



TOLERANCE VARIETALE AU STRESS HYDRIQUE EN SOJA (VARIETES TARDIVES)

**Adaptation de l'itinéraire
technique du soja en dehors
de sa zone de production
« traditionnelle »**

Par Cécile Le Gall (Terres Inovia), Enguerrand
Burel, (CREABio) Jean Champion (CA 26),
Laurence Fontaine (ITAB)

Mai 2019

CONTEXTE : OPTIMISER LES PERFORMANCES DU SOJA CONDUIT EN SEC

Le soja est actuellement le premier oléoprotéagineux cultivé en agriculture biologique : avec 17 612 ha certifiés bio en 2017, il détrône le tournesol (16 148 ha certifiés bio) et la féverole (10 033 ha certifiés bio). La teneur en protéines de ses graines, ainsi que leur profil en acides aminés (forte teneur en lysine) en font une matière première de choix pour l'alimentation des monogastriques.

La culture du soja est cependant actuellement inégalement répartie sur le territoire, la majeure partie de la production étant concentrée sur le Sud de la France et en particulier le Gers (6400 ha en 2017). C'est une culture « pilier » des rotations des exploitations de grandes cultures biologiques car c'est une culture rémunératrice et une légumineuse, soit un bon précédent pour les cultures exigeantes en azote telles que le blé ou le maïs.

Sur ces territoires, le soja est conduit à la fois en conditions irriguées et non irriguées, avec une répartition relativement égale entre les deux modes de production (60% en irrigué / 40% en non irrigué – enquête Terres Inovia / ITAB 2017). Or, les performances du soja sont très dépendantes de son alimentation en eau pendant les stades clés, c'est-à-dire de la floraison à la fin du remplissage ; en général, la conduite « en sec » conduit à une perte de rendement de 30% à 50%, ainsi qu'à une baisse de la teneur en protéines si le stress hydrique intervient tardivement. L'identification de leviers permettant d'améliorer les performances du soja en sec est donc un enjeu majeur pour les producteurs bio, et les acteurs de la filière bio de manière globale.

PROBLEMATIQUE : EXISTE-T-IL UNE MEILLEURE TOLERANCE AU STRESS HYDRIQUE POUR CERTAINES DES VARIETES DE SOJA ACTUELLEMENT COMMERCIALISEES ?

L'un des leviers identifié pour optimiser les performances du soja conduit en sec est le choix variétal. En effet, il a déjà été mis en évidence dans des travaux de recherche qu'il existait des différences de réponse au stress hydrique du soja (Calmés et al, 1985, Silvente et al, 2012). Néanmoins, les références existantes sur la tolérance au stress hydrique des variétés de soja actuellement commercialisées sont très restreintes et ne nous permettent pas d'identifier des variétés qui seraient plus « robustes » que d'autres. Par ailleurs, l'évaluation variétale conduite en soja (en conventionnel et en bio) est faite aujourd'hui « à l'optimum » donc quasi systématiquement en conditions irriguées. La question de la « transférabilité » des performances obtenues en conditions irriguées se pose donc. Les problématiques traitées par les travaux conduits dans le cadre de Secalibio sont donc les suivantes :

- En sec, existe-t-il des variétés qui obtiennent de meilleures performances (rendement et qualité des graines) ?
- Le classement variétal obtenu en conditions non irriguées est-il le même qu'en conditions irriguées ?

MATERIEL ET METHODES

Les actions du Casdar Secalibio ont été principalement orientées vers l'acquisition de données expérimentales au champ. Les essais se sont concentrés autour de deux thématiques :

- Evaluation des performances des variétés de soja en conditions non irriguées : 2 essais/an, de 2016 à 2018
- Comparaison des performances des variétés en sec et en irrigué : 1 essai/an, de 2016 à 2018.

Evaluation des performances des variétés en conditions non irriguées

L'évaluation des variétés a été conduite sur deux essais :

- le 1^{er} réalisé en partenariat par le CREABio et Terres Inovia dans le Gers. C'est un essai en blocs à 3 répétitions.
- le 2nd par la Chambre d'agriculture de la Drôme dans la Drôme (Figure 1). est un essai en bandes.

