



itab

l'Institut de l'agriculture
et de l'alimentation biologiques

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Etude de l'action de Substances Naturelles à Usage Biostimulant (SNUB) sur la germination et la vigueur des semences d'Apiacées (carotte et panais)

Projet GERMINAL

Rapport technique final 2024

Rédaction : Hortense LEJEUNE

Relecture : Pierre L'YVONNET



Préambule réglementaire

Les biostimulants sont des Matières Fertilisantes et Support de Culture (MFSC) décrites dans le point n°3 de l'article L255-1 du Code Rural et de la Pêche Maritime (CRPM) comme des matières dont la fonction, une fois appliquées au sol ou sur la plante, est de stimuler des processus naturels des plantes ou du sol, afin de faciliter ou de réguler l'absorption par celles-ci des éléments nutritifs, d'améliorer leur résistance aux stress abiotiques ou d'améliorer les caractéristiques qualitatives de végétaux. Les Substances Naturelles à Usage Biostimulant (SNUB) possèdent au moins une de ces propriétés et bénéficient, par leur statut de Préparation Naturelle Peu Préoccupante (PNPP) au titre de l'article L253-1 du CRPM, d'une procédure simplifiée d'autorisation fixée par décret.

Les statuts de PNPP et de SNUB sont spécifiques à la législation française et ne trouvent actuellement aucun équivalent réglementaire à l'étranger.

C'est le décret n°2016-532 du 27 avril 2016 qui crée l'article D255-30-1 du CRPM fixant les dispositions particulières liées au statut des SNUB et qui sera modifié par le décret n°2019-329 du 16 avril 2019 pour préciser les dispositions énumérés ci-dessous.

Une SNUB est une substance d'origine végétale, animale ou minérale, à l'exclusion des micro-organismes, non génétiquement modifiée et qui est obtenu par un procédé accessible à tout utilisateur final. Ce procédé correspond à une absence de traitement des matières premières ou un traitement manuel, mécanique, gravitationnel, par dissolution dans l'eau ou dans l'alcool, flottation, extraction par l'eau ou par l'alcool, distillation à la vapeur, ou chauffage uniquement dans le but d'éliminer l'eau. Sont notamment autorisés les procédés tels que la fermentation, la macération, la décoction, l'infusion, ou le pressage.

Il existe 2 listes positives de SNUB.

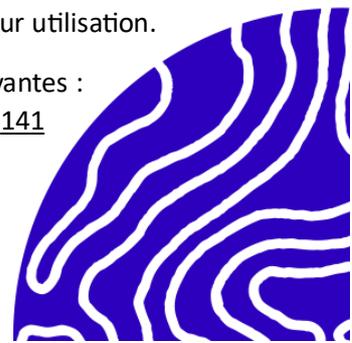
L'une dans l'annexe de l'arrêté du 27 avril 2016 correspondant aux SNUB ayant fait l'objet d'une évaluation par l'ANSES pour garantir donc l'absence d'effet nocif sur la santé humaine, animale et sur l'environnement. Actuellement cette liste contient la prêle des champs (parties aériennes en décoction et infusion) et le saule (écorce et tiges en infusion) suite à une modification par l'arrêté du 23 septembre 2022.

L'autre concerne les plantes ou parties de plantes médicinales inscrites à la pharmacopée et listées dans l'article D4211-11 du Code de la Santé Publique (CSP) qui, dans sa version en vigueur depuis le 27 août 2008, comprend 141 plantes ou partie de plantes.

Des dispositions particulières sont fixées pour des SNUB issues de parties consommables de plantes utilisées en alimentation animale ou humaine qui ne seraient pas dans l'article D4211-11 du CSP. Ces SNUB sont dispensées de l'évaluation prévue par l'ANSES, lorsqu'elles entrent dans la composition d'une PNPP conforme à un cahier des charges approuvé par le ministre chargé de l'agriculture après avis de l'ANSES. Ce cahier des charges a été approuvé par l'arrêté du 14 juin 2021.

Ce cahier des charges précise que les SNUB issues de parties consommables de plantes utilisées en alimentation animale ou humaine doivent présenter un effet biostimulant reconnu par un savoir ancestral ou étayé par des tests ou essais documentés. Il précise également les restrictions quant aux matières premières utilisables, leur préparation, leur éventuelle mise sur le marché et leur utilisation.

Ainsi, la liste complète des SNUB regroupe près de 1200 espèces, issues des cinq listes suivantes : les espèces de plantes entrant dans le cahier des charges plantes consommables, les 141



plantes de la pharmacopée autorisées pour l'usage SNUB, les plantes autorisées comme compléments alimentaires autorisées par le Règlement européen n°1831/2003 et par l'arrêté du 24 juin 2014, ainsi que les listes de la DGCCRF (Direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes) concernant les algues et les plantes pouvant être employées dans les compléments alimentaires.

