0.5469	0.003235	0.1295	0.003866	1	0.1405	0.29
B1211d2Vi	0.004194	0.02104	0.2684	0.1732	0.2876	0.07521	0.1125	0.1405	1	0.1283
B1209g1Ve	0.02895	0.008791	0.004915	0.06012	0.007782	0.01074	0.03663	0.29	0.1283	1

a)



b)

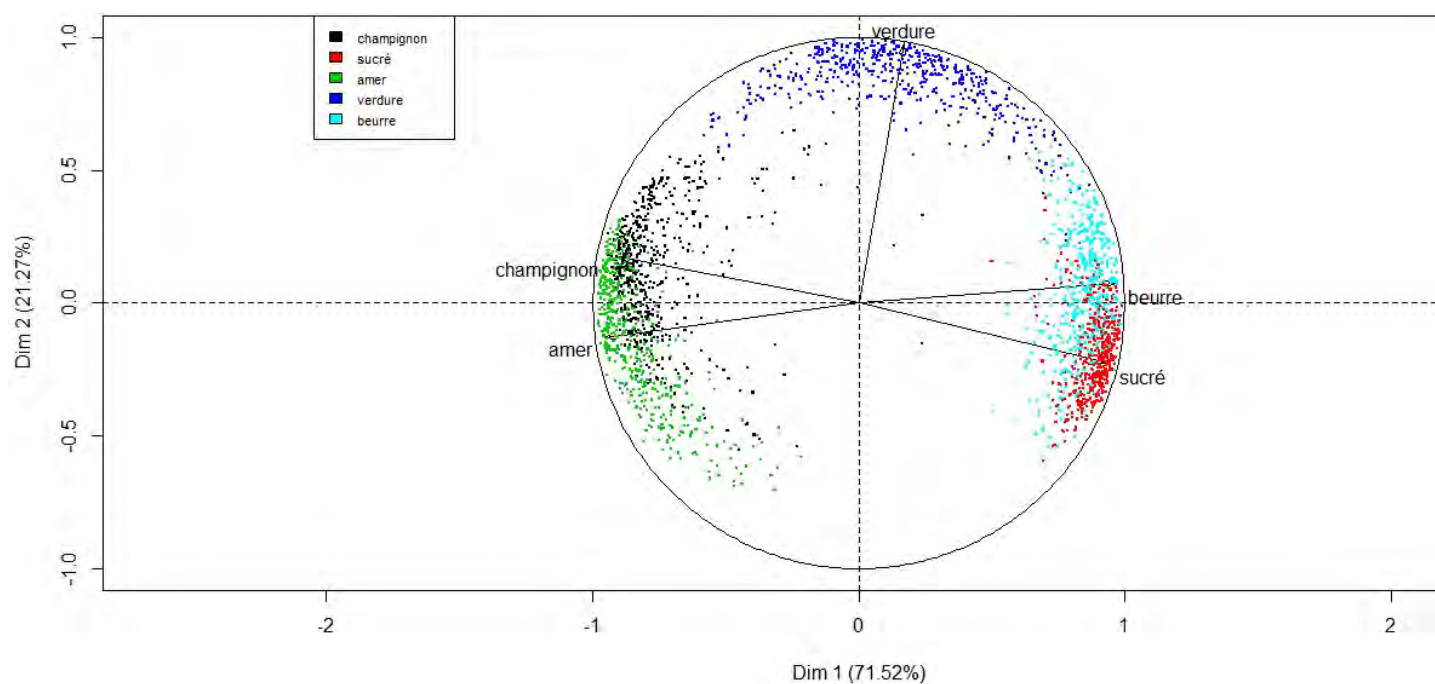


Figure 68: Analyse en Composante Principale des résultats du profil sensoriel pour les 10 échantillons de brocolis de la récolte 2013 : a) carte des individus et b) cercle de corrélation

(b) DESCRIPTION DES PRODUITS

L'analyse en composante principale sur les cinq descripteurs discriminants explique 93% de la variabilité observée (figure 68).

La première dimension porte quatre des cinq descripteurs discriminants. La deuxième dimension porte le descripteur *verdure*, les brocolis en bas du cadran présentent de faibles arômes de *verdure* tandis que ceux situés en haut présentent de forts arômes de *verdure*.

Dans cette étude, il est plus pratique de décrire les bissectrices plutôt que les axes. La première bissectrice oppose les brocolis 'B1209*' aux autres brocolis. Le graphique suggère aussi la particularité sensorielle du 'Rosalind' et il apparaît éloigné des quatre autres. Les brocolis en dessous de la première bissectrice sont décrits par des arômes de *beurre* et une saveur *sucrée*, ce sont exclusivement des brocolis 'B1209g1', c'est-à-dire tous issus d'une autofécondation ou d'un croisement avec 'B12 09g' n°1 : 'B12 09g' n°1 à pois ('B12 09g1P'), 'LF*B12 09g' n°1 ('LF*B12 09g1'), 'B12 09g' n°1 vert ('B12 09g1Ve'), 'B12 09g' n°1 violet ('B12 09g1Vi'). Seuls deux échantillons issus de 'B1209' ne diffèrent pas significativement des témoins. Le 'B12 09g1Vi' ne présente pas de différences significatives avec le 'Marathon' et le 'B12 09c12' est également proche de 'Rosalind' sur les descripteurs *amer* et *champignon* au-dessus de la première bissectrice.

La deuxième bissectrice oppose les témoins et les échantillons qui leur sont proches sensoriellement aux échantillons différant significativement des parents. Les brocolis situés en dessous sont caractérisés par des arômes de *champignon* et une saveur *amère*, ce sont les échantillons 'Rosalind', 'B12 09c12' et 'B12 28c1*B12 11d2'. Ce dernier échantillon provient du croisement d'un 'Samson*Rosalind' et d'un 'Di Cicco*Rosalind', le goût *amer* prononcé du 'Rosalind' mis en évidence les années précédentes reste donc présent dans ces croisements. Au-dessus de la deuxième bissectrice, les échantillons sont caractérisés par de forts arômes de *verdure* : 'Marathon', 'B1228c1*B1209a11', 'B1209g1Vi' et 'B1209g1P'.

*Pour conclure les témoins (parents de six des huit échantillons) sont bien différenciés sur le plan sensoriel. Le 'Marathon' présente de fort arôme de **verdure** tandis que le 'Rosalind' est caractérisé par des arômes de **champignons** et une saveur **amère**. Sur les six échantillons issus de croisements et d'autofécondation de ces parents, quatre d'entre eux se différencient significativement et présentent de **nouveaux arômes**. Leur proximité sensorielle indique une potentielle fixation de la qualité sensorielle en troisième génération.*

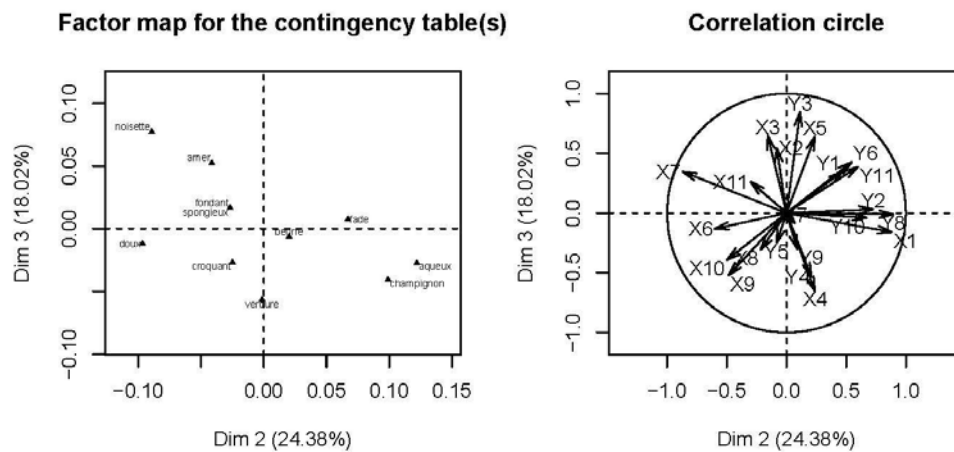
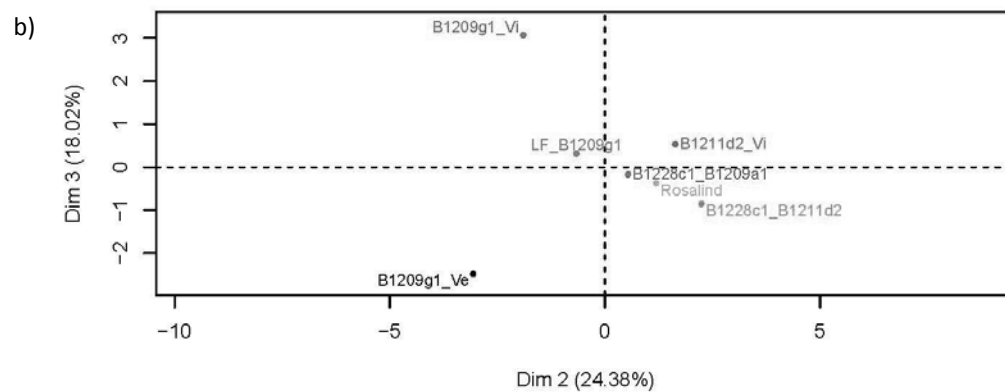
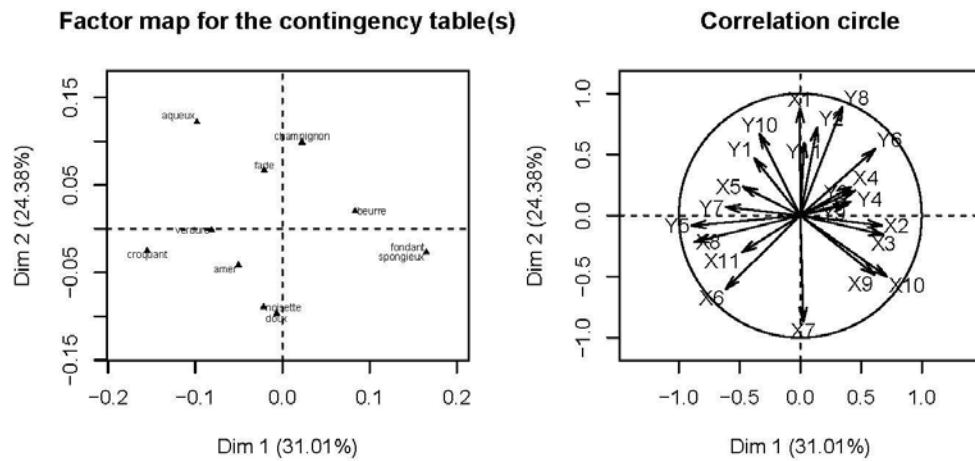
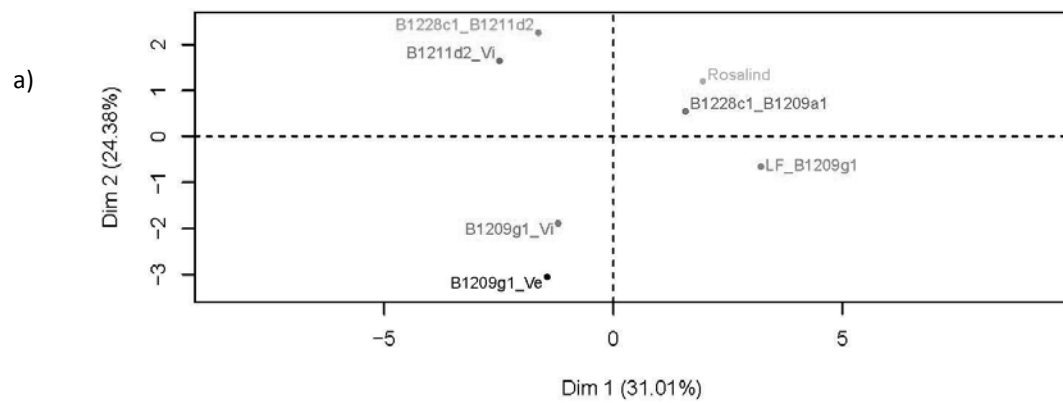


Figure 69: AFM sur les données de Napping® a) premier plan factoriel, b) deuxième plan factoriel

2.4.2. NAPPING® AVEC LE PANEL INTERNE

Pour trouver une méthode d'analyse sensorielle adaptée à la sélection décentralisée, une épreuve de Napping® a été réalisée avec le panel interne de la station SEFRA sur huit des dix échantillons évalués par profil sensoriel.

(a) DESCRIPTION DES PRODUITS

Le premier plan de l'AFM explique environ 55% de l'inertie total du nuage de points (figure 69). La 3^e dimension apporte 18% d'inertie supplémentaire et sera donc étudiée. Seuls cinq descripteurs utilisés par le panel interne sont bien corrélés et représentés dans les trois premières dimensions de l'AFM (tableau 39) : *spongieux*, *fondant*, *verdure*, *croquant* et *doux*. Trois de ces cinq descripteurs sont liés à la texture et apparaissent sur la première dimension.

Tableau 39: Description des dimensions de l'AFM sur les données de Napping® réalisé avec le panel interne

Description de la dimension 1			Description de la dimension 2			Description de la dimension 3		
Variables quantitatives			Variables quantitatives			Variables quantitatives		
	corrélation	p.value		corrélation	p.value		corrélation	p.value
spongieux	0.802	0.030	Y8	0.893	0.007	Y3	0.846	0.016
fondant	0.802	0.030	X1	0.881	0.007			
verdure	-0.763	0.045	doux	-0.852	0.015			
X8	-0.872	0.010	X7	-0.870	0.011			
Y5	-0.895	0.006						
croquant	-0.959	0.0006						

(i) ETUDE DU PREMIER PLAN FACTORIEL

Les descripteurs sont le mieux représentés sur la première dimension ($\cos^2=0.38$), seul le descripteur *doux* est bien représenté sur la deuxième dimension. Les individus sont disposés de part et d'autre des deux bissectrices. La première bissectrice oppose les échantillons 'B1228c1*B1211d2' et 'B1211d2Vi' à tous les autres échantillons. Ces deux brocolis sont caractérisés par les descripteurs *verdure* et *croquant*. En dessous de la première bissectrice, deux groupes sont distinguables. Le premier groupe, composé de 'Rosalind', 'B1228c1*B1209a1' et 'LF*B1209g1' est caractérisé par des textures *spongieuses* et *fondantes*. Le deuxième groupe composé de 'B1209g1Vi' et 'B1209g1Ve' est caractérisé par sa *douceur*. La deuxième bissectrice oppose 'B1209g1Vi' et 'B1209g1Ve' par leur *douceur* à tous les autres brocolis.

La première dimension est un axe de texture qui oppose des brocolis *croquants* (à droite) à des brocolis *fondants* et *spongieux* (à gauche). La deuxième dimension est un axe de saveur qui oppose les échantillons *doux* (en bas) aux échantillons qui présentent de faibles notes *sucrées*.

(ii) ETUDE DU DEUXIEME PLAN FACTORIEL

La troisième dimension oppose les brocolis 'B1209g1Vi' et 'B1209g1Ve'. C'est la deuxième dimension du juge 3 qui soutient la troisième dimension de la représentation commune. Seul ce juge a perçu une différence entre ces deux échantillons. La construction de cet axe ne fait donc pas l'objet d'un consensus, l'analyse de la troisième dimension présente donc peu d'intérêt.

(b) DESCRIPTION DES JUGES

La représentation des dimensions de chaque nappe montre une perception similaire des produits par les juges. Les coordonnées X et Y ne correspondent pas d'une nappe à l'autre bien que certaines nappes présentent des profils très similaires. Les juges J8, J6 et J11 sont bien corrélés avec les dimensions 1 et 2 de l'AFM. Certains

juges présentent des profils complètement différents : les premières dimensions de J1 et J7 sont corrélées respectivement positivement et négativement avec la deuxième dimension de l'AFM.

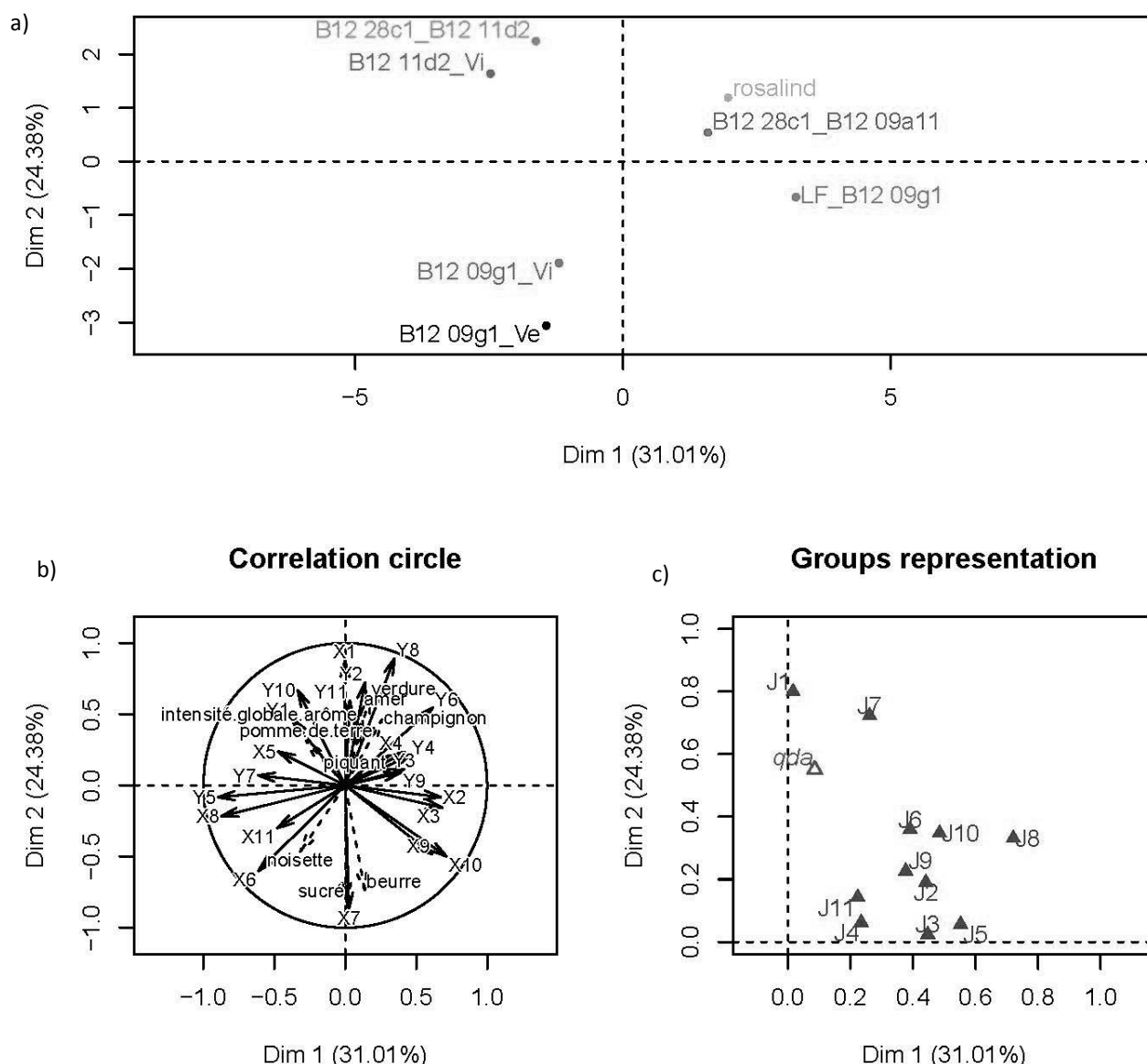


Figure 70: 1er plan de l'AFM sur les données de Napping, brocoli récolte 2013 : a) représentation des échantillons, b) cercle de corrélations des variables, c)représentation des groupes.

La projection en illustratif des descripteurs utilisés par le panel externe sur la carte sensorielle et issus du Napping® permet d'interpréter (de façon fiable) les axes de l'AFM (figure 70). La plupart des descripteurs utilisés par le panel externe sont organisés selon la deuxième dimension. Ils différencient les échantillons *doux* aux arômes de *beurre* (en bas) à des échantillons pas *sucré* aux arômes de *champignon*, de *verdure* et à la saveur *amère*. Les consignes données au panel externe étaient de se concentrer sur les arômes et saveurs et de mettre de côté les caractéristiques de texture. En revanche, les consignes du Napping® sont d'évaluer de façon globale les produits (c'est à dire textures, saveurs et arômes). Ainsi la première dimension du Napping® semble bien traduire la dimension texturale non prise compte par le panel externe. La représentation des groupes appuie cette corrélation des données du profil externe avec la deuxième dimension et associe les juges pour lesquelles la saveur a été un des principaux critères de différenciation (J1 et J7). Les juges ayant plus différencié les échantillons sur la texture sont J8 et J5. Une majorité des membres du panel interne ont d'abord différencié les échantillons sur la texture.

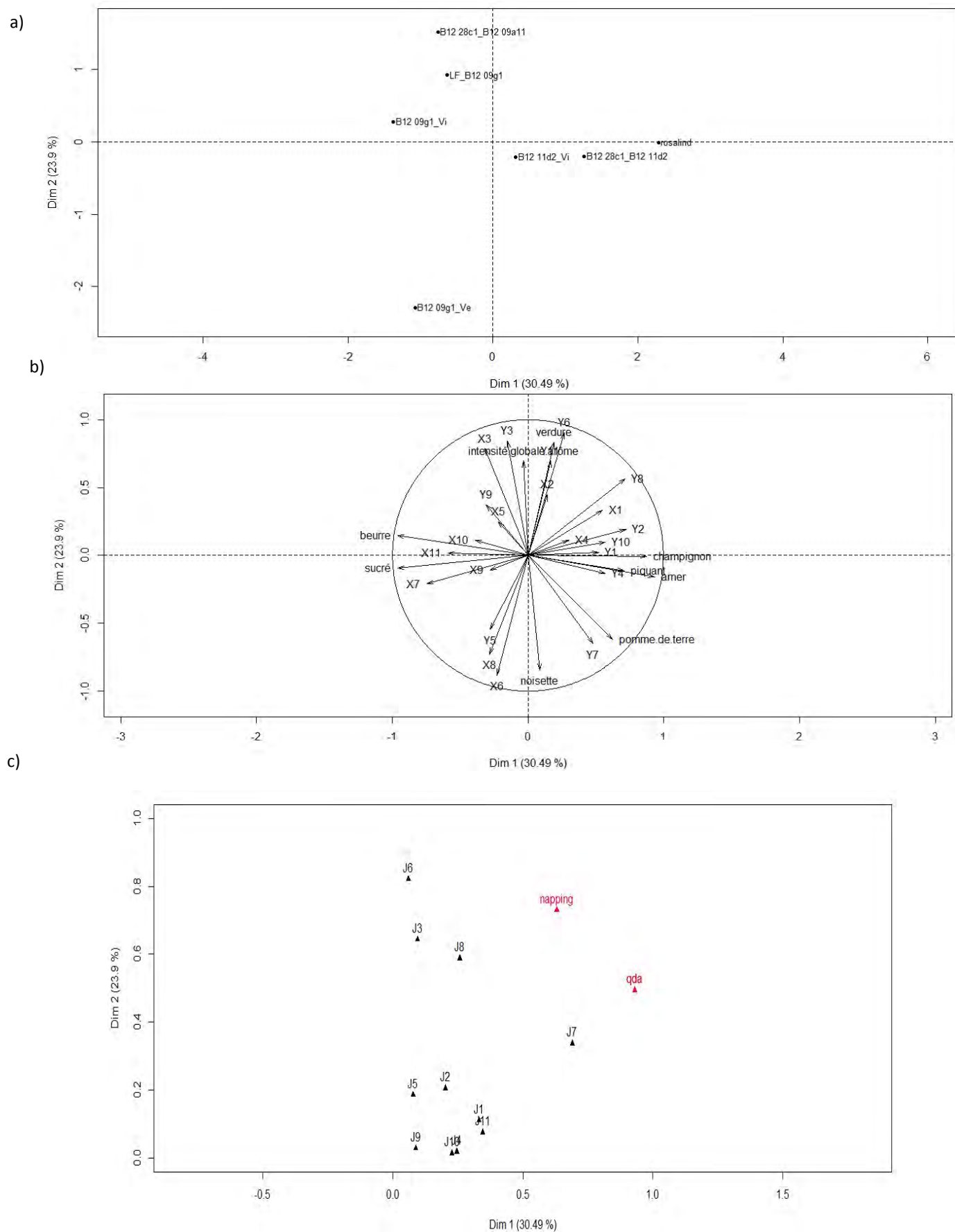


Figure 71: 1er plan AFMH sur les données de Napping® et QDA: a) carte des individus, b) carte des variables et c) représentation des groupes

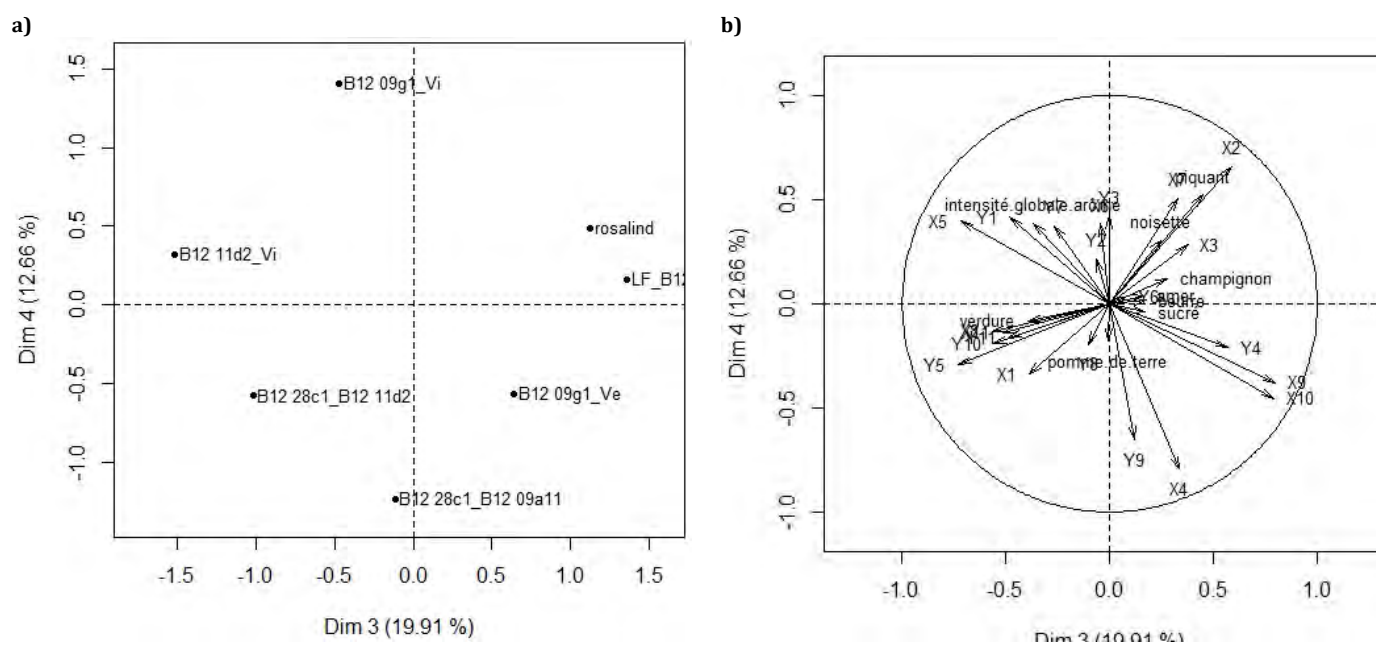


Figure 72: 2ème plan AFMH sur les données de Napping® et QDA: a) carte des individus, b) carte des variables

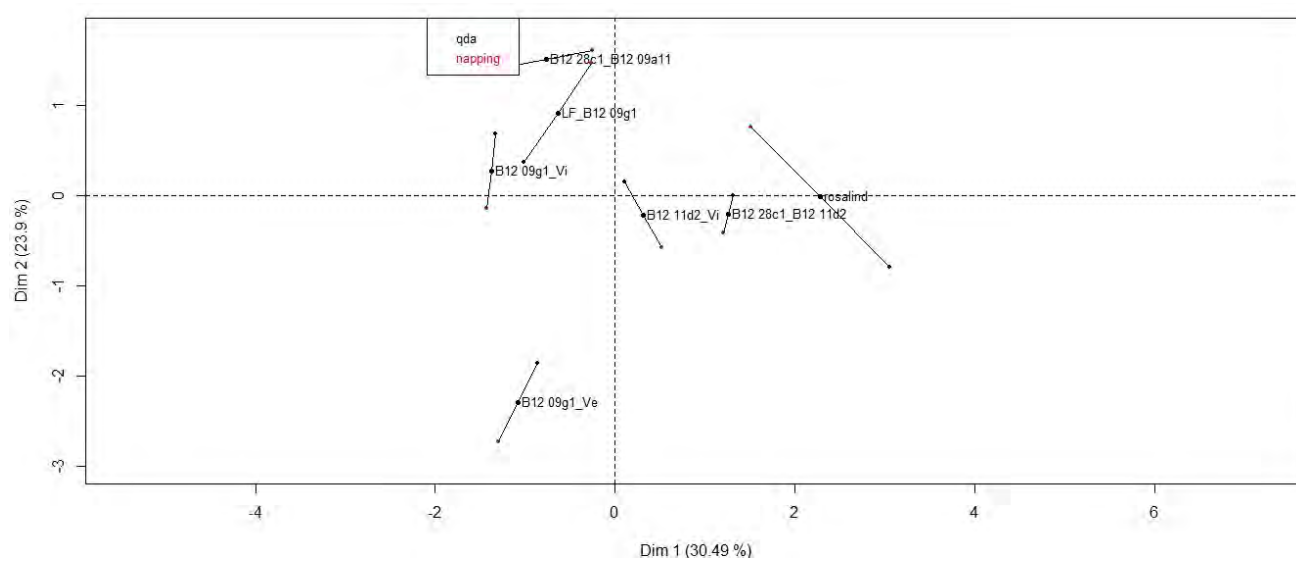


Figure 73: Représentation des nuages partiels de l'AFMH réalisée sur les groupes "qda" et "Napping®"

2.4.3. ETUDE COMPARATIVE DU NAPPING® ET DE L'APPROCHE QDA

Afin de comparer les deux types de recueil de données et d'évaluer la pertinence d'une épreuve de Napping®, une AFMH a été réalisée sur les groupes de variables provenant de l'épreuve QDA et de l'épreuve Napping® en groupes actifs. Les principaux axes communs entre les deux méthodes sont ainsi mis en évidence. Les deux premières dimensions de l'AFMH expliquent 54% de la variabilité (figure 71).

(a) VOCABULAIRE UTILISE

Tableau 40: liste des descripteurs utilisés lors des deux séances d'évaluations

Descripteurs_QDA	Mots_Napping®
Sucré	Doux
Amer	Amer
Beurre	Beurre
Verdure	Verdure
Noisette	Noisette
Champignon	Champignon
Pomme de terre	Aqueux
Piquant	Gout de choux
Intensité globale	Fade
	Fondant
	Spongieux
	croquant

La comparaison du vocabulaire utilisé montre six descripteurs en commun, les mêmes générés en 2013 lors de la réalisation du profil sensoriel en interne (tableau 40). Le vocabulaire employé par le panel interne présente une dimension texture. En effet, il a été demandé au panel externe de se concentrer sur les caractéristiques d'arômes et de saveurs, le nombre d'échantillons assez élevé limitant le nombre de descripteurs et les caractéristiques de textures étant très dépendantes de la cuisson. Pour la réalisation du Napping®, il a été demandé aux juges d'évaluer la qualité globale. La réalisation d'un Napping® par sensation (texture, saveur, arôme) étant plus long à réaliser et demandant un effort de distinction des juges qui risquait de biaiser la spontanéité requise dans l'épreuve de Napping®. En effet, (Perrin, 2008) montre que le protocole de Napping® global est plus structuré et montre donc un plus grand consensus au sein des juges que l'évaluation successive par sensation.

L'utilisation des mots dans le Napping® révèle une première dimension liée à la texture et une deuxième dimension liée à la saveur.

(b) INTERPRETATION DE LA CARTE FACTORIELLE DES PRODUITS

(i) ETUDE DU PREMIER PLAN FACTORIEL

La première dimension oppose des descripteurs plutôt négatifs (*champignon*, *piquant* et *amer*) à des descripteurs plutôt positifs (*beurre* et *sucré*). Les échantillons 'Rosalind', 'B12 11d2' et 'B12 28c1*B12 11d2' présentent dans les deux cas une proximité sensorielle et sont caractérisés par une saveur *amère*, un goût *piquant* et des arômes de *champignon* et s'oppose aux deux échantillons 'B12 09 g1' (Vi et Ve). Le deuxième axe est dû au brocoli 'B12 09g1 Ve' qui présente la particularité aromatique *noisette*, caractéristique mise en évidence lors des deux épreuves. Il s'oppose sur la deuxième dimension à tous les autres échantillons.

D'après la représentation des nuages partiels, le Napping® insiste plus sur l'opposition entre les brocolis aux saveurs de *noisette* et les brocolis aux arômes *globaux intenses* et de *verdure*. La représentation des groupes montre que les données du QDA sont plus corrélées à l'axe 1 et que les données de Napping® contribuent plus

à la construction de la deuxième dimension. Ceci peut s'expliquer d'une part par la dimension de texture prise en compte dans le Napping® et non dans le QDA, d'autre part à un plus grand poids accordé par les juges du Napping® à l'opposition entre *noisette* et *verdure*. Ces dernières caractéristiques sont donc les plus marquantes pour le panel interne.

(ii) ETUDE DU DEUXIEME PLAN FACTORIEL

Les descripteurs sont peu corrélés avec le deuxième plan factoriel. Ce sont essentiellement les groupes du Napping® qui définissent ces dimensions. Les juges 5, 9 et 10 ont différencié les échantillons 'B12 11d2' et 'B12 09g1 Vi' aux restes des échantillons. Cette 3^e dimension semble associée à des descripteurs de saveurs (*intensité de l'arôme globale*). Aucun descripteur issu du profil sensoriel ne semble justifier l'opposition sur la deuxième dimension entre les brocolis 'B12 11d2 Vi' et les brocolis 'Rosalind' et 'LF*B12 09g1'. Ce sont donc surement des critères de texture. L'AFM sur les données Napping® fait en effet ressortir une opposition entre les brocolis 'B12 11d2 Vi' qualifiés de *aqueux* aux brocolis 'Rosalind' et 'LF*B12 09g1' qualifiés de *spongieux*.

2.5. DISCUSSION

2.5.1. LES PRODUITS

Lors de chaque séance de dégustation le chou-fleur 'Rosalind' a été marqué par des caractéristiques sensorielles spécifiques, particulièrement en 2014 où les deux panels interne et externe ont mis en évidence respectivement des notes *amères* et de *champignon*. Cette particularité a également été remarquée dans une étude comparant la qualité sensorielle de choux (Brückner et al., 2005).

La qualité sensorielle des brocolis de 3^e génération et issus d'un même croisement apparaît relativement stable. En effet, les 'B12 09g1' présentent pour la plupart des arômes de *beurre* et de *noisette* et une saveur *sucrée*. De même, les croisements provenant de 'Di Cicco' présentent des arômes de *verdure* pour le panel externe, *vert* et *foin* pour le panel interne, caractéristiques repérées dès le début du processus de sélection. Dans son étude, (Brückner et al., 2005) met en évidence des notes *amères* et *piquantes* et une faible appréciation de la part des consommateurs pour des brocolis à jets.

2.5.2. LES METHODES D'EVALUATIONS

(a) LES DESCRIPTEURS : PANEL INTERNE VS PANEL EXTERNE

Le panel interne bien que présentant de faibles performances pour la notation sur les descripteurs en 2013 a cependant acquis un savoir-évaluer. Cette compétence est validée par la comparaison des choix des descripteurs du panel externe qui a évalué les brocolis de la récolte 2014. Six des descripteurs qui ressortent le plus lors des dégustations du panel interne sont communs aux descripteurs soigneusement choisis par le panel externe.

(b) LES EPREUVES : QDA OU NAPPING®

Le profil sensoriel et le Napping® apportent plus ou moins les mêmes conclusions : les même groupes proches sensoriellement sont mis en évidence et caractérisés par des descripteurs similaires. Cependant la méthode QDA apporte plus de détails sur la différence entre les produits en fonction des descripteurs. Bien que dans les deux cas, cinq descripteurs soient corrélés significativement avec les deux premières dimensions, seuls deux descripteurs de saveurs apparaissent dans le cas du Napping®. Ceci est lié au caractère global de l'analyse. Le panel interne a essentiellement opposé les brocolis *sucrés* aux brocolis aux arômes de *verdure*. Ceci nous rapproche de la perception du consommateur, et une hypothèse est que ces deux descripteurs sont des caractéristiques très importantes.

De plus, la quantité disponible par échantillon reste limitée dans un processus de sélection et l'entraînement sur des échantillons similaires est indispensable. Cette faible disponibilité limite le nombre de répétitions réalisable et ainsi la fiabilité des résultats d'un profil sensoriel fait dans les règles de l'art.

2.5.3. CONCLUSION

L'intégration des critères sensoriels dans le processus de sélection s'est avérée efficace. En effet, parmi les brocolis créés, certains présentent de nouvelles saveurs et se différencient significativement de leurs parents. Tout au long du processus, certains types de brocoli ont été caractérisés par le profil sensoriel. En effet dès la première année, les brocolis violets ont été caractérisés par leur amertume et des arômes végétaux tels que les arômes d'*haricot vert* et d'*artichaut*. Des arômes de *noisette* ont été repérés dès la première année du projet et se sont retrouvés dans les différents croisements et autofécondation réalisés par la suite. Ces caractéristiques sensorielles des brocolis violets sont appuyées par les résultats d'une étude croisant profil sensoriel et analyse instrumentale (Hansen et al., 1997).

Le coût élevé d'un profil sensoriel conditionné par le nombre d'échantillons à évaluer mais également par le nombre de descripteurs confirme son caractère inadapté au contexte de la sélection décentralisée en station. De plus les quantités disponibles lors d'un processus de sélection limitent l'efficacité d'un entraînement poussé sur un grand nombre de descripteurs. La réalisation d'un profil en interne a montré également ses limites. Malgré un entraînement sur 13 séances d'une heure, les performances du panel étaient variables. L'investissement requis par les dégustateurs volontaires est également lourd et implique de la part de l'organisateur d'entretenir une dynamique (sur plusieurs mois) pour maintenir leur motivation.

Cependant, ces séances ont permis au panel interne de découvrir l'espace produit. La dégustation d'un grand nombre d'échantillons leur a donné la capacité de distinguer certains arômes indiscernables au début de l'entraînement. Dans ce cas particulier, la connaissance de l'espace produit a été plus importante que l'entraînement. C'est cette génération libre de descripteurs (plus que les notes sur les descripteurs *amer* et *sucré*) qui ont conduit choix des échantillons à croiser.

*Ainsi, pour intégrer les critères sensoriels dans un processus de sélection décentralisée plusieurs étapes semblent nécessaires. La **découverte de l'espace produit**, par la dégustation d'un grand nombre d'échantillons (provenant par exemple des premières générations du programme) apparaît indispensable à l'**acquisition d'un « savoir évaluer »** et à la distinction d'arômes. Cette phase peut prendre la forme de **réunion hebdomadaire** où le panel volontaire réalisera un **brainstorming** sur les différents échantillons. Des discussions autour de ces termes associées à un **apport de références** conduiraient à un meilleur consensus et une meilleure discrimination sur un certain nombre de descripteurs. Pour valider le processus et caractériser sur un plan sensoriel les nouvelles variétés, l'**épreuve du Napping®** avec le même panel semble **adaptée**. Toutefois, les différences perçues sont moins détaillées et plus proche de ce qu'un consommateur peut ressentir. Si la structure a donc les moyens, la réalisation d'un profil sensoriel apporte plus de détails sur les différences sensorielles et fournit du même coup des arguments pour une meilleure communication sur le produit (en vue de sa commercialisation). Le résultat croisé du Napping® et du QDA favorise en outre la qualification objective des préférences des consommateurs.*

La partie III s'est attachée à retranscrire les résultats relatifs aux questions sur les leviers d'actions mobilisables pour optimiser la qualité et sur l'adaptation des méthodes au contexte de la sélection participative. L'implication de ces résultats au niveau de l'organisation de la sélection sera développée dans la partie IV. Cette partie propose une analyse de la dynamique participative et des outils mis en œuvre au service du co-apprentissage ainsi qu'une interprétation des résultats en termes d'organisation de la sélection.

PARTIE 4. REFLEXION ET APPORTS METHODOLOGIQUES DU DISPOSITIF DE RECHERCHE PARTICIPATIVE « QUALITES SENSORIELLES DES BLES POPULATIONS »

La qualité des résultats en recherche participative ne se mesure pas seulement par l'acquisition de connaissances reconnues pour leur valeur générique, mais aussi par l'évaluation de leur impact dans le contexte où cette recherche est mise en œuvre. Ce double enjeu traduit le lien à l'action de la recherche participative et met en évidence une dimension d'intervention, à l'interaction entre le chercheur et les acteurs. Un autre courant de recherche appuie cette dimension, c'est la recherche-intervention qui tente d'articuler l'activité de recherche à celle de la conception. Cette démarche entend produire des connaissances scientifiques et pratiques par les acteurs et propose une démarche d'apprentissage basée sur une construction collective plutôt que sur une simple confrontation des discours (Hatchuel et al., 2002). Le chercheur agit en tant que partenaire dans l'action et co-producteur (Savall and Zardet, 2001). Son travail commence par l'organisation du cadre et des moyens de la recherche.

Pour évaluer la pertinence de la démarche empruntée dans la thèse et la qualité de la connaissance produite, une réflexion méthodologique est proposée. Elle consiste en une analyse de l'évolution du processus de recherche et la mise en évidence des éléments méthodologiques mis en œuvre au service de la co-construction de savoir. Les projets « blé » et « brocoli » sont différents dans leur durée. Le projet « brocoli » a commencé avec la thèse alors que celui du blé a un plus long développement. C'est pourquoi pour cette discussion sur l'aspect participatif, il est proposé de focaliser sur le dispositif de recherche intitulé « qualité sensorielle des blés populations ». Il est ici analysé et évalué au regard de la littérature questionnant les approches participatives. Ce dispositif, complexe, regroupe plusieurs initiatives autour de la qualité sensorielle des blés populations, reliées néanmoins à travers la toile du Réseau Semences Paysannes qui assurent une cohérence entre les associations membres investies pour la sélection et la conservation des variétés paysannes. La réflexion méthodologique propose dans un deuxième temps des propositions pour l'organisation d'une sélection participative intégrant des critères sensoriels.

A. DESCRIPTION ET ANALYSE DU DISPOSITIF « QUALITE SENSORIELLE DES BLES POPULATIONS »

1. LE DISPOSITIF DE RECHERCHE PARTICIPATIF « QUALITE SENSORIELLE DES BLES POPULATIONS »

L'organisation de la recherche sous forme de projets de recherche en réponse à des appels à projets aux financements divers et variés n'offre pas une vision claire des relations entre acteurs puisque ceux-ci doivent momentanément se conformer aux exigences du financeur.

Le type de participation, l'implication et le rôle des acteurs ainsi que les méthodes de recherche varient selon les projets, selon la nature des questions posées et l'étendue des disciplines concernées, puisque ce sont les termes de l'appel à projets qui influencent l'organisation des projets. Les thématiques de recherche sont également déterminées par l'échelle d'étude (figure 74). En fonction des opportunités, des ambitions et moyens affectés, les projets peuvent être très différents. Ainsi, certains projets sont imbriqués les uns dans les autres, c'est le cas de PaysBlé, aux moyens très modestes qui s'est retrouvé contenu dans SOLIBAM (figure 75).

Soutenant les recherches participatives sur les qualités sensorielles des blés populations, quatre projets (PICRI², SOLIBAM, PaysBlé, et projet semences ARDEAR,) ont formalisé des partenariats et des échanges sur les expériences et résultats. A partir de là, de nouveaux groupes d'agriculteurs se sont motivés et ont lancé de nouvelles initiatives. Toutes les initiatives émanaient des attentes des paysans-boulangers du RSP désireux de mieux décrire et connaître les propriétés technologiques et sensorielles des variétés-populations. Ce travail de thèse a favorisé la coordination de ces initiatives qui s'est matérialisé sous la forme d'un dispositif de recherche

² Ce projet ne rentre pas dans l'espace temps de la thèse, mais dans une expérience professionnelle qui l'a précédée. Il ne sera donc pas détaillé.

baptisé « qualité sensorielle des blés populations ». L'objectif de ce dispositif est de développer des outils pour améliorer la connaissance sur les variétés-populations et piloter la sélection et l'adaptation des pratiques à la ferme.

Le projet de recherche SOLIBAM présente un type de participation plutôt consultatif pour le blé puisqu'il vient en complément du projet PaysBlé alors que pour le maïs, aussi dans SOLIBAM, le programme est piloté par les professionnels qui assurent l'organisation et la mise en œuvre des recherches, le chercheur a alors le rôle de consultant. Le financement européen impose la mise en place d'un consortium (chefs de modules de projets (workpackages)) qui prend les décisions et peut éloigner pour certaines disciplines l'implication des acteurs non chercheurs quand le programme devient complexe. La mise en œuvre des actions est pyramidale et le rendu des livrables suit un planning rigoureux. Bien que la volonté du projet soit d'aborder des problématiques complexes avec des approches systèmes, du fait du grand nombre et de la grande diversité des partenaires, certains partenaires ont mis en œuvre des approches analytiques, d'autres des approches plus systèmes. Les agriculteurs sont considérés dans certaines actions comme prestataires, bien que leurs attentes aient été recueillies au début.

Avec des ambitions moindres, un petit budget et une organisation administrative simplifiée comparé au programme européen, le projet PaysBlé bénéficie d'un financement régional dans le cadre d'un dispositif de financement favorisant le partenariat entre science et société (ASOSc). Le cadre est plus souple et les décisions ont été prises par tous les partenaires. Un séminaire de co-construction au cours duquel les modalités des expérimentations et les rôles des acteurs ont été attribués a été prévu en première étape du projet PaysBlé. Le type de participation est plutôt collaboratif et la sélection des partenaires s'est basée sur l'efficacité et les compétences (Agro-Paris Tech, Boulanger, Animation...). La contrainte du financement impose le rendu de livrables mais un cadre d'expérimentation relativement souple. Un protocole d'expérimentation à la ferme a été établi sur les 3 ans (2 ans assuré par le financement PaysBlé, SOLIBAM ayant pris le relais pour la troisième année) pour asseoir la validité des résultats et pour conclure sur des phénomènes complexes avec des observations au niveau du grain, de la farine et du pain. Le processus est donc linéaire. Les accidents climatiques de la deuxième année ont anéanti une grande partie de la récolte. La dynamique de groupe se maintenant néanmoins, cet imprévu a donné lieu à la mise en œuvre d'alternatives et au test de nouvelles hypothèses en parallèle des premières pour approfondir une question non programmée au préalable.

L'initiative avec l'ARDEAR a fait suite à une rencontre informelle lors d'une visite de collection, événement annuel organisé par l'ARDEAR Rhône-Alpes. Cette première rencontre a donné lieu à une réunion avec les principaux agriculteurs intéressés par l'expérimentation sur la qualité sensorielle des blés populations. La rencontre s'est finalisée par un protocole élaboré par l'ensemble des participants. Un comité de pilotage composé de l'animateur et d'agriculteurs actifs et volontaires adhérent à l'ARDEAR a eu lieu l'année suivante pour redéfinir les objectifs et réajuster le protocole. Le type de participation dans ce groupe d'expérimentateur est donc collégial, sa particularité est de ne pas avoir de financement spécifique. La sélection s'est faite par la communauté (de pratiques ARDEAR). L'approche de recherche empruntée est une approche système, les expérimentations se déroulent à la ferme et au fournil, un maximum de facteurs est pris en compte. Néanmoins, l'initiative a été englobée dans SOLIBAM qui a dégagé des moyens pour financer un stage de 6 mois pour recueillir les données.

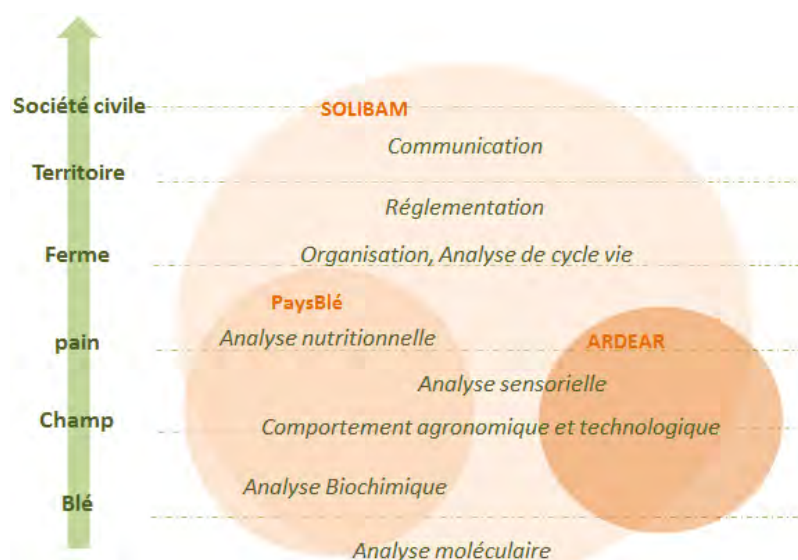


Figure 74: Thématiques de recherche et échelles d'étude des projets cités dans la thèse

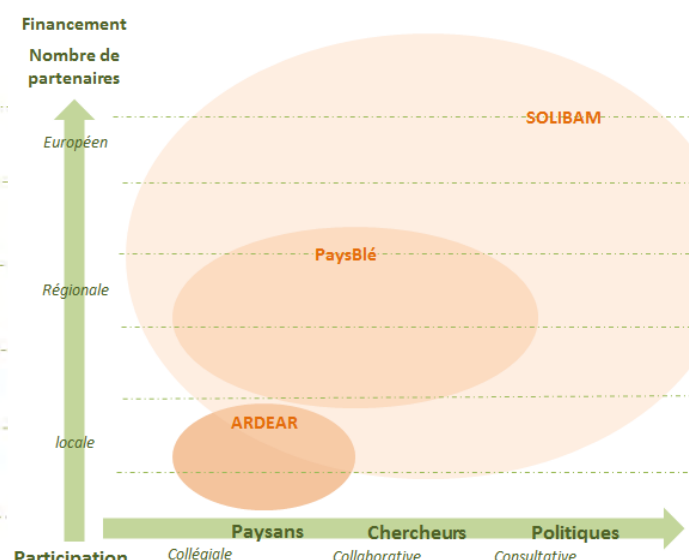


Figure 75: Types de participations et types de financement des projets

L'étape de « collaboration informelle » en Bretagne telle qu'elle est vécue en Rhône-Alpes pendant les travaux de thèse, date d'une dizaine d'années. Si on considère l'ensemble du processus participatif, il passe par des alternances de périodes consultatives et collégiales en fonction du type de financement qui impose artificiellement une organisation pendant le temps du projet financé. Finalement, ces trois expériences donnent à un instant t une image de trois situations de recherche dans le processus de recherche participative selon les moyens mobilisés et le cadre associé, pour répondre aux questions soulevées au fur et à mesure de l'avancement du « programme collectif ». D'une façon générale, les appels à projets offrent des opportunités pour répondre aux questions des partenaires chercheurs, boulangers et paysans.