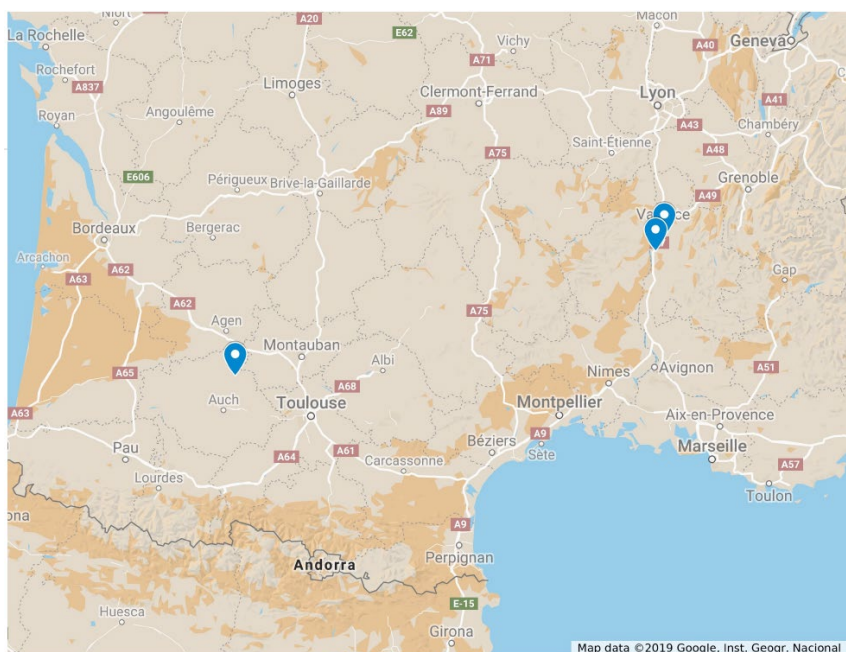


Figure 1: Localisation des essais variétés en sec, de 2016 à 2018

L'objectif pour ces essais est d'évaluer les performances des différentes variétés mises sur le marché. Le renouvellement annuel de l'offre variétale a conduit sur les différentes années à adapter le pool de variétés testées afin d'inclure les dernières génétiques disponibles à la vente. Néanmoins, afin de faciliter le travail de comparaison des performances en pluriannuel, un pool de variétés « témoin » a été conservé sur les 3 années (Tableau 1). :

- ES Pallador,
- Isidor,
- Luna,
- Steara,
- Sphera.

Les essais ont été conduits chez des producteurs.

Variétés	Représentant en France	Année inscription	2016	2017	2018
Es Pallador*	Euralis	2015	X*	X*	X*
Isidor*	Euralis	2004	X*	X*	X*
Luna*	Caussade	2011	X*	X*	X*
Steara*	RAGT	2013	X*	X*	X*
Blancas	Caussade	2007	X	X	
Sphera*	RAGT	2011	X*	X*	(X*)
ES Inventor	Euralis	2017		X	X
Santana	RAGT	2007	(X)	X	X
Ecudor	Euralis	2006	X	(X)	
Celina PZO	Agri-obtentions	2011	X		
Shama	RAGT	2004	X		
RGT Sinfonia	RAGT	2016			X
Sumatra	RAGT	2004			X
Wendy PZO	Caussade	2014			X

Tableau 1 : Variétés testées sur les essais en sec situés dans le Gers et dans la Drôme de 2016 à 2018 (avec astérisques, les variétés communes aux 3 années ; entre parenthèses, les variétés présentes sur un site uniquement).

Comparaison des performances des variétés en sec et en irrigué

Cette comparaison est menée sur un seul essai, du fait de sa technicité. En effet, afin de pouvoir mener une évaluation « au plus juste », il est nécessaire de placer les micro-parcelles conduites en sec et en irrigué dans la même parcelle, i.e. dans les mêmes conditions de sol et de pluviométrie ambiante. Pour des raisons de contraintes techniques liées à l'irrigation, les micro-parcelles conduites en sec et en irrigué n'ont pas pu être randomisées : il s'agit donc de deux essais menés côte à côte, l'un en sec et l'autre en irrigué. Ces deux essais ont été réalisés en partenariat entre le CREABio et Terres Inovia ; la partie « en sec » est commune aux essais de comparaison des variétés en sec évoqués précédemment.

Sur les 3 années, l'essai a été mené en sol moyennement profond, représentatif des conditions de production en irrigué et en sec du secteur. Il aurait pu être choisi pour extrémiser davantage les résultats de se placer sur un sol plus séchant, par exemple en côteau à la profondeur de sol moindre, néanmoins, cela n'aurait absolument pas été représentatif des conditions de production locales (le soja en sec étant peu recommandé sur ce type de sol, car les performances obtenues sont en général assez faibles et aléatoires).