Contexte du projet

L'intérêt grandissant des Français pour les légumes-racines se traduit par une hausse de leur consommation entre 2019 et 2020 (Ctifl et Interfel, 2020). Une partie de ces légumes-racines englobe la famille des Apiacées (anciennement Umbellifères). La carotte, le céleri, le fenouil, le persil, ou encore le panais font partie de cette famille. Le principal défaut de ces cultures est leur faculté germinative, défaut constaté par les producteurs eux-mêmes ainsi que les scientifiques, en particulier pour les graines de carottes (*Daucus carota*) et de panais (*Pastinaca sativa*). Pour le cas du panais, le taux de germination n'excède que rarement les 85%.

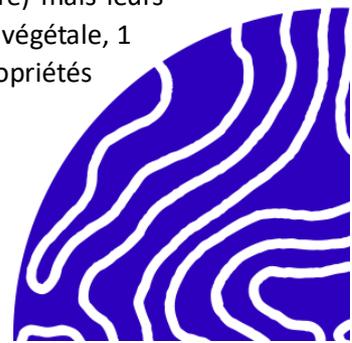
Cette propension à un faible taux de germination, et donc de levée, conduit les agriculteurs à observer une irrégularité d'occupation du sol, au profit des adventices, voire à ressemer, doublant par conséquent le coût du semis. Pour remédier à cette problématique, le projet Germinal, financé par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire au cours de la saison 2023, s'est penché sur l'action des Substances Naturelles à Usage Biostimulant (SNUB) afin d'améliorer la germination et la vigueur de ces semences. Ce rapport technique résume les expérimentations menées, les résultats obtenus, ainsi que les implications pour les producteurs (en bio ou en conventionnel), les conseillers, mais aussi les jardiniers amateurs.

Les Substances Naturelles à Usage Biostimulant

Les solutions actuellement accessibles pour favoriser la germination des semences sont les produits biostimulants, nécessitant une autorisation de mise sur le marché (AMM), ainsi que les traitements de prégermination, réalisés par les semenciers en amont de la commercialisation des semences (les graines ainsi traitées sont commercialisées sous l'appellation « prégermées »), et dont la composition et la préparation restent inconnues de l'acheteur. Ces solutions représentent un coût supplémentaire souvent non-négligeable, en particulier pour le cas de semences prégermées.

Le principal intérêt des SNUB est qu'ils ne nécessitent pas d'AMM et peuvent être préparés à partir de matières premières naturelles (d'origine végétale, animale ou minérale) en utilisant des processus simples (mécaniques, thermiques...). Le préparateur/utilisateur a la possibilité de se procurer les matières premières auprès de fournisseurs qui les commercialisent, mais également de les obtenir soi-même en les récoltant dans leur milieu naturel (en particulier pour le cas de substances d'origine végétale), représentant des économies en termes d'intrants. A contrario des produits avec AMM, les SNUB sont soumis à très peu de restriction d'utilisation du fait de leur caractère de PNPP. Ainsi, il est possible de les appliquer sur toutes cultures, avec différents modes d'application (aspersion foliaire, trempage de semences, incorporation au sol...).

Actuellement, les SNUB présents dans les listes positives (voir § Contexte réglementaire) mais leurs propriétés biostimulantes restent à tester. Dans le cadre de ce projet, 8 SNUB d'origine végétale, 1 SNUB d'origine minérale et 3 SNUB d'origine animale ont été testées pour leurs propriétés biostimulantes sur la germination des graines de carotte et de panais.



Problématiques, hypothèses et intérêt de l'étude

Tester ces substances en les utilisant en trempage de semences constituerait la méthode optimale pour évaluer leur impact sur les caractéristiques de germination. Par conséquent, l'étude porte sur leur effet en trempage de semences.

L'efficacité des SNUB pourrait dépendre de leur concentration, du temps de trempage et des variétés. Dans cette étude exploratoire, les effets de la concentration et du temps de trempage n'ont pas été évalués en raison de contraintes de temps et contraintes matérielles.

Pour le panais et la carotte, deux problématiques sont ressorties :

Quelle(s) SNUB utilisée(s) en trempage de semences a (ont) un effet positif sur la germination des semences de panais et la vigueur des jeunes plants au champ, sur différentes variétés ?

Dans quelle mesure et sous quelles conditions les Substances Naturelles à Usage Biostimulant permettent-elles d'améliorer les caractéristiques de germination et de levée des graines de carottes ?

Les principales hypothèses identifiées pour répondre à ces problématiques sont les suivantes :

- Les SNUB utilisées en trempage des semences ont un effet bénéfique sur la germination, la levée et la vigueur du panais
- Une germination plus rapide signifie une meilleure capacité de compétition avec les adventices chez la carotte
- L'efficacité des SNUB dépend des variétés de carotte et de panais.

Les bénéfices potentiels de cette étude pour les agriculteurs résident dans le fait que les SNUB ont le potentiel d'améliorer les capacités germinatives des semences. Cette amélioration se traduirait par une réduction des coûts liés au semis, notamment en éliminant le besoin d'un second semis. De plus, elle pourrait entraîner une amélioration de la levée des cultures, offrant ainsi la possibilité d'augmenter la densité des cultures et d'obtenir un rendement global plus élevé. En envisageant l'autoproduction de SNUB, les agriculteurs pourraient également réduire leur dépendance à l'achat de produits biostimulants, ce qui favoriserait une plus grande autonomie en termes d'intrants.