Le cadre de recherche participative étant décrit, il est proposé dans la suite du document d'illustrer les principes de la recherche participative par des exemples concrets, tirés du travail de thèse.

2. ANALYSE DU PROCESSUS DE CO-CONSTRUCTION

L'étude bibliographique sur les recherches participatives a mis en évidence un manque de réel co-apprentissage dans les projets dit « participatifs » (Probst et al., 2003). Or c'est cette co-construction de connaissances qui favorise une meilleure compréhension de la problématique, le changement des pratiques, l'« empowerment » des populations locales en leur donnant les moyens d'expérimenter. Des recommandations pour intégrer de nouveaux indicateurs prenant en compte l'impact réel des actions de recherche dans l'évaluation des projets ont été faites à l'issue du projet SOLIBAM.

C'est bien d'une collaboration informelle entre acteurs de différents milieux qu'a émergé certains projets tels que le projet PaysBlé et a offert le terrain propice pour un travail de thèse en recherche participative. En partant de la complémentarité des acteurs dans la définition et l'étude du problème, l'analyse suivante propose de mettre en évidence les outils qui ont favorisés la co-construction. L'évolution de la thèse est ensuite analysée sous différent point de vue : évolution des partenariats, de la problématique, de la posture épistémologique. Enfin, un exemple concret de co-construction est proposé.

2.1. ANALYSE DE LA COMPLEMENTARITE DES CONNAISSANCES

Pour favoriser la complémentarité des connaissances et compétences, un vrai co-apprentissage est nécessaire. C'est ce processus qui permet une réelle intégration des différentes disciplines et acteurs dans l'étude d'un

système intégré et complexe. Pour favoriser un tel apprentissage, Hoffmann et al., (2007) proposent quatre principes :

- Les priorités de recherche doivent être définies par l'ensemble des partenaires,
- Le processus de recherche doit être décentralisé et favoriser l'expérimentation des agriculteurs,
- Le processus de recherche doit être ouvert aux connaissances informelles des agriculteurs et favoriser leur intégration,
- Les contraintes de temps et financières des agriculteurs doivent être respectées.

2.1.1. APPROCHES TRANS-SECTORIELLES

L'intégration de partenaires provenant de différents secteurs, plus particulièrement le partenariat entre chercheurs, ingénieurs, formateurs et agriculteurs assure la pertinence des résultats dans la pratique. En effet, si la réponse aux besoins des agriculteurs est bien au centre des efforts de recherche, seuls ces derniers peuvent exprimer les problèmes qui leur semblent pertinent. Ils ne peuvent cependant pas savoir si la recherche est capable de résoudre leur problème. Les scientifiques, en revanche sont en mesure de déterminer si leurs connaissances et leurs approches méthodologiques peuvent contribuer à la résolution du problème. En conséquence les agriculteurs et les chercheurs ont un rôle complémentaire dans la définition des priorités de recherche (Volker Hoffmann et al., 2007). La définition des rôles et de l'organisation du processus de recherche qui en découle détermine la motivation des différents partenaires, elle-même déterminante de l'efficacité de l'action de recherche en termes d'appropriation des connaissances et démarches par les agriculteurs.

(a) DEFINITION DES PRIORITES DE RECHERCHE

Lors de la première année du programme PaysBlé, des enquêtes ont été réalisées pour répertorier les variétés ou mélanges adaptés au Grand Ouest, recueillir les expériences de chacun et définir les critères de caractérisation des variétés de blés utiles pour une base de données. Une première caractérisation morphologique des blés de pays de Redon a été réalisée, offrant des bases méthodologiques pour de futures caractérisations rendant compte de la diversité (Charriau, 2010). Cette étape d'identification des besoins et des pratiques existantes est essentielle à tout projet de co-construction des savoirs et est un préalable à la problématisation et à la mise en place d'expérimentation. Une caractérisation de la diversité des pratiques a ainsi été réalisée. Les difficultés rencontrées par les agriculteurs ont offert une base de réflexion pour la problématisation : on peut citer par exemple le manque de terre et la difficulté de gérer la pluriactivité pour les paysans-boulangers ou encore la sensibilité à la verse, des problèmes de rendement et la présence d'adventices pour les blés cultivés. Des pistes de recherches y ont été évoquées telles que la volonté de compréhension de l'influence des pratiques agronomiques sur la qualité (du sol au pain).

Lors de la mise en place de nouveaux groupes d'expérimentation, celui de l'ARDEAR par exemple, un comité de pilotage annuel a permis de rediscuter les actions par rapport aux intérêts respectifs des agriculteurs-expérimentateurs, des animateurs et des chercheurs.

(b) PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES D'EXPERIMENTATION

Lors du séminaire de lancement du projet PaysBlé, l'échange et le transfert d'expériences à travers des témoignages (celui de Isabelle Goldringer notamment sur le projet PICRI « Pain bio ») ont été facilités par la réalisation d'ateliers de travail reflétant les grandes lignes méthodologiques souhaitées pour le projet PaysBlé (recherche participative, pratiques agroécologiques, approche intégrée du grain au pain). Des référentiels empiriques (interviews, restitution d'expériences de chercheurs et de praticiens...) et académiques (cadre méthodologique, apport théorique) se sont confrontés et ont abouti à la réalisation collective d'un protocole d'expérimentation prenant en compte les contraintes et impératifs des uns et des autres. Par exemple les parcelles ont été choisies de façon à ce qu'elles soient les plus homogènes possible pour permettre les comparaisons. Le choix des variétés a fait suite à une discussion entre tous les partenaires, le choix de la variété témoin a par exemple fait l'objet d'un débat animé : une première proposition a été faite pour le 'Rouge de

Bordeaux' une population couramment cultivée et reconnue par les paysans-boulangers en France mais le 'Renan' l'a emporté dans un souci de mieux lier les expérimentations AB réalisées en Bretagne (source CIRAB).

La réflexion sur la méthodologie d'observation a donné lieu à la définition du rôle des différents acteurs. Les agriculteurs partenaires ne disposant que de peu de temps, la collecte des données et les observations ont été assignés aux acteurs de la recherche. En retour, les agriculteurs devront suivre des modalités communes pour permettre la comparaison des résultats d'une ferme à l'autre. Audoux and Gillet (2011) ont étudié une dizaine de projet PICRI, dispositif visant à développer la recherche partenariale pour une meilleure collaboration entre recherche et société civile. Elles ont analysé les modalités de collaboration en vue de comprendre comment favoriser une réelle co-construction de savoir. La distribution des rôles décrites plus haut est identifiée dans cette étude comme l'épreuve d'enrôlement et permet de conforter la légitimité de chaque partenaire (Audoux and Gillet, 2011). Elle aboutit à la définition d'une organisation singulière.

Concernant l'élaboration d'un protocole de panification favorisant l'expression de la céréale, ce sont bien des discussions entre partenaires de différents secteurs (formateurs en boulangerie, boulangers conventionnels, experts dans l'industrie agro-alimentaire) qui ont révélé les points faibles des précédents protocoles de panification, les nouveaux objectifs de panification et les paramètres à contrôler ou homogénéiser. Par exemple, lors des premiers essais en Rhône-Alpes, une tentative de standardisation de la recette a été faite. Cependant, les farines se comportant différemment (absorption d'eau par exemple), les différences perçues dans les pains provenaient de la non adaptation de la recette aux farines et donc de défauts de panification (ou conduite de fermentation) plutôt que de la qualité intrinsèque de la farine.

(c) INTEGRATION DE LA SOCIÉTÉ CIVILE

L'intérêt d'intégrer des acteurs externes mais susceptibles de bénéficier des résultats de la recherche a grandi ces dernières années, des dispositifs de recherche visant à favoriser la collaboration entre chercheurs et société civile ont vu le jour : PICRI, ASOSc... Une journée d'échange a récemment été organisée par le CNRS (Septembre 2013) sur les coopérations scientifiques entre chercheurs et société civile. Le CNRS a ici ressenti le besoin de réexaminer la place et le rôle du citoyen dans les processus de recherche. Face à une société civile exprimant un désir croissant de participer et à une préoccupation montante des chercheurs quant à l'utilité sociale des travaux qu'ils développent.

Dans le cas des travaux recensés dans la thèse, deux des projets relèvent de ces dispositifs : le projet PICRI « Pain Bio » et le projet PaysBlé (ASOSC). Le projet PICRI comprenait dans ses partenaires l'association de consommateurs et de producteurs « Nature&Progrès ». Les consommateurs de ce groupe ont participé à l'élaboration du protocole, à la mise en œuvre des expérimentations (tests consommateur dans les manifestations grand publics) et à la restitution des résultats. Dans le projet de recherche PaysBlé, l'association Triptolème comprenait aussi des professionnels (paysans-boulangers et boulangers) et des consommateurs qui ont participé à l'évaluation sensorielle des pains. Des communications dans des manifestations grand public telles que le Salon de Guichen ou le Salon de l'Agriculture ont favorisé la sensibilisation de la société civile aux problématiques des paysans-boulangers et à la qualité particulière de leur pain.

2.1.2. APPROCHES TRANS-DISCIPLINAIRES

Pour mieux appréhender la complexité de l'objet de recherche, l'interaction entre différentes disciplines scientifiques facilite l'intégration des multiples facettes du problème dans son étude. Des approches mono-disciplinaires peuvent en effet conclure sur des résultats partiels voire biaisés par la non prise en compte d'autres disciplines. Un exemple réside dans une étude récente sur l'influence de la variété de blé sur le goût du pain (Brabant et al., 2007). Cette étude a mis en place deux approches sensorielles avec un panel d'experts et un panel de consommateurs pour étudier la qualité sensorielle de pains produits à partir de farine raffinée (T55) de différentes variétés modernes. L'étude conclue sur les faibles différences sensorielles entre variétés. Il est possible ici de s'interroger sur le choix de travailler avec des variétés modernes et avec de la farine raffinée. En effet, les sciences de la génétique ont identifié un goulot d'étranglement génétique associé à l'émergence de

la sélection conventionnelle. Le potentiel de diversité d'arômes et de saveurs dans ces variétés est donc limité (Roussel et al., 2005; Starr et al., 2013). De plus, les sciences de la chimie alimentaire ont montré que le type de farine (raffinage) est le principal facteur à l'origine de la production des arômes dans le pain (Czerny and Schieberle, 2002). Les différences entre variétés sont donc plus susceptibles d'être perçues en utilisant de la farine moins raffinée (T80 par exemple).

Les travaux de recherche réalisés dans cette thèse présentent un caractère transdisciplinaire fort. Quatre disciplines se chevauchent : l'agronomie, la génétique, la technologie de l'alimentation et la métrologie de la perception. La collaboration avec les chercheurs et ingénieurs de l'équipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative a conduit à une meilleure compréhension et mise en relation des performances agronomiques et sensorielles des blés. L'aspect technologique a été apporté par Philippe Roussel, enseignant en Génie Industriel Céréaliier à Polytech, partenaire dans le projet PaysBlé.

Les études bibliographiques, les échanges avec des partenaires de diverses disciplines et/ou compétences sont des outils indispensables pour acquérir et transmettre des connaissances plus globales (théoriques comme pratiques). Les statistiques multidimensionnelles sont des outils à privilégier en recherche « système » car elles favorisent la mise en évidence de liens/corrélations entre données de différentes natures et permettent ainsi de croiser les leviers.

2.2. INTEGRATIONS DES CONNAISSANCES

L'intégration des connaissances est en réalité un échange de connaissances : les agriculteurs se familiarisent avec des connaissances scientifiques ainsi que la démarche scientifique et les chercheurs découvrent les connaissances empiriques pour adapter les outils et les finalités de recherche. Pour insister sur cette double intégration, Baars (2011) parle même d'intégrer la recherche-expérimentation dans le système de connaissance, plutôt que d'intégrer les connaissances dans le système de recherche-expérimentation.

2.2.1. DYNAMIQUES D'ÉCHANGES

(a) LES PROJETS DE RECHERCHES

Dans la dynamique de recherche participative, les projets de recherche ont un rôle central. Ils formalisent le partenariat et ainsi assurent une rémunération aux agriculteurs-expérimentateurs. De plus, la concrétisation d'un problème en projet apporte une reconnaissance institutionnelle, les partenaires se sentent alors plus légitimes de travailler sur la problématique.

Les financements mobilisables en recherche-expérimentation fonctionnent sur des pas de temps relativement courts (à l'échelle de la recherche agronomique actuelle) il est donc essentiel de raisonner un projet de recherche-expérimentation sur différents pas de temps. Des objectifs à court et moyen termes sont considérés dans les projets de recherche dans le contexte des objectifs à long terme d'un groupe, tel qu'il est constitué dans les associations « semences » du RSP. Le financement pluriannuel est assuré par la succession et le chevauchement de plusieurs projets. Dans un processus long comme celui décrit dans ces travaux, les projets se définissent sur une échelle de temps plus courte et se limitent à la réponse à des questions spécifiques qui émergent au sein d'expérimentations informelles ou des observations des paysans ou/et chercheurs les accompagnants. Les projets financés sont des occasions pour répondre ensemble à des questions qui résultent d'une interaction continue par la vie des associations.

(b) IMPORTANCE DE L'ANIMATION

La qualité de l'animation est apparue essentielle pour assurer un bon co-apprentissage. Par exemple, dans l'expérimentation Bretagne, les animatrices se sont trouvées dépassées par des considérations politiques de l'association et des conflits d'individus, ce qui a limité leurs champs d'action. Baars (2011) insiste sur l'importance de la qualité de l'animation et préconise des formations sur la recherche participative pour les

animateurs pour répondre à un besoin imminent d'animateurs expérimentés capable de donner la parole à tous et de prendre en égale considération les commentaires. La confiance et le long terme apparaissent dès lors comme des conditions *sine qua non* à un bon co-apprentissage.

Des réunions formelles, légitimées par les projets, ont régulièrement été organisées tout au long du processus de recherche :

Séminaire de lancement

PaysBlé, un des premiers projets participatifs, a été conçu avec un temps de concertation pour construire ensemble l'organisation participative. Le temps du montage du projet était reconnu insuffisant par l'ensemble des acteurs pour cette construction. Un séminaire de travail a été proposé comme temps fort de la première année afin d'échanger et de se concerter entre chercheurs, acteurs socio-économiques et citoyens puis de définir de manière collective une méthodologie expérimentale conduite de façon participative. Des ateliers de travail sur les principales lignes méthodologiques du projet s'y sont déroulés (recherche participative, pratiques agroécologiques, approche intégrée du grain au pain). Il fut le point de départ des expérimentations « du grain au pain ».

Réunion annuelle de restitution des résultats

Chaque année, des réunions ont été organisées pour restituer les résultats préliminaires des expérimentations. Dans le cas de PaysBlé, la richesse et la multiplicité des informations ainsi que leurs caractères préliminaires (1^o et 2^o année d'expérimentations) ont rendu la prise de recul par les chercheurs difficiles. La « digestion » des informations et leurs transformations en informations pratiques et applicables sur le terrain a nécessité plusieurs années et s'est faite en parallèle de l'acquisition des résultats. Ce manque de praticités des résultats préliminaires a engendré une baisse de motivation de la part des agriculteurs sur les trois années du projet. Un problème d'échelle temporelle s'est ainsi révélé. L'imminent besoin de réponse des agriculteurs, (une phrase marquante d'un paysan-boulangier le traduit très bien « je n'ai que 40 cartes à jouer dans ma vie ») s'est confronté au système de validation des connaissances scientifiques : les résultats d'une seule année sur une expérimentation système ne peuvent en effet donner lieu à des conclusions fiables et applicables.

Des réunions informelles ont assurés un suivi des échanges d'observations, qui, au premier abord, n'apparaissaient pas en lien avec la question de recherche. Des retours sur les panifications comparées des variétés ont eu lieu lors de chaque dégustation. L'aide à la mise en œuvre d'expérimentations informelles, c'est-à-dire non prévues dans le cadre du projet de recherche a renforcé la confiance entre les parties-prenantes du projet. Des personnes « passerelles » entre le monde scientifique et associatif connectant l'observation et le ressenti ont renforcé le lien, la confiance entre les participants et se sont révélées comme des personnes indispensables à l'animation et la cohésion.

Pour maintenir la motivation des agriculteurs-expérimentateurs entre deux dégustations, des retours rapides sur les résultats ont été faits et offraient la possibilité de discuter et de croiser les résultats avec les observations des boulangers au fournil. Les expérimentations informelles des agriculteurs, à travers les associations, font partie intégrante du processus de recherche, et la participation de chercheurs pour leur mise en œuvre ou encore l'analyse des résultats sont apparus essentiels dans le processus de recherche participative et n'entame en rien l'objectivité du chercheur. Enfin, la communication autour des résultats des expérimentations, vers le grand public mais également au sein du réseau permet d'informer et de motiver de nouveaux groupes d'expérimentateurs pour un élargissement du réseau d'expérimentation.

2.2.2. TRADUCTION ET INTEGRATION

La connaissance détenue par les agriculteurs-expérimentateur est spécifique à un contexte et basée sur l'expérience individuelle. Elle provient d'« expérimentations à l'aveugle (black-box expérimentation) », une boîte noire dans laquelle les agriculteurs font varier des pratiques dans leur système complexe et observent les sorties respectives. Sans essayer de comprendre ce qui il y a dedans, ils étudient ainsi leur système intégré.

Pour appréhender les différentes interprétations du problème et prendre en compte les attentes des agriculteurs, la réalisation d'interviews peut être utile. Dans le dispositif de recherche « Qualité sensorielle de blés populations », les interviews réalisées visaient à expliciter les connaissances tacites détenues par les agriculteurs. L'hypothèse était que ces paysans-boulangers avaient repéré des caractéristiques morphologiques liées aux caractéristiques sensorielles (indicateurs de la qualité) et ceci de façon implicite. Pour confronter les résultats des interviews à des données plus objectives et aller vers une plus grande genericité des connaissances, des caractérisations morphologiques et sensorielles des « mélanges-boulanges » ont été réalisées. La caractérisation morphologique et sensorielle apporte des éléments mesurables et objectifs pour valider les stratégies de sélection identifiées.

Dans leur étude sur les projets participatifs PICRI, Audoux and Gillet (2011) ont identifié plusieurs challenges que doivent affronter les différents partenaires. Parmi elle, l'épreuve de la véridiction ou la confrontation des connaissances dans lequel deux référentiels se confrontent : le référentiel scientifique où la mesure est le standard et le référentiel de l'expérience. L'étude met en évidence la difficulté qu'a le référentiel scientifique à refléter la réalité. Dans le projet présenté ici, le questionnaire inclut des questions éthiques telles que les valeurs humaines pour intégrer des variables non mesurables dans l'interprétation des pratiques de sélection mais impactant la stratégie des agriculteurs. En effet, la majorité des paysans-boulangers rencontrés sont des néoruraux qui se sont réinventés après une carrière dans un domaine souvent complètement différent de celui de l'agriculture. Comme ils veulent être en accord avec leurs nouvelles valeurs, la plupart d'entre eux sont plus intéressés par les principes de l'AB et la qualité de leur produit que par la quantité (productivité). De plus, la plupart ne bénéficient pas de formation Boulanger (Certificat d'Aptitude Professionnelle), ils ont dû apprendre par eux même et ont donc développé une culture de l'expérimentation.

Pour traduire la connaissance théorique et la transmettre aux partenaires, la seule transmission d'article universitaire est insuffisante. La traduction d'informations scientifiques sous forme de schémas (modélisation conceptuelle) favorise alors la transmission des connaissances théoriques provenant de diverses disciplines et leur intégration par tous les partenaires d'un projet. Par exemple, des boulangers, à qui l'on a transmis des informations techniques (technologiques, sensorielles) seront plus aptes à faire des observations/liens dans leur pratique car leur attention sera focalisée sur certains aspects. La modélisation conceptuelle consiste à regrouper et schématiser les informations scientifiques relatives au sujet de recherche. En agronomie, elle permet d'organiser les connaissances actuelles acquises sur le fonctionnement de différentes entités (plantes, peuplements cultivés, sols, systèmes hydrologiques, atmosphère...) en vue d'une explicitation des effets " multiples " induits par les interventions culturelles et les modes de conduite des cultures (Benoît and Papy, 1998). Cet outil a également été mis en œuvre dans des disciplines scientifiques caractérisées par la complexité de l'objet de recherche telle les sciences cognitives. L'étude des modèles de mémoires repose en effet sur la boxologie, une représentation schématique sous forme de boîte reflétant le modèle linéaire de la mémoire. Cette approche de modélisation doit faciliter l'identification et la hiérarchisation des fonctions et des interactions les plus pertinentes à étudier et les trous de connaissances à combler pour aboutir à une analyse satisfaisante du fonctionnement des systèmes.

Dans le cas des travaux sur la qualité sensorielle des blés-populations, la modélisation conceptuelle a été utilisée pour synthétiser les résultats de la recherche bibliographique sur les facteurs influençant la qualité sensorielle du pain. Ce schéma a été très apprécié des agriculteurs-expérimentateurs et a donné lieu à des échanges sur les différents éléments. Un autre schéma concernant l'organisation du dispositif de recherche participative sur les blés de Pays en Bretagne a conduit à une redéfinition des objectifs et intérêts des différents partenaires et le maintien de la motivation des acteurs lors de périodes de remise en question du projet (figure 13).

2.3. UN CADRE DE RECHERCHE SOUPLE POUR UNE ADAPTATION AU CONTEXTE

L'expérimentation à la ferme est un facteur de motivation important pour les agriculteurs-expérimentateurs. Ils peuvent constater eux-mêmes les différences avec les témoins. Ils sont par la suite curieux de voir ce que les expérimentations ont donné chez les autres agriculteurs et tentent ainsi eux-mêmes de comprendre les phénomènes avec leur connaissance globale de leur environnement.

Pour s'adapter au mieux au contexte (socio-économique mais également pédoclimatique) un cadre d'expérimentation souple est de mise. Pour exprimer la réalité de la recherche participative, il est nécessaire d'établir une distinction entre les deux termes « méthode » et « démarche » (Liu, 1992). Une méthode est un ensemble de règles qui, si elles sont correctement appliquées garantissent l'obtention d'un résultat. Une méthode a une validité universelle et permanente. La démarche ne s'oppose pas aux méthodes, elle les reconnaît et les utilise, mais n'en est pas prisonnière. Pour mener à bien un projet, la démarche examine après avoir délimité le problème, s'il existe une méthode pour le résoudre, et si tel est le cas, elle l'adopte et l'applique. Cependant au cours d'une démarche, la nature du problème peut évoluer, et l'adéquation entre la méthode et les finalités de l'étude est primordial. La pertinence de la démarche en recherche participative se traduit par l'émission de principes plutôt que par des règles strictes et immuables (Volker Hoffmann et al., 2007; Pretty, 2008; Stassart et al., 2012).

2.3.1. EVOLUTION DU DISPOSITIF DE RECHERCHE

L'efficacité de la démarche ou des connaissances produites en recherche participative peut s'évaluer par l'évolution des pratiques des acteurs. La recherche de modalité d'évaluation de dispositifs coopératifs entre chercheurs et société civile est déterminant pour le développement de nouveau dispositif de financement et donc pour le développement de la recherche participative.

Certains indicateurs semblent évidents dans le cas de programme de sélection:

- Le nombre de variétés adoptées,
- Le nombre de paysans impliqués dans le réseau de sélection,
- Le nombre de paysans mettant en œuvre les nouvelles méthodologies...

Pour la pratique de la sélection intégrant la qualité sensorielle, le nombre d'initiatives ayant trait à la qualité sensorielle des variétés-populations peut constituer un tel indicateur. Depuis le début des travaux de thèse, d'autres associations adhérentes au RSP (Kherna Un Sohma, Pétanielle) ou non (AgriBiodrôme), mais également des chambres d'agriculture (Haute-Loire) cherchent à développer des filières courtes de qualité en prenant en compte la qualité technologique et sensorielle des populations et/ou variétés de pays. Chaque initiative présente ses propres questions de recherche ; elle est évolutive car ajustée lors de chaque cycle d'expérimentation. Pour offrir une plateforme de réflexion et un lieu d'échange de résultats et d'expériences, il apparaît de plus en plus pressant d'organiser un réseau de recherche décentralisé. Le développement de formation et de guides d'expérimentations favorise le développement de nouvelles initiatives (figure 76).

L'étude des caractéristiques agronomiques et sensorielles des blés-populations s'est jusqu'alors réalisée de façon relativement séparée mais sont en cours de coordination. Des projets intégrant l'analyse de tous les aspects du blé (du grain au pain) sont en cours et l'intégration des caractéristiques sensorielles dans la base de données RSP (Shinemas) en est un témoin. Une adaptation des outils et méthodes développés dans ce méta-dispositif de recherche vers d'autres espèces est en cours de réflexion.

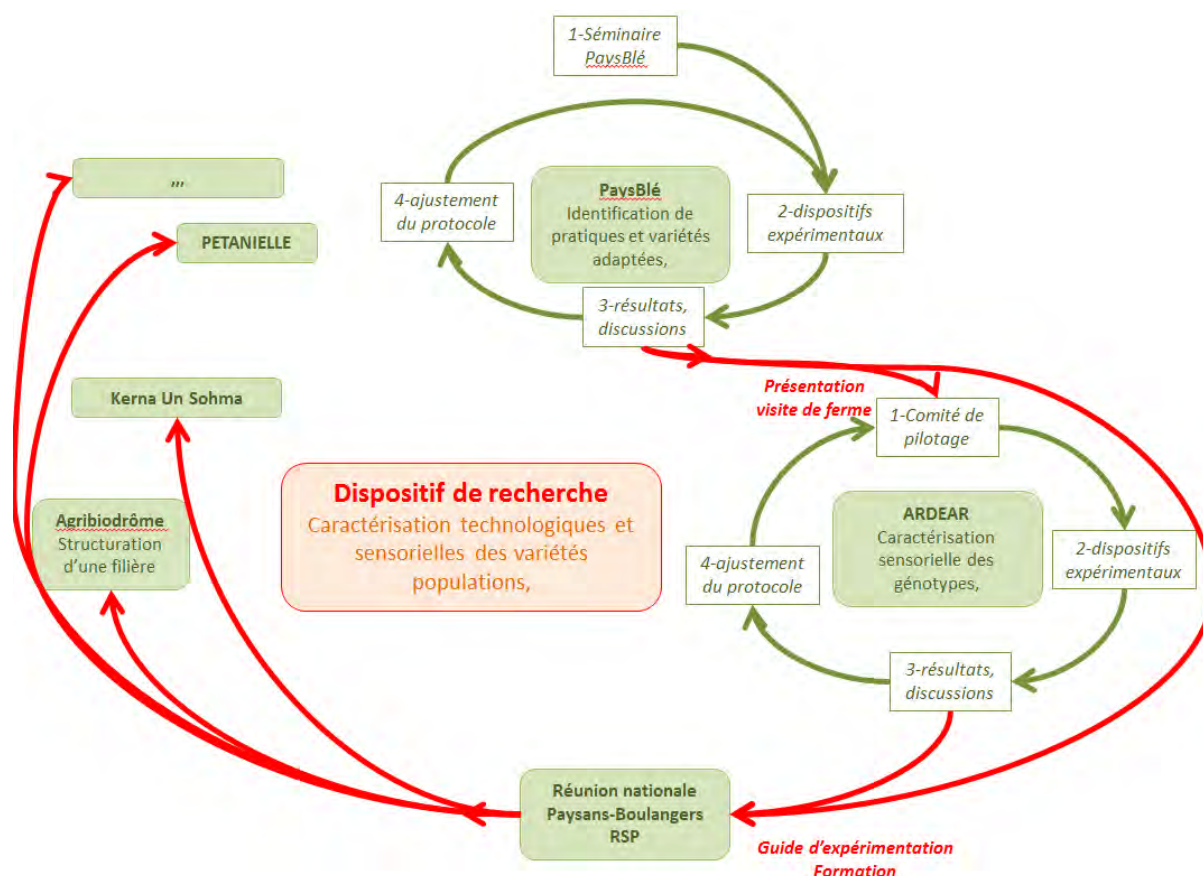


Figure 76: Evolution du dispositif de recherche participatif

2.3.2. EVOLUTION DE LA PROBLEMATIQUE

Dans le dispositif de recherche « qualité sensorielle des blés populations », plusieurs événements ont donné lieu à une redéfinition de la problématique et à une réexamination des méthodes d'expérimentation. La problématique a ainsi évolué au fur et à mesure des rencontres, discussions et expérimentations mises en œuvre (figure 77). La question des moyens mobilisés pour répondre aux objectifs est également indispensable à cette évaluation.

Un premier événement impactant a été la perte de la presque totalité des récoltes en 2012 dû aux intempéries mais également à des attaques de ravageurs (rats, lapins). Le protocole imaginé en 1^{re} année pour étudier les leviers d'action et intégrer la qualité sensorielle comme critère de sélection devait se dérouler sur les trois ans, mais n'a pas pu être réalisé en 2013. Pour maintenir la dynamique au sein des agriculteurs-expérimentateurs, des expérimentations hors du sujet de thèse préalablement établi, ont été réalisées sur des blés récupérés chez des agriculteurs non partenaires du projet. Ces expérimentations informelles ont permis de continuer l'entraînement à la notation de l'aptitude à la panification des pâtes et l'étude de l'impact des paramètres de panification. Parallèlement, la contrainte de temps induite par le cadre de recherche formelle a conduit à la recherche d'alternatives pour répondre à une problématique plus centrée sur le levier sélection.

Une rencontre avec un autre groupe d'agriculteurs désireux de travailler sur la qualité sensorielle des blés populations en Rhône-Alpes a donné lieu au lancement de nouvelles expérimentations. En effet, bien que la problématique globale porte sur les propriétés sensorielles des blé-populations, le groupe de recherche Bretagne portait plus d'intérêt aux pratiques boulangères tandis que le groupe Rhône-Alpes était plus concerné par les caractéristiques agronomiques et sensorielles des populations anciennes. Ne disposant pas de blés issus d'un protocole expérimental spécifiquement réalisé pour répondre à cette question, la première année d'expérimentation avec le groupe Rhône-Alpes a consisté en l'entraînement d'un panel de dégustateurs et a conduit à de nombreuses observations en vue d'optimiser le processus de panification. Des allers-retours

entre les deux groupes d'expérimentateurs (Rhône-Alpes et Bretagne) ont favorisé leur complémentarité et interaction sur la problématique commune.

Des retours d'interviews et des échanges informels avec les paysans-expérimentateurs ont conduit à remettre en question l'intérêt (systématique) de sélectionner sur la qualité et de disposer d'outils de mesure objectif de la qualité. En effet, tous les agriculteurs ne cherchent pas à objectiver la mesure sensorielle, certains cherchent simplement à optimiser un retour de la part de leurs clients. Un simple questionnaire hédonique, sur lequel des moyennes pourront être faites suffirait à répondre à cette demande. En revanche, la question de comment agir sur la qualité, leur permettrait d'optimiser leur sélection/recette pour une meilleure réponse aux attentes des consommateurs. Ainsi, il ne s'agit pas de fournir une recette magique pour la panification de variétés anciennes mais de proposer des leviers pour jouer sur la qualité, le choix du levier étant laissé à l'agriculteur. L'objectif méthodologique définit un cadre d'expérimentation commun (une démarche, des outils) pour favoriser la mise en commun des expérimentations dans un réseau décentralisé.

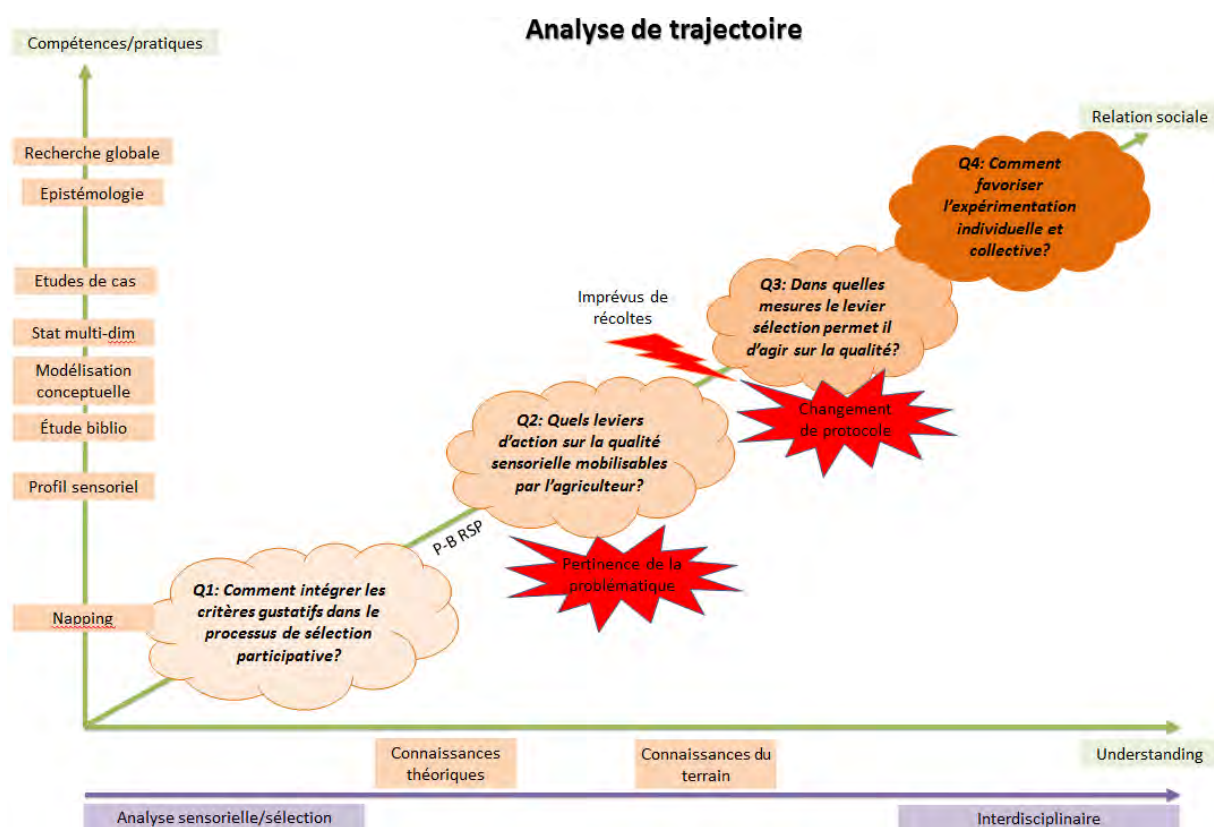


Figure 77: Analyse de trajectoire du projet "qualité sensorielle des blés populations" (cadre d'analyse proposé par Patrick Steyaert, (INRA de Versailles-Grignon, Unité Sciences en Société) lors des Journée des Doctorants du SAD)

La nécessité de disposer d'un set de méthodes expérimentales (ici en analyse sensorielle) traduit ce besoin de souplesse de la démarche participative. Dans le cas du projet « qualité sensorielle des blés populations », la disponibilité des agriculteurs-expérimentateurs était un facteur déterminant du choix du test sensoriel. En Bretagne, les agriculteurs ne disposaient que de peu de temps, ce qui a conditionné le choix d'une méthode sensorielle n'impliquant pas d'entraînement à l'évaluation. En Rhône-Alpes l'implication des agriculteurs a offert l'opportunité de mettre en œuvre un profil sensoriel grâce à des réunions régulières sur des journées entières pour l'entraînement à l'évaluation sensorielle sur une dizaine de descripteurs.

2.3.3. EVOLUTION DE LA POSTURE DANS LA THESE

L'étude de la posture de recherche favorise la prise de recul et offre un autre point de vue pour analyser l'évolution de la démarche (figure 78). Elle met de plus en évidence la complémentarité et la synergie entre les différentes approches scientifiques.

La première question de recherche reflétait l'existence d'un présupposé : le levier génétique est pertinent pour agir sur la qualité. La question était alors la recherche d'une méthodologie adaptée permettant l'intégration de la qualité sensorielle dans le processus de sélection. Au fur et à mesure des expérimentations et échanges avec les différents partenaires, la pertinence du levier sélection a été remise en cause et son étude a révélé une plus grande complexité dans les processus d'élaboration de la qualité. La démarche a évolué vers un point de vue plus systémique, et l'étude des processus d'élaboration de la qualité s'est portée sur un plus grand nombre de potentiels facteurs qui influencent la qualité. Ensuite, un accès aux connaissances empiriques détenues par des paysans-boulangers d'une part et associé à un test d'hypothèses plus ciblées ont émergé de ce recueil de connaissances. La dimension analytique est apparue essentielle à la validation d'hypothèses émises du terrain et issues des observations. Enfin la dernière question de recherche reflète la nécessité d'adapter les solutions au contexte et admet l'existence de plusieurs réalités positionnant l'intérêt de chacune des approches analytiques. L'objectif est alors de favoriser l'expérimentation individuelle et collective pour la recherche de solutions locales.

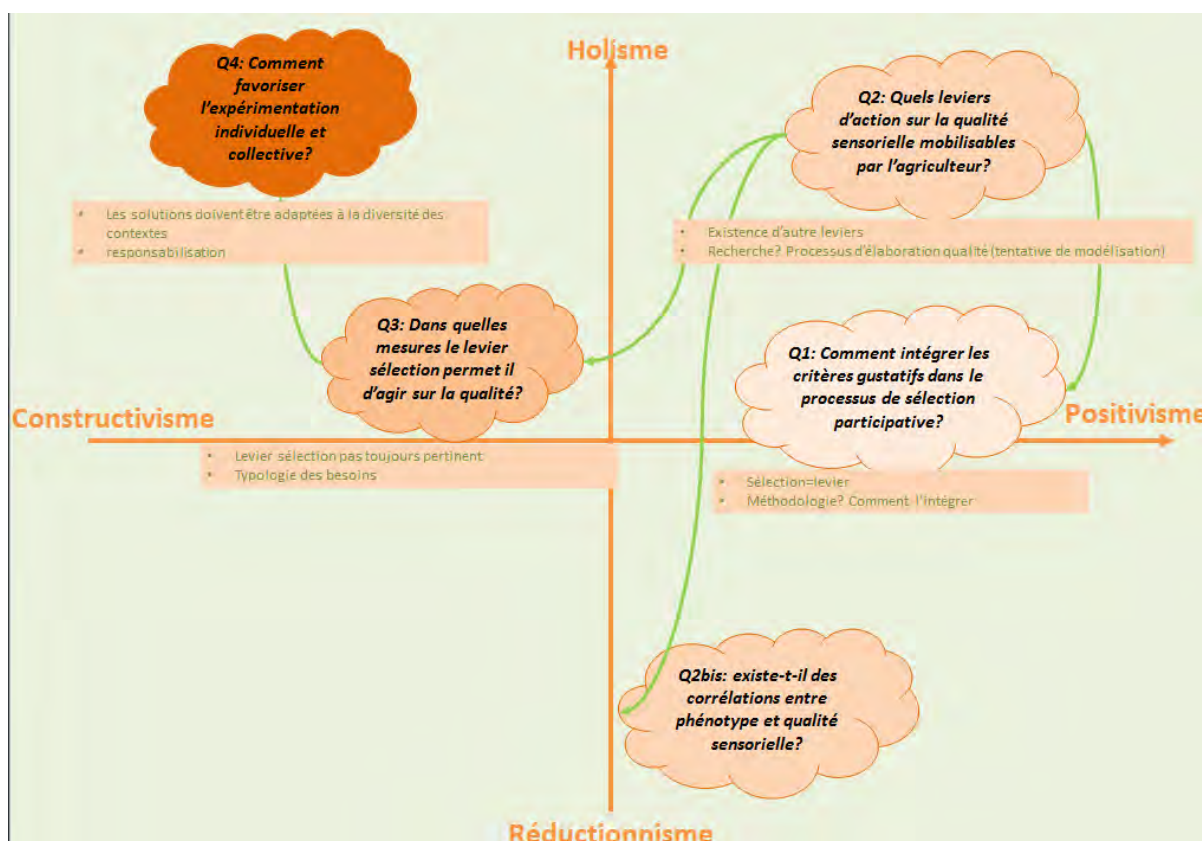


Figure 78: Evolution des postures adoptées au cours de la thèse

2.4. EXEMPLE DE CO-CONSTRUCTION : LE PROTOCOLE DE PANIFICATION

Un aspect important dans l'étude de l'impact du facteur génétique sur la qualité finale du pain concerne le protocole de panification. Il est apparu au fil de l'étude que ce dernier, plutôt que d'être fixé, doit être adapté à chaque échantillon. Pourtant, la démarche scientifique repose sur l'hypothèse « toutes choses égales par ailleurs » et consiste à fixer tous les facteurs autres que ceux étudiés afin d'établir des relations de causes.

Ainsi, toutes les études étudiant les effets des facteurs génétiques et/ou environnement sur la qualité finale du pain reposent sur un protocole de panification fixe et prédéterminé (Brabant et al., 2007; Haglund et al., 1998; Kihlberg et al., 2004; Ploeger et al., 2008; Starr et al., 2013). De plus, bien que ces études visent au développement de variétés adaptées à l'AB, aucune ne parle de la diversité des pratiques boulangères ni ne propose de protocole de panification représentatif (et adapté) des pratiques boulangères en AB. De même, pour évaluer des variétés en vue de leur inscription au catalogue, toutes les variétés sont panifiées selon le

protocole fixé dans le test BIPEA, correspondant à un pétrissage intensif et mécanisé. Cette méthode d'évaluation conduit à une dévalorisation de certaines variétés basée sur leurs performances sous les conditions BIPEA, alors qu'elles peuvent être potentiellement adaptées à d'autres types de panification (artisanale, lente...). Pour être au plus proche des conditions réelles de panification (filère paysans-boulangers) tout en permettant la comparaison des résultats entre différents fours et ne pas écarter des variétés potentiellement adaptées, une recherche d'indicateurs reposant sur un référentiel commun à tous les expérimentateurs et offrant la possibilité d'adapter des pratiques boulangère est nécessaire.

Une telle avancée méthodologique est un produit de l'organisation participative de la recherche. Une des premières remarques sur le protocole de panification initial a été formulée lors du comité de pilotage du « projet ARDEAR » par un boulanger à la retraite et a consisté à bien distinguer le « goût du pain » et le « goût de la céréale ». Cette remarque a mis en évidence l'importance du choix du protocole de panification qui peut impacter et même gommer les variations inhérentes aux variétés testées. Le comportement technologique des farines étant très différents d'une variété à une autre, une des conclusions a été d'adapter le protocole à chaque échantillon. Cependant, des problèmes d'adaptation des pratiques boulangères aux farines ont été rapportés lorsqu'elles sont distribuées à l'aveugle. Pour pouvoir comparer les pains issus des différentes variétés entre eux, une réflexion sur la recherche d'indicateurs permettant d'homogénéiser d'une certaine manière le diagramme de fabrication a été ouverte. Des échanges avec d'autres associations engagées dans le même type de démarche (Centre d'Etude et Terre d'Accueil des Blés (CETAB), Triptolème) ont conduit à la proposition de plusieurs indicateurs/témoins. Pour assurer une panification similaire entre les échantillons, le CETAB a proposé à ses expérimentateurs de fixer la texture de la pâte. Celle-ci doit être souple, en moyenne égale à 70 % mais peut être supérieure si la farine présente une forte absorption. Dans le cas des expérimentations Paysblé, le choix a été fait de panifier en parallèle la farine habituellement transformée par le paysan boulanger afin de constituer une référence. Cependant, ces deux propositions reposent sur la perception sensorielle (et individuelle) des expérimentateurs-boulangers et sont donc relatives. Comme pour l'analyse sensorielle, un entraînement pour caler les perceptions est alors nécessaire pour assurer la justesse de l'indicateur.

Une dernière rencontre avec un boulanger autodidacte (M. Roussette) est venue compléter la réflexion sur la mise en place d'indicateurs pour favoriser l'adaptation d'un diagramme de fabrication. Ce dernier ne voulant panifier qu'avec des variétés anciennes (plus particulièrement qu'avec du 'Rouge de Bordeaux') mais ayant constaté de fortes variations de qualité fonction de l'origine et de l'année du blé acheté, a mis au point un pré-test pour adapter sa recette et son mélange de farine à la qualité. Avant la première utilisation des farines, ce boulanger fait un test comparatif de l'état à l'autolyse des farines : dans des pots de même taille il mélange la même quantité de farine avec la même quantité d'eau, laisse reposer quelques heures puis test l'extensibilité de chaque échantillon en tirant sur le mélange et repérant le moment où la pâte se déchire. Ce test repose également sur une perception mais qu'il est aisé de calibrer. Plus généralement, cette proposition ouvre la réflexion sur un pré-test des échantillons avant la panification pour l'évaluation. Elle nécessite cependant d'augmenter la quantité de farine (donc des parcelles cultivées), de façon plus ou moins conséquente (test à l'autolyse ou en panification) et implique une contrainte supplémentaire aux expérimentateurs-boulangers.

3. RECHERCHE D'UN COMPROMIS ENTRE ROBUSTESSE ET EFFICACITE DES RESULTATS

Parmi les principes cités par Stassart et al. (2012) figure la valorisation de la variabilité (diversité et complémentarité) spatio-temporelle des ressources. Plutôt que de caractériser la diversité à travers des valeurs moyennes et de s'en affranchir dans les expérimentations, la recherche sur les systèmes complexes doit faire avec la diversité.

3.1. CONTEXTUALISATION ET VALORISATION DE LA VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE

Pour prendre en compte cette diversité, l'échantillonnage prend une place centrale et de nouveaux outils se développent. Parmi eux l'étude de cas est un témoin de cette prise en compte de la diversité. Cet outil, surtout utilisé dans les sciences sociales, est de plus en plus utilisé dans les recherches sur les systèmes complexes. Il peut sembler difficile de développer des principes agroécologiques face à la variabilité des contextes mondiaux. Pourtant les études de cas présentent un intérêt dans le développement de principes visant à aider les agriculteurs à comprendre la variabilité de leur contexte (Lyon et al., 2011). De plus, l'enracinement des connaissances agroécologiques dans les études de cas permettent d'éviter que les outils et principes développés deviennent des « recettes » et ainsi de maintenir la capacité d'adaptation des démarches et outils. Les études de cas, par leur contextualisation, limitent les interprétations abusives, elles présentent un potentiel considérable pour stimuler de nouveaux apprentissages et formuler de nouvelles hypothèses (Baars, 2011). Le choix de cet outil implique cependant des compromis dans l'échantillonnage. En effet, pour contextualiser au mieux les cas, un grand nombre de variables doivent être recueillies, ce qui limite le nombre d'échantillons pouvant être étudiés.

3.1.1. RECHERCHE D'INDICATEUR DE LA DIVERSITE

Le nombre de mesure réalisée pour contextualiser et caractériser l'objet de recherche sont couteuses en temps et en argent. Une problématique de la recherche « en plein air » réside dans la recherche d'indicateurs traduisant la diversité et la complexité de l'objet. Pour cela, il a été décidé dans le cadre de SOLIBAM, cherchant à établir des « stratégies » de recherche, d'observer un très grand nombre de caractéristiques pédoclimatiques, agronomiques et technologiques ont été relevées pour identifier celles qui sont capables de traduire cette diversité.

3.1.2. CHOIX DES METHODES D'ETUDES

Afin de mieux comprendre l'impact de la structure variétale sur la stabilité des performances, le projet SOLIBAM cherchait à caractériser la diversité à travers l'identification d'indicateurs mesurant l'environnement et le peuplement végétal pour mieux cerner l'interaction génotype*milieu.

La méthodologie mise en œuvre dans Payblé (et SOLIBAM) se situe entre le diagnostic agronomique et l'expérimentation. L'objectif principal du diagnostic agronomique est d'identifier et de classer les éléments du système de culture qui sont responsables des performances de la culture. L'expérimentation produit des observations interprétées ensuite par confrontation entre hypothèse et résultats. Cette complémentarité permet de bâtir progressivement un système d'interprétation proche de la réalité du champs cultivés tout en testant des hypothèses (Doré, 2000).

Pour ce faire, un très grand nombre de variables ont été évaluées dans les champs et analysées à travers des indices de variabilité (coefficient de variance, écart type, Cluster of Variance...). En ajoutant des variables maîtrisées dans une parcelle, le nombre de sites étudiés a été limité. Parallèlement trois structures variétales, reflétant un gradient de diversité ont été choisies pour tester l'hypothèse de la stabilité des performances à travers la diversité génétique. L'objectif était de maximiser les différences. Le nombre d'individus évalués a été limité par le nombre de variables par échantillons.

Les données issues de telles expérimentations présentent des caractéristiques limitant l'utilisation d'analyse statistiques habituellement utilisés en agronomie (analyse de variance, régressions linéaires...). Cette particularité des données issues d'expérimentation système, « en plein air » pousse à la recherche de nouvelles méthodes statistiques permettant d'identifier des corrélations, des schémas d'action ou encore des différences significatives sur des données parfois non répétées, avec un nombre d'observations limité n'autorisant pas l'utilisation de statistiques conventionnelles telle que l'analyse de variance. La régression des carrés multiples (PLS) est apparue par exemple comme la méthode statistique la plus apte à mettre en évidence des corrélations entre données de différentes natures sur un nombre restreint d'observations.

3.1.3. CHOIX DES ECHANTILLONS

Dès lors que le nombre d'échantillons à étudier est limité, le choix d'échantillonnage est crucial et doit viser entre autre à représenter la diversité existante.