Comme pour les essais de comparaison des variétés en sec, le pool de variétés testées a évolué sur les 3 années pour suivre l'arrivée des nouvelles variétés sur le marché, avec cependant un pool de variétés témoins maintenu d'une année sur l'autre qui a servi de groupe témoin (Tableau 2)

Variétés	Es Pallador *	Isidor*	Steara*	Sphera*	ES Inventor	Santana*	Ecudor	RGT Sinfonia	Wendy PZO
2016	X	X	X	X		X	X		
2017	X	X	X	X	X	X	X		
2018	X	X	X	X	X	X		X	X

Tableau 2 : Variétés testées sur les essais de comparaison sec vs irrigué (situés sur la même parcelle) dans le Gers, de 2016 à 2018 (avec un astérisque *, les variétés communes aux 3 années)

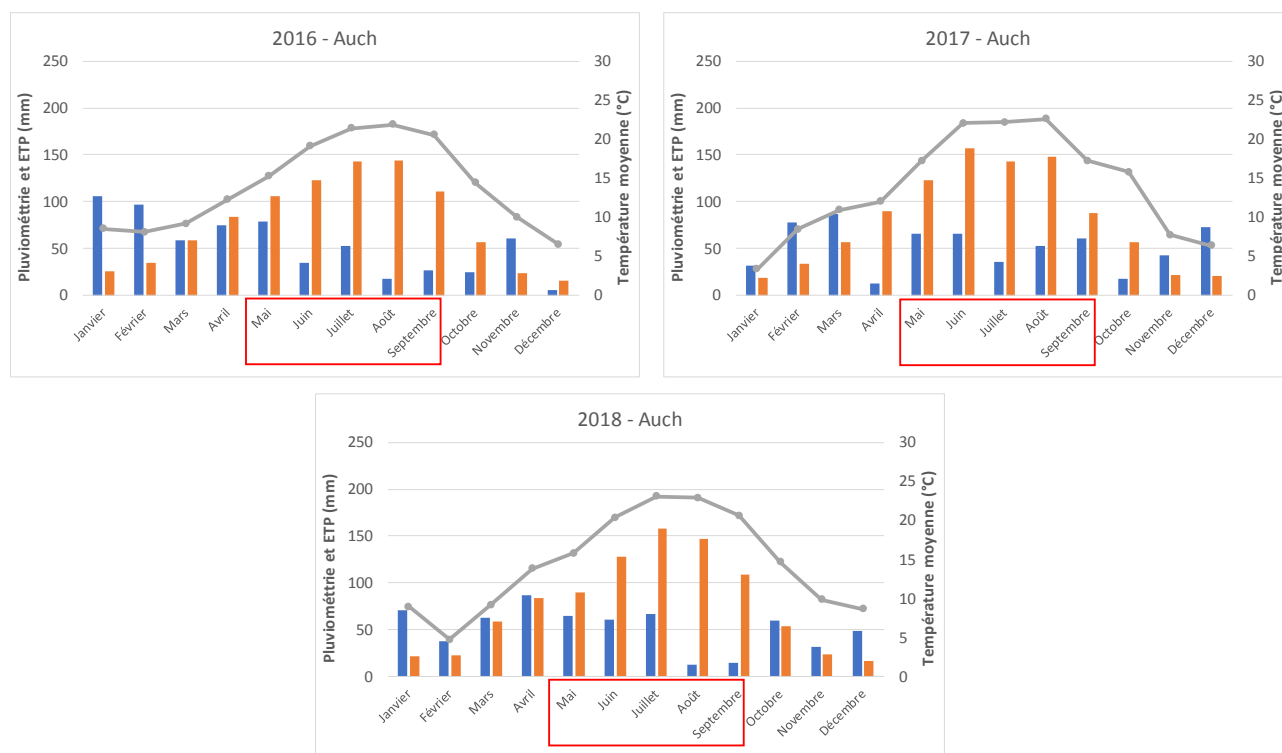
RESULTATS

Certaines variétés sont-elles plus performantes lorsqu'elles sont conduites en sec ?