Matériel et méthodes

SNUB et variétés

L'essai sur semences de carotte a été mené à la station Awen Bio du Lycée Agricole de Suscinio à Morlaix (Finistère), tandis que l'essai sur semences de panais a été mené sur le site expérimental du GRAB (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique) à Avignon (Vaucluse).

Quatre variétés de panais et quatre variétés de carotte ont été retenues, selon les ventes des semenciers implantés au Finistère et en région PACA (voir Tableau 1). Pour chaque espèce, ont été choisies deux variétés population (également appelées paysannes) et deux variétés hybrides.

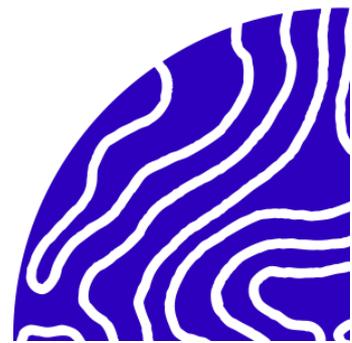


Tableau 1 : variétés de panais et carotte sélectionnées

	Variétés population	Variétés hybrides
Variétés carotte	Rodelika Rouge sang	Naval F1 Yaya F1
Variétés panais	Demi-long de Guernesey Tender & True	Albion F1 Gladiator F1 (+ lot de graines prégermées)

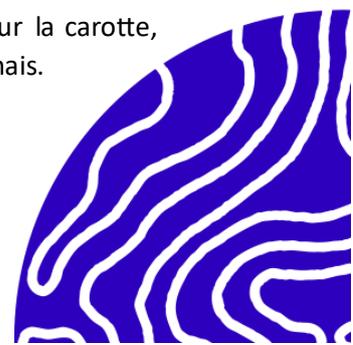
De plus, afin de comparer l'effet des SNUB avec un traitement de prégermination proposé par les semenciers, un lot de graines prégermées (variété de panais Gladiator F1) a également été testé.

Un screening initial (essais de germination en conditions laboratoire) a été mené avec une dizaine de SNUB préalablement sélectionnées (par prospection dans la littérature scientifique) pour leur effet biostimulant sur la germination des semences d'apiacées (ou autres espèces maraîchères en l'absence d'informations), dans le but d'identifier les substances ayant un effet bénéfique sur la germination (vitesse ou/et taux de germination). Le Tableau 2 résume les informations liées aux substances sélectionnées (noms, préparations, concentrations utilisées).

Tableau 2 : Liste des SNUB sélectionnées et testées en trempage des semences de carotte et panais

Origine de la substance	Nom de la substance	Nom scientifique	Préparation	Concentration utilisée	Espèces expérimentées
Végétale	Saule/osier	<i>Salix</i> spp. cortex	Infusion 15 min	20 g/L	Carotte & panais
	Ortie	<i>Urtica</i> spp.			Carotte & panais
	Prêle	<i>Equisetum arvense</i>			Carotte & panais
	Algues goémon noir	<i>Ascophyllum nodosum</i>		1 g/L	Carotte & panais
	Moringa	<i>Moringa oleifera</i>		3 g/L	Carotte & panais
	Yucca	<i>Yucca schidigera</i>		0,8 g/L	Carotte & panais
	Pollen de cerisier	<i>Prunus</i> subg. <i>Cerasus</i>	Dilution dans l'eau	10 g/L	Carotte & panais
	Extrait de grains de maïs	<i>Zea mays</i>	5g de grains secs broyés dissous dans 100 mL d'eau	50 g/L	Carotte uniquement
	Huile essentielle de menthe des champs	<i>Mentha arvensis</i>	Dilution 100µL dans 100 mL d'eau	0,005 mL/L	Carotte uniquement
Minérale	Léonardite	/	Dilution	15 g/L	Carotte & panais
Animale	Chitosan(e)	/	Dilution dans l'eau, enrobage des graines	20%	Carotte & panais
	Farine de plumes	/	Dilution dans l'eau	20 mg/L	Carotte & panais
	Poudre d'os	/		150 mg/L	Carotte & panais
/	Eau	/	/	/	Carotte & panais

Chaque SNUB a été testée sur 4 variétés de carotte et 4 variétés de panais, excepté l'extrait de grains de maïs et l'huile essentielle de menthe des champs qui n'ont été testés que sur la carotte, représentant ainsi un total de 56 couples variété/SNUB pour la carotte, et 53 pour le panais.



Zoom sur la taille des semences de panais

Après l'obtention des semences de panais, une observation a été faite concernant les variétés population : la taille des semences est très variable au sein même d'une variété (voir Figure 1 ci-contre). Cette variabilité n'a pas été observée pour les lots de semences hybrides, car ils sont préalablement triés par taille avant commercialisation.

La largeur de ces graines varie de l'ordre de quelques millimètres. Deux tamis de 4,5 et 5,5mm ont été utilisés pour trier les semences. Pour chaque variété, après homogénéisation du lot de semences, 20g ont été tamisés, et les proportions de chaque classe de taille ont pu être mesurées par pesée des graines.