L'étude faite dans PaysBlé est avant tout méthodologique et ne prétend pas à une généralisation directe des résultats. Six environnements ont été retenus pour tester la culture des trois structures variétales. Le choix s'est d'abord fait sur la disponibilité et volonté des agriculteurs à expérimenter dans leur champ. Le deuxième choix a été la diversité des conditions pédoclimatiques dans la région (richesses du sol, caractéristiques pédologiques...). Ceci permet également de maximiser les différences pour favoriser la mise en évidence de corrélations.

Pour l'explicitation des critères de sélection liés à la qualité finale, le choix des agriculteurs interviewés s'est d'abord fait sur leur implication dans les travaux liés à la qualité sensorielle des blés populations puis sur la diversité de leur profil. Si seuls les paysans-boulangers de Triptolème ou de l'ARDEAR avaient été interrogés, moins de stratégies de sélection auraient été mises en évidence.

3.2. REITERATION DU PROCESSUS

Le fonctionnement cyclique d'un projet de recherche est souvent associé au concept de recherche-action. Ce processus itératif favorise en effet l'efficacité d'une action en s'appuyant sur l'analyse correcte par le chercheur de la situation, l'identification de toutes les solutions possibles et le choix de la plus appropriée. La problématique peut ainsi être qualifiée d'exploratoire dans le sens où elle consiste en la formulation d'un ensemble de questions de recherche organisées permettant *in fine* la production de nouvelles questions de recherche.

Le processus de recherche itératif s'articule autour de quatre grandes étapes : la planification, l'action, l'observation et la réflexion (figure 79). Ces dernières sont reprises au fur et à mesure que d'autres approches sont explorées ou que des nouvelles connaissances sont produites. Il présente plusieurs avantages dans le cadre d'une recherche décentralisée et participative. Il permet d'intégrer l'imprévisible, à chaque fin de cycle, les questions de recherche et les moyens pour y répondre sont révisés, les outils sont affinés. Cela favorise également l'implication sur le long terme et donc participe à la construction d'une relation de confiance entre les partenaires.

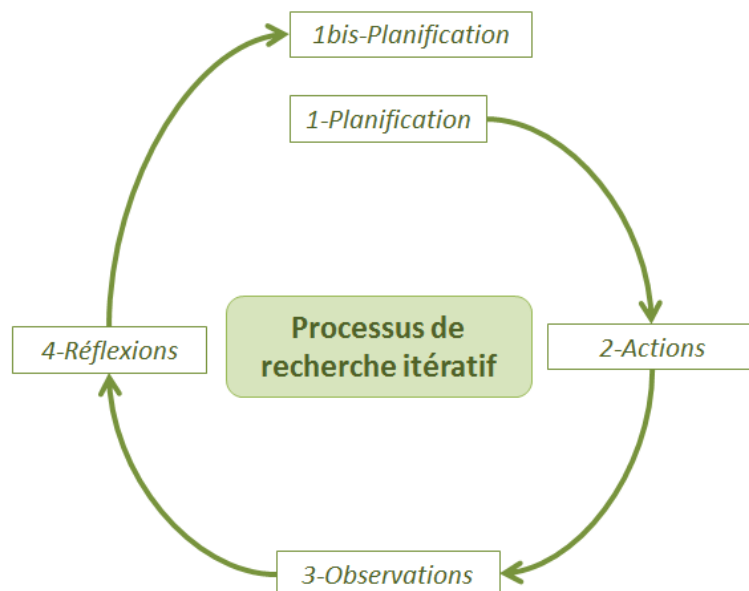


Figure 79: les 4 étapes du processus de recherche itératif

3.3. LE RESEAU ET LA COMMUNAUTE DE PRATIQUE

Les processus d'apprentissage des connaissances en AB sont assez différents de ceux connus en conventionnel et se caractérisent par la mise en place de réseaux locaux et informels d'agriculteurs, ne bénéficiant souvent pas d'aide des pouvoirs publics. C'est le cas notamment du RSP (hors réponses aux appels à projets). Les réseaux en tant que liens sociaux facilitent la coopération innovante et donc l'échange, la création d'informations et de connaissances et le regroupement. Cela permet aussi de mutualiser et de regrouper des informations morcelées. La diffusion des connaissances est également facilitée.

Le processus par lequel un fait isolé attaché à une situation particulière réussit à être restauré et traduit aux autres a été étudié en ethnographie. La théorie de l'acteur-réseau définit les trois « traductions » successives qui transforment la connaissance spécifique en connaissance générique (Callon, 1990). La première étape consiste en une réduction du macrocosme (le monde réel) au microcosme (le laboratoire ou la communauté de pratiques). La deuxième étape est la création d'un collectif au sein du microcosme combinant les acteurs humains (chercheurs, techniciens, praticiens) et les instruments. La troisième étape est le retour vers le macrocosme où la validité des connaissances produites dans l'environnement confiné est testée dans le monde extérieur et complexe. L'application de cette théorie au système de connaissance autour de la qualité sensorielle des blés-populations donne lieu à la définition du microcosme comme la communauté de pratiques. Pour isoler et délimiter les contours de ce microcosme, la règle est l'application d'une même pratique : la culture de blés-populations. La mobilisation du plus grand nombre d'expériences permet l'émergence de tendances plus forte. Goulet (2013) suggère deux critères qui garantissent la qualité de la traduction :

- Une définition claire des limites rendant possible la réduction des pratiques du macrocosme aux pratiques du microcosme,
- La mobilisation de membres du microcosme pour aligner leurs pratiques sur un protocole commun afin d'augmenter l'efficacité de la rencontre entre les individus et leurs expériences respectives.

Le RSP a défini en son sein un groupe blé, qui s'intéresse plus particulièrement à la culture de blés-populations et ainsi une communauté de pratiques. Une volonté de mutualiser les initiatives sur l'étude des qualités des blés anciens s'est traduit par l'organisation d'une réunion nationale les 27 et 28 juin 2013 rassemblant les paysans-boulangers du réseau et s'appuyant sur la formation à la panification développée par Triptolème. L'objectif était avant tout d'échanger sur les résultats des différentes expérimentations (Bretagne et Rhône-Alpes). Cette réunion a ouvert la réflexion vers une organisation commune des expérimentations pour les tests de panification des variétés anciennes et a motivé la création de nouveaux groupes d'expérimentations.

B. PROPOSITION D'ORGANISATION PARTICIPATIVE DE LA SÉLECTION INTEGRANT LA QUALITÉ SENSORIELLE

Cette partie reprend les résultats de la partie III et les interprète en termes d'organisation collective de la sélection.

1. VERS UN RESEAU D'EXPERIMENTATION DECENTRALISE ET PARTICIPATIF

Le développement et l'optimisation d'un réseau de recherche décentralisé et participatif est une alternative pour assurer une recherche de solutions adaptées à la diversité des contextes en AB et une recherche orientée vers l'action en favorisant l'appropriation des résultats, le changement des pratiques et le développement d'une capacité locale d'expérimentation.

Les agriculteurs ont démontrés leur capacité à expérimenter à travers notamment le projet PaysBlé : la comparaison entre les notes de panifications des expérimentateurs INRA et boulanger présente des différences d'intensités et très peu de différence de classement. Leur expérience permet également l'intégration d'éléments nouveaux qui viennent enrichir la réflexion. Le rôle du chercheur évolue dans ce réseau d'expérimentation. De maître d'œuvre, il devient facilitateur. Plutôt que d'imposer un schéma déterminé, il facilite l'émergence d'une réflexion commune et la mise en relation entre les acteurs. Il assure la mise en œuvre de la démarche scientifique, l'analyse des données et le retour vers les expérimentateurs. Un autre échelon est nécessaire pour favoriser le développement de tel réseau, l'animateur, faisant le lien entre les acteurs de la recherche et les agriculteurs.

L'optimisation d'une telle démarche passe par le développement d'outils adaptés au contexte de la recherche participative, c'est-à-dire fiable mais simple et souple d'utilisation. Pour assurer la fiabilité des résultats et renforcer la puissance (statistique) du dispositif, plusieurs outils sont en cours de développement à l'issue du programme SOLIBAM.

Un exemple d'innovation organisationnelle s'intégrant dans une démarche de recherche décentralisée est la création d'**une base de données** gérant la diversité des données générées par les agriculteurs (Rivière, 2014). Conçue en partenariat avec les agriculteurs et animateurs des associations, elle vise à être utilisable par tous les acteurs. Elle présente donc un double objectif : renforcer l'efficacité du réseau de sélection et favoriser l'autonomie des agriculteurs dans leur propre sélection. La base de données actuellement développée ne concerne pour l'instant que des données agronomiques. Une amélioration prévue est l'intégration des caractéristiques technologiques et sensorielles afin de compléter la caractérisation des Géotype*Environnement.

Pour intégrer les agriculteurs en tant qu'expérimentateurs dans un réseau, ces derniers doivent s'approprier certaines notions de bases de la démarche scientifique, telles que la mise en place de répétition et de témoin. Des **guides d'expérimentation**, réunissant les consignes pour remplir et utiliser la base de données sont en cours de rédaction.

Dans cet objectif d'optimisation de l'organisation d'un réseau d'expérimentation décentralisé, un guide pour la caractérisation sensorielle des blés-populations est en cours de rédaction. Le partage d'un cadre d'expérimentation commun est une proposition pour mutualiser les données et traduire des connaissances spécifiques en connaissances plus génériques.

Au vu de la diversité des pratiques boulangères et des intérêts des paysans-boulangers ce guide ne vise pas à donner une recette passe-partout pour panifier les variétés anciennes. Si l'agriculteur est plus intéressé par la sélection, il pourra choisir de travailler la variété ; si son intérêt se situe plus sur les techniques boulangères, par exemple le levain, il pourra choisir de modifier ses pratiques de panification. Cet outil présente plusieurs objectifs.

- donner des conseils pour optimiser le goût de la variété du blé dans le pain pour faciliter le criblage variétal sur la qualité sensorielle et ainsi favoriser la sélection intégrant les critères de qualités finales ;

- offrir un cadre d'expérimentation pour les individus ou associations souhaitant tester les qualités boulangères et sensorielles de différentes variétés afin de mutualiser les résultats des différentes initiatives et alimenter une base de données intégrant les critères de qualité finale.

Cet outil se veut pratique et restitue les principaux résultats du travail de thèse. Il est composé de quatre parties. La première partie traduit de façon très synthétique les résultats de la thèse, la deuxième partie restitue les interviews réalisées dans le cadre de la thèse et vise à transférer l'expérience des rares pionniers aux lecteurs. La troisième partie offre un cadre d'expérimentation commun et des conseils pour optimiser le goût de la variété dans le pain. Enfin la quatrième partie tente de restituer des indicateurs de la qualité aux champs et au fournil pour faciliter la sélection pour des critères sensoriels. Ce guide se veut ergonomique, facile d'utilisation pour en favoriser l'appropriation.

Des formations pour tous les acteurs de la recherche décentralisée sont conseillées. Pour les chercheurs il faut favoriser la co-construction de connaissances et favoriser un questionnement sur la posture du chercheur par rapport à son objet de recherche. Pour les agriculteurs, des formations pour l'appropriation de la démarche scientifique facilitera la centralisation des données dans une base, la comparaison entre les résultats de différentes expérimentations (observations agronomiques et sensorielles) ou encore la mise en œuvre d'actions de sélection telles que le croisement manuel ou l'évaluation comparative de variétés sur des caractéristiques sensorielles. En analyse sensorielle, en enjeux supplémentaire est le calibrage de la perception. En effet pour comparer des qualités sensorielles (aptitudes à la panification, évaluations, identifications d'arômes) un minimum d'entraînement est requis. Pour cela, une mise en commun du vocabulaire mais également l'apport de références concrètes (photos pour le protocole d'évaluation de l'aptitude à la panification, référence gustative pour l'évaluation de la qualité sensorielle) est nécessaire et passe par la **formation** des expérimentateurs.

Un cadre souple favorisant l'expérimentation individuelle mais aussi collective facilite et renforce l'efficacité des résultats tous en assurant leur fiabilité par la puissance qu'offre une base de données provenant des multiples expérimentations réalisées dans un réseau. Pour cela le développement d'outils et de méthodes et la mise en œuvre de formation (au croisement de variétés, à l'expérimentation, à l'analyse sensorielle) adaptés au contexte de la recherche participative apparaît comme une condition sine qua non au bon fonctionnement d'un tel réseau.

2. CAS DU BLE

2.1. LES LEVIERS D'ACTIONS SUR LA QUALITE

Les trois leviers d'actions étudiés, l'environnement, les pratiques boulangères et la sélection semblent impacter de façon significative la qualité finale du pain. L'introduction du concept de « terroir » pose la question de la stabilité de la qualité. En effet, en filière viticole, la qualité reliée à un terroir renvoie à une qualité aux contours définies et relativement stable. Cette stabilité de la qualité peut être liée à la notion de typicité, qui, du point de vue de la production, décrit un trait de caractère distinctif, fondée sur un lien au lieu (Perrin, 2008).

L'effet du climat dans l'expression du terroir est communément admis et c'est la prépondérance des facteurs naturels (sol et climat) qui confère une certaine stabilité à l'expression d'un terroir dans un endroit donné (Van Leeuwen et al., 2009). Dans le cas de la filière intégrée paysans-boulangers, bien qu'il existe également cette prépondérance des facteurs naturels, le climat joue également sur la croissance des populations et les proportions des différents génotypes s'exprimant en son sein.

Ainsi un des leviers susceptible de stabiliser la qualité est le levier sélection en jouant sur la diversité génétique. Cependant, les résultats montrent une relation contraire entre diversité et stabilité sur les caractéristiques agronomiques et sensorielles. Tandis que la diversité génétique semble favoriser la stabilité des performances agronomiques, des variations de qualités sensorielles en fonction de l'année et de l'environnement sont plus marquées sur des populations diversifiées que sur la lignée pure. Mais ces résultats proviennent de l'étude de quelques populations, sur trois ans et qui n'ont pas eu le temps de s'adapter à

l'environnement. Ces observations mettent donc de côté un aspect important de la sélection décentralisée de populations : l'adaptation. Un exemple concret de réussite de cette stratégie de diversification pour la stabilité est celui de Christian Dalmasso (retranscrite dans les interviews). Ce dernier avait pour objectif d'abord de stabiliser ses rendements sans chercher à conférer une saveur particulière à ses pains, qu'il voulait plutôt neutre en goût. Des années de sélection massales lui ont permis d'obtenir un mélange très diversifié, relativement stable au niveau du rendement et ne présentant pas de qualité sensorielle particulière.

Le dernier levier est évident et est celui des pratiques boulangères. Une des limites des expérimentations mise en évidence dans PaysBlé est la puissance aromatique du levain utilisé par Nicolas qui a pu gommer les différences entre les variétés (panifiés par Nicolas) mais également entre les pains panifiés par les autres boulangers. L'utilisation d'un levain particulier (élaboré à partir de petit sons et non de farine, par exemple) ou encore une cuisson forte au four à bois, sont des pratiques boulangères qui peuvent donner une identité au produit et permettre de stabiliser la qualité du pain.

La bibliographie et les résultats de la thèse confirme la pertinence d'intégrer le critère sensoriel dans le processus de sélection. Les nombreuses expérimentations mises en œuvre ont testé et adapté des outils sensoriels au contexte de la sélection dans le cadre d'une filière intégrée. Deux niveaux de sélection apparaissent. Ces deux niveaux nécessitent des outils spécifiques et impliquent des contraintes particulières (figure 80). La démarche de l'agriculteur peut être soit individuelle soit collective. La démarche individuelle peut se justifier par l'existence de populations anciennement cultivées dans la région et donc susceptible d'être adaptées aux conditions climatiques. Le choix des génotypes est donc limité et ne nécessite pas de passer au crible un grand nombre de variétés. L'objectif de l'agriculteur peut également simplement être de répondre aux attentes de ses clients, dans ce cas le collectif n'apporte pas forcément de plus-value. La démarche collective est empruntée par plusieurs profils d'agriculteurs : les passionnés qui souhaitent découvrir de nouvelles variétés, même si ceux-ci ont un système qui fonctionne, les nouveaux installés qui, face à la grande diversité de populations existantes (et à la disparition des variétés anciennes de leur région) et aux faibles surfaces disponibles pour tester, ne savent pas quels génotypes et/ou mélange de génotypes cultiver. Les contraintes dans cette démarche collective sont plus importantes, car pour comparer les données provenant de différents expérimentateurs, un minimum d'éléments méthodologiques doivent être fixés : la mise en place d'un témoin commun, de répétitions ou encore l'entraînement à l'observation et à l'évaluation. Dans les deux cas l'épreuve de Napping® semble adaptée, car elle intègre les attentes des consommateurs (si le panel est constitué des clients du boulanger) ou encore l'expertise des paysans-boulangers pour une description sensorielle plus précise des pains (si le panel est constitué d'un groupe de professionnel du pain).

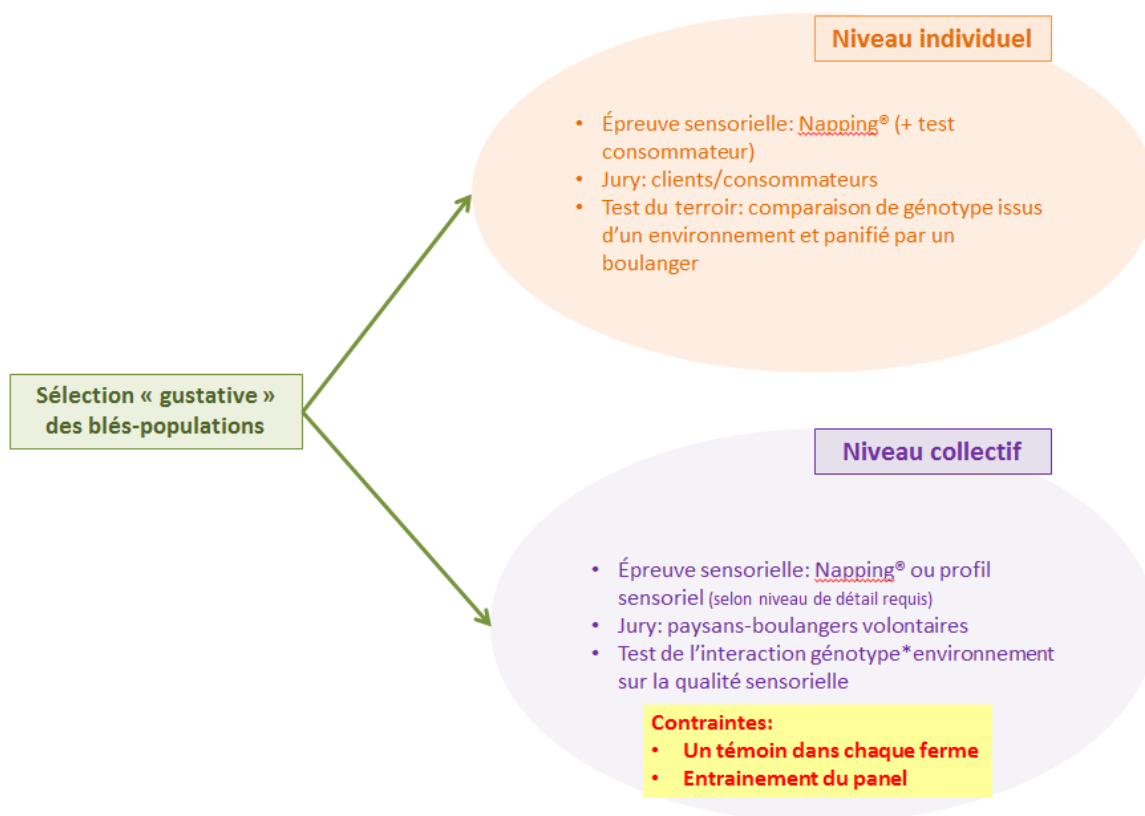


Figure 80: Proposition d'une démarche sensorielle pour l'intégration de la qualité sensorielle du blé tendre dans la sélection

2.2. PROPOSITION D'ORGANISATION DE LA SELECTION GUSTATIVE POUR LE BLE TENDRE

2.2.1. CRIBLAGE VARIETAL INTEGRANT LA QUALITE FINALE

Les paysans-boulangers réalisant d'ores et déjà une sélection de population en vue de la constitution d'un mélange pour la panification s'organisent autour de trois étapes :

- La mise en place d'une collection de populations

Un certain nombre d'agriculteurs, membres du réseau semences paysannes, ont mis en place à côté de leur parcelle de production, des collections de populations. Leurs objectifs sont d'une part, de participer à la conservation de ces populations par leur gestion dynamique, et d'autre part, de mieux connaître le comportement de ces populations. Ils évaluent ainsi l'adaptabilité des populations à leur environnement. Cependant, ces collections représentent de très petites surfaces, ce qui limite l'étude aux caractéristiques agronomiques et ne permet pas l'étude des qualités technologiques et sensorielles des populations.

- La multiplication des populations choisies pour les essais de panification

Afin d'évaluer l'aptitude des blés à la transformation, il est possible de multiplier les populations repérées dans la collection pour leur intérêt agronomique, pour les cultiver sur des plus grandes parcelles. Les quantités de grain alors récoltées sont suffisantes pour des essais en panification.

- La constitution d'un mélange-boulangerie pour la production et la transformation à l'échelle de l'exploitation

Une fois les populations testées en panification (en pure et/ou en mélange), un « mélange-boulangerie » sera constitué sur les résultats agronomiques, technologiques et sensoriels. Au fil des ans, le mélange peut être ré-

enrichit soit en un phénotype qui tend à disparaître du mélange, soit en intégrant des nouvelles populations issues du processus de criblage.

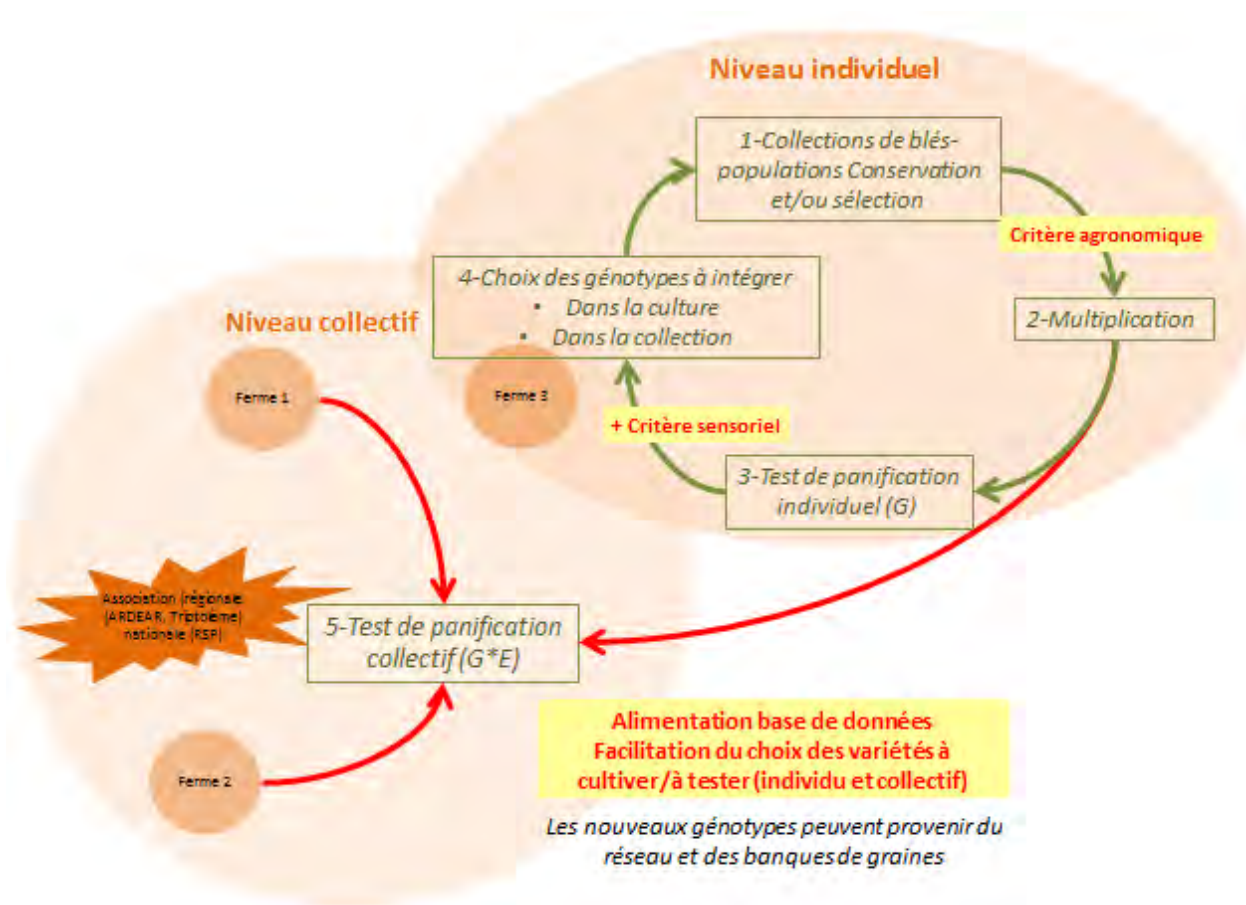


Figure 81: Proposition d'une organisation d'une sélection adaptée aux pratiques et principes de l'AB: cas du blé

Pour faciliter le choix des populations, il apparaît intéressant de développer une base de données regroupant les évaluations faites par les agriculteurs dans leur champ. Cette caractérisation commune des blés favorisera l'identification des populations les mieux adaptées aux différentes conditions agronomiques en intégrant l'interaction G*E dans l'expression de la qualité finale. L'objectif est de caractériser les populations sur les performances agronomiques mais également sur leurs aptitudes à la panification. Pour pouvoir comparer de telles données et tirer des conclusions, les méthodes d'observation doivent être communes. Cela nécessite le partage d'un vocabulaire commun, et des échelles de notations communes. La réalisation de tests de panifications collectifs, c'est-à-dire comparant des variétés*environnements et où les paramètres de panification sont homogénéisés, contribue à cette mutualisation.

En permettant la caractérisation collective des populations cette démarche vise au final à faciliter le choix des populations à tester sur des critères objectifs et pertinents.

2.2.2. PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION

Les expériences des paysans-boulangers et les expérimentations ont mis en évidence plusieurs écueils à éviter lors des expérimentations et des précautions d'emplois des nouveaux outils proposés.

Une utilisation abusive de la base de données collective conduirait par exemple à la mise à l'écart d'une population au vu de ses performances sur un environnement donné. L'interaction génotype*environnement est telle que le comportement d'une population donnée sur un environnement donné est très peu prédictible. Comme le rappelle Vilmorin « *L'influence du sol et celle du climat se modifient souvent l'une l'autre, au point que les races qui, dans une région, réussissent bien sur le calcaire, prospèrent au contraire dans une autre sur les*

sables ou les argiles ». Cela varie même d'une parcelle à l'autre. Pour cela, avant de mettre de côté une population il est proposé de la tester au moins sur deux ans et sur plusieurs parcelles.

De la même manière, le comportement d'une population en pure (farine provenant d'une unique population) peut être différent de celui qu'elle aura en mélange. De plus, le mélange se situe à deux niveaux : mélange au champ (farine de mélange) ou mélange au fournil (mélange de farines). C'est pourquoi, avant de conclure à l'intérêt d'une population, si le temps et l'espace le permet, il est conseillé de tester les populations en pure et en mélange (mélange de farines ou farine de mélange selon la stratégie de sélection adoptée) si celle-ci ne se comporte pas bien à la panification en pure.

Les essais en panification nécessitent une production de grains suffisants pour la panification et sont constitués des populations « favorites ». Il est conseillé de pratiquer une rotation pour évaluer le comportement des populations choisies sur différentes parcelles. Pour cela il semble important de séparer la collection de l'essai de panification. La collection permet de repérer les populations d'intérêt. Ce sont bien souvent des micro-parcelles (1m²) qui ne fournissent donc pas assez de grains pour la panification. La collection ne suit pas forcément une rotation, bien que ce soit conseillé pour conserver la fertilité des sols et assurer la levée.

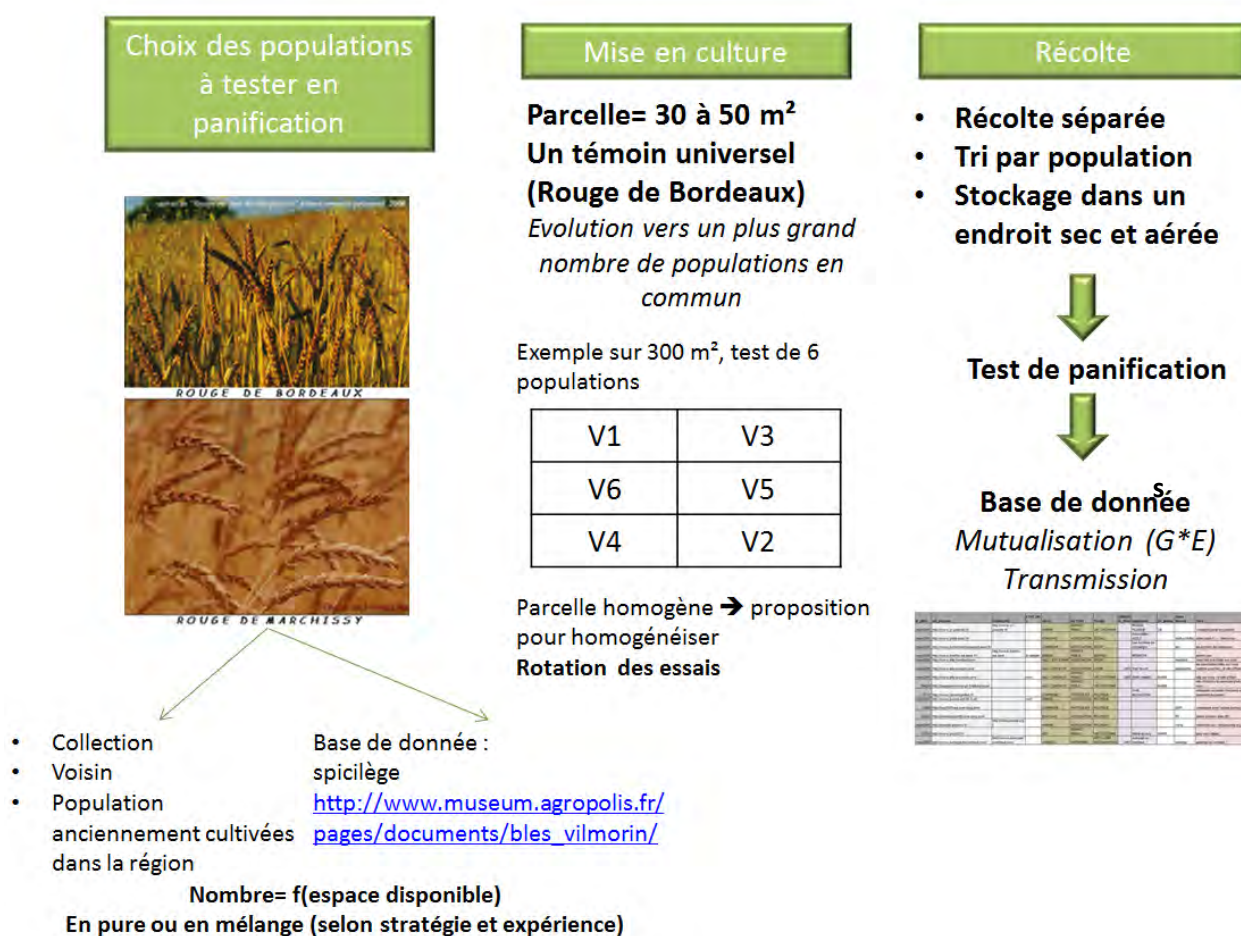


Figure 82 : dispositif d'expérimentation pour intégrer la qualité sensorielle dans un processus de sélection participative

3. CAS DU BROCOLI

3.1. LES LEVIERS D' ACTIONS SUR LA QUALITE

L'objectif de la thèse pour l'étude de cas brocoli était d'étudier le levier sélection et environnement (pratiques culturales et conditions pédoclimatiques). La grande hétérogénéité des conditions entre les deux stations d'expérimentation (avec des conditions climatiques exceptionnelles pendant le projet), la difficulté de coordonner les semis et les récoltes a compromis l'étude du levier environnement.

En revanche, la stratégie d'intégrer le critère sensoriel dans une sélection généalogique s'est avérée pertinente car des populations sources aux caractéristiques sensorielles remarquables ont été identifiées et caractérisées à l'issue des trois ans de sélection. Pour favoriser l'intégration du critère sensoriel en sélection, la pertinence et l'adaptation de différents outils sensoriels ont été évalués. L'épreuve de classement a montré ses limites en termes de nombre d'échantillons évaluables et précision de la mesure. Le profil sensoriel réalisé par un petit panel interne sur un petit nombre de descripteurs a été lourd à mettre en œuvre et n'a pas donné une qualité de résultats à la hauteur de l'investissement. Cependant, cette expérimentation a mis en évidence l'importance de l'apport de référence, favorisant l'acquisition d'un « savoir évaluer » pour une capacité accrue dans la détection et la distinction d'arôme. Ainsi pour évaluer la qualité sensorielle de brocolis en cours de sélection, un simple brainstorming, qui peut prendre la forme de réunion hebdomadaire (en fonction du nombre d'échantillons à évaluer) apparaît suffisant. L'épreuve de Napping peut être appliquée en début et fin de programme pour situer les échantillons les uns par rapport aux autres et caractériser plus précisément les attentes des acteurs de la filière et/ou la qualité sensorielle des échantillons.

Dans une optique de commercialisation, une stratégie réside dans la description précise des qualités sensorielles des variétés. Cette stratégie de communication a été mise en œuvre par Rijk Zwaan un semencier hollandais, à travers l'édition d'un livre « sensationnal flavours ». De la même manière, Kultursaat, une association de jardiniers et professionnels, a lancé une campagne de communication « des légumes qui ont du caractère » en insistant sur les qualités sensorielles exceptionnelles de leurs variétés.

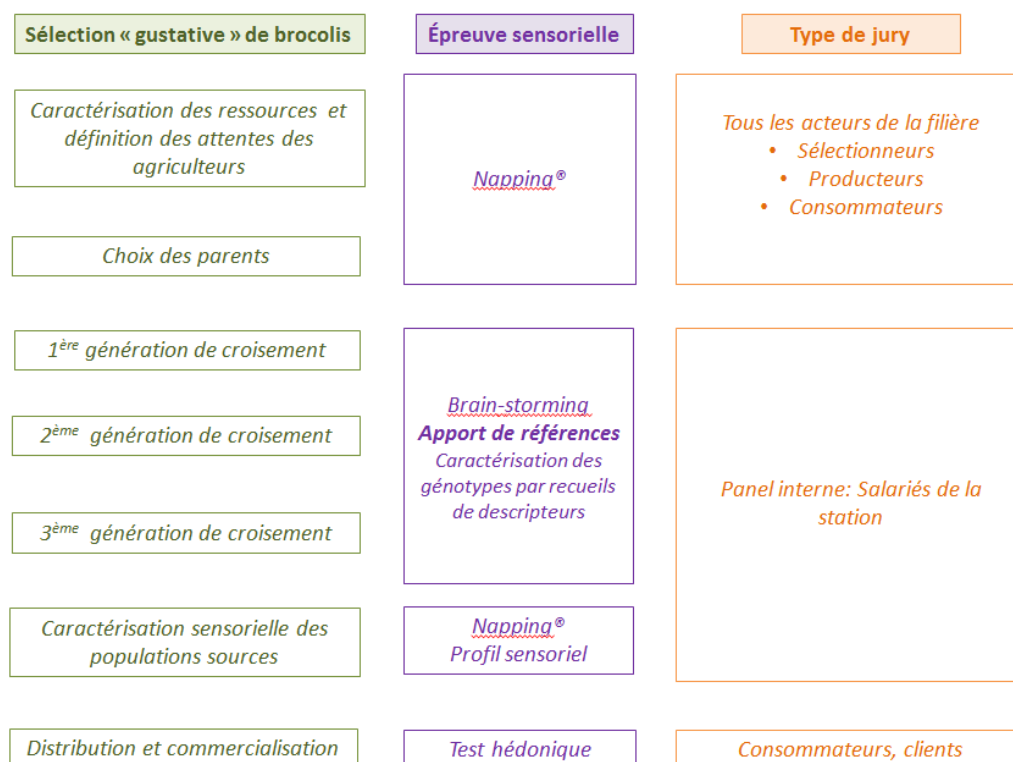


Figure 83: Proposition d'une démarche sensorielle pour l'intégration de la qualité sensorielle du brocoli dans la sélection

3.2. PROPOSITION D'ORGANISATION DE LA SÉLECTION GUSTATIVE POUR LE BROCOLI

D'un point de vue organisationnel, le rôle central de la station expérimentale, qu'elle soit professionnelle ou associative pour la création de diversité et la proposition de populations sources est mis en avant au travers de ces résultats. Une importante étape de recueil des attentes des acteurs de la filière, producteur comme consommateur, est nécessaire à leur intégration dans les critères de sélection, les premières étapes se réalisant en station et non à la ferme. La première étape de création des populations consiste à mieux connaître et à caractériser la diversité des variétés locales ou exotiques (provenant de collection *ex-situ* ou *in-situ*). Une fois les différentes populations de bases constituées, une sélection généalogique et des inter-croisements permettent l'amélioration des populations sur des critères agronomiques et sensoriels. Cette sélection permet un progrès génétique pour ces caractères tout en maintenant une diversité élevée (Gallais and Bannerot, 1992)

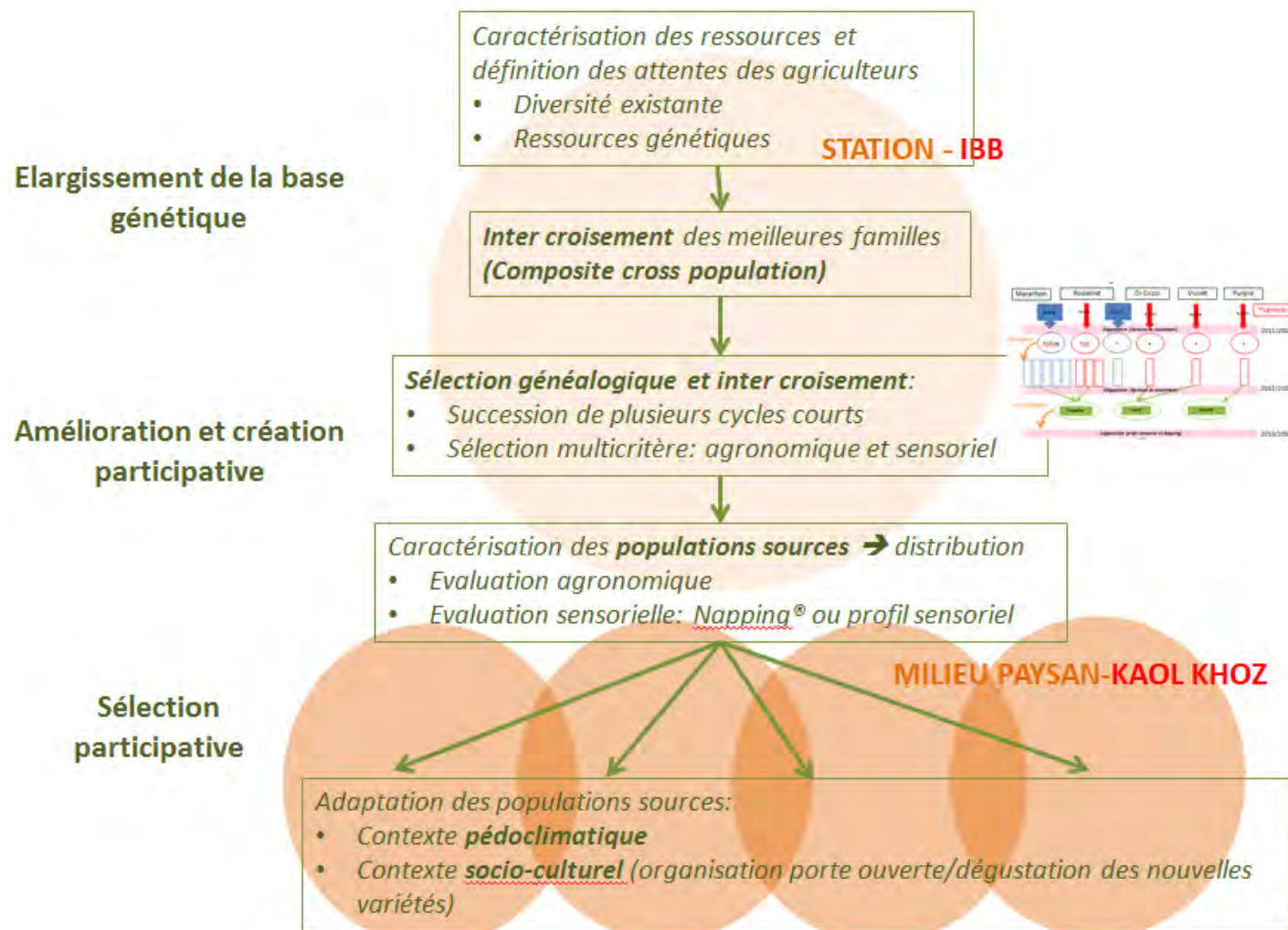


Figure 84: proposition d'une organisation d'une sélection adaptée aux pratiques et principes de l'AB, cas du brocoli

CONCLUSION

L'objectif global de SOLIBAM, le projet dans lequel s'insère cette thèse, est de développer des approches de sélection nouvelles et spécifiques pour répondre aux attentes multiples et diverses de l'AB et du FI. Ces nouveaux défis et problèmes réclament de nouvelles démarches et méthodologies pour les résoudre. Les propositions pour répondre à ces nouvelles problématiques émises à l'issue du projet SOLIBAM reposent sur trois concepts clés, concepts qui émergent également de ces travaux de thèse :

- La diversité (inter et intra-spécifique) pour améliorer la résilience des systèmes agronomiques et l'adaptation à la diversité des contextes et aux aléas climatiques,
- L'innovation participative et décentralisée pour favoriser la culture et l'adoption de cette biodiversité dans le temps et dans l'espace,
- La localité qui traduit la spécificité de chaque situation, comme une combinaison unique de facteurs biotiques, abiotiques et humains et à laquelle le système agricole doit nécessairement être adapté.

Le concept d'innovation est au cœur de ces réflexions. L'innovation est décrite dans les directives des nouveaux Partenariats Européens pour l'Innovation (PEI) comme une nouvelle idée qui a prouvé son efficacité en pratique. Elle peut être d'ordre technologique, cognitive ou encore organisationnelle. Il n'est néanmoins pas possible de définir l'innovation avant la mise en application de l'idée.

Dans le cas de cette thèse, deux innovations potentielles ont émergées et font partie des 10 innovations clés recensées dans SOLIBAM :

- Une innovation organisationnelle qui consiste en la proposition d'une organisation participative et collective de la sélection intégrant la qualité sensorielle. Un set d'outils et une démarche souple favorise une mesure de la qualité sensorielle adaptée au contexte et aux produits ;
- Une innovation technique qui réside dans la création de nouvelles populations sources de brocolis, présentant des caractéristiques sensorielles remarquables et identifiées.

L'efficacité de ces idées, c'est-à-dire leur caractère innovant, se révélera au travers de l'appropriation de ces démarches et populations sources. Concernant l'organisation de la sélection, des guides d'expérimentations et la construction d'une base de données visent à favoriser l'adoption de la démarche. Le RSP ainsi que l'ITAB ont chargé des animateurs (Pierre Rivière, Camille Vindras) pour assurer la continuité de l'animation d'un réseau de recherche décentralisé et participatif au-delà du projet SOLIBAM. Concernant les nouvelles populations, les associations (du grand ouest pour l'instant : Bio Loire Océan, Kaol Khoz) sont demandeuses et en attente de ces populations pour les distribuer aux agriculteurs adhérents et poursuivre l'adaptation des populations à leur contexte.

Un autre défi que soulèvent ces travaux de thèse est la pratique de la transdisciplinarité. La transdisciplinarité a été défini par Jahn et al., (2012) comme « une approche critique et autoréflexive qui relie les problèmes sociétaux et scientifiques. Elle produit de nouvelles connaissances en intégrant différents points de vues scientifiques et extra-scientifiques [...] ». Un certain nombre de scientifiques s'accordent sur le fait que le futur de l'agronomie dépend de cette approche (Vasbinder et al., 2010). En effet, la transdisciplinarité semble offrir une solution adéquate pour répondre aux nouvelles problématiques sociétales telles que le changement climatique ou encore la préservation de la biodiversité. Sa réussite dépend en grande partie de la capacité des différents acteurs à partager et construire des connaissances adéquates. Ce partage est rendu difficile par la spécialisation des disciplines scientifiques et par les différentes valeurs et croyances soutenues par des acteurs très diverses (Couix and Hazard, 2013). Cette thèse a montré que le processus d'apprentissage collectif aide au dépassement des divergences de points de vue.

Malgré sa popularité croissante, la transdisciplinarité est loin d'être adoptée par le milieu académique et favorisée par les institutions. Un défi méthodologique de l'activité scientifique est alors de déterminer comment une recherche pourra optimiser sa démarche entre deux contraintes opposées : entre obtenir des

résultats fiables et reproductibles et mettre rapidement en œuvre ces résultats ; la demande sociétale opte le plus souvent pour la rapidité.



BIBLIOGRAPHIE

- Abbott, J.A., 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207–225.
- Abécassis, J., Bar L'Helgouac'h, C., Bonnefoy, M., Chaurand, M., Fardet, A., Fischer, J., Fontaine, L., Leenhardt, F., Mangin, M., Maraval, G., Rémésy, C., Taupier-Létage, B., Viaux, P., 2001. *Maîtrise de la Production de Blé en Agriculture Biologique et des Procédés de Mouture Adaptés à la Fabrication de Farine de Haute Densité Nutritionnelle* (Compte rendu de fin de recherche No. Rapport Final Contrat AQS n°2001 /FN18). Ministère de la recherche.
- Agence Bio, 2013. *L'agriculture biologique. Chiffres clés. Edition 2013.* Agence française pour le développement et la promotion de l'agriculture biologique.
- Almekinders, C., Koehler-Rollefson, I., 2001. Similarities and differences between plant and animal genetic resource management and conclusions for technical co-operation. *GTZ*.
- Altieri, M.A., 1983. *Agroecology, the Scientific Basis of Alternative Agriculture.* Div. of Biol. Control, U.C. Berkeley, Cleo's Duplication Services. (out of print), Berkeley, Div. of Biol. Control, U.C. Berkeley, Cleo's Duplication Services. ed.
- Annunziata, A., Vecchio, R., 2011. Functional foods development in the European market: A consumer perspective. *J. Funct. Foods* 3, 223–228. doi:10.1016/j.jff.2011.03.011
- Arendt, E.K., Ryan, L.A.M., Dal Bello, F., 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiol.* 24, 165–174. doi:10.1016/j.fm.2006.07.011
- Ashby, J.A., Sperling, L., 1995. Institutionalizing Participatory, Client-Driven Research and Technology Development in Agriculture. *Dev. Change* 26, 753–770. doi:10.1111/j.1467-7660.1995.tb00573.x
- Atlin, G.N., Venuprasad, R., Bernier, J., Zhao, D., Virk, P., Kumar, A., 2008. Rice germplasm development for drought-prone environments: progress made in breeding and genetic analysis at the International Rice Research Institute, World Scientific Publishing and Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, Singapore. ed. Serraj, R., Bennet, J., Hardy, B (Eds).
- Audoux, C., Gillet, A., 2011. Recherche partenariale et co-construction de savoirs entre chercheurs et acteurs: l'épreuve de la traduction. *Rev. Interv. Économiques Pap. Polit. Econ.*
- Baars, T., 2011. Experiential Science; Towards an Integration of Implicit and Reflected Practitioner-Expert Knowledge in the Scientific Development of Organic Farming. *J. Agric. Environ. Ethics* 24, 601–628. doi:10.1007/s10806-010-9281-3
- Barański, M., Średnicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G.B., Benbrook, C., Biavati, B., Markellou, E., Giotis, C., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., Tahvonen, R., Janovská, D., Niggli, U., Nicot, P., Leifert, C., 2014. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br. J. Nutr.* 112, 794–811. doi:10.1017/S0007114514001366
- Baros, C., 2003. Info-Ctifl.
- Barrett, D.M., Garcia, E.L., Russell, G.F., Ramirez, E., Shirazi, A., 2000. Blanch time and cultivar effects on quality of frozen and stored corn and broccoli. *J. Food Sci.* 65, 534–540.
- Bawden, R., 1997. The community challenge: the learning response, in: *Invited Plenary Paper, 29th Annual International Meeting of the Community Development Society, Athens, Georgia.* pp. 27–30.
- Beck, T.K., Jensen, S., Bjoern, G.K., Kidmose, U., 2014. The Masking Effect of Sucrose on Perception of Bitter Compounds in Brassica Vegetables. *J. Sens. Stud.* 29, 190–200. doi:10.1111/joss.12094
- Bellon, S., Lamine, C., Olivier, G., Abreu, L.S. de, 2009. The relationships between organic farming and agroecology.