Les classes de taille correspondantes sont les suivantes :

< 4,5mm (classe A)
Entre 4,5 et 5,5mm (classe B)
≥ 5,5mm (classe C)

Pour chaque classe de taille et par variété, le même protocole que l'essai laboratoire a été mené (à l'exception du trempage des semences dans les substances ou dans l'eau) afin de déterminer s'il y a un effet significatif de la taille des semences sur les caractéristiques de germination (vitesse et taux). Par souci de temps et de place disponible pour l'essai sous tunnel, l'effet de la taille des graines sur la levée des panais n'a pas pu être testé.

Essais de germination en laboratoire (screening)

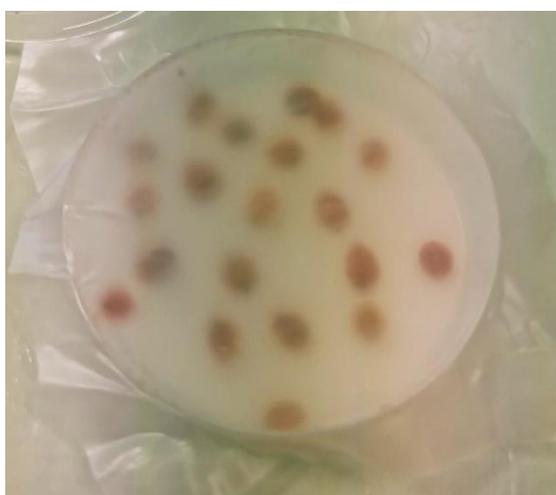


Figure 2 : Disposition des graines (exemple pour le panais) dans une boîte de pétri recouverte de film étirable

Les SNUB ont été utilisées en trempage des semences pendant 24h pour le panais, 2h pour la carotte (différence justifiée par la différence de taille des semences), à température ambiante (à l'exception du chitosan qui a été utilisé en enrobage, et des semences prégermées de la variété de panais Gladiator F1), puis les graines ont été extraites de leur solution de trempage avant d'être disposées quelques heures sur du papier absorbant pour sécher.

Un total de 30 graines a été disposé sur deux couches superposées de papier filtre, dans chaque boîte de pétri (diamètre 55 mm). Une boîte correspond à une répétition, et pour chaque couple variété / produit, quatre répétitions ont été réalisées (à minima). Le témoin consistait en un semis des graines n'ayant pas subi de trempage (graines directement sorties du lot de semences). Une modalité de trempage dans l'eau du robinet a également été testée, pour évaluer l'effet de l'absorption de l'eau.

Les graines ainsi disposées dans les boîtes sont ensuite aspergées d'eau du robinet (3 pulvérisations par boîte à l'aide d'un spray, soit l'équivalent de 2 mL environ). Afin de limiter l'évaporation de l'eau, chaque boîte a été recouverte de film étirable (Figure 2).

Les boîtes ont été disposées dans un incubateur à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, à l'abri de la lumière.



Figure 1 : Graines de tailles différentes pour les variétés Demi-long de Guernesey (haut) et Tender and True (bas)

Notations effectuées et analyses statistiques (germination)

Le nombre de graines germées par boîte a été noté quotidiennement. Une graine est considérée comme « germée » dès lors que la radicule (émergence de la racine) est visible. Les notations de germination prennent fin après 8 jours pour la carotte, et 19 jours pour le panais, après le semis dans les boîtes. Le MGT (median germination time), correspondant au temps (en jours) nécessaire à la germination de la moitié de l'échantillon de graines, a été calculé pour chaque modalité. Il correspond également au t50 d'une cinétique de germination. Un MGT faible se traduit par une rapidité de germination.

Une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (variétés et substances) a été réalisée sur les MGT par modalité, suivie d'un test post-hoc afin de déterminer les groupes statistiques et identifier les modalités qui diffèrent du témoin, et donc les substances efficaces sur la germination (vitesse ou taux). Ces analyses permettent également d'identifier une potentielle interaction entre les facteurs.

Essais menés au champ

Les expérimentations terrain ont été menées sous tunnel pour le panais (Figure 3) et en plein champ (limon sablo-argileux) pour la carotte (Figure 4), à la suite des essais labo (conditions contrôlées) réalisés en amont. Les cultures ont été irriguées régulièrement, l'hygrométrie et la température du sol ont été suivis.



Figure 3 : Disposition de l'essai mené sous tunnel (panais)

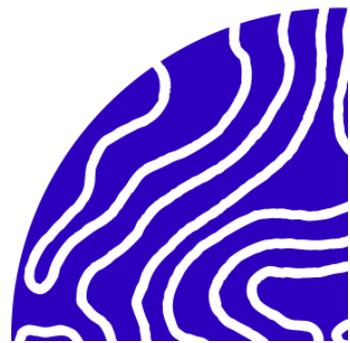


Planche 1 = bloc I			Planche 2 = bloc II			Planche 3 = bloc III			N°	SNUB	Variété	N°	SNUB	Variété
Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 1	Rang 2	Rang 3	1	Chitosan	Demi-long de Guernesey	27	Chitosan	Gladiator F1
41	43	39	13	18	19	7	53	48	2	Témoin eau		28	Témoin eau	
21	44	22	12	28	5	49	25	20	3	Léonardite		29	Léonardite	
52	31	1	9	47	35	33	30	42	4	Poudre d'os		30	Poudre d'os	
29	50	23	40	10	37	6	38	45	5	Farine plumes		31	Farine plumes	
3	46	24	16	27	26	36	32	8	6	Pollen cerisier		32	Pollen cerisier	
17	15	51	1	4	2	14	11	34	7	Témoin non trempé		33	Témoin non trempé	
34	7	32	23	29	50	35	13	47	8	Algues		34	Algues	
45	36	25	1	4	2	2	9	10	9	Prêle		35	Prêle	
48	14	30	22	41	46	5	40	4	10	Moringa		36	Moringa	
42	6	53	39	52	44	26	12	27	11	Saule		37	Saule	
8	33	11	51	3	43	37	16	28	12	Ortie		38	Ortie	
27	49	38	24	17	31	19	18	41	13	Yucca		39	Yucca	
20	35	9	32	21	15	46	24	3	14	Chitosan	40	Chitosan		
4	19	13	30	20	7	15	23	17	15	Témoin eau	41	Témoin eau		
28	26	40	53	48	49	43	51	29	16	Léonardite	42	Léonardite		
18	2	16	38	45	33	44	39	52	17	Poudre d'os	43	Poudre d'os		
10	37	12	11	8	6	43	51	29	18	Farine plumes	44	Farine plumes		
47	5		25	34	14	31	22	21	19	Pollen cerisier	45	Pollen cerisier		
			36	42		50	1		20	Témoin non trempé	46	Graines prégermées		
									21	Algues	47	Témoin non trempé		
									22	Prêle	48	Algues		
									23	Moringa	49	Prêle		
									24	Saule	50	Moringa		
									25	Ortie	51	Saule		
									26	Yucca	52	Ortie		
											53	Yucca		

Figure 4 : Plan de l'essai réalisé sous tunnel (panais)



Figure 5 : Disposition de l'essai mené au champ (carotte)



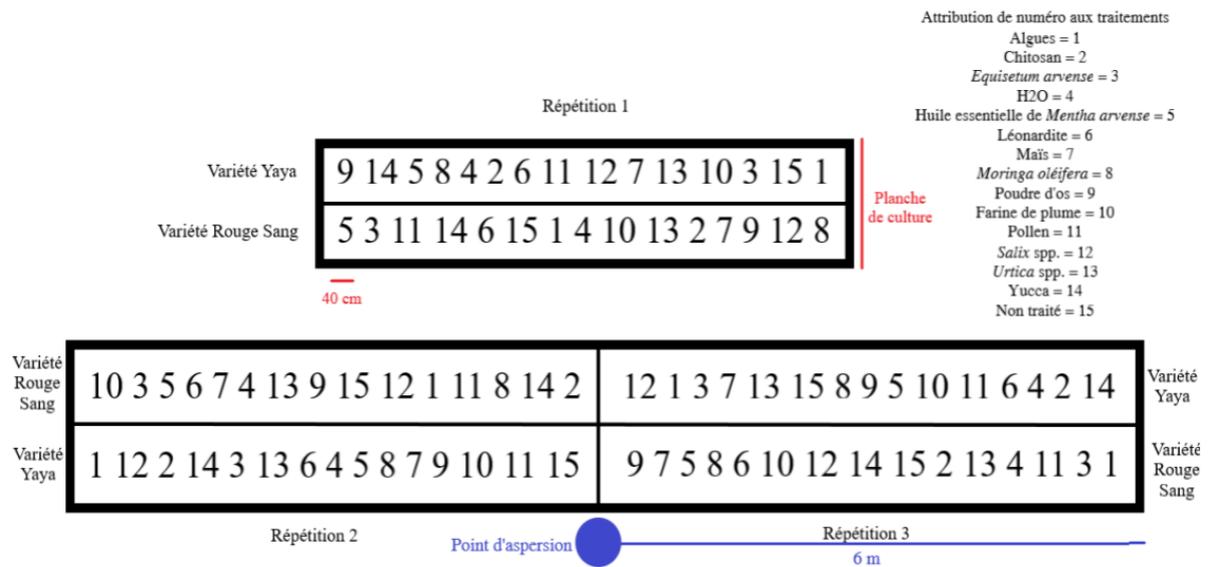


Figure 6 : Plan de l'essai réalisé en plein champ (carotte)

La préparation des semences est identique aux essais laboratoire, à savoir : trempage 24h (panais) ou 2h (carotte) dans les SNUB, puis séchage quelques heures sur du papier absorbant avant semis, la modalité témoin consistant en un semis des graines non trempées, sorties du sachet de semences. Par souci de matériel et de précision de semis, les graines ont été semées manuellement (à une profondeur d'une phalange, soit 1 à 2 cm de profondeur).