- Bellon, S., Penvern, S., 2014. Organic Food and Farming as a Prototype for Sustainable Agricultures, in: Bellon, S., Penvern, S. (Eds.), *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures*. Springer Netherlands, pp. 1–19.
- Benbrook, C.M., 2005. Elevating antioxidant levels in food through organic farming and food processing. *Org. Cent. Foster RI* 81.
- Benoît, M., Papy, F., 1998. La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. *Doss. Environ.* 105.
- Bocci, R., Chable, V., 2007. Selmenes paysannes en Europe: enjeux et perspectives. *Cah. Agric.* 17, 216–221.
- Bonneuil, C., Demeulenaere, E., 2007. Une génétique de pair à pair? L'émergence de la sélection participative. *Sci. Citoyennes Vigil. Collect. Rapp. Entre Profane Sci. Dans Sci. Nat.* 122–147.
- Bonneuil, C., Demeulenaere, E., Thomas, F., Joly, P.-B., Allaire, G., Goldringer, I., 2006. Innover autrement? La recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale. *Doss. Environ. INRA* 29–51.
- Bordes, J., Branlard, G., Oury, F.X., Charmet, G., Balfourier, F., 2008. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *J. Cereal Sci.* 48, 569–579. doi:10.1016/j.jcs.2008.05.005
- Boutrolle, I., Arranz, D., Rogeaux, M., Delarue, J., 2005. Comparing central location test and home use test results: Application of a new criterion. *Food Qual. Prefer.* 16, 704–713. doi:10.1016/j.foodqual.2005.03.015
- Brabant, C., Fossati, D., Kleijer, G., 2007. Influence de la variété de blé sur le goût du pain. *Rev. Suisse Agric.* 39, 101–108.
- Brennan, R.M., Hunter, E.A., Donald Muir, D., 1997. Genotypic effects on sensory quality of blackcurrant juice using descriptive sensory profiling. *Food Res. Int.* 30, 381–390. doi:10.1016/S0963-9969(97)00063-X
- Brewer, M.S., Begum, S., Bozeman, A., 1995. Microwave and conventional blanching effects on chemical, sensory, and color characteristics of frozen broccoli. *J. Food Qual.* 18, 479–493.
- Brookfield, P.L., Nicoll, S., Gunson, F.A., Harker, F.R., Wohlers, M., 2011. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture. *Postharvest Biol. Technol.* 59, 179–186. doi:10.1016/j.postharvbio.2010.08.021
- Brossier, J., 1987. Système et système de production. *Cah. Sci. Hum.* 23.
- Brown, A.F., Youcef, G.G., Jeffery, E.H., Klein, B.P., Wallig, M.A., Kushad, M.M., Juvik, J.A., 2002. Glucosinolate Profiles in Broccoli: Variation in Levels and Implications in Breeding for Cancer Chemoprotection. *J. Amer. Soc. Hort.* 127, 807–813.
- Brückner, B., Schonhof, I., Kornelson, C., Schrödter, R., 2005. Multivariate sensory profile of broccoli cauliflower and consumer preference. *Ital J. Food Sci. N* 17, 17–32.
- Callon, M., 1990. Techno-economic networks and irreversibility. *Sociol. Rev.* 38, 132–161. doi:10.1111/j.1467-954X.1990.tb03351.x
- Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F., Nuez, F., 2011. The risks of success in quality vegetable markets: Possible genetic erosion in Marmande tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and consumer dissatisfaction. *Sci. Hortic.* 130, 78–84. doi:10.1016/j.scienta.2011.06.013
- Causse, M., Saliba-Colombani, V., Lesschaeve, I., Buret, M., 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 2. Mapping QTLs for sensory attributes. *Theor. Appl. Genet.* 102, 273–283.
- Ceccarelli, S., Grando, S., 2007. Decentralized participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* 349–360.

- Chable, V., Dawson, J., Bocci, R., Goldringer, I., 2014. Seeds for Organic Agriculture: Development of Participatory Plant Breeding and Farmers' Networks in France, in: Bellon, S., Penvern, S. (Eds.), *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures*. Springer Netherlands, pp. 383–400.
- Challacombe, C.A., Abdel-Aal, E.-S.M., Seetharaman, K., Duizer, L.M., 2012. Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. *J. Cereal Sci.* 56, 181–188. doi:10.1016/j.jcs.2012.03.006
- Charriau, A., 2010. Mise en place d'un outil de caractérisation des bkés de pays pour les paysans. Cas des bkés de Redon dans le cadre du projet PaysBlé (Mémoire LPE "PARTAGER"). Université de Rennes 1.
- Cheng, C.H., Seal, A.G., Boldingh, H.L., Marsh, K.B., MacRae, E.A., Murphy, S.J., Ferguson, A.R., 2004. Inheritance of taste characters and fruit size and number in a diploid *Actinidia chinensis* (kiwifruit) population. *Euphytica* 138, 185–195.
- CNAB-INAO, 2013. Rapport de fonctionnement de la base de données sur les semences biologiques en 2012.
- CORDELLIER, S., 2008. L'émergence de groupes promouvant des systèmes de production « différents »
. Pour 220–229.
- Cornillon, P.A., Guyader, A., Husson, F., Jégou, N., Josse, J., Kloareg, M., Matzner-Lober, E., Rouvière, L., 2008. *Statistique avec R, Didact Statistique*. PU Rennes.
- Cornwall, A., Jewkes, R., 1995. What is participatory research. *Soc. Sci. Med.* 41, 1667–1676.
- Costanzo, A., Bàrberi, P., 2014. Functional agrobiodiversity and agroecosystem services in sustainable wheat production. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 327–348. doi:10.1007/s13593-013-0178-1
- Couix, N., Hazard, L., 2013. When the future of biodiversity depends on researchers' and stakeholders' thought-styles. *Futures* 53, 13–21. doi:10.1016/j.futures.2013.09.005
- Cuéllar-Padilla, M., Calle-Collado, Á., 2011. Can we find solutions with people? Participatory action research with small organic producers in Andalusia. *J. Rural Stud.* 27, 372–383. doi:10.1016/j.jrurstud.2011.08.004
- Czerny, M., Schieberle, P., 2002. Important Aroma Compounds in Freshly Ground Wholemeal and White Wheat Flour Identification and Quantitative Changes during Sourdough Fermentation. *J. Agric. Food Chem.* 50, 6835–6840. doi:10.1021/jf020638p
- David, C., Celette, F., Abecassis, J., Carcea, M., Dubois, D., Friedel, J.K., Hellou, G., Jeuffroy, M.-H., Mäder, P., Thomsen, I.K., 2012. Technological quality of organic wheat in Europe.
- David, J.L., Zivy, M., Cardin, M.L., Brabant, P., 1997. Protein evolution in dynamically managed populations of wheat: adaptive responses to macro-environmental conditions. *Theor. Appl. Genet.* 95, 932–941.
- Deloire, A., Lopez, F., Carbonneau, A., 2004. Réponses de la vigne et terroir: éléments pour une méthode d'étude. *Wine Internet Tech. J.* 10.
- Demeulenaere, E., Bonneuil, C., Balfourier, F., Basson, A., Berthelot, J.-F., Chesneau, V., Ferté, H., Galic, N., Kastler, G., Koenig, J., others, 2008. Etude des complémentarités entre gestion dynamique à la ferme et gestion statique en collection. *Actes BRG* 7, 117–138.
- De Schutter, O., 2014. Report of the Special Rapporteur on the right to food, Olivier De Schutter, Final report: The transformative potential of the right to food. Human Right Council.
- Desclaux, D., Ceccarelli, S., Navazio, J., Coley, M., Trouche, G., Aguirre, S., Weltzien, E., Lançon, J., 2012. Centralized or Decentralized Breeding: The Potentials of Participatory Approaches for Low-Input and Organic Agriculture, in: *Organic Crop Breeding*. Wiley-Blackwell, pp. 99–123.
- Desclaux, D.D., Chiffolleau, Y.Y., Nolot, J.M.J., 2013. Du concept d'Ideotype à celui de Realtype: gestion dynamique des Innovations Variétales par une approche transdisciplinaire et partenariale. Exemple du blé dur pour l'AB. *Innov. Agron.* 455–466.

- Desgagné, S., 2007. « Le défi de coproduction de savoir en recherche collaborative. Autour d'une démarche de reconstruction et d'analyse de récits de pratique enseignante », in: *La Recherche Participative. Multiples Regards*. M. Anadon, Québec, pp. 89–121.
- De Vallavieille-Pope, C., Belhaj Fraj, M., Mille, B., Meynard, J.-M., 2006. Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. Doss. Environ. INRA Quelles Variétés Semen. Pour Agric. Paysannes Durables 101–109.
- Dewey, H., 1934. *Art as experience*. : George Allen and Unwin., Londres.
- Di Cagno, R., De Angelis, M., Lavermicocca, P., De Vincenzi, M., Giovannini, C., Faccia, M., Gobbetti, M., 2002. Proteolysis by Sourdough Lactic Acid Bacteria: Effects on Wheat Flour Protein Fractions and Gliadin Peptides Involved in Human Cereal Intolerance. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 623–633. doi:10.1128/AEM.68.2.623-633.2002
- Di Silvestro, R., Marotti, I., Bosi, S., Bregola, V., Carretero, A.S., Sedej, I., Mandic, A., Sakac, M., Benedettelli, S., Dinelli, G., 2012. Health-promoting phytochemicals of Italian common wheat varieties grown under low-input agricultural management. *J. Sci. Food Agric.* 92, 2800–2810. doi:10.1002/jsfa.5590
- Doré, C., Varoquaux, F., 2006. *Histoire et amélioration de 50 plantes cultivées*, QUAE. ed, *Savoir faire*. INRA Editions.
- Doré, T., 2000. Contribution à la recherche sur les système de culture diagnostic agronomique régional et maîtrise des effets précédents: Impact sur la conservation des sites archéologiques de plein air (Mémoire d'HDR). Vandoeuvre-les-Nancy: Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Döring, T.F., Knapp, S., Kovacs, G., Murphy, K., Wolfe, M.S., 2011. Evolutionary Plant Breeding in Cereals—Into a New Era. *Sustainability* 3, 1944–1971. doi:10.3390/su3101944
- Döring, T., Wolfe, M., 2008. Stabilising wheat yields: can genetic diversity increase reliability of wheat performance. *Arable Group* 10–11.
- Drewnowski, A., Gomez-Carneros, C., 2000. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* 72, 1424–1435.
- Dusseau, A., 1924. Les principaux “Blés de Pays” cultivés à la station Régionale de Sélection de Semences de Clermont-Fd en 1923. Faculté des Sciences de Clermont Ferrand, Clermont Ferrand.
- Dusseau, A., 1932. Contribution à l'étude écologique des blés de la région rhône moyen (Drôme-Ardèche).
- Enjalbert, J., Goldringer, I., Paillard, S., Brabant, P., 1999. Molecular markers to study genetic drift and selection in wheat populations. *J. Exp. Bot.* 50, 283–290.
- Escoffier, B., Pagès, J., 1998. *Anamyses factorielles simples et multiples*, Dunod. ed. Paris.
- Esti, M., Messina, M.C., Sinesio, F., Nicotra, A., Conte, L., La Notte, E., Palleschi, G., 1997. Quality evaluation of peaches and nectarines by electrochemical and multivariate analyses: relationships between analytical measurements and sensory attributes. *Food Chem.* 60, 659–666. doi:10.1016/S0308-8146(96)00306-8
- Falguera, V., Aliguer, N., Falguera, M., 2012. An integrated approach to current trends in food consumption: Moving toward functional and organic products? *Food Control* 26, 274–281. doi:10.1016/j.foodcont.2012.01.051
- FAO, 2010. The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Farnham, M.W., Wilson, P.E., Stephenson, K.K., Fahey, J.W., 2004. Genetic and environmental effects on glucosinolate content and chemoprotective potency of broccoli. *Plant Breed.* 123, 60–65.
- Finney, K.F., Barmore, M.A., 1948. Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheat. *Cereal Chem.* 291–312.

- Fontaine, L., Sicard, H., Vidal, R., du Cheyron, P., Méléard, B., 2013. "Référentiel Blé AB" Les résultats du réseau ITAB.
- FranceAgriMer, 2013. Flash Info Bio Conjoncture céréales n°4.
- Fredriksson, H., Salomonsson, L., Andersson, R., Salomonsson, A., 1998. Effects of protein and starch characteristics on the baking properties of wheat cultivated by different strategies with organic fertilizers and urea. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci.* 48, 49–57. doi:10.1080/09064719809362478
- Fredriksson, H., Salomonsson, L., Salomonsson, A., 1997. Wheat cultivated with organic fertilizers and urea: Baking performance and dough properties. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci.* 47, 35–42. doi:10.1080/09064719709362436
- Fujino, Y., Kuwata, J., Mano, Y., Ohnishi, M., 1996. Other grain components, in: *Cereal Grain Quality*, Chapman & Hall. Kettlewell PS, pp. 305–307.
- Gajc-Wolska, J., Skłapski, H., Szymczak, J.A., 2000. Chemical and sensory characteristics of the fruits of eight cultivars of field grown tomato. *Acta Physiol. Plant.* 22, 369–373.
- Gallais, A., Bannerot, H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection. Institut national de la recherche agronomique.
- Gates, R.R., 1953. Wild cabbages and the effects of cultivation. *J Genet* 363–372.
- Gilles, W.F., 1941. Cauliflower and broccoli. What they are and where they come from. *J. R. Hortic. Soc.* 265–278.
- Girard, N., Navarrete, M., 2005. Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques ? L'exemple des cultures du safran et de la truffe. *Nat. Sci. Sociétés* 13, 33–44. doi:10.1051/nss:2005004
- Giuliano, S., 2010. Caractérisation de l'évolution de variétés paysannes pour la mise en place d'une législation semencière adaptée (Mémoire de fin d'études. Toulouse : INP-EI Purpan).
- Goldringer, I., Enjalbert, J., David, J., Paillard, S., Pham, J., Brabant, P., 2001. Dynamic Management of Genetic Resources: a 13-year Experiment on Wheat, Cooper D, Spillane C, Hodgkin T (eds). ed.
- Goulet, F., 2013. Narratives of experience and production of knowledge within farmers' groups. *J. Rural Stud.* 32, 439–447. doi:10.1016/j.jrurstud.2013.09.006
- Gunness, P., Kravchuk, O., Nottingham, S.M., D'Arcy, B.R., Gidley, M.J., 2009. Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. *Postharvest Biol. Technol.* 52, 164–172. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.11.006
- Haglund, \AA, Johansson, L., Dahlstedt, L., 1998. Sensory evaluation of wholemeal bread from ecologically and conventionally grown wheat. *J. Cereal Sci.* 27, 199–207.
- Hansen, A., Schieberle, P., 2005. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 85–94. doi:10.1016/j.tifs.2004.03.007
- Hansen, M., Laustsen, A.M., Olsen, C.E., Poll, L., Sørensen, H., 1997. Chemical and sensory quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*). *J. Food Qual.* 20, 441–459.
- Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., 2002. De la gestion des connaissances aux organisations orientées conception. *Rev. Int. Sci. Soc.* 29–42.
- Heaton, S., 2001. Organic farming, food quality and human health A review of the evidence. Soil Association Ltd, Bristol (United Kingdom).
- Henry, J.P., Pontis, C., David, J., Gouyon, P.H., 1991. An Experiment on Dynamic Conservation of Genetic Resources With Metapopulations, in: Seitz, A., Loeschke, V. (Eds.), *Species Conservation: A Population-Biological Approach*, Advances in Life Sciences. Birkhäuser Basel, pp. 185–198.
- Hobson, G.E., Gough, C., Townley, C., 1990. Measuring consumer reaction to the flavour of fresh tomatoes. *Acta Hort ISHS* 259, 107–116.

- Hoffmann, V., Probst, K., Christinck, A., 2007. Farmers and researchers: How can collaborative advantages be created in participatory research and technology development? *Agric. Hum. Values* 24, 355–368. doi:10.1007/s10460-007-9072-2
- Hoffmann, V., Probst, K., Christinck, A., 2007. Farmers and researchers. How can collaborative advantages be created in participatory research and technology development? *Agric. Hum. Values* 355–368.
- Hoseney, R.C., 1998. *Principle of Cereals Science and Technology*. American Association of Cereal Chemist, St Paul, pp. 139–140.
- Hussain, A., 2012. Quality of organically produced wheat from diverse origin. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.
- In Hee, C., Peterson, D.G., 2010. Chemistry of Bread Aroma: A review. *Food Sci Biotechnol* 19, 575–582. doi:10.1007/s10068-010-0081-3
- Institut National de la Boulangerie Pâtisserie, 2003. Supplément technique INBP n°83-Le goût du pain.
- Jackson, L.F., Kahler, A.L., Webster, R.K., Allard, R.W., 1978. Conservation of scald resistance in barley composite cross populations. *Phytopathology* 68, 645–650.
- Jacobsson, A., Nielsen, T., Sjöholm, I., Wendin, K., 2004. Influence of packaging material and storage condition on the sensory quality of broccoli. *Food Qual. Prefer.* 15, 301–310. doi:10.1016/S0950-3293(03)00070-3
- Jahn, T., Bergmann, M., Keil, F., 2012. Transdisciplinarity: Between mainstreaming and marginalization. *Ecol. Econ.* 79, 1–10. doi:10.1016/j.ecolecon.2012.04.017
- Jakku, E., Thorburn, P.J., 2010. A conceptual framework for guiding the participatory development of agricultural decision support systems. *Agric. Syst.* 103, 675–682. doi:10.1016/j.agsy.2010.08.007
- Jeffery, E.H., Brown, A.F., Kurilich, A.C., Keck, A.S., Matusheski, N., Klein, B.P., Juvik, J.A., 2003. Variation in content of bioactive components in broccoli. *J. Food Compos. Anal.* 16, 323–330. doi:10.1016/S0889-1575(03)00045-0
- Johnson, J.A., Rooney, L., Salem, A., 1969. Chemistry of Bread Flavor, in: *Flavor Chemistry, Advances in Chemistry*. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, pp. 153–173.
- Katina, K., Heiniö, R.-L., Autio, K., Poutanen, K., 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT* 1189–1202.
- Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., Risvik, E., 2004. Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. *J. Cereal Sci.* 39 67–84.
- Kihlberg, I., Öström, Å., Johansson, L., Risvik, E., 2006. Sensory qualities of plain white pan bread: Influence of farming system, year of harvest and baking technique. *J. Cereal Sci.* 43, 15–30. doi:10.1016/j.jcs.2005.04.008
- Kihlberg, I., Risvik, E., 2007. Consumers of organic foods – value segments and liking of bread. *Food Qual. Prefer.* 18, 471–481. doi:10.1016/j.foodqual.2006.03.023
- Kjeldahl, J., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Für Anal. Chem.* 22, 366–382. doi:10.1007/BF01338151
- Kondra, Z.P., Stefansson, B.R., 1970. Inheritance of the major glucosinolates of rapeseed (*Brassica napus*) meal. *Can. J. Plant Sci.* 50, 643–647.
- Kummer, S., Milestad, R., Leitgeb, F., R. Vogl, C., 2012. Building Resilience through Farmers' Experiments in Organic Agriculture: Examples from Eastern Austria. *Sustain. Agric. Res.* 1. doi:10.5539/sar.v1n2p308
- Lamine, C., Bellon, S., 2009. Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 97–112. doi:10.1051/agro:2008007

- Lammerts van Bueren, E.T., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.M., Myers, J.R., Leifert, C., Messmer, M.M., 2011. The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.* 58, 193–205. doi:10.1016/j.njas.2010.04.001
- Lawless, H.L., Heymann, H., 1998. Color and appearance, in: *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*, Chapman & Hall, Kluwer Academic / Plenum Publishers., New York, pp. 419–426.
- Le Boulc, V., David, J.L., Brabant, P., de Vallavieille-Pope, C., 1994. Dynamic conservation of variability: responses of wheat populations to different selective forces including powdery mildew. *Genet. Sel. Evol.* 26, 221s–240s.
- Le Dien, S., Pagès, J., 2003. Hierarchical Multiple Factor Analysis: application to the comparison of sensory profiles. *Food Qual. Prefer.* 14, 397–403. doi:10.1016/S0950-3293(03)00027-2
- Leenhardt, F., Lyan, B., Rock, E., Boussard, A., Potus, J., Chanliaud, E., Remesy, C., 2006. Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *Eur. J. Agron.* 25, 170–176. doi:10.1016/j.eja.2006.04.010
- Lespinasse, N., Scandella, D., Vaysse, P., Navez, B., 2002. *Mémento évaluation sensorielle des fruits et légumes frais*, CTIFL. ed.
- Lewin, K., 1948. *Resolving Social Conflict*. Harper and Row Publishers, New York.
- Li, L., Shewry, P.R., Ward, J.L., 2008. Phenolic Acids in Wheat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *J. Agric. Food Chem.* 56, 9732–9739. doi:10.1021/jf801069s
- Liu, M., 1992. Présentation de la recherche action: définition, déroulement et résultats. *Rev. Int. Systémique* 6, 293–311.
- Liu, Q., Qiu, Y., Beta, T., 2010. Comparison of antioxidant activities of different coloured wheat grains and analysis of phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 9235–9241.
- Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., 2011. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science* 333, 616–620. doi:10.1126/science.1204531
- Loisel, J.P., 2001. Manger est perçue comme présentant davantage de risques. *Consomm. Modes Vie* 5, 1–4.
- Luttikholt, L.W.M., 2007. Principles of organic agriculture as formulated by the international Federation of Organic Agriculture Movements. *NJAS* 54.
- Lv, J., Lu, Y., Niu, Y., Whent, M., Ramadan, M.F., Costa, J., Yu, L. (Lucy), 2013. Effect of genotype, environment, and their interaction on phytochemical compositions and antioxidant properties of soft winter wheat flour. *Food Chem.* 138, 454–462. doi:10.1016/j.foodchem.2012.10.069
- Lyon, A., Bell, M.M., Gratton, C., Jackson, R., 2011. Farming without a recipe: Wisconsin graziers and new directions for agricultural science. *J. Rural Stud.* 27, 384–393. doi:10.1016/j.jrurstud.2011.04.002
- MacLeod, A.J., Harris, E.P., 1978. A comparison of the chemical flavour comparison of some brussels sprouts cultivars grown at different crop species. *Phytochemistry* 17, 1029–1032.
- MacLeod, A., Nussbaum, M.L., 1977. The effect of different horticultural practices on the chemical flavour composition of some cabbage cultivar. *Phytochemistry* 16, 861–865.
- Maggio, A., De Pascale, S., Paradiso, R., Barbieri, G., 2013. Quality and nutritional value of vegetables from organic and conventional farming. *Sci. Hortic.* 164, 532–539. doi:10.1016/j.scienta.2013.10.005
- McIntyre, B.D., Herren, H.R., Wakhungu, J., Watson, R.T., 2009. *Agriculture at a Crossroads, International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, Synthesis Report (Synthesis report with executive summary: a synthesis of the global and sub-global IAASTD reports)*, Island Press. Washington.

- Mc Leod, P., Sauvageot, F., Köster, E.P., 1998. Les caractéristiques d'une réponse sensorielle, in: *Evaluation Sensorielle ; Manuel Méthodologique*. Londres, Paris, New York: SSHA.
- Méndez, V.E., Bacon, C.M., Cohen, R., 2013. Agroecology as a Transdisciplinary Participatory, and Action-Oriented Approach. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 37, 3–18.
- Meydani, M., 2002. Antioxidants in the Prevention of Chronic Diseases. *Nutr. Clin. Care* 5, 47–49. doi:10.1046/j.1523-5408.2002.00002.x
- Midmore, P., Naspetti, S., Sherwood, A.-M., Vairo, D., Wier, M., Zanolli, R., 2005. Consumer attitudes to quality and safety of organic and low input foods; a review. Rep. EU-Funded Proj. "Improving Qual. Saf. Reduct. Cost Eur. Org. 'Low Input' Food Supply Chains" Univ Wales Aberystwyth UK.
- Mithen, R.F., Lewis, B.G., Heaney, R.K., Fenwick, G.R., 1897. Glucosinolate of wild and cultivated brassica species.pdf. *Phytochemistry* 26, 1969–1973.
- Monasterio, G., 2000. Breeding for trace minerals in wheat. *Food Nutr. Bull.* 393–396.
- Morris, M.L., Bellon, M.R., 2004. Participatory plant breeding research: opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica* 136, 21–35.
- Mottram, D.S., 2007. The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods, in: *Flavours and Fragrances*. Springer, pp. 269–283.
- Murphy, K., Hoagland, L., Reeves, P., Jones, S., 2008. Effect of cultivar and soil characteristics on nutritional value in organic and conventional wheat. Presented at the 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy.
- Orth, R.A., Bushuk, W., 1972. A comparative study of proteins of wheats of diverse baking qualities. *Cereal Chem.* 49, 268–275.
- Ortiz-Monasterio, J.I., Palacios-Rojas, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R., Peña, R.J., 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *J. Cereal Sci.* 46, 293–307. doi:10.1016/j.jcs.2007.06.005
- Oury, F.-X., Leenhardt, F., Révész, C., Chanliaud, E., Duperrier, B., Balfourier, F., Charmet, G., 2006. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. *Eur. J. Agron.* 25, 177–185. doi:10.1016/j.eja.2006.04.011
- Padilla, G., Cartea, M.E., Soengas, P., Ordás, A., 2006. Characterization of fall and spring plantings of Galician cabbage germplasm for agronomic, nutritional, and sensory traits. *Euphytica* 154, 63–74. doi:10.1007/s10681-006-9270-9
- Pagès, J., 2005. Collection and analysis of perceived product inter-distances using multiple factor analysis: Application to the study of 10 white wines from the Loire Valley. *Food Qual. Prefer.* 16, 642–649. doi:10.1016/j.foodqual.2005.01.006
- Peck, G.M., Andrews, P.K., Reganold, J.P., Fellman, J.K., 2006. Apple Orchard Productivity and Fruit Quality under Organic, Conventional, and Integrated Management. *HortScience* 41, 99–107.
- Perrin, L., 2008. Contribution méthodologique à l'analyse sensorielle du vin. PhD. Thesis, Université de Rennes, Rennes-Agrocampus-CRD, France.
- Perrin, L., Symoneaux, R., Maître, I., Asselin, C., Jourjon, F., Pagès, J., 2008. Comparison of three sensory methods for use with the Napping® procedure: Case of ten wines from Loire valley. *Food Qual. Prefer.* 19, 1–11. doi:10.1016/j.foodqual.2007.06.005
- Petersen K.K., Willumsen J., Kaack K., 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J Hort Sci Biotech* 73, 205–215.
- Peterson, C.J., Graybosch, R.A., Baezinger, P.S., Grombacher, A.W., 1992. Genotype and Environment effects on Quality Characteristics of Hard Red Winter Wheat. *Crop Sci.* 98–103.

- Picchi, V., Migliori, C., Lo Scalzo, R., Campanelli, G., Ferrari, V., Di Cesare, L.F., 2012. Phytochemical content in organic and conventionally grown Italian cauliflower. *Food Chem.* 130, 501–509. doi:10.1016/j.foodchem.2011.07.036
- Pimbert, M., 2011. Participatory research and On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Europe. International Institute for Environment and Development, London.
- Pineau, N., 2006. La performance en analyse sensorielle. Une approche base de données. Sciences de l'alimentation, Ecole Nationale Supérieure de Biologie Appliquée à la Nutrition et à l'Alimentation, Dijon.
- Pircher, T., Almekinders, C.J.M., Kamanga, B.C.G., 2012. Participatory trials and farmers' social realities: understanding the adoption of legume technologies in a Malawian farmer community. *Int. J. Agric. Sustain.* 11, 252–263. doi:10.1080/14735903.2012.738872
- Ploeger, A., Röger, M., Lueck, L., Leifert, C., 2008. Sensory evaluation of processed wheat from a defined field-trial (QualityLowInputFood).
- Potter, C., Tilzey, M., 2007. Agricultural multifunctionality, environmental sustainability and the WTO: Resistance or accommodation to the neoliberal project for agriculture? *Geoforum* 38, 1290–1303. doi:10.1016/j.geoforum.2007.05.001
- Poutanen, K., Flander, L., Katina, K., 2009. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiol.* 26, 693–699. doi:10.1016/j.fm.2009.07.011
- Pretty, J., 2008. Participatory learning for sustainable agriculture. *Sustain. Agric. Food Vol. IV Policies Process.* Inst.
- Probst, K., Hagmann, J., Fernandez, M., Ashby, J.A., 2003. Understanding participatory research in the context of natural resource management – paradigms, approaches and typologies. *Agren Netw. Pap. No 130 Agric. Res. Netw.*
- Radovich, T.J.K., Kleinhenz, M.D., Delwiche, J.F., Liggett, R.E., 2004. Triangle tests indicate that irrigation timing affects fresh cabbage sensory quality. *Food Qual. Prefer.* 15, 471–476. doi:10.1016/j.foodqual.2003.08.003
- Rangkadilok, N., Tomkins, B., Nicolas, M.E., Premier, R.R., Bennett, R.N., Eagling, D.R., Taylor, P.W., 2002. The effect of post-harvest and packaging treatments on glucoraphanin concentration in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *J. Agric. Food Chem.* 50, 7386–7391.
- Rapport Final Qualités des blés biologiques et qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques (Rapport de projet), 2007. . INRA, ACTIA, ACTA.
- Reilly, K., Valverde, J., Finn, L., Rai, D.K., Brunton, N., Sorensen, J.C., Sorensen, H., Gaffney, M., 2014. Potential of cultivar and crop management to affect phytochemical content in winter-grown sprouting broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*): Phenolics in sprouting broccoli. *J. Sci. Food Agric.* 94, 322–330. doi:10.1002/jsfa.6263
- Rey, F., Sinoir, N., Mazollier, C., Chable, V., 2012. Organic Seeds and Plant Breeding: Stakeholders' Uses and Expectations-French Inputs on Vegetables. *ISHS Acta Hort.* 1041.
- Rivière, P., 2014. Méthodologie de la sélection décentralisée et participative: un exemple dur le blé tendre. PARIS-SUD.
- Rivière, P., Goldringer, I., Berthelot, J.F., Galic, N., Pin, S., De Kochko, P., Dawson, J.C., 2013. Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses. *Renew. Agric. Food Syst.* doi:10.1017/S1742170513000343
- Rölings, N., 1994. Facilitating sustainable agriculture : Turning policy model upside down., intermediate Technology Publication. I. Scoones, and J. Thompson, London.
- Rolland, B., Le Champion, A., Oury, F.-X., 2012. Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique? *Courr. Environ. Inra* 71–85.

- Rosa, E.A., Rodrigues, A.S., 2001. Total and individual glucosinolate content in 11 broccoli cultivars grown in early and late seasons. *HortScience* 36, 56–59.
- Roussel, V., Leisova, L., Exbrayat, F., Stehno, Z., Balfourier, F., 2005. SSR allelic diversity changes in 480 European bread wheat varieties released from 1840 to 2000. *Theor. Appl. Genet.* 162–170.
- Saliba-Colombani, V., Causse, M., Langlois, D., Philouze, J., Buret, M., 2001a. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theor. Appl. Genet.* 102, 259–272.
- Saliba-Colombani, V., Causse, M., Langlois, D., Philouze, J., Buret, M., 2001b. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theor. Appl. Genet.* 102, 259–272.
- Salim-ur-Rehman, Paterson, A., Piggott, J.R., 2006. Flavour in sourdough breads: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 17, 557–566. doi:10.1016/j.tifs.2006.03.006
- Savall, H., Zardet, V., 2001. LA DIMENSION COGNITIVE DE LA INVESTIGACIÓN-INTERVENCIÓN : LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTOS POR MEDIO DE LA INTERACTIVIDAD COGNITIVA. Lyon, p. 25.
- Savoie-Zajc, L., Dolbec, A., 1999. Former pour transformer: une recherche-action impliquant des chefs d'établissements scolaires et visant la mise en place d'une culture de formation continue dans leurs écoles., in: *Former Les Dirigeants de L'éducation*. G. Pelletier (dir.), Bruxelles: De Boeck Université, pp. 133–151.
- Schober, T.J., Angst, E., Clarke, C.I., Arendt, E.K., 2003. Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on sourdough wheat bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* 217, 23–33. doi:10.1007/s00217-003-0724-1
- Schonhof, I., Kläring, H.-P., Krumbein, A., Claußen, W., Schreiner, M., 2007. Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in greenhouse grown broccoli. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 103–111. doi:10.1016/j.agee.2006.06.018
- Schonhof, I., Krumbein, A., Brückner, B., 2004. Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. *Nahrung/Food* 48, 25–33. doi:10.1002/food.200300329
- Schwarz, N., 2004. Meta-cognitive experiences in consumer judgment and decision making. *J. Consum. Psychol.* Sept.
- Sebillotte, M., 2001. Les fondements épistémologiques de l'évaluation des recherches tournées vers l'action. *Nat. Sci. Sociétés* 9, 8–15.
- Serpolay, E., Dawson, J., Chable, V., Van Bueren, E., Osman, A., Pino, S., Silveri, D., Goldringer, I., 2011. Diversity of different farmer and modern wheat varieties cultivated in contrasting organic farming conditions in western Europe and implications for European seed and variety legislation. *Org. Agric.* 1, 127–145. doi:10.1007/s13165-011-0011-6
- Shewfelt, R.L., 1999. What is quality? *Postharvest Biol. Technol.* 15, 197–200.
- Shewry, P.R., 2009. Wheat. *J. Exp. Bot.* 60, 1537–1553. doi:10.1093/jxb/erp058
- Smith, E., Benbrook, C., Davis, D.R., 2012. With the grain, a closer look at the nutrient quality of grain, grain-based products, and the role of organic agriculture. The Organic Center.
- Sperling, L., Ashby, J.A., Smith, M.E., Weltzien, E., McGuire, S., 2001. A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results. *Euphytica* 122, 439–450.
- Starr, G., Bredie, W.L.P., Hansen, A.S., 2013. Sensory profiles of cooked grains from wheat species and varieties. *J. Cereal Sci.* 295–303.

- Stassart, P.M., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., Stilmant, D., Vanloqueren, G., Visser, M., 2012. L'agroécologie: Trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. *Agroécologie Entre Prat. Sci. Soc.*
- Steindal, A.L.H., Mølmann, J., Bengtsson, G.B., Johansen, T.J., 2013. Influence of Day Length and Temperature on the Content of Health-Related Compounds in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *J. Agric. Food Chem.* 61, 10779–10786. doi:10.1021/jf403466r
- Steinmetz, K.A., Potter, J.D., 1991. Vegetables, fruit, II. Mechanisms. *Cancer Causes Control* 2, 427–442.
- Štěpánková, R., Kofronová, O., Tucková, L., Kozáková, H., Cebra, J.J., Tlaskalová-Hogenová, H., 2003. Experimentally Induced Gluten Enteropathy and Protective Effect of Epidermal Growth Factor in Artificially Fed Neonatal Rats. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 36.
- Sumane, S., 2010. Rural Innovation: Formation of New Development Practices. The Case of Biological Ag-riculture. Riga: University, Latvia.
- Thomas, M., Demeulenaere, E., Dawson, J.C., Khan, A.R., Galic, N., Jouanne-Pin, S., Remoue, C., Bonneuil, C., Goldringer, I., 2012. On-farm dynamic management of genetic diversity: the impact of seed diffusions and seed saving practices on a population-variety of bread wheat: On-farm crop metapopulation of bread wheat. *Evol. Appl.* 5, 779–795. doi:10.1111/j.1752-4571.2012.00257.x
- Torricelli, R., Ciancaleoni, S., Negri, V., 2014. Performance and stability of homogeneous and heterogeneous broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) varieties in organic and low-input conditions. *Euphytica* 199, 385–395. doi:10.1007/s10681-014-1139-8
- Traill, W.B., Arnoult, M.H.P., Chambers, S.A., Deaville, E.R., Gordon, M.H., John, P., Jones, P.J., Kliem, K.E., Mortimer, S.R., Tiffin, J.R., 2008. The potential for competitive and healthy food chains of benefit to the countryside. *Trends Food Sci. Technol.* 19, 248–254. doi:10.1016/j.tifs.2008.01.004
- Turrall, H., Burke, J., Faur, J.M., 2011. Climate change, water and food security (No. 36). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION, Rome.
- Van Leeuwen, C., Bois, B., Cellie, N., Trégoat, O., ROBY, J.-P., 2009. Les modifications de l'expression du terroir induites par le changement climatique nécessitent une adaptation du matériel végétal et des techniques viticoles. *Rev. Fr. Oenologie* 10–14.
- Vasbinder, J.W., Andersson, B., Arthur, W.B., Boasson, M., de Boer, R., Changeux, J.P., Domingo, E., Eigen, M., Fersht, A., Frenkel, D., Rees, M., Groen, T., Huber, R., Hunt, T., Holland, J., May, R., Norrby, E., Nijkamp, P., Lehn, J.M., Rabbinge, R., Scheffer, M., Schuster, P., Serageldin, I., Stuip, J., de Vries, J., van Vierssen, W., Willems, R., 2010. Transdisciplinary EU science institute needs funds urgently. *Nature* 463, 876–876. doi:10.1038/463876a
- Vindras, C., Fourrié, L., Coulombel, A., Konate, K., 2011. Assise RevAB-Recherche-Expérimentation-Valorisation en AB- Synthèse et Rapport Complet (Rapport de synthèse).
- Von Hippel, E., 2005. Democratizing Innovations. MIT Press.
- Walliser, B., 1977. .Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes., Seuil. ed.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515. doi:10.1051/agro/2009004
- Willer, H., Kilcher, L., 2011. The World of Organic Agriculture. Statistics and emerging Trends 2011. FiBL-IFOAM Report.
- Witcombe, J.R., 1996. Participatory approaches to plant breeding and selection. *Biotechnol. Dev. Monit.* 29, 2–6.
- Woese, K., Lange, D., Boess, C., Werner Bögel, K., 1997. A Comparison of Organically and Conventionally Grown Foods—Results of a Review of the Relevant Literature. *J. Sci. Food Agric.* 74, 281–293. doi:DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199707)74:3<281::AID-JSFA794>3.0.CO;2-Z

- Wolfe, M., Haigh, Z., Pearce, H., 2009. Développer le potentiel des populations composite: l'exemple du blé. Presented at the Journée techniques Agriculture Biologique et Sélection Végétale, ITAB, Paris, pp. 45–46.
- Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Löschenberger, F., Miedaner, T., Østergård, H., Lammerts van Bueren, E.T., 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163, 323–346. doi:10.1007/s10681-008-9690-9
- Wolf, S., Zikeli, S., Graeff-Hönniger, S., Claupein, W., 2014. Improvement of open pollinating broccoli varieties for organic farming focusing on agronomic parameters, bioactive and sensorial traits. Institut für Kulturpflanzenwissenschaften Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau, Hohenheim.
- Zhao, F., Salmon, S., Withers, P., Monaghan, J., Evans, E., Shewry, P., McGrath, S., 1999. Variation in the Breadmaking Quality and Rheological Properties of Wheat in Relation to Sulphur Nutrition under Field Conditions. *J. Cereal Sci.* 30, 19–31. doi:10.1006/jcrs.1998.0244
- Zhu, J., Khan, K., 2002. Quantitative Variation of HMW Glutenin Subunits from Hard Red Spring Wheats Grown in Different Environments 1. *Cereal Chem.* 79, 783–786.

ANNEXES

ANNEXE A : LEXIQUE

«Populations de pays »

Ces génotypes sont des graines d'une espèce avec une large diversité génétique. A l'inverse des variétés pures (lignée pure ou hybride), les « populations » et « variétés de pays » sont composées d'individus aux génotypes et phénotypes distincts. Elles sont cultivées à la ferme et une part des graines récoltées sont gardées pour le semis suivant. Un autre nom donné à ces variétés est « variété paysanne », terme qui met l'accent sur la production à la ferme. Les « variétés de conservation » ou « variété locale » sont d'autres synonymes qui soulignent l'aspect traditionnels de ces variétés. Ces génotypes sont plus difficiles à décrire et à caractériser que les lignées pures et sont susceptibles de varier dans l'espace et dans le temps.

Variétés anciennes

Variétés issues de sélection ancienne (1840-1960)

Les « Cross Composite Population »

Ces génotypes sont des mélanges de variétés, habituellement 2 à 5 variétés bien identifiées. Beaucoup de travaux de recherche sont menés dessus pour évaluer les bénéfices agronomiques de la diversité intra-variétale. Elles sont basées sur le croisement de quelques de parents et de la sélection naturelle sur plusieurs années. Elles sont ensuite cultivées sur différents environnements, ce qui conduit à la création de sous populations aux phénotypes et génotypes distincts. Des comparaisons peuvent ensuite être faites entre les parents et les populations.

La recherche-action :

Cette démarche a pour objectif de mieux lier l'action à la théorie. Elle est construite autour de la notion du changement et détermine la recherche comme moyen d'action.

La recherche participative :

Ce terme est ici entendu au même sens que la sélection participative. Elle implique l'intégration des praticiens dans l'élaboration et la réalisation des expérimentations. Leurs attentes et moyens sont ainsi pris en compte et font partie intégrant du cahier des charges du protocole expérimental.

Terroir et Environnement ➔ »terroir panicole.«

Le terme environnement décrit essentiellement les conditions pédoclimatiques d'un milieu de culture. Le terroir, peut être assimilé comme l'environnement au sens large, c'est-à-dire qu'il intègre les pratiques culturelles mais également boulangères des acteurs de la culture.

Paysans

Comme décrit par Demeulenaere et Bonneuil, « l'identité de « paysan » que revendiquent les membres du Réseau Semence Paysanne affiche la rupture avec la figure de l' »exploitant agricole » des Trentes glorieuses associés à un simple maillon pris dans une filière longue et exploitant n nature-objet »

Bipea

Circuit "D3 - PANIFICATION"

Product	FARINE	
---------	--------	--

L'Espresso



Nome do participante do Fórum:

 Department of Health and Human Services	 United States of America
---	---

© 2004 Pearson Education, Inc. All rights reserved.



	Insuffisant				Bon								
	1	4	7	10	7	4	1						
PÉTRISSAGE													
Lissage								x 0,5					
<u>Collant de la pâte</u>								x 0,5					
Consistance										x		= (25)	
Extensibilité								x 0,5					
Elasticité								x 0,5					
<u>Relâchement</u>								x 0,5					
POINTAGE													
Detente- Relâchement								x 1			=	(10)	
PACONNAGE													
<u>Allongement</u>								x 0,5					
Dechirement								x 0,5			x	= (25)	(100)
Elasticité								x 0,5					
<u>Collant de la pâte</u>								x 1					
APPRET													
Activité Fermentaire								x 0,5			=	(10)	
Pâte - Dechirement								x 0,5					
MISE AU FOUR													
<u>Collant de la pâte</u>								x 1			x	= (50)	
<u>Tenue de la pâte</u>								x 3					
CARACTERISTIQUES DU RAIN													
Section								x 1					
Couleur								x 3					
Epaisseur								x 0,5					
Croustillant								x 0,5			x	= (70)	
COUPS DE LAME													
<u>Developpement</u>								x 1					
Regularité								x 1					
Dechirement								x 1					
VOLUME													

ANNEXE C : GRILLE DE PANIFICATION PAYSBLE

Date	Essai de panification										Expérimentateur	
	Interprétations		insuffisance				excès				Commentaires	
	observations et notes		1	4	7	10	7	4	1			
PETRISSAGE	Vitesse hydratation											Hydratation (% / farine)
	Rapidité lissage											Aspect de surface (gras,soyeux, doux)
	Collant											Odeur (caractérisation,anomalie)
	Consistance											Couleur
	Extensibilité											total pétrissage /20
	Résistance élastique											niveau "poussimètre"
	Relâchement											
POINTAGE 1er rabat	en cuve	Pousse										
		Suintement										
	au pliage	Relâchement										
		Tonicité : élasticité										
POINTAGE 2ème rabat	en cuve	Pousse										total pointage 1er rabat /10
		Suintement										niveau "poussimètre"
	au pliage	Relâchement										
		Tonicité : élasticité										
FAÇONNAGE		Tonicité : tenue										total pointage 1er rabat /10
		Collant										
		Allongement										
		Déchirement										
APPRET		Tonicité										total façonnage /20
		Collant										niveau "poussimètre"
		Pousse										Cloques : grosses/petites
		Porosité										
		Déchirement										
		Collant										
MISE AU FOUR		Suintement										total apprêt /20
		Cloquage										
		relâchement										total mise au four /20
		Collant de la pâte										total pâte /100
ASPECT DU PAIN		Tenue										
		Expansion										
		masses (g)								moy	g	
			volume pain (cm³)								moy	cm³
		hauteur pain (cm)								moy	cm	
		diamètre pain (cm)								moy	cm	
	Développement des pains											total développement /20
		Section										bullage :
		Brunissement										
		Brillance										
		Epaisseur										
		Dureté										
Ecaillage												
Craquant/croustillant											total aspect du pain /80	
Développement grigne										total pain /100		
ASPECT MIE		Couleur : grise										pH
		jaune										Acidité totale titrable
		ocre										
		Brillance										
	Texture : Souplesse											
		Elasticité										
		Collant										
		Alvéolage : Régularité										
		Epaisseur parois alvéolaires										
		Intensité aromatique										
		Richesse aromatique										total mie /100
		Saveur acide										valeur boulangère / 300

ANNEXE D : DIAGRAMME DE FABRICATION DES PAINS

EXPERIMENTATION 2, ANNEE 1

Préparation, constitution pâtes et levains

Préparation pâte	T° fournil
2,1 litre d'eau à 30,7°C	22/23 °C
3 kg de farine	
55 g de sel	

Préparation levain		
1 ^{er} rafraichie	Jeudi 25/04 à 11h	1 cac de levain chef+ 67 gr de farines+80cl d'eau à t° ambiante
2 ^{ème} rafraichie	Jeudi 25/04 à 21h	+133gr de farine+80cl d'eau à t° ambiante (22/23°C)

Panification

- Début de la première pétrie le Vendredi à 9h.
- Le premier rabat et passage en tête à lieu après 30 min. de repos des pâtes.
- Deuxième rabat, pesage et passage en tête à 10h30.
- Troisième rabat en masse à 11h30
- Mise sur place à 12h35.
- Fin de façonnage à 13h25
- Enfournement

Remarques, notation des pâtes

Etape de panification	Mélange Stéphane	Mélange Christian	Rouge de Bordeaux	Mélange Pascal	Florence Aurore	Mélange Raphaël
1 ^{er} passage en tête	9h40	10h00	10h20	10h20	10h00	9h40
2 ^{ème} passage	10h20	10h40 (24°C)	11h00 (24,3°C)	11h (23,8°C)	10h40 (24°C)	10h20 (24°C)
Dégazage	11h30	11h50	12h03	12h03	11h50	11h30

Mise en place	12h35	12h45	13h00	13h07	12h55	12h35
Fin façonnage	13h25					
Remarques	Pâte ferme, non collante	Pâte douce, non collante Trop relâchée	Pâte douce, souple, élastique, fermentation très rapide Relâchement modéré	Pâte hyper douce et collante. Relâchement à la mise sur place	Pâte normale, mal à fraser. Bonne tenue	Pâte douce, lisse et non collante. Trop relâchée
Ordre d'enfournement	1	3	5	6	4	2

ANNEXE E : DIAGRAMME DE FABRICATION DES PAINS

EXPERIMENTATION 2, ANNEE 2, SEANCE 1

Préparation, constitution pâtes et levains

	Chamoro	Haute Pyrénées	Mélange Christian	Mélange A	Mélange F	Red Fife
Farine (kg)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Eau (l) (34°C)	1,8	1,8	1,65	1,82	1,86	1,85
Sel (kg)	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Levain (kg)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32

Préparation levain		
1 ^{er} rafraichie	Jeudi 10/03 à 10h	1 c à c de levain chef+ 67 gr de farines+80cl d'eau à t° ambiante
2 ^{ème} rafraichie	Jeudi 10/03 à 21h	+133gr de farine+80cl d'eau à t° ambiante (22/23°C)

Panification

- Début de la première pétrie le Vendredi à 9h.
- Le premier rabat et passage en tête à lieu après 1h 30 min. de repos des pâtes.
- Deuxième rabat, pesage et passage en tête vers 13h.
- Boulage vers 14h30
- Enfournement à 15h50

Remarques, notation des pâtes

Etape de panification	Chamoro	Haute Pyrénées	Mélange Christian	Mélange A	Mélange F	Red Fife
Heure pointage	10h22	10h32	10h44	10h55	11h05	11h15
1 ^{er} rabat	12h07	12h08	12h09	12h25	12h40h	12h53
2 ^{ème} rabat	12h52	13h02	13h12	13h46	13h47	13h48
Boulage	14h40	14h45	14h50	14h55	15h00	15h05

Remarques	Pâte lisse, assez forte	Pâte moins forte, Couleur jaune/crème	Moindre absorption d'eau Pâte collante	Pâte qui tient bien	Pâte douce, Comportement similaire à Chamorro	Pâte forte, collante mais qui se déchire Couleur crème
Ordre d'enfournement	1	2	3	4	5	6

EXPERIMENTATION 2, ANNEE 2, SEANCE 2

Les 7 farines ont été panifiées à 70 % d'hydratation, sauf pour la variété 'Rouge de l'Himalaya' et 'Inconnu*Blanc de Saône' qui ont nécessité un ajout de 100 g d'eau. Ils ont bénéficiés d'une fermentation longue : Frassage à 8h15. Un premier repos de 45 min. suivi de deux rabats puis un deuxième temps de repos de 45 min. le dernier façonnage a eu lieu 30 min. avant l'enfournement qui s'est déroulé à 14h30.

Préparation pâte	
T° fournil	
Eau	2,1
Farine (kg)	3
Sel (kg)	0,018
Levain (kg)	0,300

Incident de panification : les farines, bien qu'ayant été envoyés en même temps par colissimo recommandé, ne sont pas arrivés en même temps. La dernière farine ('Rouge de l'Himalaya') est arrivée le vendredi, jour des panifications, vers 12h00. Elle a donc subi une panification séparée et a été enfournée avec la fournée du boulanger (et non la fournée expérimentale). Les pains ont montré une sur-fermentation.

ANNEXE F : QUESTIONNAIRE « EXPLICITATION DES CRITERES DE SELECTION »

QUESTIONNAIRE POUR ENTRETIEN SEMI-DIRECTIF

Partie I : Présentation

- Comment êtes-vous devenu paysan-boulangier ? Sur quelle structure êtes-vous ? Quels ont été vos motivations, vos valeurs pour devenir paysan-boulangier ?

Partie II : Identification des critères de sélection

- Qu'est-ce qu'un « beau blé » pour vous ? (couleur, paille...)
- Qu'est-ce qui vous plaît dans le pain, en tant que produit fini ? (l'idéal du pain pour vous, son aspect, son odeur, son goût)
- Prenez-vous en compte les retours des consommateurs ?
- Avez-vous changé de recette ou de variété suivant des remarques ?
- Utilisez-vous des farines de mélanges ou des mélanges de farines ?
- Quel est l'historique de votre mélange ? Pour quelles raisons avez-vous choisi les variétés composant votre mélange ? (quels sont vos critères de sélection ? Choisissez-vous par rapport au comportement du blé ou à ce qu'il va donner comme farine ou pain ?)
- Distinguez-vous parmi vos critères de sélection la partie agronomique de la partie technologique ? Quelle est l'importance de chacune ?
- Comment vous faites évoluer votre mélange ? (sélection d'épis ? apport de nouvelles variétés ? culture d'une collection ?)
- Pouvez-vous associer un phénotype à un goût particulier ?
- Est-ce que vous avez identifié des phénotypes particuliers adaptés à votre terroir ?
- Est-ce que vous vous inspirez d'autres paysans-boulangiers pour réaliser votre sélection ?