Pour la carotte, le semis a eu lieu en date du 19 juin 2023. Chaque modalité a été répartie sur deux lignes de 40 cm avec une densité de semis de 100 graines/mètre linéaire, soit environ 80 graines (0,14g) semées par modalité. Pour le panais, le semis a eu lieu le 17 mai 2023, et chaque modalité a été répartie sur 1 mètre linéaire, avec une densité de semis de 33 graines/mètre linéaire.

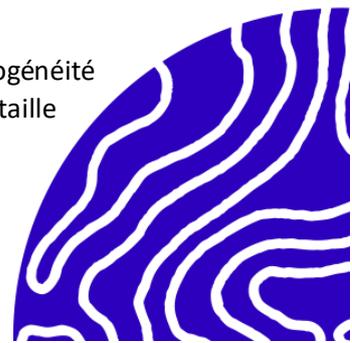
La répartition des modalités consistait en une randomisation sur trois blocs. Pour la carotte, seules deux variétés ont été retenues : Yaya F1 et Rouge sang, en fonction des résultats obtenus lors du screening. Pour le panais, les quatre variétés ont été testées. Les modalités ont été réparties de manière aléatoire sur chaque bloc, tout en veillant à ce que chaque modalité se situe sur une ligne différente (gauche, milieu ou droite sur la planche) et à une profondeur de tunnel différente d'un bloc à l'autre. Les plans de chaque essai sont représentés en Figures 5 et 6.

Notations effectuées et analyses statistiques (levée)

Une graine est considérée comme « levée » dès l'apparition des cotylédons.

Panais : pour chaque modalité, les plantules de panais ont été comptées dès leur apparition, et le pourcentage de levée est déduit à partir de la densité de semis au mètre linéaire (33 graines/ml). S'agissant de pourcentages, un modèle linéaire généralisé (GLM) suivi d'un test post-hoc a pu être réalisé afin d'identifier des différences statistiques.

Des notations liées à la vigueur des jeunes plants ont également été effectuées : homogénéité des plantules sur le rang (stades phénologiques, répartition homogène ou hétérogène), taille



des feuilles (petite ou grande) et épaisseur de la tige (fine ou épaisse). Ces notations consistaient en une note de 1 à 5 attribuée au rang. Les données ont été traitées à l'aide d'une ANOVA.

Carotte : le nombre de plants pour chaque modalité a été compté sur une surface de 0,2m² (à l'aide d'un quadrat de 40*50cm). Les adventices y ont été dénombrées également. Le ratio nombre d'adventices/nombre de plantules de carotte a été calculé. Une ANOVA a été réalisée sur ces ratios, suivie d'un test post-hoc afin d'identifier les groupes statistiques.

Pour les deux espèces, les notations ont pris fin quelques jours après la levée, car l'étude n'avait pas pour but d'identifier des SNUB utilisées en trempage des semences, ayant un impact jusqu'à la récolte.

Tous les traitements de données ont été réalisés à l'aide de l'outil RStudio.

Synthèse des résultats

Effet des SNUB sur la germination (laboratoire) et la levée (champ)

Aucune différence n'a pu être observée concernant l'effet des SNUB sur la vitesse de levée du panais : les modalités ont toutes levé le 19^e jour après le semis (correspondant au 5 juin 2023). Par conséquent, il n'y a pas eu d'effet des SNUB sur la vitesse de levée du panais.

Sur carotte, deux notations ont pu être faites à deux dates différentes : l'une à j+8 post-semis (27 juin) et l'autre à j+14 (3 juillet). Il a été noté que les différences observées à j+8 s'étaient atténuées à j+14, autrement dit le retard qu'ont pu prendre certaines graines a été rattrapé.

Les résultats ont mis en évidence un **effet variétal** et un **effet des SNUB**, sur carotte comme sur panais, ainsi que l'interaction entre ces deux facteurs : cela se traduit par la présence **d'une interaction génotype-environnement**. Autrement dit : certaines variétés sont plus sensibles aux produits utilisés en trempage (facteur environnemental), en comparaison aux autres variétés. Entre autres, la variété Tender and True (panais) semble plus sensible à l'utilisation de SNUB en trempage de semences.

Les substances ayant montré un effet sur les caractéristiques de germination et de levée par rapport au témoin non trempé sont regroupées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Synthèse de l'efficacité des SNUB testées en fonction des variétés d'Apiacées expérimentées

Variété	SNUB efficaces sur la germination (% de graines germées en laboratoire)	SNUB efficaces sur la vitesse de germination (MGT en h ou j)	SNUB efficaces sur la levée (% de graines levées au champ)
Demi-long de Guernesey (population panais)	Pollen de cerisier (+ 16 pts) , algues, saule, yucca	<i>Pas d'effet significatif des SNUB sur la vitesse de germination du panais</i>	Moringa, ortie, prêle, pollen de cerisier
Tender and True (population panais)	Moringa		Chitosan, pollen de cerisier, algues, prêle, léonardite, moringa, ortie
Albion F1 (hybride panais)	Léonardite (+ 15 pts) , pollen de cerisier, algues, prêle		Ortie (+ 34 pts) , prêle