Partie III : Contexte

- Localisation, altitude :
- Climat :
- Surface terres :
- Types de terres :
- Cultures :
- Ateliers :

STEPHANE ROUVES, LA CHASSE AUX TERROIRS

Présentation

Stéphane effectue des études de chimie et biologie végétales jusqu'au DESS. Il est ensuite amené à travailler à l'INRA de Clermont-Ferrand sur la sélection des blés. Un travail y était possible mais les seuls débouchés proposés à cette époque relèvent de l'élaboration ou de l'étude des OGM et ne correspondent pas à ses convictions. Il part alors pendant deux ans faire de la coopération en tant que professeur de biologie. Cette expérience lui révèle que le domaine de l'enseignement lui plaît. A son retour en France, il passe le concours pour être instituteur et exerce ce métier pendant 12 ans. Pour de multiples raisons, il souhaite changer de travail et veut s'installer dans une ferme. Mais auparavant, il veut se tester sur la pratique et part avec sa famille explorer des fermes en Europe par le biais du WWOOFing. Il travaille alors dans différentes fermes maraîchères, des élevages, en France, Allemagne et Espagne. Comme il avait déjà entendu parler du Réseau Semences Paysannes et que l'idée de faire du pain commençait à germer dans ses projets, il avait ciblé sa recherche pour le déroulement du WWOOFing sur quelques paysans-boulangers. Il a donc l'occasion de faire du pain durant ce voyage formateur et le déclic se produit. Il s'installe alors à La Viry, près de Saint-Joseph dans la Loire et se rend propriétaire de 4 ha de terres.

Pour Stéphane, il était évident de travailler avec des blés de sélection paysanne. Il estime que c'est un juste retour des choses car le monde paysan a réalisé cette sélection sur de très nombreuses générations. Son souhait est de prendre le contrepied du système de production industriel en construisant un système viable sur une petite surface et mobilisant peu d'investissement. Son installation étant tardive, il ne voulait pas que son projet nécessitât un financement trop important.

Des blés pour le pain

Dans l'esprit de Stéphane, la finalité du blé est de faire un bon pain. L'aspect gustatif est très important. Un bon pain exprime toute la potentialité du blé du point de vue organoleptique, ses couleurs, ses saveurs, ses arômes. Il préfère les pains au goût très typé mais les consommateurs n'y sont pas habitués. Pour obtenir son pain, il part d'un assemblage de farines issues de deux mélanges différents et du Barbu d'Épire cultivé en population seule car sa production n'est pas suffisante actuellement pour maintenir des pains différents sur toute une année. Il envisage la mise en vente de trois pains aux caractéristiques différentes seulement à partir de l'année prochaine suivant les rendements des mélanges et de la population du Barbu d'Épire.

Son mélange

Le premier mélange en culture est celui de Christian (voir plus loin) qui est passé par une autre ferme pendant deux ans. Le second est composé de 5 blés méditerranéens provenant d'un paysan du Sud-ouest, François Gardey, qui lui a permis de démarrer directement en production sans passer par l'étape de multiplication, lui évitant un projet d'installation trop long, étalé sur 4 ans au lieu de quelques mois. Stéphane préfère tendre vers des mélanges de 3 à 4 populations différentes afin de déterminer plus facilement par observation quelles populations disparaissent ou prennent le pas sur d'autres. Par expérience, il considère que les mélanges plus diversifiés ne sont pas pertinents avec sa volonté d'obtenir des pains très typés. A côté de ces mélanges, il garde en culture des populations seules qui lui permettent de rapporter dans ses mélanges des populations qui tendraient à disparaître. Il reste sur les mélanges initiaux qui ont évolué avec le climat et les resseme d'une campagne à l'autre après avoir séparé les grains viables par triage.

L'objectif prioritaire des mélanges est la qualité du produit fini et en particulier son goût, suivant les attentes de Stéphane. Pour chaque population qu'il découvre, il réalise une panification pour tester si elle correspond bien à ses critères gustatifs. Si la population l'intéresse, il va chercher quel type de terroir lui correspond le mieux pour qu'il

assure un rendement convenable suivant l'impératif économique et demande à d'autres paysans de le cultiver. Stéphane est propriétaire de seulement 4 ha mais par le principe d'échange avec d'autres paysans du secteur il peut garder une production annuelle de blé sur 4 hectares et permettre une rotation sur les parcelles.

Stéphane a déjà entendu par des connaissances qu'il pouvait y avoir un lien entre un phénotype de blé dont la couleur tend vers le rouge et le goût typé du pain. Après être remonté au grain depuis le pain, il a fait le constat que la plupart des blés qui l'intéressaient gustativement n'étaient pas rouges ni ne donnaient des grains rouges. Ses préférences s'orientent même, après expérience, vers des grains jaunes et laiteux. Cependant, il estime que tant qu'il n'a pas testé une population en panification, il ne peut se prononcer sur son potentiel en ne regardant seulement des aspects morphologiques.

CHRISTIAN DALMASSO, LA DIVERSITE AU SERVICE D'UN PRODUIT

Présentation

Après des études à l'ISARA-Lyon, et une période de service civil, Christian s'installe en 1995 avec sa femme et un autre couple dans une ferme de l'Isère, à Torchefelon, en polyculture-élevage comprenant un troupeau de chèvres. L'idée de la fabrication du pain sur la ferme vient plus tard par la proposition de Thierry, conjoint de Laurence associée du GAEC avec Christian. L'objectif était de créer une autre activité sans impliquer un investissement important, au contraire d'un éventuel agrandissement du troupeau de chèvre. Du blé était déjà cultivé sur la ferme, destiné à être vendu à l'extérieur. Il y avait aussi un ancien four à pain sur la ferme qu'ils ont rénové. Après des rencontres avec des paysans-boulangers, et notamment Alain Pommart, chez qui Thierry s'est formé, ils commencent la panification en 2001. Thierry obtient un BPREA qui lui permet de devenir associé dans le GAEC. Ils construisent ensuite un fournil à côté de la ferme qui permet d'assurer une production viable. L'activité pain se développe de telle manière qu'en 2004 un nouvel associé est accueilli, Baptiste. Il reprend la gestion du troupeau après Christian qui va alors aider Thierry sur l'atelier pain. La ferme s'agrandit et Christian commence à s'intéresser, aux semences paysannes. Il fait la connaissance du Réseau Semences Paysannes et de Jean-François Berthelot qui a la même démarche que lui et dont l'approche du pain est très évoluée.

Du blé...

Pour Christian, tous les blés sont beaux, la part de subjectivité dans le choix des populations de blés anciens dépend du coup de cœur du moment. Il privilégie avant tout la diversité. Il apprécie des blés hauts de paille et a eu une période où l'intéressait plus les blés barbus aux nuances tendant vers le rouge. Quant aux blés ternes, gris, court et trapus il les considère comme les moins beaux.

... au pain

Christian évalue la qualité d'un pain sur son aspect extérieur suivant sa couleur, sa croûte dorée, non terne et bien ouverte. Une fois coupé, il apprécie un pain plutôt aéré, au bel alvéolage, évitant les gros trous, à l'odeur agréable. Le pain doit avoir un bon goût mais sans être trop typé ou trop acide. Les consommateurs donnent peu de retours sur l'aspect gustatif du pain. Par contre, ils sont plus sensibles à la texture du pain et à l'aspect de sa mie, la qualité de l'alvéolage. Suivant Christian, l'avantage de la plupart des populations de blés anciens est qu'ils limitent par leur force boulangère relativement faible la présence de gros trous.

Son mélange

Son parti pris est de choisir un mélange le plus diversifié possible, qui peut s'adapter largement aux différents types de sols présents sur la ferme et d'assurer un rendement stable. Le critère de la qualité gustative du pain vient après celui de l'adaptation du mélange. Avec une grande diversité de variété. Christian estime que la base aromatique apportée par les différentes populations de blés est suffisamment large pour apporter un goût intéressant au produit final.

La composition de son mélange varie d'une année à l'autre suivant les populations en cultures dans sa collection. En ressemant son mélange, il y apporte l'excédent de sa collection, ce qui correspond entre 30 et 40kg sur 1200 – 1500kg. Certaines années il peut ajouter du seigle, des poulards, mais rarement des blés modernes. Son mélange provient initialement d'un choix de populations de blés d'anciennes plateformes d'expérimentation INRA sur lesquelles avaient été testés une dizaine de blés locaux et une quinzaine de blés retraçant l'histoire de la sélection sur ce végétal. Christian en a donc choisi dix parmi les 25 en essais, sachant que deux populations constituaient 40 % du mélange de départ. Depuis lors, avec l'enrichissement progressif du mélange dû au rajout de l'excédent issu de sa collection, plus d'une centaine de populations de blés y ont transité. Aujourd'hui, certaines ont disparues, d'autres se sont développées rendant très difficile l'identification de chacune et impossible le dénombrement des populations le constituant.

Christian participe au programme de recherche SOLIBAM en mobilisant du temps et de l'espace pour des essais de croisements en lien avec des anciennes populations de blé.

PASCAL RASCLES, INTUITION ET RECHERCHE DE DIVERSITE

Présentation

Initialement kinésithérapeute, Pascal suit une formation en 1988 à l'école d'agriculture de Beaujeu. C'est à cette époque qu'il rencontre les premiers paysans-boulangers. Avec sa femme, il a le projet de racheter une ferme afin de réaliser un gîte et une chambre d'hôte pour générer un revenu stable. Il choisit alors de s'installer à la ferme de Sabadel, près de Saint-Julien-Chapteuil, en Haute-Loire, à 900 m d'altitude. Elle s'étend sur une surface de 15 hectares dont peu sont labourables. L'idée de faire du pain à la ferme lui vient plus tard dans une démarche de diversification et de complément de revenu non saisonnier et régulier lui permettant aussi de valoriser des terres très difficiles sur une petite surface. Il est installé maintenant depuis 20 ans mais ce n'est qu'à partir de 2007 qu'il commence à travailler avec des populations de blés anciens à l'issue de l'assemblée générale du Réseau Semences Paysannes à Lyon.

Du blé...

Son objectif est d'avoir une diversité à la ferme et de trouver des blés cultivés localement ou qui ont déjà été cultivés par le passé dans sa région, supposés plus adaptés au contexte pédo-climatique local que les variétés modernes. Malgré ses recherches et ses essais, les anciennes variétés locales ne sont pas celles qui poussent le mieux. Pascal est sensible à l'esthétique du blé et au côté intuitif de cette démarche car il n'y a pas beaucoup voire, dans quelques cas, pas de références sur ces blés anciens. Par observation, il préfère des plantes au port intéressant, qui se développent bien, sur lesquelles il peut s'appuyer au niveau du rendement et donnant visuellement de beaux épis parmi sa collection. Sa préférence s'oriente vers les blés barbus car cette caractéristique permet de limiter les pertes aux champs par des ravageurs tels que les blaireaux ou les sangliers. En effet, leurs barbes rendent l'ingestion de l'épi entier plus difficile et gênant, ce qui limite la préférence des ravageurs envers ces types de blé.

... au pain

Le pain est avant tout fabriqué pour le client, il est donc à leur écoute de leurs retours. L'aspect le plus apprécié dans le pain est l'alvéolage, qui doit se rapprocher des pains standards actuels. Les remarques les plus courantes relèvent aussi et surtout de la cuisson du pain, et de sa levée. Il fabrique son pain avec une farine de mélange qui est composé d'une dizaine de populations différentes de blés anciens.

Son mélange

L'objectif du mélange élaboré par Pascal est d'être adapté aux conditions pédo-climatique de son secteur qui sont assez contraignantes. Le climat est en effet caractérisé par des gelées tardives jusqu'à la moitié du printemps ainsi que des gelées précoces en automne ; à la veille de l'entretien, fin Mai, la température atteignait -3°C et il avait

neigé un jour avant. Cette région est plutôt adaptée à la culture du seigle. Le principal aspect qu'il recherche est donc d'ordre agronomique et il cherche une dizaine de populations de blés anciens qui arrivent à s'adapter à ces contraintes. Pour lui, comme la base aromatique est suffisamment large avec dix populations, l'aspect gustatif doit suivre.

Le mélange de Pascal est constitué de Touselles, du Barbu de l'Aveyron, de blés des Hautes Pyrénées, du Rouge de Bordeaux, du Rouge des Charmilles, du blé de Haute Loire, du blé Seigle, du blé de Lozère et du Poltavka, un blé ukrainien. Tous ces blés proviennent de la collection de graines de l'INRA de Clermont-Ferrand.

La constitution de son mélange s'est faite progressivement suivant un système qu'il poursuit actuellement. Il commande tous les ans à l'INRA de Clermont-Ferrand 6 à 8 échantillons de graines de blés anciens et en récupère 2 ou 3 chez des particuliers. Il les met en culture dans sa collection pour observer pendant un an leur comportement et leur développement. Les populations qu'il juge les plus belles, deux au minimum, vont rejoindre des parcelles de multiplication de 10 m². Les populations concernées sont, suivant les critères de Pascal, celles qui développent des épis bien remplis, qui peuvent produire suffisamment et assurer la stabilité du rendement. Une fois la multiplication effectuée, la récolte va enrichir le mélange, ce qui représente à peu près 3kg pour une population. Chaque année, sur 150kg de semence au total, un peu moins de 10kg proviennent donc de l'extérieur du mélange, le reste est issu de la réutilisation du mélange en semence. En dernière étape, Pascal choisit les grains qui constitueront la semence dans le bac du trieur où les grains sont les plus beaux – non cassés et bien remplis.

Le choix de populations qui limitent la verse est un critère qu'il prendra en compte plus tard dans l'amélioration de son mélange. Les variétés actuelles qu'il cultive dans son mélange donnent une farine de couleur grise. Il aimerait bien orienter la couleur de sa farine vers des teintes plus dorées et beiges. D'un point de vue gustatif, et suivant l'expérience de Pascal, le lien entre phénotype et goût est difficilement identifiable car la variation du goût du pain est surtout lié au climat des années.

JULIE ET FLORIAN, UN BLE DE PATRIMOINE

Présentation

Julie voulait s'installer depuis ses 18 ans et le principe de la filière du grain au pain l'intéressait. C'est après la rencontre avec l'association ASPAARI qu'elle débute l'aventure du pain. Elle trouve une maison avec un four à pain puis fait du pain avec un four ambulant. Florian, son compagnon, la rejoint ensuite dans la démarche vers 2008. Ils ont alors sous leur responsabilité un troupeau de chèvre, une fromagerie et un fournil. Son choix de vie est orienté vers l'autonomie et le travail autour des semences paysannes. L'accès à la terre en Bretagne fut difficile car elle n'est originaire ni du milieu agricole ni de la région. Malgré les difficultés rencontrées, elle parvient à acquérir des terres dont personne ne veut et doit composer pour les valoriser au mieux avec des populations de blés anciens et la transformation en pain.

Du blé...

Elle apprécie particulièrement la diversité de ces populations anciennes, leur esthétique mais aussi la dimension sociale en tant que patrimoine commun qui apparaît lors de leur culture. Selon Julie, tout comme pour le levain concernant les boulangers, les paysans ont un rôle de « passeur » car ils ne sont là que pour un temps, contrairement au patrimoine qu'ils transmettent aux travers de ces populations anciennes de blé.

... au pain

Concernant le pain, ses critères de qualités sont liés à l'aspect de la mie, à la conservation du pain et à son goût. Elle ne prend en compte l'esthétique du pain qu'en dernier. Les consommateurs, quant à eux, rapportent le plus souvent des témoignages positifs concernant la digestibilité des pains produits.

Leurs mélanges

Julie et Florian travaillent avec trois mélanges différents de blé. Le premier est composé de blés de Redon, premières populations avec lesquelles Julie a appris le métier de paysan-boulangier. Elle l'a constitué à partir des blés de Redon issus de la collecte réalisée par Gérard Doussinault partout en Bretagne et cultivés ensuite en collection par Nicolas Supiot et James Restoux, un autre paysan. Parmi ceux-ci, elle a choisi ceux qui rencontraient ses propres critères : des blés visuellement généreux, bien adaptés aux conditions locales, avec beaucoup de talles, qui tenaient sur pied, produisaient de beaux épis et présentaient une courbure intéressante à la fin de la maturation qui empêchait, lors de pluie, que l'eau pénètre dans l'épi, évitant la germination du grain sur pied. Elle y observe de 7 à 10 phénotypes différents par année, évoluant en permanence. Il est plutôt haut de paille bien que ce critère n'avait pas été recherché. Le seul défaut de ce mélange est d'avoir un rendement peu satisfaisant.

Le deuxième mélange, créé par Florian, est appelé mélange de meule, référence à la manière dont il a été élaboré, liée avant tout à l'atelier meunerie. Il avait déjà réalisé des tests de panification avec des échantillons de populations extérieures à la ferme. De nombreux échantillons sont passés entre ses mains qu'il a pu évaluer suivant ses propres critères : un grain croquant, donnant une farine grasse, d'une belle couleur, d'une bonne odeur ainsi qu'un rendement élevé. Les fonds de sac qu'il restait des échantillons intéressants ont rejoint d'autres blés récupérés du grand Ouest pour constituer la semence du mélange. Au final, Florian est satisfait de ce mélange qui, après deux ans en culture, le surprend positivement en alliant un rendement avantageux à une bonne qualité boulangère.

Le troisième mélange est composé de blés de pays provenant de populations de blés de Redon associés à 7 anciennes variétés de blés issues de la sélection professionnelle dont Datelle, Talisman, Concorde, Capelle. Cette fois-ci, leurs choix se sont portés sur la stabilité du rendement puisque qu'il est destiné à être cultivé par d'autres paysans et doit alors assurer une certaine production.

Julie fait voyager son mélange chez d'autres paysans pour qu'il rencontre d'autres environnements et garde sa diversité. Elle sélectionne les épis des plantes qui lui plaisent et réintroduit quelquefois le travail de sa sélection dans son mélange. De plus, lors du triage mécanique, elle récupère les grains sains de tout calibre pour conserver cette diversité.

« MATA », JEAN MATAOUCHEK, DU BLE AUX VALEURS SOCIALES

Présentation

Installé en cotisant solidaire, il fait partie des trois résidents permanents du manoir de la Grée, situé près de Soulevache, en Loire-Atlantique. Ce manoir fait partie d'une démarche collective, acquis par l'intermédiaire d'une SCI et mobilisant une cinquantaine d'associés. Une association a aussi été créée, permettant de dynamiser cette acquisition par le biais d'événements tels que des portes ouvertes ou des rencontres. Sur cette structure, Mata, qui a initialement un diplôme d'architecture, a monté son projet de paysan-boulangier. Attiré par le feu et la pâte, il a effectué son apprentissage avec d'autres boulangers et contribué à l'autonomie du collectif en produisant du pain. Pour lui, se rapprocher de la terre en produisant le blé de ses pains est important. Il cultive donc quelques hectares de mélanges de blés anciens sur les 30 ha que comptent les terres du manoir.

Il partage des valeurs communes avec l'association Triptolème : réaliser une agriculture saine, locale et autonome.

Du blé au pain

Mata apprécie les blés en population. Il considère que tous les blés sont beaux, avec leurs différences.

Concernant le pain, il en apprécie l'aspect, l'odeur, le goût, la conservation, l'authenticité, sa personnalité, ses adeptes mangeurs, et les activités sociales indirectes qu'il engendre. En effet, Mata invite les clients à l'aider dans

des sessions de ramassage de fagots. Il fait d'abord le pain qu'il aime, un pain plutôt gris, moyennement aéré et avec des arômes complexes considérant que d'autres boulangers sont là pour satisfaire d'autres goûts.

Ses mélanges

Il cultive deux mélanges séparément, stockés séparément, et mélange les farines qui en sont issues en fonction de l'humeur et des stocks.

Son mélange moderne vient d'un agriculteur bio des pays de la Loire très méticuleux qui a évolué en quelques années et a pris en saveur et en couleur. Ces blés lui assurent un bon rendement. L'an dernier, il y a ajouté du Rouge de Bordeaux et quelques autres blés anciens différents de l'autre mélange afin de le faire encore évoluer et d'obtenir une meilleure base. Son second mélange vient de Julie. Pensant qu'il était adapté à ses terres, il donne cependant de faibles rendements (seulement 12 quintaux). Mata n'effectue pas de sélection dessus, le laissant évoluer au gré des années. Il en apprécie la couleur et les arômes.

Pour ces deux mélanges, le trieur sélectionne pour lui. Il pense ajouter de nouvelles variétés au mélange "autrichien" mais garde le Redon à part pour voir son évolution, et fera une sélection d'épis à la main dans le futur. Futur que j'ai eu le privilège d'observer puisqu'il a réalisé devant moi sa première sélection durant un tour de champ. Il a choisi alors les plus gros épis, long et fournis, blanc, brun, barbus ou non, des épis qui sortaient du lot par leurs particularités à la fois quantitatives et esthétiques.

RAPHAËL BALTASSAT, L'ESTHETIQUE DU BLE

Présentation

Raphaël est paysan-meunier. Il ne panifie pas mais produit de la farine de blés anciens à destination de boulangers bio intéressés par sa démarche, des AMAP et de quelques marchés. Il est installé avec son frère sur la ferme familiale en AOC Reblochon depuis 2006 à Bonne, en Haute-Savoie. Son intérêt pour les anciennes populations de blé s'est révélé lors d'une formation autour des maïs population et de la visite d'une collection de blés anciens. Les nombreuses possibilités liées à ces populations véhiculées par divers témoignages l'ont fortement séduit : ces blés semblaient donner un pain plus digeste que les variétés modernes, leur esthétique était incomparable avec les blés modernes et l'idée d'une filière ou d'une activité basée sur leur culture lui paraissait très originale. Parallèlement, la perspective de pouvoir faire ses propres semences, de les garder et de conserver ces anciennes populations lui plaisait. C'est ainsi qu'en automne 2005 il amorce une collection avec une dizaine de populations de blé et met en culture un mélange de 9 ou 10 populations. Son objectif était de remplacer progressivement tous les blés modernes de la ferme par ces anciennes populations, objectif qu'il atteint au bout de 3-4 ans.

L'esthétique du blé

Sa principale motivation pour cultiver d'anciennes populations de blé est leur esthétique. Il est fortement sensible aux beaux épis, aux grandes pailles, aux plantes produisant beaucoup de matière, non versées ainsi qu'à la grande diversité présente dans ses parcelles. L'aspect lié au rendement vient seulement après. L'atout supplémentaire lié à ces types de blé est la dimension locale qui est valorisée lors de l'achat du pain et mis en avant par les boulangers. D'autant plus que ces blés anciens commencent à avoir une bonne réputation, diffusée à la fois par les boulangers et par les consommateurs. Les boulangers sont satisfaits du mélange créé par Raphaël et les consommateurs comparent le pain en résultant comme un pain de petit épeautre, un produit plutôt luxueux, vendu deux fois plus cher qu'un pain de campagne.

Son mélange

Le mélange qu'il transforme en farine actuellement n'est plus identique au mélange initial. Certaines populations ont disparues tandis que d'autres ce sont développées. De plus, le mélange qui suit est toujours constitué à moitié du mélange précédent, le reste provenant des populations qui plaisent à Raphaël issus de sa collection.

Les difficultés principales que rencontre Raphaël sont surtout liées aux types de sols présents sur la ferme et plus particulièrement dans les terrains argileux. C'est pourquoi, à l'avenir, il souhaite développer deux types de mélange. L'un réservé aux sols plutôt séchant et caillouteux et le second adapté aux conditions humides de certaines terres.

FRANÇOIS GARDEY DE SOOS, LA VALEUR DES BLES ANCIENS

François s'installe en 1977 sur le domaine familial de 150 ha qu'il partage avec son frère. Sur ses terres il s'occupe de la vigne, de la production de blé dur et d'autres cultures. Après avoir démarré la conversion de sa ferme en agriculture biologique courant 1988. Il fait ensuite la rencontre en 1990 d'un maraîcher à Toulouse, Pierre Besse, qui le sensibilise aux questions des anciennes variétés de blé. Mais c'est la rencontre avec Alain Guinamant, alors jardinier du préfet de l'Aude, que François commence à cultiver un blé ancien issu de leur échange. Sans vraiment être sûr de son nom, Alain pense qu'il correspond au barbu du Roussillon. Cependant, 18 ans plus tard, lorsque François sème des blés méditerranéens dont l'un est annoté « barbu d'Épiré », il se rend compte qu'il correspond étrangement au « barbu du Roussillon » donné par Alain. Celui-ci l'intéresse fortement puisqu'il serait originaire de la région d'Épire, en Grèce, et, beaucoup plus tard, se révélera être à l'origine d'un pain à la mie jaune et dorée et aux arômes très prononcés de miel et de pain d'épice.

Continuant sa recherche des blés méditerranéens, il constitue un mélange de 6 variétés : Touselle rouge de la Drôme, Blé d'Avril, Rouge de Bordeaux, Provence non barbu, Pêche Vèque de Rodez, Barbu de Toscane. Ses critères pour le choix de ces populations sont avant tout agronomiques. Il vise à obtenir plusieurs hauteurs de pailles et des différences de port de feuilles pour couvrir le sol et limiter les adventices. Il cherche des blés à fort tallage, dont les épis sont beaux, fournis et barbus. Les barbes sont essentiellement un moyen pour éviter les pertes dues à la consommation des épis par les sangliers.

Ses cultures de blés anciens étaient destinées à la vente en grain. Depuis deux ans et demi, François possède un moulin Astrié et produit sa farine qu'il vend à des boulangers ou à des particuliers. Il a très peu de retour de ces clients et la valorisation de ces types de farine provenant de blés anciens est difficile car les aspects de sa production est inconnu des clients, qui ne souhaitent pas payer plus cher une farine équivalente à celle produite avec des blés modernes. François arrive à conserver un prix proche d'une farine conventionnelle mais la valorisation est difficile. Il cherche à monter un label avec le CIVAM de son département pour valoriser les termes de meunier-paysan et boulanger-paysan.

Un boulanger c'est installé récemment sur le domaine pour réaliser cette valorisation. Il a commencé à panifier les farines de la ferme depuis quelques mois.

NICOLAS SUPIOT, PIONNIER BRETON

Présentation

C'est à 8 ans que Nicolas fait sa première panification au levain en Auvergne mais beaucoup de temps et une vie citadine passeront entre cette expérience et le retour à la panification. Après des études en langues orientales et de conseil en communication, il choisit de s'installer en Bretagne en 1993 avec sa famille, au Rocher, pour vivre en cohérence avec ses convictions : son rapport au vivant, au contraire du système actuel. Il rénove sa maison avec des matériaux écologiques, cultive son jardin et envisage de faire son pain au levain. Pendant quelques temps, il travaille auprès des enfants afin de leur transmettre des connaissances pratiques et une ouverture culturelle. Avec un ami en biodynamie, il propose du pain à la ferme et fait de l'accueil. Par l'intermédiaire de Bernard et Paul Simonneau il fait la rencontre d'André Astrié, après laquelle il décide de commencer une démarche de la semence au pain et

commande un moulin Astrié. Il amorce sa production avec la rencontre d'un vieux paysan biodynamiste qui cultive des variétés de blé issues du début de la sélection professionnelle et qui lui donne quelques semences. Au départ sans statut ni terres, la culture des blés se fait par arrangement avec des amis agriculteurs en bio, Nicolas faisant le tri des grains et la mouture. En 1999 il acquiert environ 2 hectares de terres hydromorphes dont aucun agriculteur ne veut. C'est seulement en 2006 qu'il peut se déclarer agriculteur à titre principal avec 12 hectares en propriété.

Du blé...

Dans l'esprit de Nicolas, tous les blés sont beaux, ils sont tous différents. Il apprécie avant tout la diversité visible dans les champs qui peut être un atout par rapport aux contraintes locales pédo-climatiques et sanitaires. Pour illustrer son propos, il prend pour exemple un essai de lignée pure ressemé de nombreuses fois dans lequel est finalement apparu différents phénotypes. Ceux-ci valorisent alors l'espace disponible et assurent des fonctions de maintien face au risque de verse grâce à leur répartition en étage : un type grand courbé lâche de 1,70 m et un type dressé massue de 1,10 m à forte paille, comme un roseau. Il identifie les différentes populations surtout à la couleur des blés. C'est avant tout la forme de la plante qui varie dans les populations (courbure, forme de l'épi, paille, tallage).

... au pain

Nicolas voit le pain comme un produit alimentaire qui se doit de comporter à la fois des qualités gustatives, nutritionnelles et sanitaire élevées. Il privilégie des blés donnant une pâte très extensibles car ils sont le seul type qui permet d'avoir une mie moelleuse, agréable à panifier, avec une pâte très hydratée dont le pain peut rester moelleux et se conserver longtemps – des bulles translucides dans la mie en sont le témoin et la principale caractéristique.

Pour fabriquer son pain, Nicolas préfère se laisser le choix entre un mélange de farine et une farine de mélange de blés. Il cultive donc son propre mélange et la population du Rouge de Bordeaux à part. Le mélange de blés est meilleur agronomiquement et s'adapte aux conditions locales après semis et ressemis. La maturité à la récolte s'équilibre, avec la perte de certains blés au profit d'autres et l'apparition de nouveaux types. Par rapport à cette dynamique difficilement maîtrisable, Nicolas craint la perte de la qualité boulangère. Mais avec surprise, ce n'est pas le cas de son mélange-boulangère. Le Rouge de Bordeaux avait disparu mais le mélange gardait une bonne qualité de panification. Pour assurer la qualité boulangère suivant ses attentes, Nicolas cultive donc en parallèle et seul du Rouge de Bordeaux pour le réintroduire dans son mélange de blés suivant ses besoins ou l'apporter sous forme de farine à la farine issue de son mélange.

Son mélange

Le mélange-boulangère de Nicolas est composé de nombreuses variétés de blés, rassemblées différemment. La première partie qui le constitue provient d'une expérimentation organisée avec le GAB d'Ille-et-Vilaine au cours de laquelle il a pu cultiver et panifier des blés modernes et des blés relativement anciens. Il a donc observé le rendement et la valeur boulangère du Concorde, du Talisman, du Prinqual et d'un mélange venant d'un paysan, James. L'importance de l'adaptation de ces variétés à une agriculture plus naturelle, privilégiant un travail minimum de la terre va le conduire à semer dans une prairie faiblement travaillée et en densité très faible des graines du mélange de James à raison de 5kg par hectare. Prenant en compte aussi le cycle naturel des graminées et considérant que l'alimentation de la plante en automne est la plus importante, il réalise ce semis à la jetée vers la mi-juillet. Il récolte ensuite les épis des plantes les plus vigoureuses qui s'expriment par un fort tallage ; Nicolas avait observé jusqu'à 85 talles. Il isole alors 9 populations adaptées à cette pratique qu'il distribue autour de lui et multiplie avant de les introduire dans son mélange. La dernière partie provient de la culture de divers blés de Redon, collectés par un chercheur et transmis à certains paysans.

JEAN-FRANÇOIS BERTHELOT, PIONNIER DU LOT-ET-GARONNE

Présentation

Installé en agriculture biologique depuis les années 1980 à Port-Sainte-Marie dans le Lot-et-Garonne, Jean-François est l'un des pionniers de ce métier. Au départ maraîcher et arboriculteur, le climat capricieux du Sud-ouest avec ses forts risques de grêle va le décider à (ajouter) une nouvelle activité moins dépendante de ces aléas : la transformation du blé en pain, qu'il commence en 1992. Sa démarche l'amène à réfléchir sur la qualité des farines ainsi qu'aux variétés dont elle est issue. Il constate que les variétés modernes sélectionnées en vue d'une agriculture conventionnelle perdent la valeur boulangère qu'on leur attribut lorsqu'il les cultive en bio. Ses recherches pour des variétés adaptées à ses attentes vont le conduire à cultiver des variétés anciennes de blé. Grâce à la collection européenne de céréales à paille de l'INRA de Clermont-Ferrand, il constitue une collection et réalise des tests de panification avec différentes variétés.

Du blé...

Pour Jean-François, relier une variété particulière à une palette aromatique définissable est difficile. Bien qu'il ait pu observer un lien entre blé et arôme lors des expérimentations réalisées en boulange, ce lien ne peut être déterminé efficacement ni devenir généralisable concernant une population de blé. Les facteurs climatiques de l'année ainsi que le facteur parcelle vont influencer fortement sur les caractéristiques gustatives du blé et l'observation d'un lien phénotype-goût à un instant T ne sera pas représentatif du blé testé. Il illustre son propos en faisant le parallèle avec le problème de conservation du blé en partant d'un constat personnel : il connaît une parcelle particulière sur laquelle, quel que soit le mélange ou la population cultivée dessus, les grains qui en sont issus se conservent moins bien que ceux provenant d'autres parcelles et du même mélange ou population. Il a déjà réalisé des essais de panification avec des variétés différentes cultivées seules et panifiées seules. Il n'a observé qu'une seule différence notable entre les blés modernes et les blés anciens : ces derniers développent une palette aromatique plus complexe.

...au pain

Jean-François préfère panifier à partir d'un mélange de blés car, suivant son expérience, le pain en résultant est le meilleur qu'il puisse faire, comparé à ceux élaborés à partir d'une farine issue d'une seule population.

Son mélange

Jean-François pratique l'enrichissement de son mélange avec des variétés présentes dans sa collection suivant des critères de sélection globaux. Il cherche à sélectionner de manière à ce que tous les critères puissent tendre vers l'amélioration générale des blés, bien qu'au départ son principal critère avait été de rechercher des variétés résistantes à la verse. De son point de vue, l'adaptabilité d'une population ou d'un mélange est un processus long et au final, ils tendent à s'homogénéiser, se stabiliser : après observation sur plusieurs années, les différents étagements d'épis disparaissent progressivement.

Il aime les blés barbus et en a fait un de ses critères de sélection car leurs barbes participent à la brillance de la plante. Selon lui, elles jouent un rôle dans la maturation de la plante par l'absorption de lumière. C'est aussi le reflet d'une maturation qui se poursuit jusqu'à son terme.

Jean-François ne veut pas cultiver des populations seules car elles expriment un équilibre avec les autres seulement dans un mélange.

ALAIN POMMART, LA DIVERSITE AUSSI DANS LE MODERNE

Présentation

Après avoir été infirmier, il s'installe en 1984 sur la ferme de Villeneuve, près de Saint-Martin d'Uriage, à proximité de Grenoble, où sa femme s'occupe déjà d'un troupeau de chèvres en biodynamie et d'un peu de maraîchage. Ses premières préoccupations concernent son autonomie par rapport au système et il souhaite produire ses propres semences. Il se tourne alors vers des semences de variétés anciennes conservées par des associations. Cependant, il rencontre des problèmes concernant à la fois la germination de ces semences et le débouché de ses productions. Les légumes qu'il produit ne correspondent pas aux standards des coopératives de produits biologiques. Pour limiter ces difficultés il cherche très vite une autre activité. Il se tourne naturellement vers une activité qu'il connaît particulièrement : depuis ces dix-huit ans il fait du pain avec des farines issues de l'agriculture biologique. Il choisit donc d'en faire son métier. Il commence son projet en 1989 avec la construction des bâtiments qui accueilleront le moulin et le fournil. En 1991 il sème une première parcelle de blé avec la variété Florence Aurore. Toujours concerné par l'enjeu des semences malgré de rares achats auprès des sélectionneurs, c'est surtout auprès d'autres paysans, à travers l'échange de grains, qu'il constitue progressivement ses semences. En 2008, sur ses 12 ha, il cultivait en pur cinq populations différentes : Capo, Renan, Lona, Florence Aurore et Rouge de Bordeaux. Sa curiosité le mène à apporté dans sa ferme un mélange provenant du Sud-ouest réalisé par un autre paysan. Chaque année, il resème les cinq populations et le mélange de blé et procède à des échanges de graines pour faire voyager les blés dans d'autres fermes et conserver un lien social avec d'autres paysans.

Un type de pain motivant ses choix de blé

Le plus important pour Alain est la réussite du levain. Un bon levain, une bonne eau avec une mauvaise farine donnera plutôt un bon pain. Il ne néglige pas la part de la matière première dans l'élaboration de la qualité du pain mais il estime qu'un boulanger doit avant tout s'adapter à la farine qu'il travaille. Les blés anciens ne se panifient pas de la même façon que les blés modernes. Quand les premiers ont un gluten plus souple et nécessite une quantité réduite d'eau, les seconds doivent être travaillés avec une forte hydratation, jusqu'à 94 % d'eau.

Il cherche avant tout à satisfaire la demande du consommateur qui cherche un pain blanc aéré, le pain gris tassé étant le plus souvent associé au pain consommé durant la guerre et synonyme de mauvaise qualité. Concernant ses propres goûts, Alain préfère un pain bien levé, moelleux dont l'arôme est discret et léger. Il privilégie le confort de la mûche et la texture aérée du pain et évite les goûts trop typés comme pourrait le faire un pain d'épeautre ou de seigle.

Par conséquent, Alain cultive à la fois des blés modernes, Capo, Renan et Lona, des blés issus d'anciennes sélections comme le Florence Aurore, des blés d'une population ancienne, le Rouge de Bordeaux et un mélange de blés anciens. Il préfère les mélanger seulement au stade de la farine pour maîtriser en partie la qualité technologique de son pain. Le choix du Rouge de Bordeaux était motivé par un coup de cœur, lorsqu'il l'a vu dans le champ d'un paysan. La culture du mélange de blé ancien est aussi fortement liée à une question d'esthétique, bien qu'au final il se révèle intéressant en panification en apportant des arômes plus légers que le Rouge de Bordeaux.

Une évolution personnelle

La recherche de semences a conduit Alain à rencontrer beaucoup de paysans et à fréquenter le Réseau Semences Paysannes. Initialement, Alain échangeait avec des petits paysans qui correspondaient à l'idée d'une agriculture à taille humaine. Il a eu connaissance des différents projets de cultiver à nouveau d'anciennes variétés de blés et les avantages que défendaient les pionniers de cette démarche. Progressivement il s'est ouvert aux autres types de fermes et n'a pas fermé ses portes aux variétés modernes, considérant que tout type de fermes et tout type de blé a une place dans ce monde d'échange et participe à cette diversité.

GERARD GUILLOT, LA VALORISATION D'UN PATRIMOINE

Une autre démarche

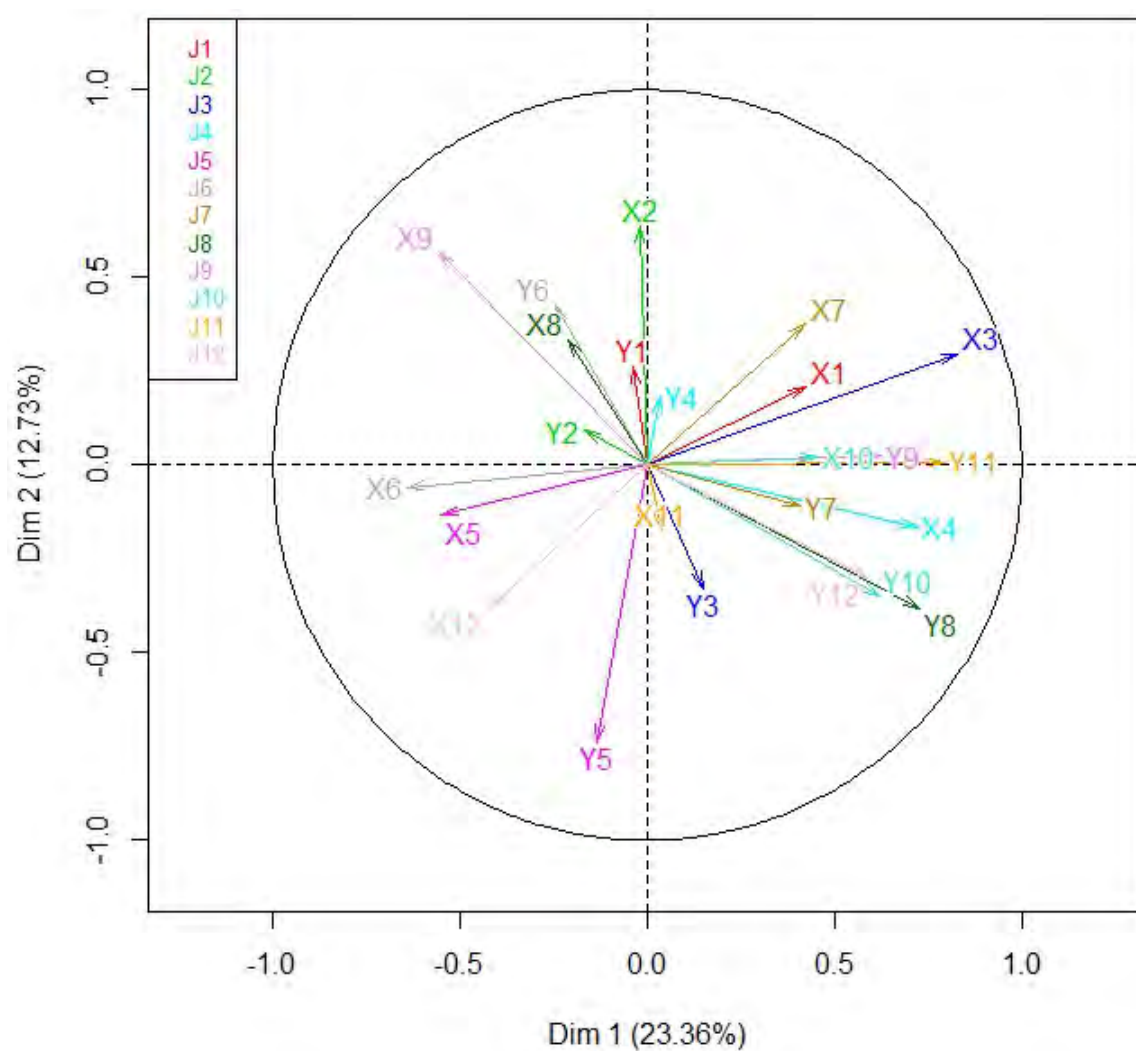
Installé dans le Lubéron, à Montfuron, Gérard Guillot est un paysan cultivant d'anciennes variétés de blé. Il est confronté à l'intolérance des consommateurs au gluten depuis 31 ans, et s'est donc tourné très tôt vers d'anciennes variétés de blés dont il avait des témoignages concernant leur meilleure digestibilité. Il se met alors en quête des variétés anciennes sans savoir que d'autres personnes avaient cette même démarche dans le Parc Naturel Régional du Lubéron. En effet, dans les années 1980, des techniciens sont chargés de préserver le patrimoine génétique local à travers la sauvegarde du blé Meunier d'Apt. Leur chemin croise celui de Gérard qui est alors amené à cultiver ce blé local. En 2004, une rencontre entre paysans et boulangers, organisée par la fédération régionale d'agriculture biologique, va initier la démarche d'une filière, portée par une réflexion autour de la valorisation des blés anciens. Gérard fait partie de la quinzaine de producteurs du blé meunier d'Apt qui est ensuite transformé en farine type 80 par le Moulin Saint Joseph à Grans et utilisée au final par les boulangers.

Les variétés anciennes plaisent aux boulangers qui préfèrent mélanger eux-mêmes des farines issues de populations cultivées seules afin de maîtriser la qualité du produit. Le mélange est plus intéressant, plus goûteux et plus équilibré. Par exemple, la présence de Korazan à 5% ou 10% dans la farine améliore la souplesse du pain, l'enrichit d'un goût de noisette et assure une meilleure conservation – ce qui est une spécificité des blés durs. Le blé meunier d'Apt est associé au Korazan et au Florence Aurore, considéré comme blé de force, à raison de 55%.

D'après Gérard, une partie de l'intérêt nutritionnel des blés serait expliqué par la différence de maturation que peuvent avoir des blés anciens et des blés modernes. Les variétés modernes ont une maturation qui débute par l'assèchement de la paille avant l'épi. Au contraire, pour les variétés anciennes, la paille sèche en dernier permettant au cours de la maturation de l'épi de lui apporter encore des éléments nutritifs.

ANNEXE H : GRAPHE DES CORRELATIONS DES AFM POUR LE NAPPING 1

N1



ANNEXE I : ENTRAÎNEMENT DU PANEL INTERNE BROCOLI

Table 41 : description de l'entraînement subit par le panel interne pour l'évaluation des brocolis SOLIBAM

N° séance	Jury présent	Echantillons/références	Evènements marquant
1-5/10	Laurie Isabelle Laetitia Adeline Rémi		Initiation à l'analyse sensorielle Apprentissage saveur (amer, umami)
2-10/10	Laurie Isabelle Laetitia Adeline Magalie Rémi	Choux Fleurs Choux-Rave Choux rouge Choux Atlas Brocoli Choux chinois	Génération des descripteurs
3-18/10	Laurie Isabelle Laetitia Rodolphe Adeline Magalie Rémi	Romanesco Choux Fleurs Choux raves Une surprise	Evaluation du goût (sucré, amer) En deux séances
4-25/10	Laurie Magalie Rémi Rodolphe	Marathon (brocoli) Choux de bruxelles Choux Fleurs Choux Raves	Evaluation sucré, amer

	Laetitia		
5-8/11	Isabelle Rémi Rodolphe Laetitia	Romanesco Choux Fleurs Choux raves Brocoli	Evaluation amer, sucré + Texture (fermeté, granulosité)
6-16/11	Isabelle Rodolphe Rémi Magalie	Romanesco Choux Fleurs Marathon (brocoli) Iron man (brocoli)	Evaluation amer, sucré, fermeté, granulosité Travail commun sucré, granulosité Introduction nouvelles références (surgelé Picard)
7-20/11	Isabelle Rodolphe Rémi Laetitia Adeline		Evaluation amer, sucré, fermeté, granulosité Travail commun ferme et amer
8-27/11	Isabelle Rémi Rodolphe Adeline Laurie Magalie		
9-3/12	Isabelle Magalie Laetitia Rodolphe		

	Laurie		
10-13/12			
11-10/01		Choux esp. Brocoli bio Romanesco Espagne (Picard) Brocoli Espagne (Picard) Brocoli pas bio	Apport de référence pour la notation de la granulométrie (polenta, semoule, perle de blé)
12-14/01	Isabelle Rémi Rodolphe Adeline Laurie Solène Laetitia	Chou-fleur Espagne (Picard) Brocoli SOLIBAM Romanesco Espagne (Picard) Romanesco carrefour Brocoli carrefour Brocoli Espagne (Picard) Brocoli pas bio	Augmentation du nombre d'échantillons à déguster
13-01/02			Augmentation du nombre d'échantillons à déguster +Réduction à deux descripteurs

ANNEXE J : CAH POUR LES TROIS ATTRIBUTS EVALUES LORS DE L'EPREUVE DE CLASSEMENT SUR LES BROCOLIS EN 2010, SESSION 1

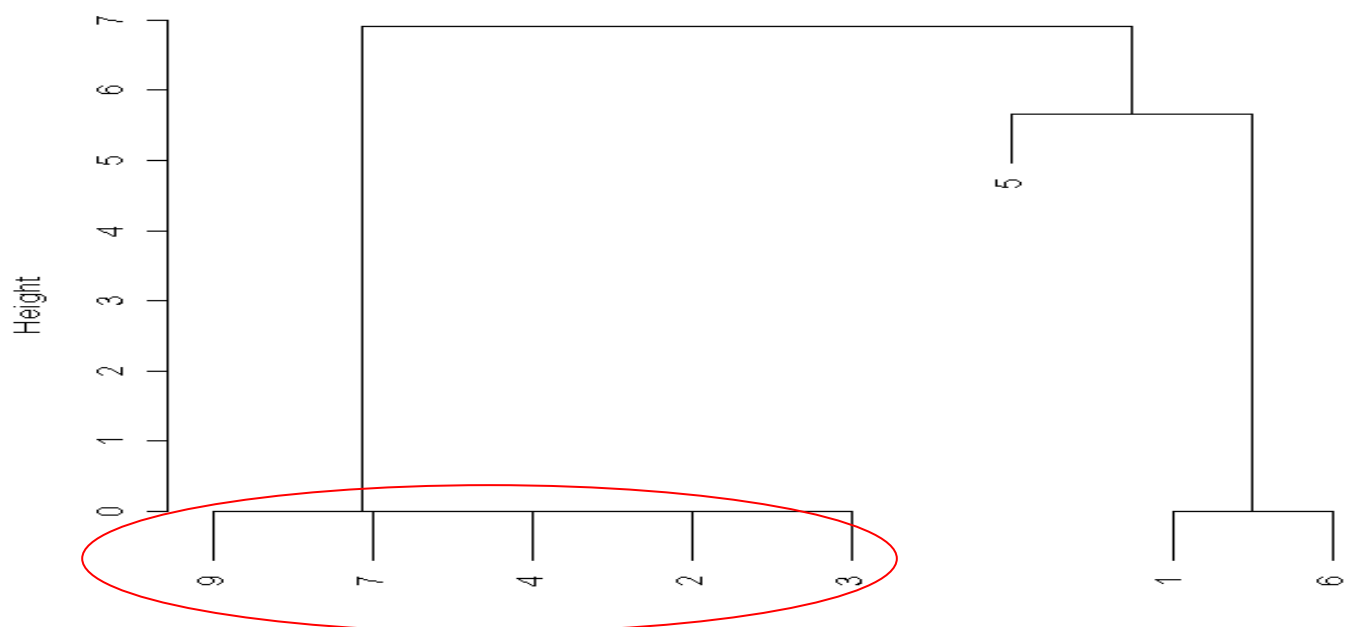


Figure 85: CAH sur les résultats du test de classement pour l'attribut *Goût de chou*, session 1

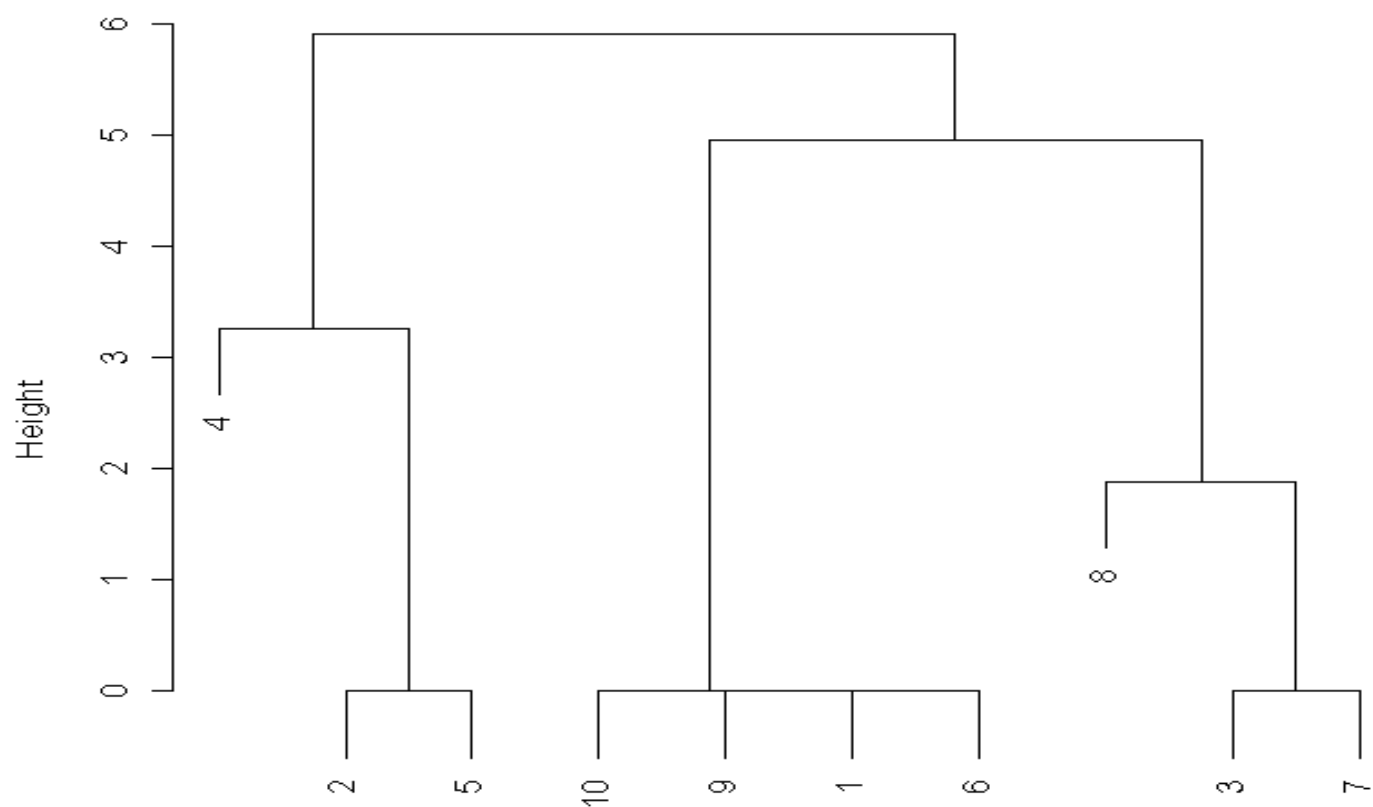


Figure 86: CAH sur les résultats du test de classement pour l'attribut *sucré*, session 1

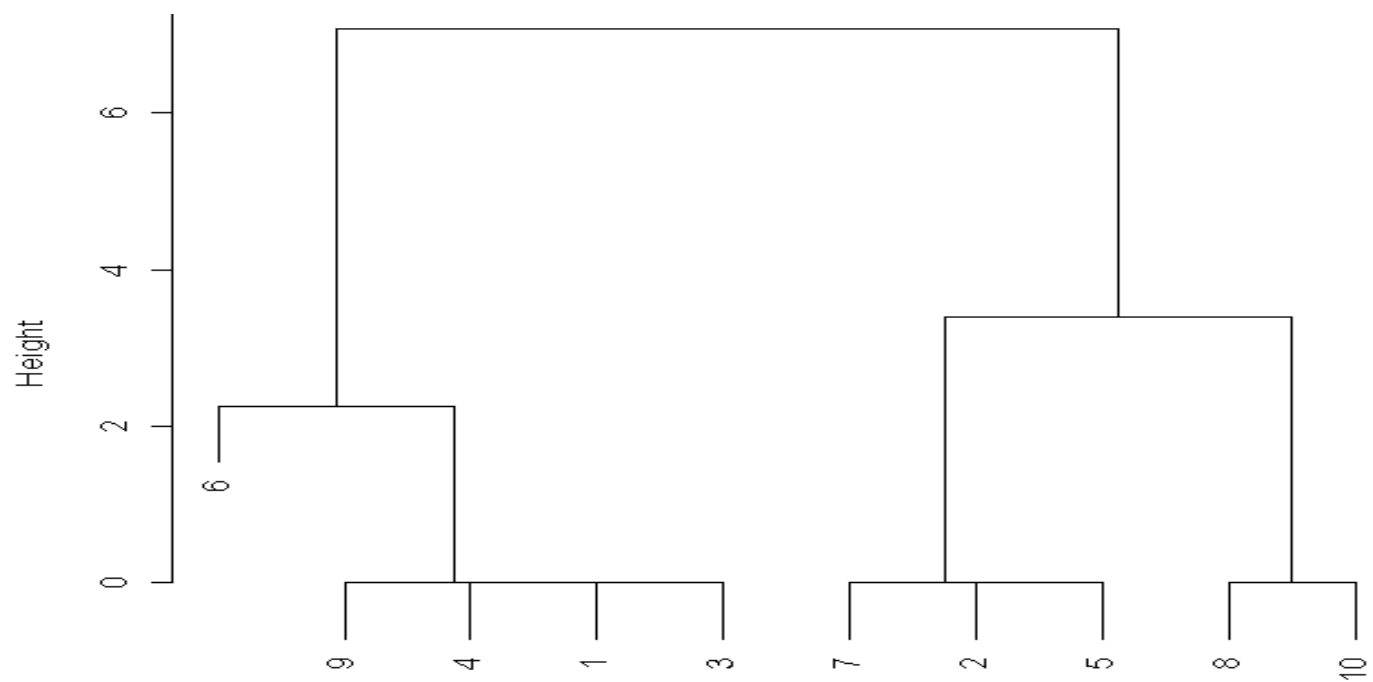


Figure 87: CAH sur les résultats de l'épreuve de classement pour le descripteur *fondant*, session1

ANNEXE K : CAH POUR LES TROIS ATTRIBUTS EVALUES LORS DE L'ÉPREUVE DE CLASSEMENT SUR LES BROCOLIS EN 2010, SESSION 2

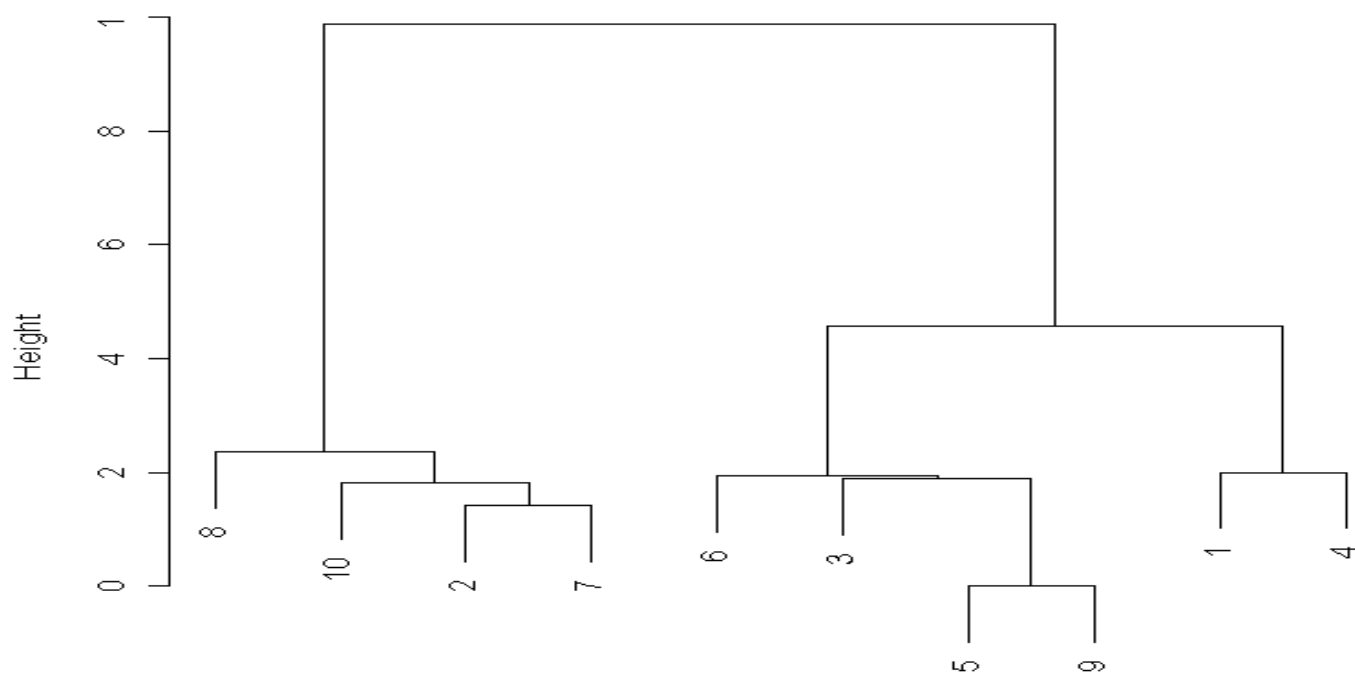


Figure 88: CAH sur les résultats du test de classement pour l'attribut *Goût de chou* session 2

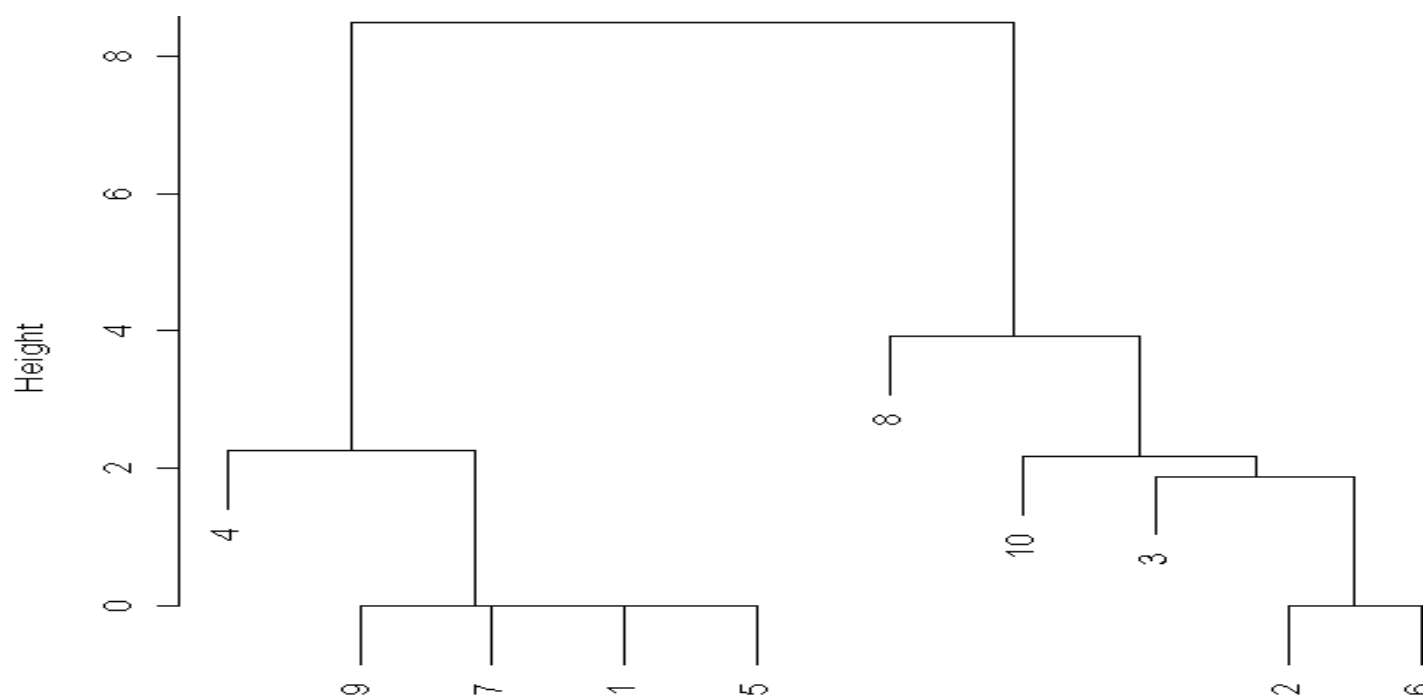


Figure 89: CAH sur les résultats du test de classement pour l'attribut *sucré* session 2

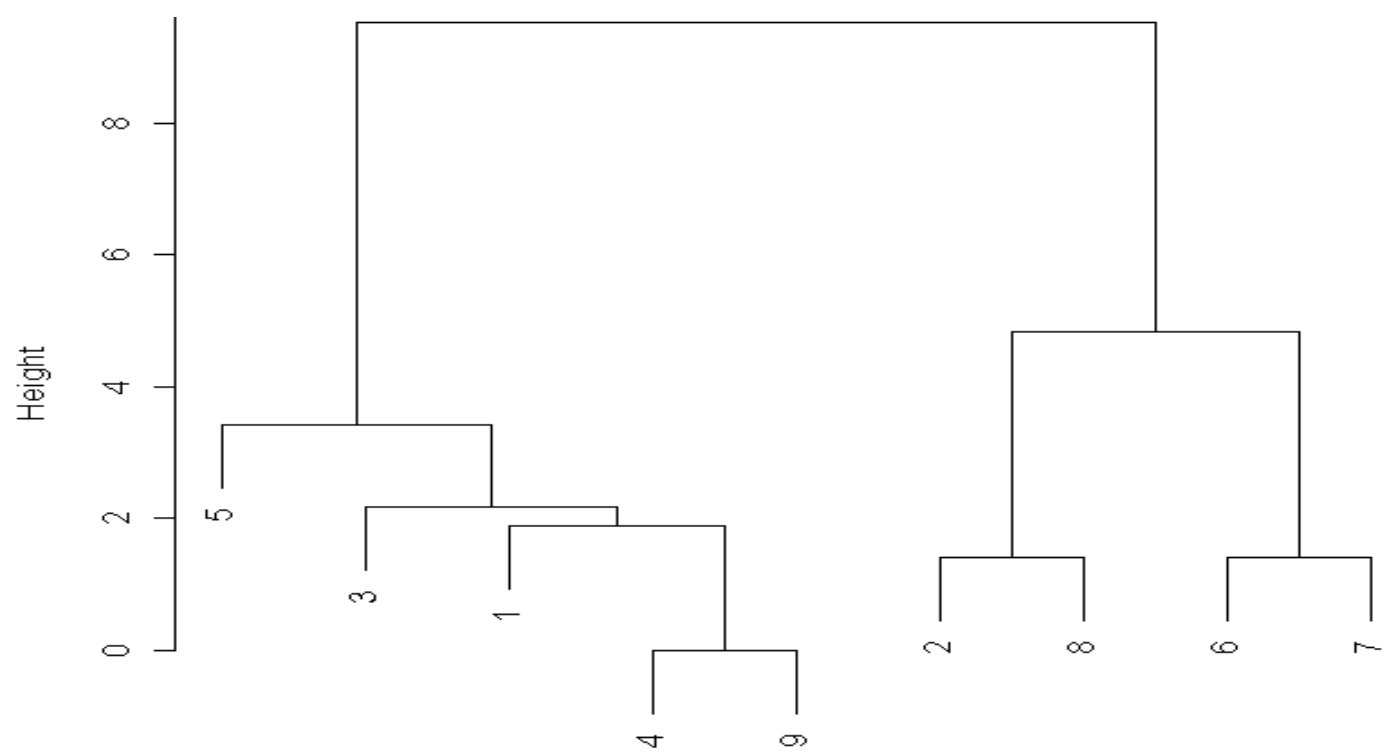


Figure 90: CAH sur les résultats du test de classement pour l'attribut *fondant* session 2

ANNEXE L : LISTE DES CROISEMENTS REALISES EN 2010 ET CULTIVES EN 2011

CROISEMENT		type de croisement
F2 (Purple Cape * Rosalind)		F2 (pomme antho * pomme antho)
(Purple Cape * Rosalind) * Purple cape		BC1 (pomme antho * pomme antho)
Rosalind	* I 2(Violet Queen F1)	pomme antho * pomme antho
Rosalind	* Viola	pomme antho * pomme antho
Rosalind	* DI Sicilia	pomme antho * pomme antho
Marathon HF1	* Rosalind	pomme verte * pomme antho
(Purple Cape * Viola)	* Samson HF1	pomme antho * pomme verte
DI cloco	* Viola	jet vert précoce * pomme antho
DI cloco	* (Purple cape * Rosalind)	jet vert précoce * pomme antho
DI cloco	* rosalind	jet vert précoce * pomme antho
DI cloco	* samson F1	jet vert précoce * pomme verte
DI cloco	* Red head	jet vert précoce * jet antho hiver
DI cloco	* santee F1	jet vert précoce * jet vert automne

Figure 91: liste des croisements réalisés en 2010 et cultivés en 2011

ANNEXE M: RESULTATS DES EPREUVES DE CLASSEMENT

RECOLTES 2011, SESSION 1

Table 42: résultat de l'épreuve de classement sur l'attribut goût de chou, 2011, session 1

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang moyen
Di Cicco	0	5	3	0	2	2,9
Di Cicco*Rosalind14	5	0	1	2	2	2,6
Di Cicco*Rosalind15	0	3	1	5	1	4
Rosalind	0	2	3	1	4	3,7
Di Cicco*Rosalind13	5	0	2	2	1	2,4

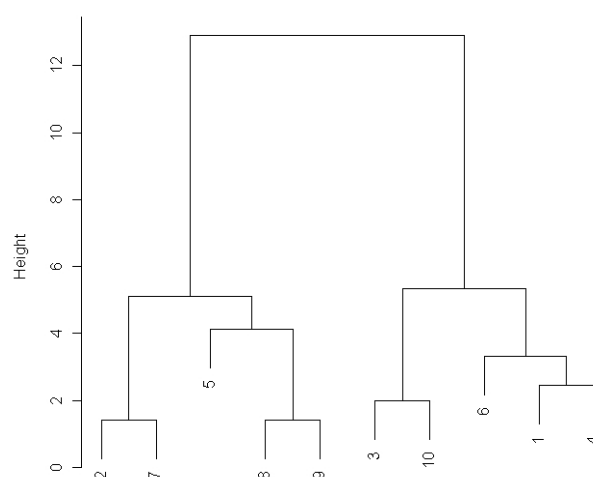


Figure 92: CAH sur les résultats du test de classement sur le descripteur *goût de chou* session 1

Table 93: Résultats de l'épreuve de classement sur le descripteur *goût de chou* session 2

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang moyen
2-Di Cicco³	4	1	4	0	1	2,3
3-Di Cicco*Viola1	4	1	2	2	1	2,5
4-Di Cicco*Viola2	0	2	2	5	1	4
4-Viola	0	2	1	2	5	4
1-Di Cicco*Viola3	2	4	1	2	1	2

Figure 94: CAH sur l'épreuve de classement sur le descripteur *goût de chou* session 2

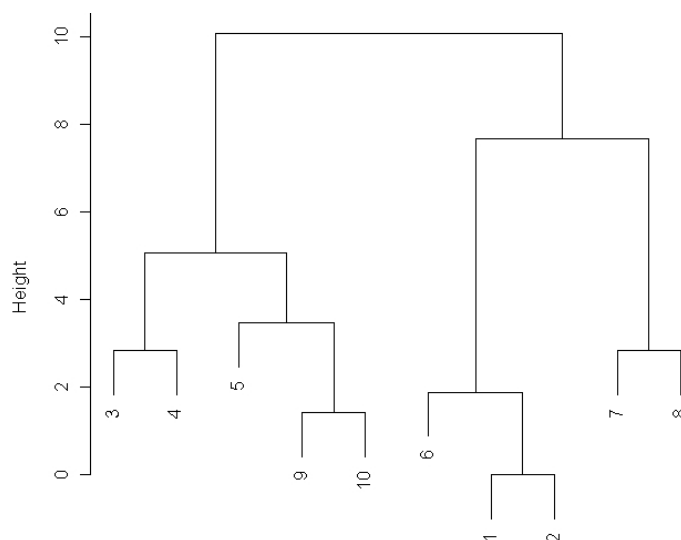


Table 43 : résultat de l'épreuve de classement sur le descripteur *goût de chou* session 3

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang moyen
Marathon	3	3	3	1	2
B12 09 a	1	2	3	4	3
B12 09 b	4	3	1	2	2
B12 09 c	2	2	3	3	3

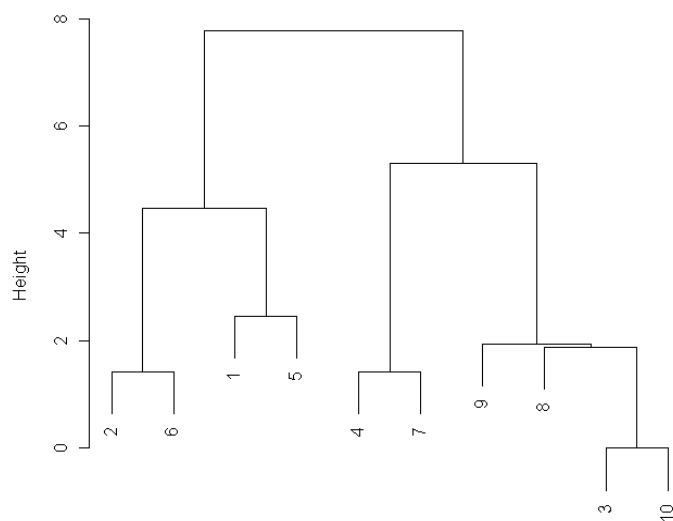


Figure 95: CAH sur les résultats du test de classement sur le descripteurs "goût de chou" session 3

Table 44: résultats du test de classement sur le descripteur *goût de chou* session 4

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang moyen
Marathon	3	3	2	0	2	2
Di Cicco	1	1	3	3	2	3,4
B12 28 a	2	3	3	1	1	2,6
B12 28 b	3	1	1	3	2	3
B12 01	1	2	1	3	5	4

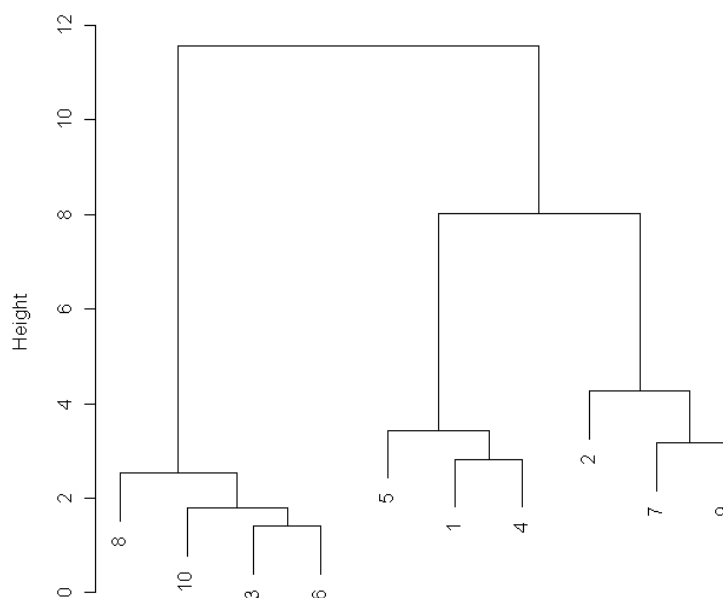


Figure 96: CAH sur les résultats du test de classement sur le descripteur *goût de chou* session 4

**ANNEXE N : ANALYSE SENSORIELLE ET QUALITE SENSORIELLE DE PAINS ARTISANAUX
PANIFIES AVEC DES POPULATIONS DE BLES CULTIVEES EN AB**

Cet article a été publié dans Food Nutrition and Science

Sensory analyses and nutritional qualities of hand-made breads with organic grown wheat bread populations

Camille Vindras-Fouillet^{a,*}, Olivier Ranke^b, Jean-Pierre Anglade^c, Bruno Taupier-Letage^a, Chable Véronique^d, Isabelle Goldringer^e

^aInstitut Technique de l'Agriculture Biologique, 149, rue de Bercy, 75595, Paris Cedex 12, France, bruno.taupier-letage@itab.asso.fr

^bBergerie de Villorceaux, 95710 Chaussy, France, olivier.ranke@orange.fr

^cNature&Progrès, 13, Boulevard Louis Blanc, 30100 Alès, France, anglade.jean-pierre@wanadoo.fr

^dSAD, INRA, 65 rue de Saint Briec, 35042 Rennes France, Veronique.Chable@rennes.inra.fr

^eUMR de Génétique Végétale, CNRS-INRA-UPS-INAPG, Ferme du Moulon, 91190 Gif sur Yvette, France, isabelle.goldringer@moulon.inra.fr

* Corresponding author: camille.vindras@itab.asso.fr, 00339 60 48 93 10

Abstract

Population varieties can meet the needs of organic farming as they are composed of diverse genotypes and have nutritional and sensory characteristics of interest. Their intra-specific genetic variability helps to adapt to the diversity of soil and climate conditions, management practices and needs. Moreover, an integrated organic bread sector has emerged willing to use more wheat populations. To explore sensory and nutritional potential of bread wheat populations, hedonic tests, sensory profile and nutritional analyses were implemented on eight wheat population varieties and one modern variety. Hedonic tests revealed consensus among consumer when ranking according to specific sensory characteristics and showed preferences for red wheat breads. Descriptive sensory test showed significant differences between genotypes on six out of 11 descriptors and confirm the sensory specificity of red wheat accessions. Nutritional analyses showed differences especially on minerals content. Sensory differences between breads from different genotypes can be perceived both by trained and untrained panels as suggested by results. Moreover, red accessions showed specific sensory characteristics which are well-perceived by the two panels. Breeding effort should be maintained for high diverse genotypes with improved sensory and nutritional qualities adapted to organic farming conditions. Indicators like kernel colour should be sought to help integrate such criteria.

Keywords: Organic farming, Sensory analysis, Bread wheat, Population varieties, Nutritional analysis

INTRODUCTION

Over the second half of the 20th century, plant breeding has developed varieties adapted to high input farming systems and industrial baking, resulting in the replacement of local varieties, which were potentially adapted to the specific soil and climate conditions of each region and had potentially good bread making properties [1]. Recently however, agricultural practices more environment-friendly such as organic farming have developed leading to an increased diversity in agronomic, soil and ecological conditions. This, together with the growing demand for diversification in terms of product quality, has generated a need for new varieties, general and specific, which are barely met by the standard model of variety innovation.

Breeding for organic farming should take several criteria into account: adaptation to the local soil and climatic conditions and to pest and pathogen pressures, weed competition, conformity to the organic specification and specifically growing without chemical inputs and pesticides, no genetic modification, acceptable economic profitability and a high level of nutritional and gustatory quality [2]. Modern varieties have been bred to provide high yield under high input agricultural conditions and thus they might lack the robustness and quality characteristics that are required for organic agriculture. Up to now, wheat sensory properties have not been systematically included as qualities parameters in the selection of new wheat varieties. However, the availability of suitable wheat varieties is critical for the development of organic agriculture able to meet demands in terms of nutritional and sensory quality.

Sensory properties are usually measured through sensory methods (descriptive analyses) as instrumental techniques are still limited to predict human perception [3]. The influence of farming system, milling and baking technique including flour type and fermentation [4, 5] and genetic structure [6, 7] on bread sensory properties have been investigated. In order of importance the identified factors are milling technique, baking practice (fermentation type and time, kneading intensity, etc.), genetic structure and finally farming system. To summarize, it seems that stone milled breads, wholegrain breads and organic wheat breads have specific sensory properties which are thought to be due to bran compared to conventional bread or white pan bread [5]. They showed more intense aromas such as roasted cereals, bitterness or a crusty texture.

This brought to light the close linked between nutritional and sensory qualities of wheat bread.

Specific nutritional quality of wheat bread can be defined by a complex set of variables. The quantity and quality of grain protein is a first parameter that defines the textural properties of the bread. Among wheat protein the gliadin is implicated in the dough extensibility. Moreover gliadin is suspected to play a role in gluten sensitivity by acting as inhibitors of alpha-amylase activity in some animals [8]. The pro-vitamin and vitamin content are vitals nutrient and their supplementation are important for the treatment of certain health problems. The “antioxidant” hypothese is that Vitamin E, carotenoids and other antioxidant micronutrients afford protection against chronic disease by decreasing oxidative damage [9]. The predominant carotenoid in wheat is lutein and is suspected to reduce the oxidative damage link to the aging process [10]. Moreover, carotenoid content may affect bread flavour by limiting the development of hexanal, a compound responsible for flavour problems [11]. Minerals content is another source of health benefits. Nevertheless, the availability of minerals depends on phytate content which had a decalcifying effect. On a sensory point of view, alkaline metal such as potassium or alkaline earth such as magnesium may contribute to the taste of wheat bread [12]. Finally the different categories of dietary fibres have shown to benefit diabetes, blood cholesterol level, body weight control and reduction of the risk of coronary heart diseases. Moreover some fibres as pentosan are implicated in the textural properties of bread wheat.

Farmer-bakers in the “Réseau Semences Paysannes” (RSP) network (a network of more than 70 associations aimed at the maintenance of cultivated biodiversity) have identified so called “landraces” (local varieties released before 1840s) and varieties from ancient breeding (varieties that have been released between 1840 and 1960) as a potential source of genetic diversity to breed wheat varieties adapted to their practices and needs. Those two types of varieties have been created before the genetic bottleneck associated with the emergence of “formal breeding” (breeding for pure lines) [13]. The genetic variability of population varieties can be expected to improve resilience because of their great adaptation capacity. Moreover, a significant historic evolution on nutritional composition of wheat grain has been observed between pure line varieties and population varieties which suggest that there is a potential for aroma

and flavour diversity in population varieties [13]. The farmer-bakers from RSP have started to reproduce some of them and are interested in testing their processing in bread.

In this context, a French interdisciplinary research programme, PICRI (Partnership between Institutions and Citizen for Research and Innovation), was launched in 2007 to develop participatory breeding and management methods based on the broad diversity of landraces and historic varieties and to characterize their variability for hedonic, sensory and nutritional quality.

The objective of this work was to assess sensory quality of different wheat varieties and mixtures of varieties and correlate with nutritional analyses of the same sample. Moreover, liking tests have been implemented to check if sensory differences should be perceived and appreciated by consumers as no study on hedonic test on landraces exists [3]. Such information is expected to support the development of a greater diversity of wheat relevant to organic wheat production within an agronomic and social context at a local scale.

MATERIALS AND METHODS

Wheat samples and milling

Nine landraces and historic varieties and one pure line variety used as a control sample were grown in an experimental field under organic agriculture management in La Bergerie de Villarceau near Paris in France (49.11;1.718). The wheat grown in 2007-2008 has been used for hedonic assessment whereas the next year's crops (2008-2009) were studied for their sensory and nutritional properties. Trials were repeated three times on plot of 120 m². Phenotypic measures (not shown in this article) included yield have been realised in order to better characterised genotypes and help breeding process. Grains from replication were pooled before being cleaned and stored in a dry room. After four-month storage, 500g of each pooled grain sample were sent to the laboratory for nutritional analyses. At the same time, wheat flour samples were obtained from the stone milling (T80 flour type) of grain samples. The samples evaluated in the different tests are summarized in **Table 1**.

Table 1: list of wheat samples evaluated in the three experiments (the 'X' indicate that the variety (column) has been evaluated in the test correspondant to the line)

	'Rouge de Bordeaux'	'Rouge du Roc'	Odessa	'Mélange de James'	Chiddam d'automne	20 % 'Ile de France' + 80% 'Gâtine'	'Touzelle'	'Talisman'	'Dattel'	'Renan' (modern variety)
Consumer test	X	X	X		X	X	X	X	X	
Sensory profile	X		X	X		X	X			X
Nutritional analyses	X	X	X	X	X	X	X		X	X

Descriptive sensory analysis

Bread was made by Pierre Delton, a local baker, one day before the sensory evaluation. The same bread dough formula was adopted (water: 70% of the flour weight, sourdough: 15 % salt: 2.7%) and the same bread making process was followed: hand-kneading (flour, water, sourdough, salt) for 25 min; left to rest et 27°C for 4h; forming (1kg size loaf); rising at 29 °C for 3h, etching of the surface of the bread; baking in a simultaneous way (45 min at 240 °C). Breads were sliced (slices 13mm thick) ten minute before tasting. Each slice was cut into 5 pieces with each piece including both crust and crumb in order to evaluate the overall sensory characteristics.

Sensory profile training and evaluation took place in a meeting room at the INRA laboratory, Le Moulon. The panel was composed of farmers, bakers, researchers and technicians involved in the project, along with volunteers of the “Nature&Progrès” association.

An initiation to sensory analysis was carried out at the beginning of the project on a large number of breads produced using endogenous sourdough. This provided diverse product qualities for panellist taste references. A first set of sensory attributes was developed. Two training days at an interval of one week completed the initiation course. One training day consisted in evaluating a set of loaves based on the descriptor list that was produced during the initiation course and then reduced during the training course. Each of the two training days comprised four sessions lasting one and a half hours. The same samples were evaluated during the sessions of one day. Panellists received feedback on their performance after each session in order to improve and standardise their discriminatory ability as a panel and to reach consensus. The panel agreed unanimously on 11 attributes to constitute a descriptive profile for the bread: appearance (crust colour, crumb colour, air cell size), aroma (wheat bread, roasting cereals), taste (saltiness, bitterness, acidity), texture (crispiness, smoothness) and long lasting taste. A detailed definition was established for each sensory attribute (**Table 2**). Intensity of the sensory attributes was rated on a discontinuous, structured scale from 0 (very low) to 7 (high).

Table 2: Sensory attributes, description and results of sensory profiles (NS: Non Significant)

Sensory attributes	Description	p-value
Crust colour intensity	Degree of perceived brown colour characterising the crust (from low (0) to high (7) intensity)	0.002439
Crumb colour intensity	Degree of perceived brown colour characterising the crumb (from low (0) to high (7) intensity)	0.0005065
Air cell size	Average size of the air cells in the bread	1.615 e-5
Wheat aroma	Aroma typical of wholemeal wheat flour (from low (0) to high (7) intensity)	NS
Roasting cereals aroma	Aroma typical of roasted cereals (from low (0) to high (7) intensity)	0.04498
Saltiness	Degree of perceived salty taste, as a basic taste (from low (0) to high (7) intensity)	NS
Bitterness	Degree of perceived bitter taste, caffeine solution (from low (0) to high (7) intensity)	NS
Acidity	Degree of perceived acidic taste, as a basic taste (from low (0) to high (7) intensity)	0.018
Crispiness	Degree of perceived crispiness of the crust (from low (0) to high (7) intensity)	NS
Smoothness	Degree of perceived smoothness of the breads slice surface by lips (from low (0) to high (7) intensity)	NS
Long lasting taste	Period during which overall aroma remains in the mouth (from short (0) to long (7) lasting)	0.0197

Two evaluation sessions on a set of 6 bread samples were then organised in order to provide replication and to assess the panel's performance. The design was complete and balanced for the rank and carry-over effects. A random, three-digit code was assigned to each sample.

Nutritional analyses

Nutritional analyses have been subcontracted to an independent laboratory, AgrobioRennes (Rennes, France). Grain was stored in an air conditioned-room at 22°C between reception and analysis. All samples were then milled in a ball mill just before analysis. The objective of this work was first to characterise genotypes on certain variables linked to nutritional quality of wheat grain. Then correlations between sensory and nutritional variables were studied as the same samples have been evaluated.

A set of ten wheat grain samples was analysed for nutrient content. The choice of nutrient measurements was based on their interest in health as well as technological properties. The following nutrient contents were measured by the Agrobio laboratory in Rennes: protein content, gliadin content, mineral content (Mg, Fe, Zn, Se) carotenoid content (lutein, alpha-carotenoid and beta-carotenoid), vitamin B1 and vitamin E content, phytic acid content and soluble and insoluble fibre content. Protein content was measured using the Kjeldahl method, a method for determining the quantity of nitrogen in chemical substances developed by Johan Kjeldahl (1883). Gliadin content has been measured using ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) method. The nutritional density was assessed through the mineral content. Mineral content was analysed by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). ICP-AES is a multi-element method with very good detection power and offering reliable and rapid determination of the analytes. To estimate the availability of minerals, phytic acid content has been measured by titration and compared with the total minerals content (Mg, Zn, Se, Fe). Carotenoid content (lutein, alpha-carotenoid and beta-carotenoid), vitamin B1 and vitamin E content have been measured using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). HPLC is the most frequently used method for separating carotenoids (lutein, alpha-carotenoid and beta-carotenoid) and vitamins (A and E) in food. Finally soluble and insoluble fibres, implicated in textural properties and health benefits properties (lipolytic activities) has been measured using the enzymatic-gravimetric methods with phosphate buffer and three enzymes (heat stable α -amylase, protease and amyloglucosidase). The results are the means of ten repeated measurements.

Liking tests

For each test the bread was made by one of two local bakers Pierre Delton (Le Pain de Pierre) and Lafuette (Mme VIGIER, Montigny le Bretonneux) one day before the sensory evaluation. It was baked according to their own practices in order to be as close as possible to reality. The questionnaire was implemented at three consumer-oriented events over a two year period. According to the norm defined by the French standardisation association, AFNOR (1988), at least 60 consumers should be interviewed for hedonic tests to obtain significant and reliable results. Finally, as different breads were tasted at each event, the results from one event could not be compared with those from another. For greater clarity and robustness, the study presents the results of the hedonic test implemented at the "fête de l'Humanité" in Paris 2009 and the "Fête du Parc Naturel du Vexin", Jambville 2010, where a sufficient number of respondents were registered (respectively 72 and 169).

The questionnaire asked consumers to rank their preferences on the following sensory traits: external appearance, crumb appearance, aroma, taste, smoothness, chewing and overall preference. A descriptive test was proposed to consumers in order to assess consumers' ability to explain their preferences.

Statistical analyses

Sensory profile

Analysis of variance (ANOVA) of the descriptive sensory data was performed using the SensomineR package with panellists as repeated measures. Significant descriptors were selected at $p < 0.05$ using the following ANOVA model:

$$Y = \mu + \text{judge} + \text{product} + \text{session} + \text{product} * \text{judge} + \text{product} * \text{session} + \text{judge} * \text{session} + \epsilon.$$

The panel's power of discrimination was evaluated using the significant effect of product factor. The consensus between panellists has been assessed through the non-significant effect of panellist factor and the product by panellist interaction. Finally repeatability has been measured through the non-significant effect of product by session interaction.

A multi-dimensional profile was then drawn up to view the products' sensory differences.

Nutritional characterisation

Principal Component Analysis was performed in order to visualise the differences between samples on the nine nutritional descriptors and identified correlated variables.

Six of the samples have been assessed on a sensory and nutritional point of view. To explore the link between sensory and nutritional properties a Multiple Factorial Analyses has been run on the two data type as groups.

Liking tests

A Friedman rank sum test was performed for each descriptor on individual hedonic classification in order to determine the existence of a consensus among consumer and characterised the preferences of group of consensual consumer.

To test the capacity of consumers to perceive differences between breads from diverse genotypes, a PCA was run on the means score of the consumer sensory descriptive data for each product and each descriptor.

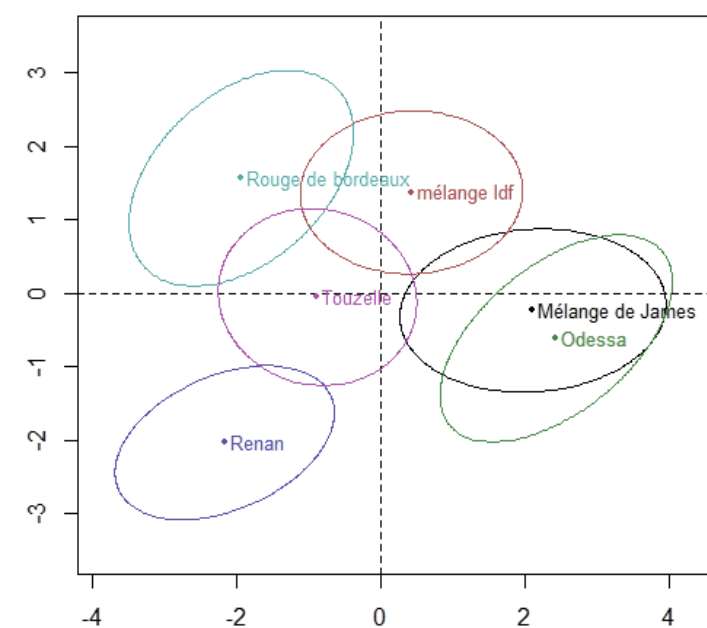
RESULTS AND DISCUSSION

Sensory profile

Of the 11 sensory descriptors, the following 6 attributes were significant in discriminating the products: crust colour, crumb colour, air cell size, roasted aroma, crustiness, wheat grain aroma and long lasting taste (**Table 2**). There was a consensus on the ranking of the products by the panel (as the panel effect was non-significant) but not on the scaling of the intensity. The panel showed good repeatability and could discriminate for the following descriptors (non-significant product by session interaction effect): crust colour, air cell size, crustiness and long lasting taste. The results could be interpreted as a consensus was reached by the panel. A few more sessions would improve the reliability of the results. In order to facilitate visualisation of the discrimination between products, the ellipses given by the panellipse function of the SensomineR package are provided (**Figure 1 (a)**). Each ellipse was built as a trustworthy index (for each product, the 95% closest point of the 500 virtual panels placed this product inside the ellipse). Therefore, when two ellipses are disjointed, this means that the products were significantly different. The first Principal Component (PC1) explained 55% of data variability and the second Principal Component (PC2) explained 25% of the variation, giving a total explained variance of 80% for the first two principal components (**Figure 1**). The six discriminant descriptors are well represented on the first plan. Sensory characteristics are of increasing intensity from the left to the right side.

On the right side, breads made from 'Odessa' and 'Mélange de James' were characterised by the brown colour of their crumb and crust and by its intense roasted aroma (**Figure 1 (b)**). On the left side, 'Rouge de Bordeaux' and 'Renan' were assessed with low scores for the same attributes. The second dimension opposed acidic breads (lower right-hand corner) and breads with a long lasting flavour (at the top). Breads characterised by acidic notes were made using 'Mélange de James' and 'Odessa'. Breads with a long lasting flavour were made from 'Rouge de Bordeaux' and 'Mélange IdF'. The bread made with the red variety 'Rouge de Bordeaux' was significantly different from the 'Renan', 'Mélange de James' and 'Odessa' and was characterised by its long lasting taste. This may be due to the lutein content. 'Renan' was the only one that showed no specific sensory characteristics.

(a)



(b)

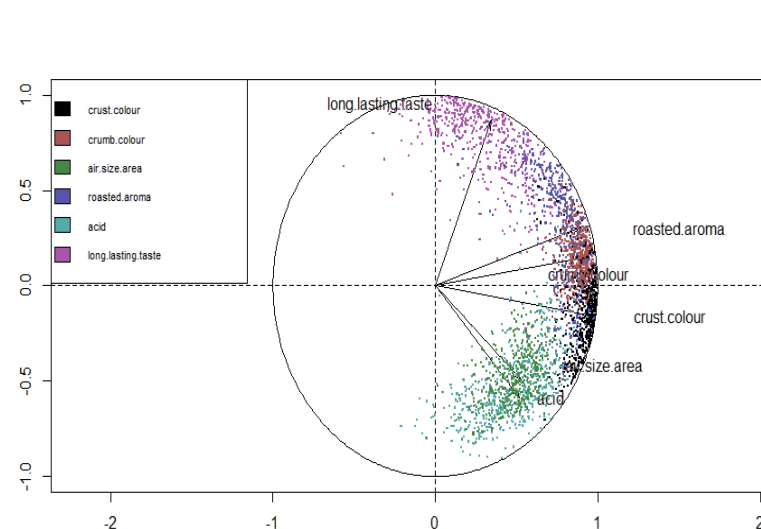


Figure 1: (a) confidence ellipse of the mean point of the PCA model of the trained panel sensory evaluation of 6 wheat varieties and (b) variable factor map.

Nutritional analyses

The nutritional composition was examined on all wheat samples (**Table 3**). Alpha-carotenoid and beta-carotenoid have not been detected in all wheat samples so that they do not figure on the table.

Table 3: Nutritional analyses of 9 old varieties and 1 pure line. Some samples should not be assessed on gliadin content because of the presence of weevil (NA data). Number indicate the group identified by HAC.

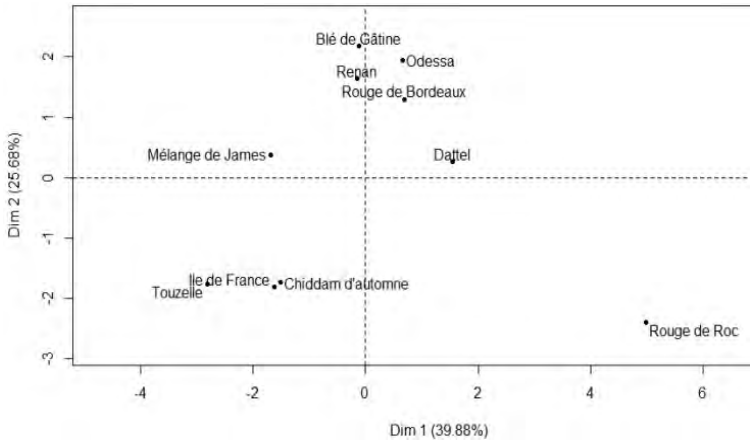
	Total nitrogenou s matter	Gliadin (g/100g)	Magnesi m (mg/100g)	Iron (mg/10 0g)	Zinc (mg/10 0g)	Seleniu m (mg/100g)	Lutein (mg/100 g)	Vitamin B1 (mg/100g)	Vitamin E (mg/100g)	Phytate (mg/100 g)	soluble fibres (g/100g)	insolubles fibres (g/100g)
'Mélange de James'	10.98	NA	119.3	2.8	3.4	4.4	0.04	0.29	3.15	1150	2.8	11.8
'Touzelle'(2)	10.06	NA	124.9	2.5	3.3	3.2	0.07	0.3	2.75	873	1.3	10.4
'Rouge de Roc'	13.57	5.05	157.5	3.9	4.9	12.4	0.04	0.39	2.25	1097	1.3	9.7
'Chiddam d'automne '(2)	10.83	4.72	130.7	3.1	3.7	6.7	0.05	0.29	3.13	1021	0.7	14.3
Ile de France(2)	11.09	5.43	122.9	3	3.2	4.3	0.09	0.33	3.22	959	2.5	10.8
'Blé de Gâtine' (1)	11.33	6.42	119.3	2.8	4.6	8.5	0.03	0.3	3.95	1370	2.6	10.1
'Renan' (1)	11.59	NA	134.8	2.8	4.9	0.017	0.04	0.31	4.03	1216	2.2	11.1

'Rouge de Bordeaux' (1)	11.27	5.36	141.8	3	5	0.006	0.04	0.31	2.36	1301	3.6	11.6
'Dattel'	12.3	NA	128.3	3.3	4.1	10.6	0.05	0.34	3.27	1225	3.6	9.2
'Odessa' (1)	10.67	5.33	136.4	3	4.9	0.011	0.04	0.35	4.02	1245	2.6	8.6

The two first axes of the PCA accounted for 65% of the variability (**Figure 2**). The first component separated the wheat grain with high vitamin B1, minerals (iron, magnesium) and total nitrogenous concentration from the light content (**Figure 2** (b)). The second component opposed wheat grain with high phytate content from grain with low phytate content. The results showed two groups of varieties with specific characteristics.

The first group composed of the varieties ‘Blé de Gâtines’, ‘Odessa’, ‘Renan’ and ‘Rouge de Bordeaux’ was characterised by a higher content of phytate, soluble fibre and vitamin E and by a low concentration of lutein and insoluble fibre (**Figure 2** (a)). This group showed a low mineral content which availability might be limited by the high phytate content as the ratio minerals/phytate is close to zero (**Table 3**). The second group was composed of the following varieties: ‘Touzelle’, ‘Chiddam d’Automne’ and ‘Mélange Île de France’. This group was opposed to the first one because of its high lutein and insoluble fibre content and low phytate content. Minerals were in higher proportions and should be more available with regards to phytate concentration.

(a)



(b)

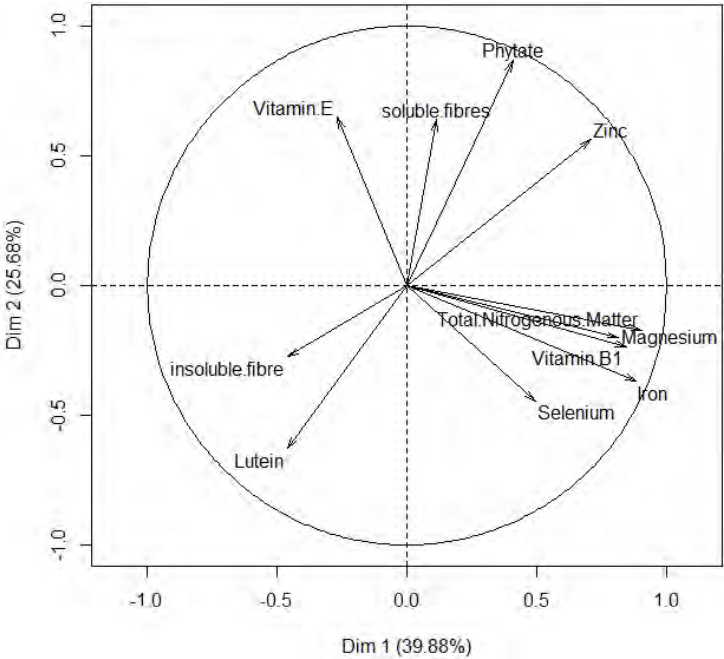


Figure 2: (a) individual factor map of the PCA model of nutritional analyses and (b) correlation circle.

‘Mélange de James’ and ‘Dattel’ did not show any specific pattern on the set of measurements carried out and were not well differentiated on the first two axis of the PCA. Finally, the ‘Rouge du Roc’ variety was characterised by a high content in iron, selenium, magnesium and total nitrogenous matter and a low vitamin E concentration. These minerals were available thanks to the low phytate content (ratio minerals/phytate of 34). This wheat variety has more insoluble than soluble fibre.

Based on these results, it seems surprising that ‘Rouge du Roc’, which was derived a few years ago by the selection by a farmer of a single plant with awns within a field of ‘Rouge de Bordeaux’, showed a drastically different nutritional composition, particularly in terms of iron, vitamin and nitrogen content. Indeed, genetic diversity of ‘Rouge du Roc’ has been assessed using microsatellite molecular markers and was somewhat different from that of ‘Rouge de Bordeaux’ indicating that the selection of a few spikes within the large variability of ‘Rouge de Bordeaux’ led to a drastic shift in the genetic composition of the ‘Rouge du Roc’ population [14] .