Gladiator F1 (hybride panais)	Algues		Moringa (+ 25 pts), pollen de cerisier (+ 22 pts), chitosan, saule
Carotte (toutes variétés confondues : Rodelika, Rouge sang, Naval F1 et Yaya F1)	Extrait de grains de maïs, chitosan, moringa (+20 pts)	Saule (- 60h) , ortie, yucca, léonardite, moringa	Léonardite, ortie, poudre d'os <i>Variétés Rodelika et Naval F1 non testées au champ</i>

En **gras**, les SNUB pour lesquelles un **effet significatif** a été observé par rapport au témoin non trempé (*p*-value inférieure au seuil de confiance de 5%), les valeurs entre parenthèses correspondent à la différence par rapport au témoin non trempé. En écriture normale, les SNUB d'intérêt mais qui n'ont pas eu d'effet significatif par rapport au témoin non trempé. Elles ont été notées dans ce tableau car elles ont permis (en fonction des données) une augmentation de la germination de minimum 10 pts, une diminution de la vitesse de germination (MGT) de 40 heures minimum, ou une augmentation de levée de minimum 10 pts (par rapport au témoin non trempé).

On remarque que les substances ayant eu un effet, significatif ou non, sur la germination (vitesse ou taux) ne sont pas forcément celles ayant eu un effet, significatif ou non, sur la levée. De plus, les substances efficaces sur une variété ne sont pas forcément efficaces sur une autre, même entre espèces. Ceci est la conséquence de l'interaction génotype-environnement. Toutefois, le pollen de cerisier, l'extrait d'algues, la léonardite, l'infusion d'ortie et l'infusion de moringa semblent avoir un intérêt, à la fois sur la germination et sur la levée des panais et des carottes.

N'ont pas été présentés dans ce rapport technique les résultats traitant des notations réalisées sur les caractéristiques de vigueur du panais (épaisseur des tiges, taille des feuilles, homogénéité globale sur le rang), car aucune différence significative n'a été observée (autre qu'un simple effet variétal sans effet des SNUB qui n'était pas l'objet de cette étude), de même que les résultats de ratios adventices/carottes. Les effets sur la vigueur de la carotte n'ont pas été notés.

Effet de la taille des graines de panais sur la vitesse de germination

Les proportions obtenues (pourcentage de la masse totale de l'échantillon) par variété sont présentées en Figure 5.

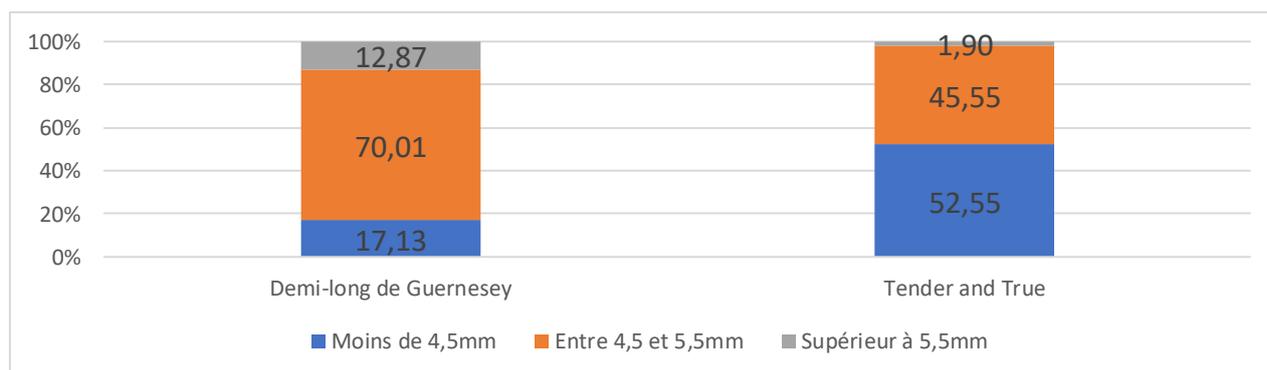


Figure 4 : Proportion (%) obtenus par pesée) des classes de taille des semences de panais (variétés population)

La variété Tender and True comprend beaucoup plus de semences de petite taille par rapport à la variété Demi-long de Guernesey (52% contre 17%, respectivement). En opposition, la variété Demi-long de Guernesey comprend plus de semences de grande taille que la variété Tender and True, dont la proportion est négligeable (moins de 2%).

Largeur des graines	Variété ½ long de Guernesey	Variété Tender and True
Moins de 4,5 mm	10,9 jours (groupe C)	10,5 (groupe B)
Entre 4,5 et 5,5 mm	12,5 jours (groupe B)	10,6 (groupe B)
Plus de 5,5 mm	13,7 jours (groupe A)	11,1 (groupe A)

Figure 5 : Résultats du test post-hoc (groupes homogènes A, B et C) réalisé sur le modèle linéaire du temps moyen de germination (MGT en jours) par variété

Un minimum de 10j est nécessaire pour la germination de la moitié des graines de panais, quelle que soit la variété. On remarque que pour les deux variétés, les semences de plus grande taille (classe C, largeur supérieure à 5,5mm) prennent significativement plus de temps pour germer que les semences de petite taille (classes A et B, largeur au moins inférieure à 5,5mm). Cette différence est d'autant plus marquée pour la variété Tender and True, car chaque classe de taille fait partie d'un groupe statistique différent. Nous pouvons donc conclure que contrairement à ce qui a été observé dans la littérature scientifique, ce sont **les semences de panais de petite taille qui germent en moyenne plus rapidement**. Cette différence est peut-être due à un faible stockage d'éléments nutritifs des petites graines, les incitant à rapidement germer pour combler les réserves qu'elles n'ont pas à disposition.