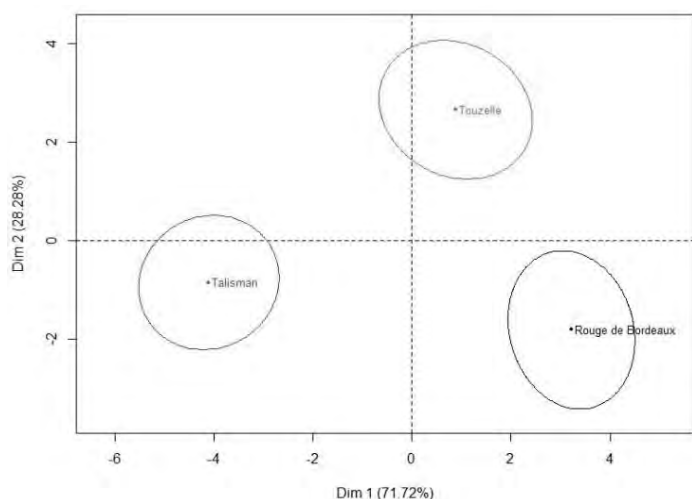
Whereas lutein content [10] was found around 1.5 $\mu\text{g/g}$ on varietal mixes with HPLC, our data show concentration lower than 0.1 $\mu\text{g/g}$. Another study on the impact of genotype and environment factor on antioxidant properties revealed concentration of lutein between 0.10 and 0.69 [15] which is still higher than values obtains in this study. There is much debate about the reliability of indirect measurement techniques, such as HPLC. For instance, when HPLC was compared with direct measurements of total carotenoid content in pastas using photo acoustic (PA) spectroscopy and colorimetry [16], HPLC was able to detect Total Carotenoid Concentration in only six wheat samples among the 13 samples analysed, whereas PA spectroscopy and colorimetry showed measurable signals for all 13 samples. Indeed, the milling process, which is necessary for HPLC analysis, is known to affect wheat quality. In particular, violent milling might destroy carotenoid pigments. Incomplete extraction and insufficient concentration before analysis are also potential reasons for the absence of HPLC peaks. Here, almost all the samples show alpha-carotene and beta-carotene not detectable. Moreover, indirect measurement techniques, such HPLC, are costly and time consuming methods, and are not well suited to large scale varietal screening. Direct measurement should therefore be preferred for this purpose [10].

Consumer preferences

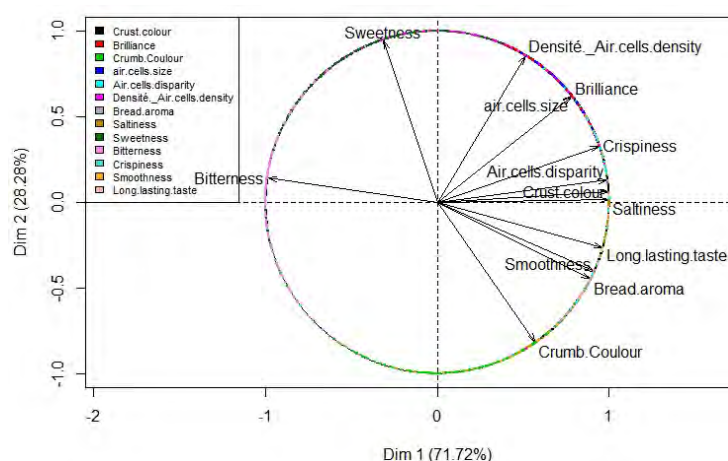
Among the 72 respondents at the “Fête de l’Humanité” in Paris, 2009, 51% of consumers ranked breads made from the variety ‘Rouge de Bordeaux’ highest. Some sensory characteristics could be linked to overall preferences (**Figure 3**): the “slight bitterness”, characteristic of the ‘Rouge de Bordeaux’ variety, or the sheen of the ‘Touzelle’ bread. Result analyses show two consumers’ groups which were opposed on the bitterness appreciation. The first group seemed to prefer ‘Touzelle’ and ‘Rouge de Bordeaux’ breads for their dense texture and their sheen. They preferred bread with an intense roasted aroma and dark crumb. The second consumer group favoured the bitterness of Talisman’s wheat bread.

The bread made from the ‘Rouge du Roc’ variety was preferred at “Jambville 2010 “, where 44% of consumers ranked it highest. Consumers preferred the external appearance of the ‘Mix of Ile de France and Gâtine’ wheat bread but preferred the taste and the textural properties of ‘Rouge du Roc’ wheat bread.

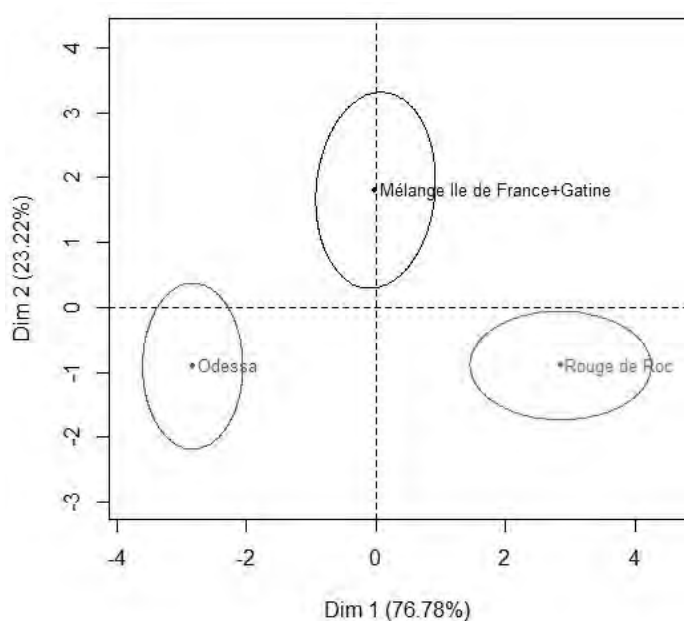
(a)



(b)



(c)



(d)

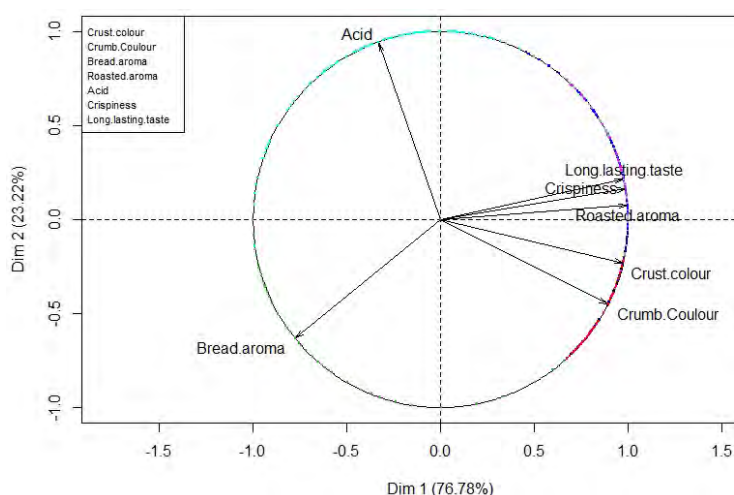


Figure 3: (a) confidence ellipse of the mean point of the PCA model of the consumer sensory evaluation of 3 wheat varieties at the “Fête de l’Humanité 2009” event and (b) variable factor map, (c) PCA model of the consumer sensory evaluation of 3 wheat varieties at the “Fête du Parc Naturel Regional du Vexin 2010” event and (d) variable factor map.

OVERALL DISCUSSION

The two first component of the MFA accounted for about 60 % of the variability (**Figure 4**). The first dimension is defined by the minerals content (Mg, Zn, Se) with genotypes with high value of Mg and Zn on the left side (‘Rouge de Bordeaux’, ‘Renan’) and genotype with high value of Se on the right side (‘Mélange IdF’, ‘Mélange de James’) (**Figure 4** (a)).

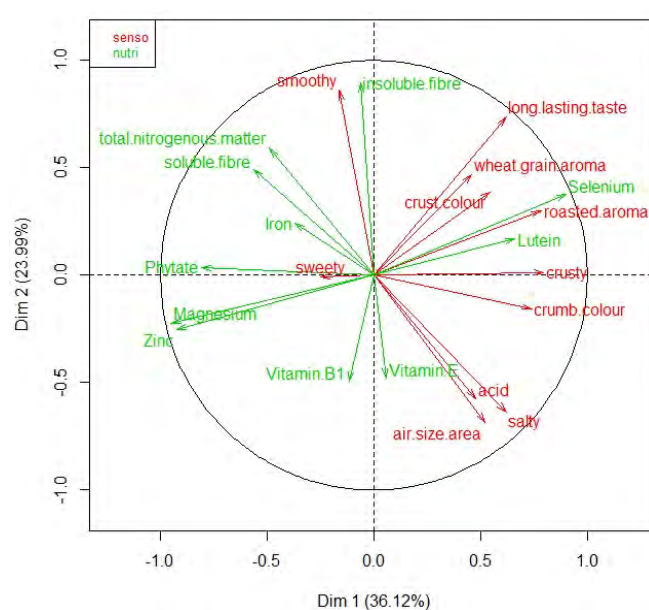
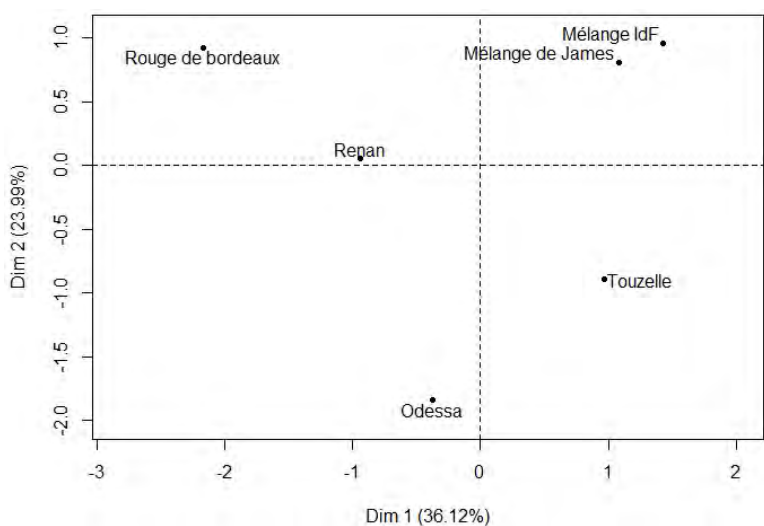


Figure 4: (a) individual factor map of the MFA on nutritional and sensory data and (b) correlation circle.

The lutein content contributed to this first axes and was correlated with the roasted aroma, the sensory descriptors the most represented on the first dimension (**Table 4**). The second axes revealed a strong correlation between the sensory attribute 'smoothy' and the insoluble fibres content. However, we cannot conclude on the link between nutritional and sensory characteristics from those results as only 6 genotypes have been investigate.

Table 4: contribution, correlation and p-value of the AFM on nutritional and sensory data as groups (NS: Non Significant)

variable	Dim1			Dim2		
	Contribution	Correlation	p-value	Contribution	Correlation	p-value
Air size area	3.80	0.52	NS	9.93	-0.68	NS
salty	5.38	0.62	NS	8.53	-0.63	NS
acid	3.19	0.47	NS	6.91	-0.572	NS
Smoothy	0.36	-0.16	NS	15.66	0.86	**
Roasted aroma	8.61	0.78	NS	1.91	0.30	NS
Sweety	0.87	-0.24	NS	0.001	-0.007	NS
Crusty	8.85	0.795	NS	0.003	0.013	NS
Crust colour	4.12	0.54	NS	3.18	0.39	NS
Wheat grain aroma	2.96	0.46	NS	4.64	0.47	NS
Long lasting taste	5.36	0.62	NS	11.41	0.74	NS
Crumb colour	7.70	0.74	NS	0.51	-0.16	NS
Total nitrogenous matter	2.68	-0.49	NS	5.90	0.59	NS
Magnesium	10.04	-0.95	**	0.85	-0.22	NS
Iron	1.53	-0.37	NS	1.00	0.24	NS
Zinc	9.51	-0.92	**	1.08	-0.25	NS
Selenium	9.07	0.90	**	2.38	0.38	NS
Lutein	4.90	0.66	NS	0.48	0.17	NS
Vitamin.B1	0.15	-0.11	NS	4.11	-0.49	NS
Vitamin E	0.04	0.06	NS	3.88	-0.48	NS
Phytate	7.27	-0.81	NS	0.02	0.03	NS
Soluble fibre	3.54	-0.56	NS	4.07	0.49	NS
Insoluble fibre	0.04	-0.06	NS	13.55	0.90	**

The two accessions with red grain ('Rouge de Bordeaux' and 'Rouge du Roc') were perceived as having a long lasting flavour by consumers at the two events and by a trained panel. Nutritional analysis showed specific nutrient content for 'Rouge du Roc' with high iron and magnesium content. 'Odessa' showed a weak aroma for most of the sensory descriptors when evaluated by consumers but not for the trained panel. Nevertheless, variations in cooking intensity between loaves evaluated by the trained panel were reported and this could explain the more intense roasted aroma of 'Odessa'. Consistently, 'Odessa' showed a low level of minerals in the nutritional evaluation.

Dark (or red) grain varieties were characterized by their high vanillic and ferullic acid content, which is possibly linked to the vanilla odour [17]. Dark grain colour is due to anthocyanin stored in the pericarp and the testa [18, 19]. Anthocyanins are known to affect sensory characteristics. For example, they have been found positively correlated to astringency in wine grapes [20]. These results show that consumers can perceive sensory differences that might be associated to dark and light coloured wheat grain.

Breeding for high phytonutrients content appears possible as a highly significant genetic variability and a low genotype by environment interaction for magnesium content for a large set of varieties have been shown [21]. The rate for modern varieties ranged from 600 to 1400 ppm whereas some exotic genotypes showed a higher content of 1890 ppm. Zinc content also showed a large genetic effect but genotype by environment interaction was more significant. The nutritional quality of organic wheat bread from diverse origins such as Einkorn or Emmer have been studied and showed a higher content of mineral and phytonutrients than bread wheat varieties [22]. Moreover significant variation in the total carotenoid content on 48 bread wheat varieties have been found and suggested the possibility of increasing the nutritional value of bread products by selection [10].

The impact of genetic diversity on sensory properties has been assessed on cooked grain [7, 23], flour [24] and bread [25]. The aromatic potential represented by wheat diversity has been studied by implementing a sensory profile on cooked wheat grain from cultivars of different wheat species such as Einkorn, Emmer and Spelt and from bread wheat cultivars [23]. The Einkorn sample showed significant differences on "oat / oatmeal porridge" and "sweet" attributes. In the case of bread, assessing the sensory differences should be carried out after the flour process.

When studying the sensory properties of breads from modern varieties of white flour type (T55), only very slight differences between varieties were found [25]. This might be due to the choice of varieties which were genetically related and to the flour type, as highlighted in a study on aroma compounds on wholemeal and white wheat flour [24]. This study showed that the wheat flour and the type of flour should be the main factors of wheat bread aroma production and showed a more intense aroma for whole wheat flour. Since bran is characterised by its mineral and phytonutrient content, one hypothesis is that sensory characteristics are related to micronutrients [12]. Alkaline metals, such as potassium, or alkaline earths, such as calcium and magnesium, can be found in wheat in the form of phosphates, carbonates, chlorides and sulphates and may contribute to flavour. Another potential source of flavour variability in wheat breads is lutein, which should affect flavour secondary by limiting the development of hexanal, a compound responsible for flavour and odour problems [11]. The nutritional improvement of bread wheat should therefore contribute to the improvement of the sensory quality of bread.

On a sensory methodology point of view, the use of a consumer panel to objectively evaluate sensory quality should be discussed as it is not common in sensory analysis field. The descriptive consumer test showed the consumers' ability to explain their preferences consistently as they were able to differentiate red accessions at each event. Sensory profile obtained from consumers can show consensus and reproducibility with a large number of consumers [26]. Developing a specific descriptive sensory test for use with consumers will be of interest since such a test would offer a quicker and less expensive option than conventional profiling with a trained panel. Moreover, it is a way of bringing consumers closer to the farmers and the agricultural sector and of making them aware of the issues of agricultural production. Such methods are being developed, one of the most promising being Napping. It relies on identification of the sensory distances perceived and offers greater flexibility [27].

CONCLUSION

The evaluation of the sensory impact of wheat varieties on bread is a complex task as all the varieties studied have to be grown in the same location, in the same year and under the same farming practices to eliminate environmental effects. Since the baking process has a great impact on the sensory qualities, bread from different varieties must be baked by the same baker in a single batch. This study focuses on the sensory characteristics of a small set of population varieties but further investigations are needed on individual impact and interaction of bread main parameters.

Differences among varieties were perceived even after flour processing by both experts and consumers. It seems that nutritional and sensory value of wheat bread could be improved by selecting specific genotypes.

A large number of landraces and historic varieties can be obtained from the national and international gene banks [13]. Some of them, including 'Rouge de Bordeaux', 'Rouge du Roc', 'Touzelle', 'Mélange de James', and several others that were tested in this study, have been grown, selected and multiplied by farmers for several years to adapt them to their environments and agricultural practices. They are now cultivated on larger plots and assessed in participatory plant breeding programs [28]. There is a strong demand for more information on their baking, sensory and nutritional qualities.

This study paves the way for a number of new initiatives in France that experiment the sensory qualities of breads obtained from a large range of wheat varieties. A database including Genotype by Environment analyses is needed to help breeding efforts for quality.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the members of "Nature&Progrès" for their contribution to the implementation of consumer tests and specially Adèle Hospital who participate to all the consumer tests, our baker partners for their involvement in the experiments. This work has been conducted with the financial support of the Région Ile de France (Partenariat Institutions Citoyens pour la Recherche et l'Innovation, PICRI 2007-2011).

References

- [1] Bordes, J., Branlard, G., Oury, F.X., Charmet, G. and Balfourier, F. (2008) Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *J Cereal Sci* 48:569–579
- [2] Lammerts van Bueren, E.T., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.M., Myers, J.R., Leifert, C. and Messmer, M.M. (2011) The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS - Wagening J Life Sci* 58:193–205
- [3] Torri, L., Migliorini, P. and Masoero G. (2013) Sensory test vs. electronic nose and/or image analysis of whole bread produced with old and modern wheat varieties adjuvanted by means of the mycorrhizal factor. *Food Res Int* 54:1400–1408
- [4] Katina, K., Heiniö, R.L., Autio, K. and Poutanen, K. (2006) Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT* 1189–1202
- [5] Khilberg, I., Johansson, L., Kohler, A. and Risvik, E. (2004) Sensory qualities of whole wheat pan bread— influence of farming system, milling and baking technique. *J Cereal Sci* 39 67–84
- [6] Ploeger, A., Röger, M., Lueck, L. and Leifert, C. (2008) Sensory evaluation of processed wheat from a defined field-trial (QualityLowInputFood).
- [7] Starr, G., Bredie, W.L.P. and Hansen, A.S. (2013) Sensory profiles of cooked grains from wheat species and varieties. *J Cereal Sci* 295–303

- [8] Štěpánková, R., Kofronová, O., Tucková, L., Kozáková, H., Cebra, J.J. and Tlaskalová- Hogenová, H. (2003) Experimentally Induced Gluten Enteropathy and Protective Effect of Epidermal Growth Factor in Artificially Fed Neonatal Rats. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 36:
- [9] Meydani, M.(2002) Antioxidants in the Prevention of Chronic Diseases. *Nutr Clin Care* 5:47–49
- [10] Leenhardt, F., Lyan, B., Rock, E., Boussard, A., Potus, J., Chanliaud, E. and Remesy, C. (2006) Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *Eur J Agron* 25:170–176
- [11] Institut National de la Boulangerie Pâtisserie (2003) Supplément technique INBP n°83-Le goût du pain.
- [12] Fujino, Y., Kuwata, J., Mano, Y. and Ohnishi, M. (1996) Other grain components. *Cereal Grain Qual.* Kettlewell PS, pp 305–307
- [13] Roussel, V., Leisova, L., Exbrayat, F., Stehno, Z. and Balfourier, F.(2005) SSR allelic diversity changes in 480 European bread wheat varieties released from 1840 to 2000. *Theor Appl Genet* 162–170
- [14] Thomas, M., Demeulenaere, E., Dawson, J.C., Khan, A.R., Galic, N., Jouanne-Pin, S., Remoue, C., Bonneuil, C. and Goldringer, I.(2012) On-farm dynamic management of genetic diversity: the impact of seed diffusions and seed saving practices on a population-variety of bread wheat: On-farm crop metapopulation of bread wheat. *Evol Appl* 5:779–795
- [15] Lv, J., Lu, Y., Niu, Y., Whent, M., Ramadan, M.F., Costa, J. and Yu, L. (2013) Effect of genotype, environment, and their interaction on phytochemical compositions and antioxidant properties of soft winter wheat flour. *Food Chem* 138:454–462
- [16] Dóka, O., Bicanic, D., Buijnsters, J.G., Spruijt, R., Luterotti, S. and Végvári, G.(2010) Exploiting direct and indirect methods for the estimation of the total carotenoid concentration in dried pastas. *Eur Food Res Technol* 230:813–819
- [17] Liu, Q., Qiu, Y. and Beta, T. (2010) Comparison of antioxidant activities of different coloured wheat grains and analysis of phenolic compounds. *J Agric Food Chem* 9235–9241
- [18]. Guo, Z., Xu, P., Zhang, Z., Wang, D., Jin, M. and Teng, A. (2011) Segregation ratios of colored grains in crossed wheat. *Aust J Crop Sci* 5:589
- [19] Zeven, A.C. (1991) Wheats with purple and blue grains: a review. *Euphytica* 56:243–258
- [20] Brossaud, F., Cheynier, V. and Noble, A.C.(2001) Bitterness and astringency of grape and wine polyphenols. *Aust J Grape Wine Res* 33–39
- [21] Oury, F.X., Leenhardt, F., Rémésy, C., Chanliaud, E., Duperrier, B., Balfourier, F. and Charmet, G. (2006) Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. *Eur J Agron* 25:177–185
- [22] Hussain, A. (2012) Quality of organically produced wheat from diverse origin. Swedish University of Agricultural Sciences
- [23] Løje, H., Møller, B., Laustsen, A. and Hansen, Å. (2003) Chemical Composition, Functional Properties and Sensory Profiling of Einkorn (*Triticum monococcum* L.). *J Cereal Sci* 37:231–240
- [24] Czerny, M. and Schieberle, P. (2002) Important Aroma Compounds in Freshly Ground Wholemeal and White Wheat Flour Identification and Quantitative Changes during Sourdough Fermentation. *J Agric Food Chem* 50:6835–6840

- [25] Brabant, C., Fossati, D. and Kleijer, G. (2007) Influence de la variété de blé sur le goût du pain. *Rev Suisse Agric* 39:101–108
- [26] Husson, F., Le Dien, S. and Pagès, J. (2001) Which value can be granted to sensory profiles given by consumers? Methodology and results. *Food Qual Prefer* 12:291–296
- [27] Perrin, L., Symoneaux, R., Maître, I., Asselin, C., Jourjon, F. and Pagès, J. (2008) Comparison of three sensory methods for use with the Napping® procedure: Case of ten wines from Loire valley. *Food Qual Prefer* 19:1–11
- [28] Rivière, P., Goldringer, I., Berthelot, J.F., Galic, N., Pin, S., De Kochko, P. and Dawson, J.C. (2013) Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses. *Renew Agric Food Syst*. doi: 10.1017/S1742170513000343

**ANNEXE O : LES CONNAISSANCES EMPIRIQUES EN RECHERCHE PARTICIPATIVE :
INTEGRATION DE LA QUALITE SENSORIELLE DU PAIN DANS LE PROCESSUS DE
SELECTION DU BLE EN FRANCE**

Cette publication est sur le point d'être soumise, Renewable Food System

Empirical knowledge in participatory research: integration of the sensory quality of bread in the plant breeding process of wheat in France

Camille Vindras-Fouillet^{a*}, Vincent Rouellat^a, Alexandre Hyacinthe^b, Véronique Chable^b

^aITAB, Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 149, rue de Bercy, 75595, Paris Cedex 12, France, camille.vindras@itab.asso.fr, 00339 60 48 93 10

^bARDEAR Rhône-Alpes, 58 rue Raulin, 69007 Lyon

^cINRA Sciences for Action and Development, 65 rue de Saint Briec, 35042 Rennes France, Veronique.Chable@rennes.inra.fr

Abstract

Managing complexity within agro ecological systems requires new research organization, such as action or participatory researches. The integration of empirical knowledge remains a challenge for such approaches and should ease the understanding of complex issues and the formulation of new hypothesis. The case study of the quality management of hand-made breads in the farmer-baker sector offers relevant conditions for methodological studies, since empirical knowledge has developed through individual experiments.

In this paper, empirical knowledge was gathered from 11 grain farmers (farmer-bakers) via semi-structured interviews aiming at identifying breeding strategies linked to end-use quality. In parallel, morphological and sensory characterization of some farmers' wheat was then used to validate the patterns identified in the interviews.

The interviews identified three breeding strategies related to end-use quality: the genetic diversity to stabilize performance, the typicality strategy to differentiate bread and the genetic adaptation by growing landraces. Morphological and sensory characterization supported some of these strategies and revealed potential links between morphological characteristics and sensory properties. The typicality strategy relies on the identification of few genotypes with specific sensory quality. To help breeding, quality markers as dark kernel color or awns presence should be relevant. Interviews reveal a majority of dark phenotypes in farmers' wheat; this phenotype shows specific aromas, such as the roasted flavor, during sensory property evaluations. Our approach connected objective data with qualitative data from interviews related to practices and cultural values. This last point is of importance as non-measurable variables such as human values should impact significantly farmers' strategies. These results will help to better connect both forms of knowledge required for participatory approaches by integrating empirical and scientific knowledge so as to implement experiments and to analyze complex issues.

Keywords: empirical knowledge, participatory research, end-use quality, breeding strategy, knowledge validation, hand-made breads.

INTRODUCTION

Research for organic agriculture needs to deal with complexity and diversity of environments and practices. This form of agriculture is historically rooted in practices: its principles for action and codified practices, its controls and certification, its growing economic importance and its identification by consumers. Scientific development today often refers to agroecology which is gaining importance in the academic world and in many social movements has to strengthen its identity as an action-oriented interdisciplinary project (Lamine and Bellon, 2009; Wezel et al., 2009). We propose a scientific perspective which accepts the diversity and validity of different epistemological approaches and which integrate several dimensions of knowledge. It looked for the development of knowledge and practices leading to more sustainable agriculture. An interdisciplinary research group about agroecology, Stassart et al. (2012) has prescribed a set of principles to guide research supporting the development of a global approach. These principles include the use of diversity as an entry point to redesigning new agricultural systems, the recognition of variability and diversity, the creation of collective knowledge, the capacity to adapt based on networks and the coverage of knowledge diversity that should be taken into account. They pointed out the need to develop new methodologies such as action-research or participatory research.

Our vision of participatory research is based on the participatory plant breeding research organization which has been answering for several decades to the needs of developing countries (Ceccarelli and Grando, 2007) and organic and low inputs agriculture in developed ones (Serpoly et al., 2011). It can be defined as the integration of practitioners (advisors and farmers) in the research process, from the design of an experiment plan to the implementation of experimentation. In a participatory process, farmers are full partners of researchers, thus a co-learning process really occurred. A first step of such an approach is to bring knowledge from farmers to the group. Further steps will identify existing practices and optimize the design of the experimental plan. Hoffmann et al., (2007) suggested that the externalization of hidden knowledge is particularly relevant in the development of practical new tools and knowledge and in proposing new hypotheses for future research.

Quality management of hand-made bread from landraces grown according to organic farming practices offers relevant conditions for participatory research methodology studies. Firstly, the lack of advice and formal research in the early stages of organic farming had conducted to a culture of experimentation (Kummer et al., 2012). Thus, farmers should have developed implicit knowledge, as practitioners, relevant to solving complex issues (Lyon et al., 2011). Moreover, farmer networks allow the sharing of knowledge of people that experiment farming in a similar way and give more relevance of knowledge. Secondly, the aroma and textural properties of bread are essential quality criteria for consumers. Quality improvement is thus a focal point for the bread sector and even more for the integrated sector of farmer-baker. Farmer-bakers make bread from their own wheat production, so breads quality depends on the quality of the harvested wheat. Indeed, they are confronted with quality variations, depending on the year and genotypes. They need to know how to adapt

their breeding and baking practices to produce bread of good, stable quality. There is growing interest in the sensory issue and practitioners are highly motivated to take part in the research process.

Another concern for farmer-bakers is the lack of adaptation of modern varieties. These varieties have been bred to provide high yield under high input agricultural conditions without taking into account quality criteria, such as organoleptic or nutritional qualities. As a result, modern plant breeding contributes to the decline of the nutritional density of wheat, also known as the “dilution effect”. Pure line varieties adapted to organic practices showing good rusticity have been released but their genetic homogeneity limits their evolution in response to environment changes (Wolfe et al., 2008). Modern breeding has also aimed for high molecular weight proteins in order to adapt wheat varieties to industrial bread-making practices. However, old varieties show higher phyto-nutrient and mineral content than modern varieties as a significant historic evolution on nutritional composition of wheat grain has been observed between modern and population varieties (Roussel et al., 2005) and good properties for hand-making bread (Hussain, 2012). Finally, the weak intra-specific genetic variability of modern varieties is not suited to highly diverse organic systems. One strategy of organic farming is therefore to diversify intra-specific genetic diversity to stabilize yield by re-introducing landraces and population varieties. For their own experiments, some farmer-bakers have grown their own “mix for bread”, a mix of landraces and/or population varieties bred according to their own criterion and used for bread-making.

To address the needs of farmers, local associations with diverse actors (farmers, researchers) have set about screening old varieties and landraces in a more or less coordinated manner. A participatory research process has begun thanks to these initiatives. It aims to study the action levers that can be mobilized throughout the chain to optimize the sensory quality of hand-made bread.

The sensory qualities of bread, like nutritional quality, are influenced by numerous factors. The influence of farming system, milling and baking technique including flour type and fermentation (Katina et al., 2006; Kihlberg et al., 2004), and genetic structure have all been investigated (Ploeger et al., 2008; Starr et al., 2013). In order of importance, the factors identified are milling technique, baking practice (fermentation type and time, kneading intensity, etc.), genotype and finally farming system. Questions have been raised about the impact of genotype on the nutritional and sensory qualities of bread. Leenhardt et al. (2006) highlighted a variation in the total carotenoid content according to genotype and demonstrated the possibility of selection based on nutritional criteria. Other studies support the interest of breeding for improving nutritional density. Oury et al. (2006) showed a highly significant genetic variability and a low genotype by environment interaction on the magnesium content for a large set of varieties. In a recent review, Smith et al. (2012) confirmed the specific and genetic variability of grain nutrient composition and confirmed the interest of breeding for high nutrient content varieties, while maintaining a good yield to ensure farm sustainability.

Moreover, Starr et al. (2013) highlighted phenotypic characteristics, such as grain colour, that may be linked to sensory qualities. They found a sensory property distribution trend from ancient to modern genotypes and correlated specific morphological characteristics (grain darkness and hardness) with specific sensory properties (aroma of cocoa, cooked malt, etc.). Grain darkness is due to carotenoid, which may control the

production of hexanal during bread making; hexanal is responsible for unwanted sensory qualities. Grain color should be a simple and visible indicator to help farmers to breed wheat with good sensory qualities.

This paper aims to identify and validate farmers' knowledge to integrate such results in research processes as hypotheses or experimental guidelines. Morphological and sensory characterizations of farmers' "wheat mix for bread", identified by semi-structured interviews, were applied to help identify genotypes of sensory interest on morphological characteristics.

MATERIALS AND METHODS

Specification of farmer-baker criteria

Case studies

A set of 11 farmer-bakers and/or grain farmers was interviewed on their breeding practices. The sample comprised both young and experienced farmers. Interviews were conducted in five French regions (Rhône Alps, Brittany, Pays de la Loire, Aquitaine and Languedoc Roussillon) in order to cover a large variety of socio-cultural and pedoclimatic contexts. All of them grow their own "mix for bread". This point is of major importance because the objective was to identify potential breeding criteria linked to end-use quality, as the integrated sector covers all process stages.

Farmer-baker interviews

In order to identify breeding criteria related to end-use quality, semi-structured interviews were carried out. Questionnaire was designed not to force farmers to reflect on their breeding practices but to identify the overall approaches they adopted. Open questions were therefore used to favor the externalization of hidden knowledge. The first question was on bread and wheat ideotype and the questionnaire then focused on real life observations of genotype and bread quality. The following questions dealt with the changes that had been necessary to meet consumer expectations. Human values are of prime importance and were investigated as they could be a justification for a farmer's choices.

Morphological characterization

A grid characterizing the genotype of morphological traits was applied to six mixes of wheat bred by six of the eleven farmers interviewed. The grid aimed to characterize the morphological diversity and was based on previous works on Breton landraces. The focus on diversity reflects the overall hypothesis according to which diversity should help stabilize quantitative and qualitative performance.

Sensory characterization of the farmers' "mix for bread"

In order to validate farmer knowledge and confront their strategies, descriptive sensory tests were conducted on the "mixes for bread" made by four of the eleven farmers interviewed, one landrace and one pure line.

Wheat samples

The wheat samples were all cultivated and harvested in the same years (2012). The samples were obtained from different sources in the Rhône-Alps region and were cultivated by farmer-bakers engaged in the research process. Four farmers' "mixes for bread" and two "control" genotypes (one pure line, 'Florence Aurore', and one landrace, 'Rouge de Bordeaux') were used for sensory profiling.

Table 45 shows the origin of the six samples.

Sample preparation

Wheat flour was obtained from the stone milling (T80 flour type).

The same bread making process was followed with endogenous sourdough by two bakers working together to ensure simultaneous loading into the oven. Endogenous sourdough was obtained the day before by mixing pre-dough with each flour evaluated. Ingredients were mixed using a kneading machine. The next day, the dough was fermented for 30 min between each fold. The dough was folded 3 times and then shaped into loaves and left to prove for one hour. Loaves were baked in a wood oven for 40 min. The bread was then evaluated two days after baking. The formulations are given in

Name	Geographic origin	Genotype structure
Raphaël's "mix for bread"	Savoie department (73)	Landrace and old variety mix
Christian's "mix for bread"	Isère department (74)	Landrace and old variety mix
Pascal's "mix for bread"	Haute Loire department (43)	Landrace and old variety mix
Stéphane's "mix for bread"	Loire department (42)	Landrace and old variety mix
Rouge de Bordeaux	Ain department (01)	Landrace
Florence Aurore	Ardèche department (07)	Pure line

Table 46.

Sensory analysis

A descriptive sensory profiling test was conducted with ten assessors, all bread processors (farmers, bakers, trainers, etc.). Assessments were performed after a total of 24 hours training, organized as three monthly sessions. The first training day consisted in a course on sensory analysis practices and the generation of a set of sensory descriptors adapted to sourdough breads. The other two training days were devoted ranking and scaling. Panelists received feedback on their performance after each session for the purpose of improving and standardizing their discriminatory ability as a panel. The feedback was intended to reach a consensus for the definition of each descriptor and for the range of intensities between samples. Reference materials were used to clarify the descriptors for the sensory panelists and to establish panel consensus. The panel agreed unanimously on 12 sensory attributes to constitute a descriptive profile for the bread (

Ingredient	Mass (g)	%/flour	%/dough
Flour	3000	100	30
Water	2100	67	20,1
Salt	55	1,8	0,5
Sourdough	1800	60	18

Table 47). The panel also agreed upon the organization of these attributes into four categories: savor, flavor (oral and retro nasal) and finally texture (mouth-feel) and long-lasting taste.

The intensity of each sensory attribute was scored on a discontinuous structured scale from 0 (very low) to 7 (high) on a separate sheet.

The descriptive evaluations were conducted over a day within two sessions. Experimental design was as follows:

- Replicated: samples were evaluated two times.
- Repeated measurements: each panelist tasted each sample.

Only one person, who was not involved in tasting the breads, prepared the entire set and coded each sample for presentation to the assessors. The presentation of samples during each session was balanced to limit order and carry over effects.

Statistical analyses

A synthesis of the semi-directive interviews in narrative form was drafted (not shown in this article) and a grid of breeding criteria was filled in for each farmer interviewed in order to provide a more global view of the breeding strategies.

Descriptive analyses were performed on the morphological data. Multidimensional analyses using Principal Component Analysis enabled visualization of the differences between the “mixes for bread” in terms of morphological characteristics. Then, Analysis of Variance (ANOVA) followed by multiple comparison tests were carried out on each morphological trait in order to identify those which were significantly different. Finally, standard deviation was calculated for each “mix for bread” to show genetic diversity.

ANOVA of the descriptive sensory data was performed using the Package SensomineR with panelists as repeated measure. Significant descriptors were selected at $p < 0.05$ using the following ANOVA model:

$$Y = \mu + \text{judge} + \text{product} + \text{session} + \text{product} * \text{judge} + \text{product} * \text{session} + \text{judge} * \text{session} + \varepsilon.$$

The panel's discrimination ability was evaluated through the significant effect of product factor, consensus between panelists using the non-significant effect of panelist factor and product*panelist interaction, repeatability through the non-significant effect of product*session interaction. A multidimensional profile on significant descriptors was then produced to provide a visual representation of the products' sensory differences.

RESULTS

Specification of farmer-baker criteria

Breeding criteria

The goal of this research was to identify breeding strategies oriented to end-use quality for use by 11 farmer-bakers and farmer-breeders. Three breeding strategies were identified; one or more of these strategies being adopted by each farmer interviewed:

- **Genetic diversity to stabilize agronomic and sensory characteristics**

From an agronomic point of view, these farmers focused on adaptation to pedoclimatic conditions. They relied on genetic diversity for agronomic adaptation and organoleptic quality. They were not sure of the genotypes that compose their mix but were used to enrich it by adding modern or ancient varieties. This strategy was applied by Christian, Nicolas, François and Mata.

- **Typicality strategy, growing genotypes with specific sensory qualities**

These strategies relied on certain genotypes that showed specific sensory characteristics when breeding for quality. By this means, the farmers tried to manage bread quality and differentiated their product from others. The small number of genotypes facilitated management of the wheat mix as genotypes that needed

to be reintegrated were easily identified. In these strategies, the genotypes could be mixed in the field stage (producing one flour from different wheat) and/or in the bakery stage (by mixing several different types of flour). Farmers identified for this strategy were Stéphane and Pascal.

- **Genetic adaptation by growing landraces**

Others farmers proposed local products and they hypothesized that landraces (ancient wheat that used to be grown in the region) were the best adapted to their environments. These strategies revealed an attachment to the ancestral land and emphasized the social link with organic farming practices. The farmers involved in this strategy were Julie, Raphaël and Gérard.

A majority of farmers-bakers have reinvented themselves after a career in another sector mostly in urban landscape. As describe by (CORDELLIER, 2008): “ field experiments emerge from neocountry people [...] who choose to follow innovative path”. As they want to be in accordance with their value, most of them are more interested by organic principle and quality product than quantity. They do not benefitted from specific training on the baker’s trade, so that they have to learn by themselves and experiment continually. A global experiment scheme has arisen from results interviews. In general, the farmers have performed an experimentation phase to create their mix of wheat. The process enabled the construction of their criteria. The large majority of them screened genotypes by collecting then growing the genotypes of interest over larger areas.

From the interviews environmental conditions were considered decisive by the farmers for breeding strategies even if sensory quality was integrated in the breeding process.

Morphological characterization

The goal of the morphological characterization was to offer an analytical framework to analyze breeding practices and interpret sensory results.

The two first dimensions explained 82.60% of the data variability (figure 1). Cob form, awns, lodging, curvature, till number and cob density were the most correlated variables. The first axis opposed wheat with high curvature, long awns and a high tendency to lodge against wheat with a large number of tills. The second axis was essentially constructed on the cob form variable.

Julie and Mata’s “mixes for bread” were characterized by high lodging when grown in rich soil, a large number of awned wheat and high curvature. Conversely, Raphael’s “mix for bread” showed a high number of tills and brown grain color. Stéphane’s “mix for bread” presented fusiform cob. These results confirmed the diversity existing in the farmers’ fields and supported the hypothesis according to which each farmer should have his own breeding criteria.

ANOVA on each descriptor revealed significant differences for all characteristics except for cob form and number of tills. The standard deviation calculation revealed a trend that will be useful in interpreting

sensory results. The “mixes for bread” presenting the greatest diversity on measured criteria are those of Julie and Mata, as they had the highest standard deviation for the largest number of characteristics. These were followed by Christian’s mix. A diversity gradient could be drawn for the wheat types analyzed and confronted with sensory characteristics with a focus on Christian’s “mix for bread” and Stéphane’s “mix for bread” as they represent the most differentiated mix in terms of diversity criteria.

Concerning grain color, results showed a majority of dark colour (Fig. 98). A gradient of darkness could be drawn among samples used for sensory profiling from the lightest (Christian’s “mix for bread”) to the darkest (Raphaël’s “mix for bread”).

Sensory characterization of farmers’ “mixes for bread”

This sensory descriptive test was undertaken with the objective of confronting farmers’ breeding strategies oriented to end-use quality with sensory characteristics. Firstly, sensory evaluation quality was assessed then results were compared with strategies identified thanks to interviews and morphological characterizations.

Panel performance

Descriptive sensory tests revealed significant differences between genotypes on six of the eleven descriptors. The panel showed good repeatability but low reproducibility. Further training should improve the panel’s performance. Sensory descriptors that showed no significant differences were either not well understood by the panel or not relevant to hand-made sourdough breads. Descriptors should be discussed and adapted for further experimentation.

Sensory characterization of farmers’ mixes for bread

The two first dimensions explained 84% of overall variability (Figure 99).

The first axis opposed bread with empyreumatic notes and an elastic texture against bread with yeasty notes and a sticky texture. Bread made from ‘Rouge de Bordeaux’ was characterized by roasted and smoky notes, whereas bread made from Pascal’s “mix for bread” showed a yeasty aroma.

The second axes represented a gradient of flavor. On the one hand, bread made from the ‘Barbu d’épirée’ landrace presented a spicy aroma whereas bread made from Raphael’s “mix for bread” showed a low level of spicy notes and a low long lasting flavor.

Two batches of bread were remarkable for their lack of specific sensory characteristics: bread made from ‘Florence Aurore’ and Christian’s mix for bread.

These six samples were cultivated in six locations in the Rhône-Alps area. The evaluation of environmental and genetic influences on the sensory properties of bread was not the purpose of this study; our aim was to investigate existing practices.

OVERALL DISCUSSION: CONFRONTING BREEDING STRATEGIES WITH FIELD OBSERVATIONS

Participatory research has emerged in an attempt to best anchored science in practices so as to take into account specific bottlenecks that are not considered by scientific institutions. The focal point of those approaches is to effectively solve farmers issues by changing practices or implement knowledge (Sebillotte, 2001). Success of participatory approaches are often questioned according to the success of adoption of new strategies or methods, that Cerf and coll. (2012) called « problem of implementation » when tools, knowledge or varieties have not been adopted by stakeholders. However, success of participatory research action should be assessed through the co-learning process (Jakku and Thorburn, 2010) as soon as the determination of the objectives and the design of the experimentation. Learning during the participatory process has greater impact on implementation compared with subsequent uses of tools, knowledge or varieties. Changes in practice occurred when a real co-learning process between researchers and farmers exists. As Hoffmann et al. (2007b) pointed out, there is a need for decentralized testing of technologies to allow for the farmers' capacity to experiment on their farm and take part of the dissemination process.

Integrated knowledge in a decentralized participatory action research is a key point to answer to the need of specific territory. In our study, each individual farmer wanted to apply the results of sensory evaluation, learned collectively, to perform selection in their fields and wish to increase his own efficiency. Farmers used to learn through their own experience to respond to variation. Each experience was a baseline knowledge which helped scientist to better characterized context and issues. Overall research process should adapt to the variability observed in the local system, thus researcher managing the process has favored the sharing knowledge of the group. The choice to study wheat from grain to bread emerged from discussion between scientist and practitioners. Indeed, studies on factors influencing sensory qualities of bread have be done on grain, flour and bread. Two recent studies, Brabant et al. (2007); Starr et al. (2013) evaluated the genotype effect on sensory properties of respectively bread and flour. Results showed no significant effect of the genotype in the first case and great sensory differentiation of wheat genotype in the second case. The type of genotype, milling and process are many parameters that should be taken into account and optimized in the sensory evaluation of wheat bread. If not, results shouldn't be compared. For example, the use of type 50 flour should limit the expression of sensory specificity of wheat as most aromatics compound is located in bran.

To integrate such knowledge, some authors considered single case of expert practitioner (Baars, 2011; Lyon et al., 2011) using deep investigations or semi-directive interviews. Even if knowledge arising from case studies has been local and specific, guidelines should be extracted to give more global information and should be coupled with on farm experiments.

Failure in participatory plant breeding reveals a lack of co-learning resulting in some case in an inconsistent participation. Pretty (2008) highlighted the necessity of anchored participatory plant breeding within an integrated knowledge exchange system. The experiment detailed here was a part of a national participatory research network, and proposed a way to integrate knowledge in scientific process to produce new knowledge. Confidence between partners is needed to run a real co-learning. Here partners have been involved personally in association, not only on this experimentation. In such a knowledge exchange system, organization has been a key of success. It provided the space for creation and exchange of local knowledge about sustainable practices of

agriculture and bakery, enabling members benefit from other individual experience. Now, since many others farmers are looking after the same objectives around the quality management of hand-made bread from landraces grown according to organic farming practices members of farmer's network involved in the study has enlarged the experimental actions to dissemination. Results of multiple experiments will be gathered and synthesized to provide an experimental guide. This guide will propose experimental design similar to those observed during interviews, a bread-making protocol that optimize the cereal taste in the bread to ease the varietal screening on sensory criteria and a set of sensory tests that should be implement to evaluate objectively sensory quality of breads from different genotypes. The phenotypic markers of quality identified in this study should be tested in further experiments and complete this guide. This will offers a methodological framework to encourage the development of decentralized breeding integrating sensory criteria as data should be mutualized. The relevance of implementing a common experimentation plan, based on these practices, can be improved by encouraging the pooling of skills and results, taking the process beyond a simple individual narrative.

Organized participatory plant breeding on wheat in France has favored agronomic criteria and demands for the integration of sensory criteria in the breeding process since involved organic farmers are close to consumers with who they communicate about sensorial and health qualities. In recent times, consumers' concerns about the social and environmental consequences of their consumption attitudes, as well as the growing preoccupations about living healthier lifestyles, have led to changes throughout the whole food chain, including all the agents from the producer to the retailer (Falguera et al., 2012). Indeed, organoleptic features are still at the forefront of most consumers' preferences, being more important than potential health benefits (Annunziata and Vecchio, 2011). In addition to environmental aspects, price and organoleptic features of organic products is also always considered. Several studies have concluded that consumers would not sacrifice organoleptic properties for potential health benefits (Traill et al., 2008). Thus, people who have chosen short food chain and organic produce are the most concerned by organoleptic qualities. An historic evolution of conventional breeding criteria should be describe; first focus was on yield, then characteristics linked to textural properties like protein content in wheat or firmness in tomatoes has become more interesting face to the development of long marketing chain. Now, organoleptic quality has become a new criteria and its integration in the breeding process aims at answer to consumers' attends. To do so, two trends emerged. The first one searches for quality indicators by crossing physico-chemical data or genetic data with sensory ones (Cheng et al., 2004; Saliba-Colombani et al., 2001b). The second trend searches for adapting sensory methodologies to specific context such as the postharvest assessment of sensory properties of fruit or the sensory evaluation of wine with professional (Brookfield et al., 2011; Perrin et al., 2008). In the farmers-bakers sector, real relationship occurred between consumers and farmers, consumers buy the farmers' bread and not a bread from a farmer. A parallel with the AMAP movement (Network of Association for the Preservation of Smallholdings) should be drawn and highlighted a new comportment from the consumer, a willingness to support local farmers.

CONCLUSION

From a technical point of view, since each mix for bread and landrace showed particular sensory characteristics, study confirmed that breeding for sensory quality should be of interest. The sensory profile established with the expertise of bakers appeared to be an efficient tool to discriminate bread types according to their sensory properties. These properties should be linked to morphological traits, such as grain color. The

breeding strategies identified by interviews were consistent with field observations. Efforts to qualify more genotypes should be maintained to improve our understanding of the quality process.

The validation of implicit knowledge was a key point of such processes and an appropriate observation system must be implemented alongside the gathering of knowledge. Moreover, new farmers could benefit from this gathering of farmers' knowledge as this information could be transferred via the network. The results of this study were provided the basic information which will be disseminated through an experimental guide to create a common knowledge space within the network of farmers-bakers and bakers.

ACKNOWLEDGEMENTS

The SOLIBAM project is supported by the European Commission through the Seventh Framework Program for the Research and Technological Development under Grant Agreement n°245058. The authors would like to thank all the colleagues and farmers who contributed to this study. We are grateful to Mr Hyacinthe for his collaboration during experiments and to the farmers who devoted so much of their time.

REFERENCES

- Abbott, J.A., 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207–225.
- Abécassis, J., Bar L'Helgouac'h, C., Bonnefoy, M., Chaurand, M., Fardet, A., Fischer, J., Fontaine, L., Leenhardt, F., Mangin, M., Maraval, G., Rémésy, C., Taupier-Létage, B., Viaux, P., 2001. *Maîtrise de la Production de Blé en Agriculture Biologique et des Procédés de Mouture Adaptés à la Fabrication de Farine de Haute Densité Nutritionnelle* (Compte rendu de fin de recherche No. Rapport Final Contrat AQS n°2001 /FN18). Ministère de la recherche.
- Agence Bio, 2013. *L'agriculture biologique. Chiffres clés. Edition 2013.* Agence française pour le développement et la promotion de l'agriculture biologique.
- Almekinders, C., Koehler-Rollefson, I., 2001. Similarities and differences between plant and animal genetic resource management and conclusions for technical co-operation. *GTZ*.
- Altieri, M.A., 1983. *Agroecology, the Scientific Basis of Alternative Agriculture.* Div. of Biol. Control, U.C. Berkeley, Cleo's Duplication Services. (out of print)., Berkeley, Div. of Biol. Control, U.C. Berkeley, Cleo's Duplication Services. ed.
- Annunziata, A., Vecchio, R., 2011. Functional foods development in the European market: A consumer perspective. *J. Funct. Foods* 3, 223–228. doi:10.1016/j.jff.2011.03.011
- Arendt, E.K., Ryan, L.A.M., Dal Bello, F., 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiol.* 24, 165–174. doi:10.1016/j.fm.2006.07.011
- Ashby, J.A., Sperling, L., 1995. Institutionalizing Participatory, Client-Driven Research and Technology Development in Agriculture. *Dev. Change* 26, 753–770. doi:10.1111/j.1467-7660.1995.tb00573.x
- Atlin, G.N., Venuprasad, R., Bernier, J., Zhao, D., Virk, P., Kumar, A., 2008. Rice germplasm development for drought-prone environments: progress made in breeding and genetic analysis at the International Rice Research Institute, World Scientific Publishing and Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, Singapore. ed. Serraj, R., Bennet, J., Hardy, B (Eds).
- Audoux, C., Gillet, A., 2011. Recherche partenariale et co-construction de savoirs entre chercheurs et acteurs: l'épreuve de la traduction. *Rev. Interv. Économiques Pap. Polit. Econ.*

- Baars, T., 2011. Experiential Science; Towards an Integration of Implicit and Reflected Practitioner-Expert Knowledge in the Scientific Development of Organic Farming. *J. Agric. Environ. Ethics* 24, 601–628. doi:10.1007/s10806-010-9281-3
- Barański, M., Średnicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G.B., Benbrook, C., Biavati, B., Markellou, E., Giotis, C., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., Tahvonen, R., Janovská, D., Niggli, U., Nicot, P., Leifert, C., 2014. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br. J. Nutr.* 112, 794–811. doi:10.1017/S0007114514001366
- Baros, C., 2003. Info-Ctifl.
- Barrett, D.M., Garcia, E.L., Russell, G.F., Ramirez, E., Shirazi, A., 2000. Blanch time and cultivar effects on quality of frozen and stored corn and broccoli. *J. Food Sci.* 65, 534–540.
- Bawden, R., 1997. The community challenge: the learning response, in: Invited Plenary Paper, 29th Annual International Meeting of the Community Development Society, Athens, Georgia. pp. 27–30.
- Beck, T.K., Jensen, S., Bjoern, G.K., Kidmose, U., 2014. The Masking Effect of Sucrose on Perception of Bitter Compounds in Brassica Vegetables. *J. Sens. Stud.* 29, 190–200. doi:10.1111/joss.12094
- Bellon, S., Lamine, C., Olivier, G., Abreu, L.S. de, 2009. The relationships between organic farming and agroecology.
- Bellon, S., Penvern, S., 2014. Organic Food and Farming as a Prototype for Sustainable Agricultures, in: Bellon, S., Penvern, S. (Eds.), *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures*. Springer Netherlands, pp. 1–19.
- Benbrook, C.M., 2005. Elevating antioxidant levels in food through organic farming and food processing. *Org. Cent. Foster RI* 81.
- Benoît, M., Papy, F., 1998. La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. *Doss. Environ.* 105.
- Bocci, R., Chable, V., 2007. Selmenes paysannes en Europe: enjeux et perspectives. *Cah. Agric.* 17, 216–221.
- Bonneuil, C., Demeulenaere, E., 2007. Une génétique de pair à pair? L'émergence de la sélection participative. *Sci. Citoyennes Vigil. Collect. Rapp. Entre Profane Sci. Dans Sci. Nat.* 122–147.
- Bonneuil, C., Demeulenaere, E., Thomas, F., Joly, P.-B., Allaire, G., Goldringer, I., 2006. Innover autrement? La recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale. *Doss. Environ. INRA* 29–51.
- Bordes, J., Branlard, G., Oury, F.X., Charmet, G., Balfourier, F., 2008. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *J. Cereal Sci.* 48, 569–579. doi:10.1016/j.jcs.2008.05.005
- Boutrolle, I., Arranz, D., Rogeaux, M., Delarue, J., 2005. Comparing central location test and home use test results: Application of a new criterion. *Food Qual. Prefer.* 16, 704–713. doi:10.1016/j.foodqual.2005.03.015
- Brabant, C., Fossati, D., Kleijer, G., 2007. Influence de la variété de blé sur le goût du pain. *Rev. Suisse Agric.* 39, 101–108.
- Brennan, R.M., Hunter, E.A., Donald Muir, D., 1997. Genotypic effects on sensory quality of blackcurrant juice using descriptive sensory profiling. *Food Res. Int.* 30, 381–390. doi:10.1016/S0963-9969(97)00063-X
- Brewer, M.S., Begum, S., Bozeman, A., 1995. Microwave and conventional blanching effects on chemical, sensory, and color characteristics of frozen broccoli. *J. Food Qual.* 18, 479–493.
- Brookfield, P.L., Nicoll, S., Gunson, F.A., Harker, F.R., Wohlers, M., 2011. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture. *Postharvest Biol. Technol.* 59, 179–186. doi:10.1016/j.postharvbio.2010.08.021
- Brossier, J., 1987. Système et système de production. *Cah. Sci. Hum.* 23.

- Brown, A.F., Youcef, G.G., Jeffery, E.H., Klein, B.P., Wallig, M.A., Kushad, M.M., Juvik, J.A., 2002. Glucosinolate Profiles in Broccoli: Variation in Levels and Implications in Breeding for Cancer Chemoprotection. *J Amer Soc Hort* 127, 807–813.
- Brückner, B., Schonhof, I., Kornelson, C., Schrödter, R., 2005. Multivariate sensory profile of broccoli cauliflower and consumer preference. *Ital J Food Sci N* 17, 17–32.
- Callon, M., 1990. Techno-economic networks and irreversibility. *Sociol. Rev.* 38, 132–161. doi:10.1111/j.1467-954X.1990.tb03351.x
- Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F., Nuez, F., 2011. The risks of success in quality vegetable markets: Possible genetic erosion in Marmande tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and consumer dissatisfaction. *Sci. Hortic.* 130, 78–84. doi:10.1016/j.scienta.2011.06.013
- Causse, M., Saliba-Colombani, V., Lesschaeve, I., Buret, M., 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 2. Mapping QTLs for sensory attributes. *Theor. Appl. Genet.* 102, 273–283.
- Ceccarelli, S., Grando, S., 2007. Decentralized participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* 349–360.
- Chable, V., Dawson, J., Bocci, R., Goldringer, I., 2014. Seeds for Organic Agriculture: Development of Participatory Plant Breeding and Farmers' Networks in France, in: Bellon, S., Penvern, S. (Eds.), *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures*. Springer Netherlands, pp. 383–400.
- Challacombe, C.A., Abdel-Aal, E.-S.M., Seetharaman, K., Duizer, L.M., 2012. Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. *J. Cereal Sci.* 56, 181–188. doi:10.1016/j.jcs.2012.03.006
- Charriau, A., 2010. Mise en place d'un outil de caractérisation des bkés de pays pour les paysans. Cas des bkés de Redon dans le cadre du projet PaysBlé (Mémoire LPE "PARTAGER"). Université de Rennes 1.
- Cheng, C.H., Seal, A.G., Boldingh, H.L., Marsh, K.B., MacRae, E.A., Murphy, S.J., Ferguson, A.R., 2004. Inheritance of taste characters and fruit size and number in a diploid *Actinidia chinensis* (kiwifruit) population. *Euphytica* 138, 185–195.
- CNAB-INAO, 2013. Rapport de fonctionnement de la base de données sur les semences biologiques en 2012.
- CORDELLIER, S., 2008. L'émergence de groupes promouvant des systèmes de production « différents »
. Pour 220–229.
- Cornillon, P.A., Guyader, A., Husson, F., Jégou, N., Josse, J., Kloareg, M., Matzner-Lober, E., Rouvière, L., 2008. *Statistique avec R, Didact Statistique*. PU Rennes.
- Cornwall, A., Jewkes, R., 1995. What is participatory research. *Soc. Sci. Med.* 41, 1667–1676.
- Costanzo, A., Bàrberi, P., 2014. Functional agrobiodiversity and agroecosystem services in sustainable wheat production. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 327–348. doi:10.1007/s13593-013-0178-1
- Coux, N., Hazard, L., 2013. When the future of biodiversity depends on researchers' and stakeholders' thought-styles. *Futures* 53, 13–21. doi:10.1016/j.futures.2013.09.005
- Cuéllar-Padilla, M., Calle-Collado, Á., 2011. Can we find solutions with people? Participatory action research with small organic producers in Andalusia. *J. Rural Stud.* 27, 372–383. doi:10.1016/j.jrurstud.2011.08.004
- Czerny, M., Schieberle, P., 2002. Important Aroma Compounds in Freshly Ground Wholemeal and White Wheat Flour Identification and Quantitative Changes during Sourdough Fermentation. *J. Agric. Food Chem.* 50, 6835–6840. doi:10.1021/jf020638p
- David, C., Celette, F., Abecassis, J., Carcea, M., Dubois, D., Friedel, J.K., Hellou, G., Jeuffroy, M.-H., Mäder, P., Thomsen, I.K., 2012. Technological quality of organic wheat in Europe.

- David, J.L., Zivy, M., Cardin, M.L., Brabant, P., 1997. Protein evolution in dynamically managed populations of wheat: adaptive responses to macro-environmental conditions. *Theor. Appl. Genet.* 95, 932–941.
- Deloire, A., Lopez, F., Carbonneau, A., 2004. Réponses de la vigne et terroir: éléments pour une méthode d'étude. *Wine Internet Tech. J.* 10.
- Demeulenaere, E., Bonneuil, C., Balfourier, F., Basson, A., Berthellot, J.-F., Chesneau, V., Ferté, H., Galic, N., Kastler, G., Koenig, J., others, 2008. Etude des complémentarités entre gestion dynamique à la ferme et gestion statique en collection. *Actes BRG 7*, 117–138.
- De Schutter, O., 2014. Report of the Special Rapporteur on the right to food, Olivier De Schutter, Final report: The transformative potential of the right to food. Human Right Council.
- Desclaux, D., Ceccarelli, S., Navazio, J., Coley, M., Trouche, G., Aguirre, S., Weltzien, E., Lançon, J., 2012. Centralized or Decentralized Breeding: The Potentials of Participatory Approaches for Low-Input and Organic Agriculture, in: *Organic Crop Breeding*. Wiley-Blackwell, pp. 99–123.
- Desclaux, D.D., Chiffolleau, Y.Y., Nolot, J.M.J., 2013. Du concept d'Ideotype à celui de Realtype: gestion dynamique des Innovations Variétales par une approche transdisciplinaire et partenariale. Exemple du blé dur pour l'AB. *Innov. Agron.* 455–466.
- Desgagné, S., 2007. « Le défi de coproduction de savoir en recherche collaborative. Autour d'une démarche de reconstruction et d'analyse de récits de pratique enseignante », in: *La Recherche Participative. Multiples Regards*. M. Anadon, Québec, pp. 89–121.
- De Vallavieille-Pope, C., Belhaj Fraj, M., Mille, B., Meynard, J.-M., 2006. Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. Doss. Environ. INRA Quelles Variétés Semen. Pour Agric. Paysannes Durables 101–109.
- Dewey, H., 1934. *Art as experience*. : George Allen and Unwin., Londres.
- Di Cagno, R., De Angelis, M., Lavermicocca, P., De Vincenzi, M., Giovannini, C., Faccia, M., Gobbetti, M., 2002. Proteolysis by Sourdough Lactic Acid Bacteria: Effects on Wheat Flour Protein Fractions and Gliadin Peptides Involved in Human Cereal Intolerance. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 623–633. doi:10.1128/AEM.68.2.623-633.2002
- Di Silvestro, R., Marotti, I., Bosi, S., Bregola, V., Carretero, A.S., Sedej, I., Mandic, A., Sakac, M., Benedettelli, S., Dinelli, G., 2012. Health-promoting phytochemicals of Italian common wheat varieties grown under low-input agricultural management. *J. Sci. Food Agric.* 92, 2800–2810. doi:10.1002/jsfa.5590
- Doré, C., Varoquaux, F., 2006. Histoire et amélioration de 50 plantes cultivées, QUAE. ed, Savoir faire. INRA Editions.
- Doré, T., 2000. Contribution à la recherche sur les système de culture diagnostic agronomique régional et maîtrise des effets précédents: Impact sur la conservation des sites archéologiques de plein air (Mémoire d'HDR). Vandoeuvre-les-Nancy: Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Döring, T.F., Knapp, S., Kovacs, G., Murphy, K., Wolfe, M.S., 2011. Evolutionary Plant Breeding in Cereals—Into a New Era. *Sustainability* 3, 1944–1971. doi:10.3390/su3101944
- Döring, T., Wolfe, M., 2008. Stabilising wheat yields: can genetic diversity increase reliability of wheat performance. *Arable Group* 10–11.
- Drewnowski, A., Gomez-Carneros, C., 2000. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* 72, 1424–1435.
- Dusseau, A., 1924. Les principaux “Blés de Pays” cultivés à la station Régionale de Sélection de Semences de Clermont-Fd en 1923. Faculté des Sciences de Clermont Ferrand, Clermont Ferrand.
- Dusseau, A., 1932. Contribution à l'étude écologique des blés de la région rhône moyen (Drôme-Ardèche).

- Enjalbert, J., Goldringer, I., Paillard, S., Brabant, P., 1999. Molecular markers to study genetic drift and selection in wheat populations. *J. Exp. Bot.* 50, 283–290.
- Escoffier, B., Pagès, J., 1998. *Anamyses factorielles simples et multiples*, Dunod. ed. Paris.
- Esti, M., Messina, M.C., Sinesio, F., Nicotra, A., Conte, L., La Notte, E., Palleschi, G., 1997. Quality evaluation of peaches and nectarines by electrochemical and multivariate analyses: relationships between analytical measurements and sensory attributes. *Food Chem.* 60, 659–666. doi:10.1016/S0308-8146(96)00306-8
- Falguera, V., Aliguer, N., Falguera, M., 2012. An integrated approach to current trends in food consumption: Moving toward functional and organic products? *Food Control* 26, 274–281. doi:10.1016/j.foodcont.2012.01.051
- FAO, 2010. The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Farnham, M.W., Wilson, P.E., Stephenson, K.K., Fahey, J.W., 2004. Genetic and environmental effects on glucosinolate content and chemoprotective potency of broccoli. *Plant Breed.* 123, 60–65.
- Finney, K.F., Barmore, M.A., 1948. Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheat. *Cereal Chem.* 291–312.
- Fontaine, L., Sicard, H., Vidal, R., du Cheyron, P., Méléard, B., 2013. “Référentiel Blé AB” Les résultats du réseau ITAB.
- FranceAgriMer, 2013. Flash Info Bio Conjoncture céréales n°4.
- Fredriksson, H., Salomonsson, L., Andersson, R., Salomonsson, A., 1998. Effects of protein and starch characteristics on the baking properties of wheat cultivated by different strategies with organic fertilizers and urea. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci.* 48, 49–57. doi:10.1080/09064719809362478
- Fredriksson, H., Salomonsson, L., Salomonsson, A., 1997. Wheat cultivated with organic fertilizers and urea: Baking performance and dough properties. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci.* 47, 35–42. doi:10.1080/09064719709362436
- Fujino, Y., Kuwata, J., Mano, Y., Ohnishi, M., 1996. Other grain components, in: *Cereal Grain Quality*, Chapman & Hall. Kettlewell PS, pp. 305–307.
- Gajc-Wolska, J., Skłapski, H., Szymczak, J.A., 2000. Chemical and sensory characteristics of the fruits of eight cultivars of field grown tomato. *Acta Physiol. Plant.* 22, 369–373.
- Gallais, A., Bannerot, H., 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection*. Institut national de la recherche agronomique.
- Gates, R.R., 1953. Wild cabbages and the effects of cultivation. *J Genet* 363–372.
- Gilles, W.F., 1941. Cauliflower and broccoli. What they are and where they come from. *J. R. Hortic. Soc.* 265–278.
- Girard, N., Navarrete, M., 2005. Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques ? L'exemple des cultures du safran et de la truffe. *Nat. Sci. Sociétés* 13, 33–44. doi:10.1051/nss:2005004
- Giuliano, S., 2010. *Caractérisation de l'évolution de variétés paysannes pour la mise en place d'une législation semencière adaptée (Mémoire de fin d'études. Toulouse : INP-EI Purpan)*.
- Goldringer, I., Enjalbert, J., David, J., Paillard, S., Pham, J., Brabant, P., 2001. *Dynamic Management of Genetic Resources: a 13-year Experiment on Wheat*, Cooper D, Spillane C, Hodgkin T (eds). ed.
- Goulet, F., 2013. Narratives of experience and production of knowledge within farmers' groups. *J. Rural Stud.* 32, 439–447. doi:10.1016/j.jrurstud.2013.09.006
- Gunness, P., Kravchuk, O., Nottingham, S.M., D'Arcy, B.R., Gidley, M.J., 2009. Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. *Postharvest Biol. Technol.* 52, 164–172. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.11.006

- Haglund, \AA, Johansson, L., Dahlstedt, L., 1998. Sensory evaluation of wholemeal bread from ecologically and conventionally grown wheat. *J. Cereal Sci.* 27, 199–207.
- Hansen, A., Schieberle, P., 2005. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 85–94. doi:10.1016/j.tifs.2004.03.007
- Hansen, M., Laustsen, A.M., Olsen, C.E., Poll, L., Sørensen, H., 1997. Chemical and sensory quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*). *J. Food Qual.* 20, 441–459.
- Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., 2002. De la gestion des connaissances aux organisations orientées conception. *Rev. Int. Sci. Soc.* 29–42.
- Heaton, S., 2001. Organic farming, food quality and human health A review of the evidence. Soil Association Ltd, Bristol (United Kingdom).
- Henry, J.P., Pontis, C., David, J., Gouyon, P.H., 1991. An Experiment on Dynamic Conservation of Genetic Resources With Metapopulations, in: Seitz, A., Loeschke, V. (Eds.), *Species Conservation: A Population-Biological Approach*, Advances in Life Sciences. Birkhäuser Basel, pp. 185–198.
- Hobson, G.E., Gough, C., Townley, C., 1990. Measuring consumer reaction t the flavour of fresh tomatoes. *Acta Hort ISHS* 259, 107–116.
- Hoffmann, V., Probst, K., Christinck, A., 2007. Farmers and researchers: How can collaborative advantages be created in participatory research and technology development? *Agric. Hum. Values* 24, 355–368. doi:10.1007/s10460-007-9072-2
- Hoffmann, V., Probst, K., Christinck, A., 2007. Farmers and researchers. How can collaborative advantages be created in participatory research and technology development? *Agric. Hum. Values* 355–368.
- Hoseney, R.C., 1998. Principle of Cereals Science and Technology. American Association of Cereal Chemist, St Paul, pp. 139–140.
- Hussain, A., 2012. Quality of organically produced wheat from diverse origin. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.
- In Hee, C., Peterson, D.G., 2010. Chemistry of Bread Aroma: A review. *Food Sci Biotechnol* 19, 575–582. doi:10.1007/s10068-010-0081-3
- Institut National de la Boulangerie Pâtisserie, 2003. Supplément technique INBP n°83-Le goût du pain.
- Jackson, L.F., Kahler, A.L., Webster, R.K., Allard, R.W., 1978. Conservation of scald resistance in barley composite cross populations. *Phytopathology* 68, 645–650.
- Jacobsson, A., Nielsen, T., Sjöholm, I., Wendin, K., 2004. Influence of packaging material and storage condition on the sensory quality of broccoli. *Food Qual. Prefer.* 15, 301–310. doi:10.1016/S0950-3293(03)00070-3
- Jahn, T., Bergmann, M., Keil, F., 2012. Transdisciplinarity: Between mainstreaming and marginalization. *Ecol. Econ.* 79, 1–10. doi:10.1016/j.ecolecon.2012.04.017
- Jakku, E., Thorburn, P.J., 2010. A conceptual framework for guiding the participatory development of agricultural decision support systems. *Agric. Syst.* 103, 675–682. doi:10.1016/j.agsy.2010.08.007
- Jeffery, E.H., Brown, A.F., Kurilich, A.C., Keck, A.S., Matusheski, N., Klein, B.P., Juvik, J.A., 2003. Variation in content of bioactive components in broccoli. *J. Food Compos. Anal.* 16, 323–330. doi:10.1016/S0889-1575(03)00045-0
- Johnson, J.A., Rooney, L., Salem, A., 1969. Chemistry of Bread Flavor, in: *Flavor Chemistry, Advances in Chemistry*. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, pp. 153–173.
- Katina, K., Heiniö, R.-L., Autio, K., Poutanen, K., 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT* 1189–1202.

- Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., Risvik, E., 2004. Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. *J. Cereal Sci.* 39 67–84.
- Kihlberg, I., Öström, Å., Johansson, L., Risvik, E., 2006. Sensory qualities of plain white pan bread: Influence of farming system, year of harvest and baking technique. *J. Cereal Sci.* 43, 15–30. doi:10.1016/j.jcs.2005.04.008
- Kihlberg, I., Risvik, E., 2007. Consumers of organic foods – value segments and liking of bread. *Food Qual. Prefer.* 18, 471–481. doi:10.1016/j.foodqual.2006.03.023
- Kjeldahl, J., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Für Anal. Chem.* 22, 366–382. doi:10.1007/BF01338151
- Kondra, Z.P., Stefansson, B.R., 1970. Inheritance of the major glucosinolates of rapeseed (*Brassica napus*) meal. *Can. J. Plant Sci.* 50, 643–647.
- Kummer, S., Milestad, R., Leitgeb, F., R. Vogl, C., 2012. Building Resilience through Farmers' Experiments in Organic Agriculture: Examples from Eastern Austria. *Sustain. Agric. Res.* 1. doi:10.5539/sar.v1n2p308
- Lamine, C., Bellon, S., 2009. Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 97–112. doi:10.1051/agro:2008007
- Lammerts van Bueren, E.T., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.M., Myers, J.R., Leifert, C., Messmer, M.M., 2011. The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.* 58, 193–205. doi:10.1016/j.njas.2010.04.001
- Lawless, H.L., Heymann, H., 1998. Color and appearance, in: *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*, Chapman & Hall, Kluwer Academic / Plenum Publishers., New York, pp. 419–426.
- Le Boulc, V., David, J.L., Brabant, P., de Vallavieille-Pope, C., 1994. Dynamic conservation of variability: responses of wheat populations to different selective forces including powdery mildew. *Genet. Sel. Evol.* 26, 221s–240s.
- Le Dien, S., Pagès, J., 2003. Hierarchical Multiple Factor Analysis: application to the comparison of sensory profiles. *Food Qual. Prefer.* 14, 397–403. doi:10.1016/S0950-3293(03)00027-2
- Leenhardt, F., Lyan, B., Rock, E., Boussard, A., Potus, J., Chanliaud, E., Remesy, C., 2006. Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *Eur. J. Agron.* 25, 170–176. doi:10.1016/j.eja.2006.04.010
- Lepinasse, N., Scandella, D., Vaysse, P., Navez, B., 2002. *Mémento évaluation sensorielle des fruits et légumes frais*, CTIFL. ed.
- Lewin, K., 1948. *Resolving Social Conflict*. Harper and Row Publishers, New York.
- Li, L., Shewry, P.R., Ward, J.L., 2008. Phenolic Acids in Wheat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *J. Agric. Food Chem.* 56, 9732–9739. doi:10.1021/jf801069s
- Liu, M., 1992. Présentation de la recherche action: définition, déroulement et résultats. *Rev. Int. Systémique* 6, 293–311.
- Liu, Q., Qiu, Y., Beta, T., 2010. Comparison of antioxidant activities of different coloured wheat grains and analysis of phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 9235–9241.
- Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., 2011. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science* 333, 616–620. doi:10.1126/science.1204531
- Loisel, J.P., 2001. Manger est perçue comme présentant davantage de risques. *Consomm. Modes Vie* 5, 1–4.
- Luttikholt, L.W.M., 2007. Principles of organic agriculture as formulated by the international Federation of Organic Agriculture Movements. *NJAS* 54.

- Lv, J., Lu, Y., Niu, Y., Whent, M., Ramadan, M.F., Costa, J., Yu, L. (Lucy), 2013. Effect of genotype, environment, and their interaction on phytochemical compositions and antioxidant properties of soft winter wheat flour. *Food Chem.* 138, 454–462. doi:10.1016/j.foodchem.2012.10.069
- Lyon, A., Bell, M.M., Gratton, C., Jackson, R., 2011. Farming without a recipe: Wisconsin graziers and new directions for agricultural science. *J. Rural Stud.* 27, 384–393. doi:10.1016/j.jrurstud.2011.04.002
- MacLeod, A.J., Harris, E.P., 1978. A comparison of the chemical flavour comparison of some brussels sprouts cultivars grown at different crop species. *Phytochemistry* 17, 1029–1032.
- MacLeod, A., Nussbaum, M.L., 1977. The effect of different horticultural practices on the chemical flavour composition of some cabbage cultivar. *Phytochemistry* 16, 861–865.
- Maggio, A., De Pascale, S., Paradiso, R., Barbieri, G., 2013. Quality and nutritional value of vegetables from organic and conventional farming. *Sci. Hortic.* 164, 532–539. doi:10.1016/j.scienta.2013.10.005
- McIntyre, B.D., Herren, H.R., Wakhungu, J., Watson, R.T., 2009. *Agriculture at a Crossroads, International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, Synthesis Report (Synthesis report with executive summary: a synthesis of the global and sub-global IAASTD reports)*, Island Press. Washington.
- McLeod, P., Sauvageot, F., Köster, E.P., 1998. Les caractéristiques d’une réponse sensorielle, in: *Evaluation Sensorielle ; Manuel Méthodologique*. Londres, Paris, New York: SSHA.
- Méndez, V.E., Bacon, C.M., Cohen, R., 2013. Agroecology as a Transdisciplinary Participatory, and Action-Oriented Approach. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 37, 3–18.
- Meydani, M., 2002. Antioxidants in the Prevention of Chronic Diseases. *Nutr. Clin. Care* 5, 47–49. doi:10.1046/j.1523-5408.2002.00002.x
- Midmore, P., Naspetti, S., Sherwood, A.-M., Vairo, D., Wier, M., Zanolli, R., 2005. Consumer attitudes to quality and safety of organic and low input foods; a review. Rep. EU-Funded Proj. “Improving Qual. Saf. Reduct. Cost Eur. Org. ‘Low Input’ Food Supply Chains” Univ Wales Aberystwyth UK.
- Mithen, R.F., Lewis, B.G., Heaney, R.K., Fenwick, G.R., 1897. Glucosinolate of wild and cultivated brassica species.pdf. *Phytochemistry* 26, 1969–1973.
- Monasterio, G., 2000. Breeding for trace minerals in wheat. *Food Nutr. Bull.* 393–396.
- Morris, M.L., Bellon, M.R., 2004. Participatory plant breeding research: opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica* 136, 21–35.
- Mottram, D.S., 2007. The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods, in: *Flavours and Fragrances*. Springer, pp. 269–283.
- Murphy, K., Hoagland, L., Reeves, P., Jones, S., 2008. Effect of cultivar and soil characteristics on nutritional value in organic and conventional wheat. Presented at the 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy.
- Orth, R.A., Bushuk, W., 1972. A comparative study of proteins of wheats of diverse baking qualities. *Cereal Chem.* 49, 268–275.
- Ortiz-Monasterio, J.I., Palacios-Rojas, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R., Peña, R.J., 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *J. Cereal Sci.* 46, 293–307. doi:10.1016/j.jcs.2007.06.005
- Oury, F.-X., Leenhardt, F., Rémésy, C., Chanliaud, E., Duperrier, B., Balfourier, F., Charmet, G., 2006. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. *Eur. J. Agron.* 25, 177–185. doi:10.1016/j.eja.2006.04.011
- Padilla, G., Cartea, M.E., Soengas, P., Ordás, A., 2006. Characterization of fall and spring plantings of Galician cabbage germplasm for agronomic, nutritional, and sensory traits. *Euphytica* 154, 63–74. doi:10.1007/s10681-006-9270-9

- Pagès, J., 2005. Collection and analysis of perceived product inter-distances using multiple factor analysis: Application to the study of 10 white wines from the Loire Valley. *Food Qual. Prefer.* 16, 642–649. doi:10.1016/j.foodqual.2005.01.006
- Peck, G.M., Andrews, P.K., Reganold, J.P., Fellman, J.K., 2006. Apple Orchard Productivity and Fruit Quality under Organic, Conventional, and Integrated Management. *HortScience* 41, 99–107.
- Perrin, L., 2008. Contribution méthodologique à l'analyse sensorielle du vin. PhD. Thesis, Université de Rennes, Rennes-Agrocampus-CRD, France.
- Perrin, L., Symoneaux, R., Maître, I., Asselin, C., Jourjon, F., Pagès, J., 2008. Comparison of three sensory methods for use with the Napping® procedure: Case of ten wines from Loire valley. *Food Qual. Prefer.* 19, 1–11. doi:10.1016/j.foodqual.2007.06.005
- Petersen K.K., Willumsen J., Kaack K., 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J Hort Sci Biotech* 73, 205–215.
- Peterson, C.J., Graybosch, R.A., Baezinger, P.S., Grombacher, A.W., 1992. Genotype and Environment effects on Quality Characteristics of Hard Red Winter Wheat. *Crop Sci.* 98–103.
- Picchi, V., Migliori, C., Lo Scalzo, R., Campanelli, G., Ferrari, V., Di Cesare, L.F., 2012. Phytochemical content in organic and conventionally grown Italian cauliflower. *Food Chem.* 130, 501–509. doi:10.1016/j.foodchem.2011.07.036
- Pimbert, M., 2011. Participatory research and On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Europe. International Institute for Environment and Development, London.
- Pineau, N., 2006. La performance en analyse sensorielle. Une approche base de données. Sciences de l'alimentation, Ecole Nationale Supérieure de Biologie Appliquée à la Nutrition et à l'Alimentation, Dijon.
- Pircher, T., Almekinders, C.J.M., Kamanga, B.C.G., 2012. Participatory trials and farmers' social realities: understanding the adoption of legume technologies in a Malawian farmer community. *Int. J. Agric. Sustain.* 11, 252–263. doi:10.1080/14735903.2012.738872
- Ploeger, A., Röger, M., Lueck, L., Leifert, C., 2008. Sensory evaluation of processed wheat from a defined field-trial (QualityLowInputFood).
- Potter, C., Tilzey, M., 2007. Agricultural multifunctionality, environmental sustainability and the WTO: Resistance or accommodation to the neoliberal project for agriculture? *Geoforum* 38, 1290–1303. doi:10.1016/j.geoforum.2007.05.001
- Poutanen, K., Flander, L., Katina, K., 2009. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiol.* 26, 693–699. doi:10.1016/j.fm.2009.07.011
- Pretty, J., 2008. Participatory learning for sustainable agriculture. *Sustain. Agric. Food Vol. IV Policies Process. Inst.*
- Probst, K., Hagmann, J., Fernandez, M., Ashby, J.A., 2003. Understanding participatory research in the context of natural resource management – paradigms, approaches and typologies. *Agren Netw. Pap. No 130 Agric. Res. Netw.*
- Radovich, T.J.K., Kleinhenz, M.D., Delwiche, J.F., Liggett, R.E., 2004. Triangle tests indicate that irrigation timing affects fresh cabbage sensory quality. *Food Qual. Prefer.* 15, 471–476. doi:10.1016/j.foodqual.2003.08.003
- Rangkadilok, N., Tomkins, B., Nicolas, M.E., Premier, R.R., Bennett, R.N., Eagling, D.R., Taylor, P.W., 2002. The effect of post-harvest and packaging treatments on glucoraphanin concentration in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *J. Agric. Food Chem.* 50, 7386–7391.
- Rapport Final Qualités des blés biologiques et qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques (Rapport de projet), 2007. . INRA, ACTIA, ACTA.
- Reilly, K., Valverde, J., Finn, L., Rai, D.K., Brunton, N., Sorensen, J.C., Sorensen, H., Gaffney, M., 2014. Potential of cultivar and crop management to affect phytochemical content in winter-grown sprouting broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*): Phenolics in sprouting broccoli. *J. Sci. Food Agric.* 94, 322–330. doi:10.1002/jsfa.6263

- Rey, F., Sinoir, N., Mazollier, C., Chable, V., 2012. Organic Seeds and Plant Breeding: Stakeholders' Uses and Expectations-French Inputs on Vegetables. *ISHS Acta Hortic.* 1041.
- Rivière, P., 2014. Méthodologie de la sélection décentralisée et participative: un exemple dur le blé tendre. *PARIS-SUD.*
- Rivière, P., Goldringer, I., Berthellot, J.F., Galic, N., Pin, S., De Kochko, P., Dawson, J.C., 2013. Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses. *Renew. Agric. Food Syst.* doi:10.1017/S1742170513000343
- Rölings, N., 1994. Facilitating sustainable agriculture : Turning pollicy model upside down., intermediate Technology Publication. I. Scoones, and J. Thompson, London.
- Rolland, B., Le Campion, A., Oury, F.-X., 2012. Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique? *Courr. Environ. Inra* 71–85.
- Rosa, E.A., Rodrigues, A.S., 2001. Total and individual glucosinolate content in 11 broccoli cultivars grown in early and late seasons. *HortScience* 36, 56–59.
- Roussel, V., Leisova, L., Exbrayat, F., Stehno, Z., Balfourier, F., 2005. SSR allelic diversity changes in 480 European bread wheat varieties released from 1840 to 2000. *Theor. Appl. Genet.* 162–170.
- Saliba-Colombani, V., Causse, M., Langlois, D., Philouze, J., Buret, M., 2001a. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theor. Appl. Genet.* 102, 259–272.
- Saliba-Colombani, V., Causse, M., Langlois, D., Philouze, J., Buret, M., 2001b. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theor. Appl. Genet.* 102, 259–272.
- Salim-ur-Rehman, Paterson, A., Piggott, J.R., 2006. Flavour in sourdough breads: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 17, 557–566. doi:10.1016/j.tifs.2006.03.006
- Savall, H., Zardet, V., 2001. LA DIMENSION COGNITIVE DE LA INVESTIGACIÓN-INTERVENCIÓN : LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTOS POR MEDIO DE LA INTERACTIVIDAD COGNITIVA. Lyon, p. 25.
- Savoie-Zajc, L., Dolbec, A., 1999. Former pour transformer: une recherche-action impliquant des chefs d'établissements scolaires et visant la mise en place d'une culture de formation continue dans leurs écoles., in: *Former Les Dirigeants de L'éducation*. G. Pelletier (dir.), Bruxelles: De Boeck Université, pp. 133–151.
- Schober, T.J., Angst, E., Clarke, C.I., Arendt, E.K., 2003. Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on sourdough wheat bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* 217, 23–33. doi:10.1007/s00217-003-0724-1
- Schönhof, I., Kläring, H.-P., Krumbein, A., Claußen, W., Schreiner, M., 2007. Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in greenhouse grown broccoli. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 103–111. doi:10.1016/j.agee.2006.06.018
- Schönhof, I., Krumbein, A., Brückner, B., 2004. Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. *Nahrung/Food* 48, 25–33. doi:10.1002/food.200300329
- Schwarz, N., 2004. Meta-cognitive experiences in consumer judgment and decision making. *J. Consum. Psychol.* Sept.
- Sebillotte, M., 2001. Les fondements épistémologiques de l'évaluation des recherches tournées vers l'action. *Nat. Sci. Sociétés* 9, 8–15.
- Serpolay, E., Dawson, J., Chable, V., Van Bueren, E., Osman, A., Pino, S., Silveri, D., Goldringer, I., 2011. Diversity of different farmer and modern wheat varieties cultivated in contrasting organic farming conditions in western Europe and implications for European seed and variety legislation. *Org. Agric.* 1, 127–145. doi:10.1007/s13165-011-0011-6
- Shewfelt, R.L., 1999. What is quality? *Postharvest Biol. Technol.* 15, 197–200.
- Shewry, P.R., 2009. Wheat. *J. Exp. Bot.* 60, 1537–1553. doi:10.1093/jxb/erp058

- Smith, E., Benbrook, C., Davis, D.R., 2012. With the grain, a closer look at the nutrient quality of grain, grained-based products, and the role of organic agriculture. The Organic Center.
- Sperling, L., Ashby, J.A., Smith, M.E., Weltzien, E., McGuire, S., 2001. A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results. *Euphytica* 122, 439–450.
- Starr, G., Bredie, W.L.P., Hansen, A.S., 2013. Sensory profiles of cooked grains from wheat species and varieties. *J. Cereal Sci.* 295–303.
- Stassart, P.M., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., Stilmant, D., Vanloqueren, G., Visser, M., 2012. L'agroécologie: Trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. *Agroécologie Entre Prat. Sci. Soc.*
- Steindal, A.L.H., Mølmann, J., Bengtsson, G.B., Johansen, T.J., 2013. Influence of Day Length and Temperature on the Content of Health-Related Compounds in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *J. Agric. Food Chem.* 61, 10779–10786. doi:10.1021/jf403466r
- Steinmetz, K.A., Potter, J.D., 1991. Vegetables, fruit, II. Mechanisms. *Cancer Causes Control* 2, 427–442.
- Štěpánková, R., Kofronová, O., Tucková, L., Kozáková, H., Cebra, J.J., Tlaskalová-Hogenová, H., 2003. Experimentally Induced Gluten Enteropathy and Protective Effect of Epidermal Growth Factor in Artificially Fed Neonatal Rats. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 36.
- Sumane, S., 2010. Rural Innovation: Formation of New Development Practices. The Case of Biological Agriculture. Riga: University, Latvia.
- Thomas, M., Demeulenaere, E., Dawson, J.C., Khan, A.R., Galic, N., Jouanne-Pin, S., Remoue, C., Bonneuil, C., Goldringer, I., 2012. On-farm dynamic management of genetic diversity: the impact of seed diffusions and seed saving practices on a population-variety of bread wheat: On-farm crop metapopulation of bread wheat. *Evol. Appl.* 5, 779–795. doi:10.1111/j.1752-4571.2012.00257.x
- Torricelli, R., Ciancaleoni, S., Negri, V., 2014. Performance and stability of homogeneous and heterogeneous broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) varieties in organic and low-input conditions. *Euphytica* 199, 385–395. doi:10.1007/s10681-014-1139-8
- Traill, W.B., Arnoult, M.H.P., Chambers, S.A., Deaville, E.R., Gordon, M.H., John, P., Jones, P.J., Kliem, K.E., Mortimer, S.R., Tiffin, J.R., 2008. The potential for competitive and healthy food chains of benefit to the countryside. *Trends Food Sci. Technol.* 19, 248–254. doi:10.1016/j.tifs.2008.01.004
- Turrall, H., Burke, J., Faur, J.M., 2011. Climate change, water and food security (No. 36). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION, Rome.
- Van Leeuwen, C., Bois, B., Cellie, N., Trégoat, O., ROBY, J.-P., 2009. Les modifications de l'expression du terroir induites par le changement climatique nécessitent une adaptation du matériel végétal et des techniques viticoles. *Rev. Fr. Oenologie* 10–14.
- Vasbinder, J.W., Andersson, B., Arthur, W.B., Boasson, M., de Boer, R., Changeux, J.P., Domingo, E., Eigen, M., Fersht, A., Frenkel, D., Rees, M., Groen, T., Huber, R., Hunt, T., Holland, J., May, R., Norrby, E., Nijkamp, P., Lehn, J.M., Rabbinge, R., Scheffer, M., Schuster, P., Serageldin, I., Stuip, J., de Vries, J., van Vierssen, W., Willems, R., 2010. Transdisciplinary EU science institute needs funds urgently. *Nature* 463, 876–876. doi:10.1038/463876a
- Vindras, C., Fourrié, L., Coulombel, A., Konate, K., 2011. Assise RevAB-Recherche-Expérimentation-Valorisation en AB-Synthèse et Rapport Complet (Rapport de synthèse).
- Von Hippel, E., 2005. Democratizing Innovations. MIT Press.
- Walliser, B., 1977. Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes., Seuil. ed.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515. doi:10.1051/agro/2009004

- Willer, H., Kilcher, L., 2011. The World of Organic Agriculture. Statistics and emerging Trends 2011. FiBL-IFOAM Report.
- Witcombe, J.R., 1996. Participatory approaches to plant breeding and selection. *Biotechnol. Dev. Monit.* 29, 2–6.
- Woese, K., Lange, D., Boess, C., Werner Bögel, K., 1997. A Comparison of Organically and Conventionally Grown Foods—Results of a Review of the Relevant Literature. *J. Sci. Food Agric.* 74, 281–293. doi:DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199707)74:3<281::AID-JSFA794>3.0.CO;2-Z
- Wolfe, M., Haigh, Z., Pearce, H., 2009. Développer le potentiel des populations composite: l'exemple du blé. Presented at the Journée techniques Agriculture Biologique et Sélection Végétale, ITAB, Paris, pp. 45–46.
- Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Löschenberger, F., Miedaner, T., Østergård, H., Lammerts van Bueren, E.T., 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163, 323–346. doi:10.1007/s10681-008-9690-9
- Wolf, S., Zikeli, S., Graeff-Hönninger, S., Claupein, W., 2014. Improvement of open pollinating broccoli varieties for organic farming focusing on agronomic parameters, bioactive and sensorial traits. Institut für Kulturpflanzenwissenschaften Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau, Hohenheim.
- Zhao, F., Salmon, S., Withers, P., Monaghan, J., Evans, E., Shewry, P., McGrath, S., 1999. Variation in the Breadmaking Quality and Rheological Properties of Wheat in Relation to Sulphur Nutrition under Field Conditions. *J. Cereal Sci.* 30, 19–31. doi:10.1006/jcrs.1998.0244
- Zhu, J., Khan, K., 2002. Quantitative Variation of HMW Glutenin Subunits from Hard Red Spring Wheats Grown in Different Environments 1. *Cereal Chem.* 79, 783–786.

Table

Between line 109 and 110

Table 45: Wheat samples used for sensory evaluation

Name	Geographic origin	Genotype structure

Raphaël's "mix for bread"	Savoie department (73)	Landrace and old variety mix
Christian's "mix for bread"	Isère department (74)	Landrace and old variety mix
Pascal's "mix for bread"	Haute Loire department (43)	Landrace and old variety mix
Stéphane's "mix for bread"	Loire department (42)	Landrace and old variety mix
Rouge de Bordeaux	Ain department (01)	Landrace
Florence Aurore	Ardèche department (07)	Pure line

Table 46: Formulation for baking test based on flour weight and dough weight

Ingredient	Mass (g)	%/flour	%/dough
Flour	3000	100	30
Water	2100	67	20,1
Salt	55	1,8	0,5
Sourdough	1800	60	18

Table 47: Definition of sensory attributes used for the evaluation of sourdough handmade bread by descriptive test

Sensory attributes	Definition
1-Yeasty	A fermented yeast-like aroma
2-Uncooked flavour	A general term used to describe the aroma of uncooked cereals, such as wheat kernel
3-Sweet	Degree of perceived sweet taste as a basic taste

4-Spicy	Aroma typical of gingerbread (vanillin, ginger, etc.)
5-Resinous wood	Aroma typical of resinous wood, such as cedar
6-Lactic acid	Acidic taste associated with fermented yoghurt
7-Acetic acid	An aroma similar to fermented vinegar
8-Smoky	Smoky taste associated with diced smoked ham
9-Roasted	Aroma typical of roasted cereals
10-Sticky	Textural properties which stick to the teeth
11-Elasticity	Response to stretching
12-Long lasting flavour	Persistence of flavour

Artwork

Between line 190 and 191

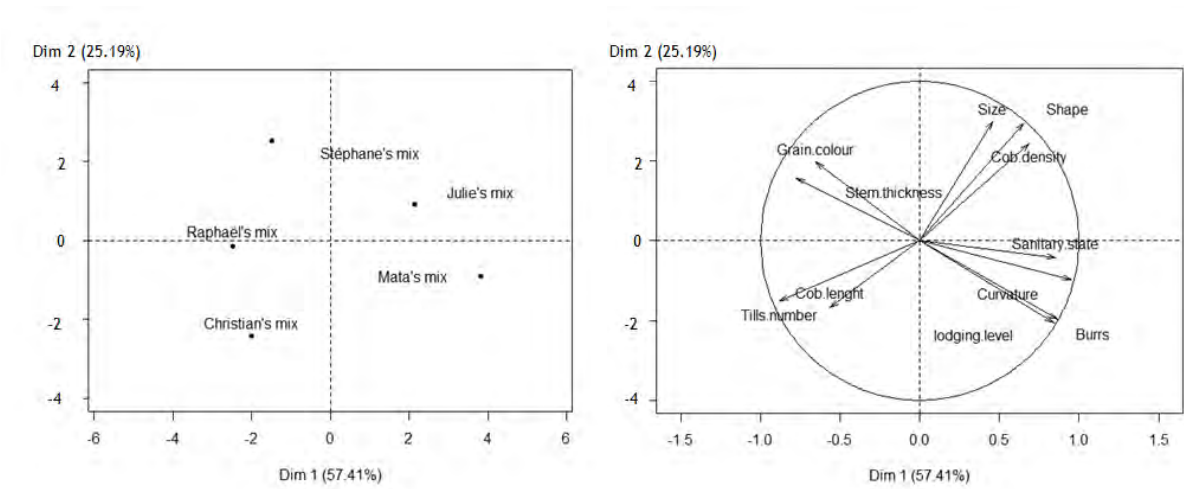


Fig. 97: Loading plot and correlation circle for the two principal components Dim 1 and Dim 2 of the PCA for the morphological characterisation of five farmers “mixes for bread”

Between line 205 and 206

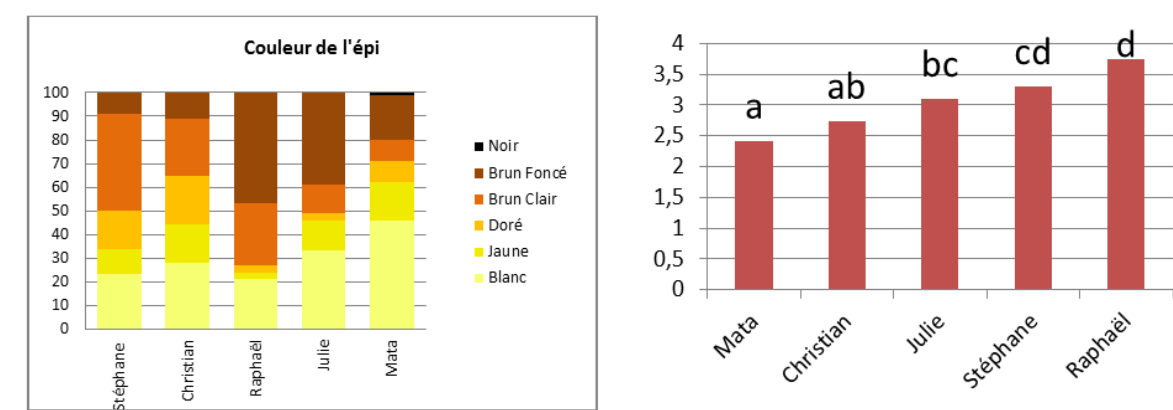


Fig. 98: Mix for bread characterisation on grain colour, descriptive analyses and significant differences

Between line 226 and 227

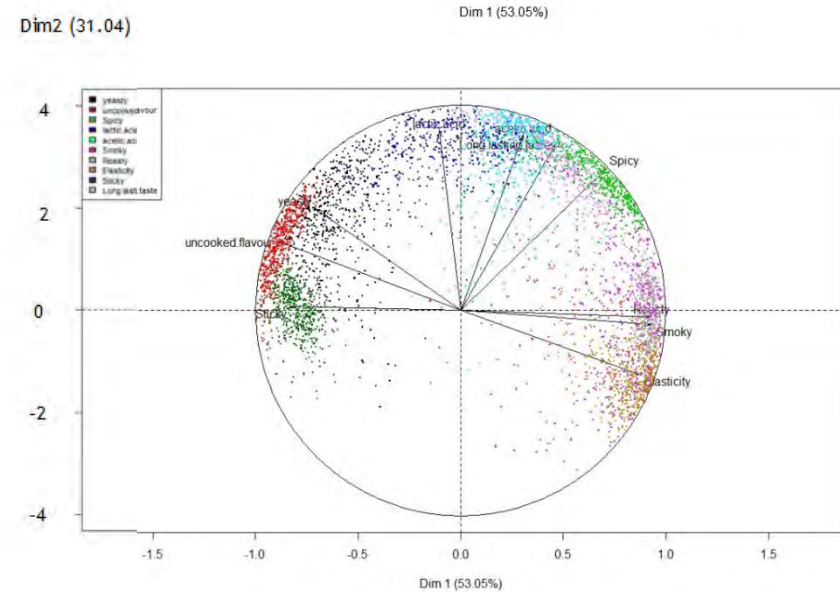
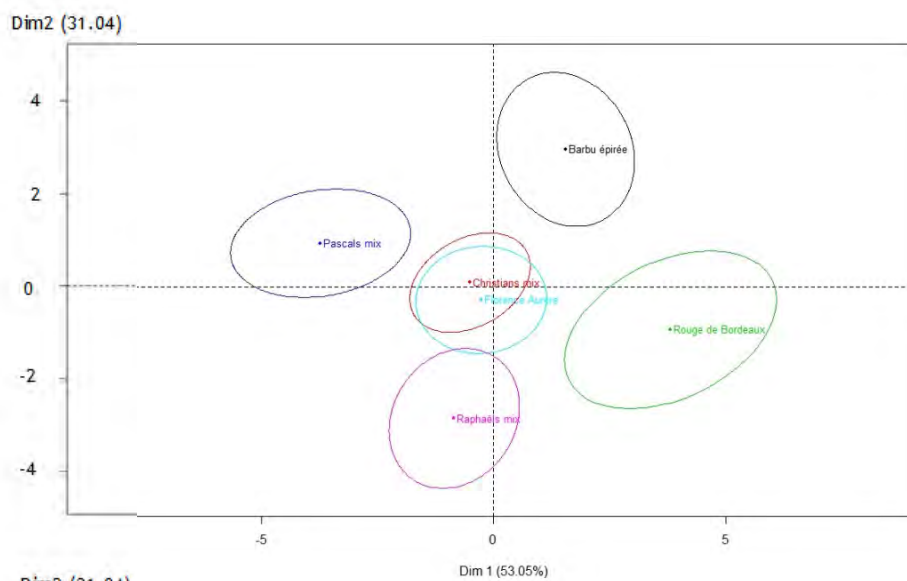


Figure 99: PCA model (bi-plot) of the sensory evaluation values of sourdough wheat bread from different wheat populations and mixes: individual representation and confidence ellipse