Conclusion

Les recherches menées sur les SNUB sont encore trop peu nombreuses. Pourtant, l'accès à ces substances et leur utilisation sont facilités, du fait que la liste contienne, pour une très grande majorité, des substances destinées à l'alimentation humaine ou animale, facilement disponibles, et que leur préparation soit accessible à tout utilisateur final. Le principal frein à leur utilisation est que leurs effets sont peu étudiés, ou peu mis en avant, à l'exception de quelques substances (ortie, prêle, consoude, fougère...).

Le projet Germinal a permis de noter l'effet variétal, et a également permis d'identifier un effet significatif de la taille des semences de panais sur leur vitesse de germination. Contrairement à ce que dit la littérature, qui suggère que les semences de grande taille ont de meilleures capacités germinatives (vitesse de germination), nos observations sur les variétés expérimentées ont montré l'inverse : la moitié des semences de petite largeur (inférieure à 4,5mm) a germé en moyenne en 10 jours, alors que cette durée atteint les 14 jours pour des semences de plus grande largeur (supérieure à 5,5mm). Ces observations n'ont pas pu être faites sur les lots de semences de panais hybrides, car ces lots sont préalablement triés par taille avant commercialisation, de même que les semences de carotte, du fait de leur taille très réduite.

Nous avons pu identifier quelques substances intéressantes pour leur effet sur la levée de la carotte et du panais : pollen de cerisier dilué dans l'eau, infusion d'algues de type goémon noir, dilution de léonardite, chitosan, et infusions d'ortie et de moringa. Il serait pertinent de tester d'autres concentrations de ces substances, pour identifier un éventuel effet dose (notamment en la doublant, ou en la diminuant par deux).

Notons également qu'il est primordial de respecter la viabilité des semences (un an maximum pour le panais, 4 à 5 ans pour la carotte) afin d'assurer un rendement minimal, les capacités germinatives de semences plus âgées étant fortement diminuées.



Suites à donner au projet Germinal

Différentes pistes seraient à creuser :

- SNUB sur des semences sénescents de panais :
 - Étudier l'effet des SNUB sur des semences de panais qui ont dépassé une année de stockage, en évaluant la germination, la vigueur des plants et la qualité de la récolte.
 - Analyser si les SNUB peuvent améliorer la germination des semences vieilles et contribuer à la production de plantes viables et turgescentes.
- SNUB sur toute la durée de la culture :
 - Étendre les essais en utilisant les SNUB tout au long du cycle de culture, du trempage des semences à la récolte.
 - Investiguer les effets potentiels du traitement foliaire et du traitement du sol avec les SNUB sur la croissance des plantes, la résistance aux maladies et la qualité des fruits ou légumes récoltés.
- Tester différents temps de trempage :
 - Explorer l'influence de différentes durées de trempage des semences avec les SNUB pour déterminer le temps optimal qui maximise les bénéfices en termes de taux de germination.
- Effet de la taille des semences sur la germination :
 - Réaliser des essais spécifiques sur des semences de carotte (ou autres espèces potagères) en utilisant un matériel de tri adapté pour sélectionner des semences de taille inférieure à celles du panais.
 - Explorer si la taille des graines a un impact sur la vitesse de germination et la croissance des plants.
- Expérimenter d'autres variétés, notamment les carottes :
 - Élargir les expériences en testant les SNUB sur diverses variétés de carottes pour évaluer la polyvalence des effets observés.
 - Comparer les résultats obtenus avec les différentes variétés pour identifier des tendances générales ou des spécificités.
- Tester les SNUB sur des semences d'autres espèces potagères :
 - Étendre la portée des essais en incluant des semences d'autres espèces potagères courantes pour évaluer la généralisation des résultats obtenus avec le panais.
- Tester d'autres PNPP (SNUB ou substances de base, ou candidates) :
 - Comparer l'efficacité des SNUB avec d'autres produits non phytopharmaceutiques (PNPP) ou des substances de base, en explorant des alternatives potentielles ou en combinant différents traitements pour optimiser les résultats.
- Tester l'efficacité des SNUB en conditions de stress abiotique
 - Réaliser des essais en conditions de stress hydrique après implantation de la culture (l'étude du stress hydrique sur la germination ne serait pas pertinente).

Chaque piste à creuser permettrait de mieux comprendre les effets des SNUB sur la germination et la croissance des espèces potagères, et ainsi promouvoir ces substances auprès des utilisateurs (professionnels comme particuliers).