→ Conditions climatiques sur les essais

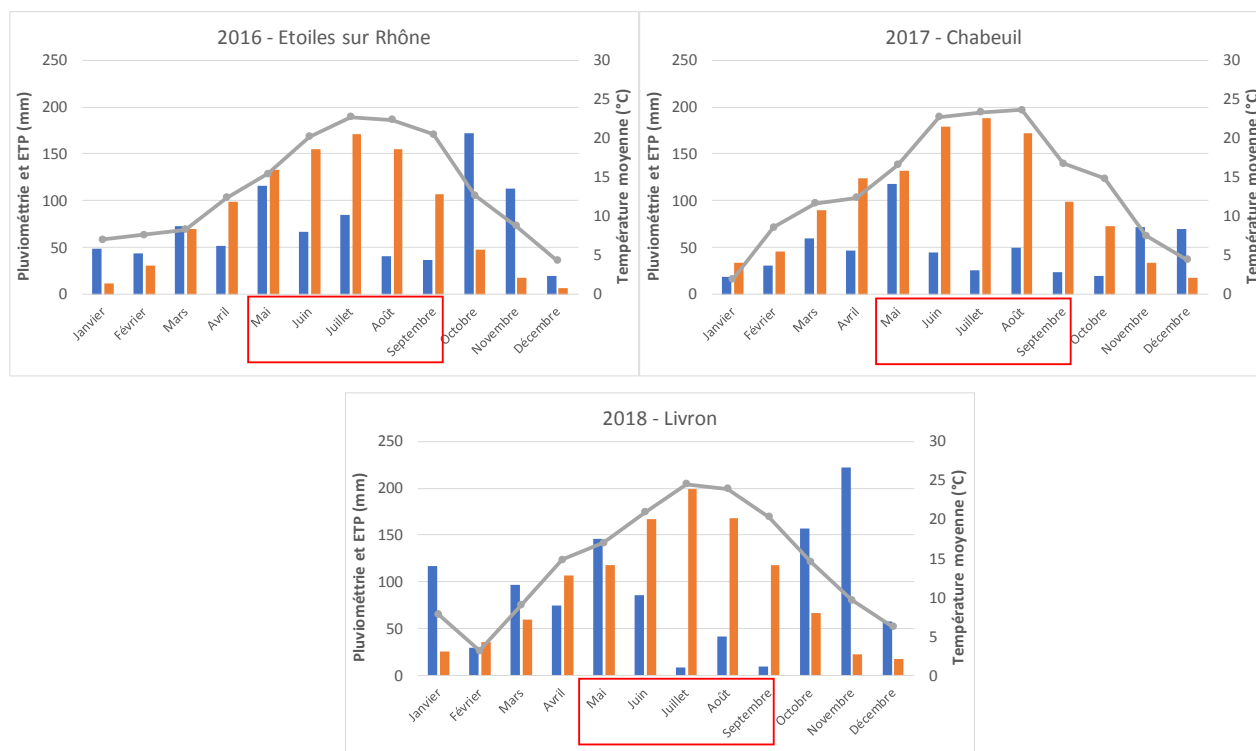
En fonction des années et des sites d'essai, les conditions ont été plus ou moins stressantes.

Sur les sites du Gers, 2016 a été particulièrement stressante, 2018 était une année intermédiaire et 2017 était l'année avec le stress hydrique le plus modéré



Figures 2-3-4 : conditions météorologiques de la station de référence (pour le Gers) Auch pour les 3 années de 2016 à 2018.

Dans la Drôme, 2017 et 2018 ont été des années particulièrement stressantes alors que 2016, bien pourvue en eau notamment de mai à juillet, présente un stress hydrique très faible.



Figures 5-6-7: conditions météorologiques pour la Drôme pour les 3 années de 2016 à 2018.

→ Rendements

Les rendements, comme on peut s'y attendre, ont été différents suivant les sites et également suivant les années (Figures 8 et 9). Les années où le stress hydrique a été le moins présent (cf graphiques présentés ci-avant), les niveaux de rendement obtenus peuvent être relativement bons comme en 2016 pour l'essai de la Drôme. En revanche, pour les années avec un niveau de stress hydrique plus important, les rendements plafonnent à 30 qtx/ha.

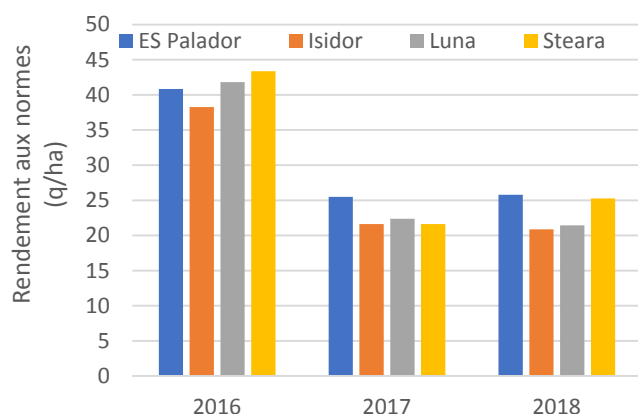


Figure 8: Rendements de soja obtenus sur les essais de la Drôme (qtx/ha) sans irrigation de 2016 à 2018.

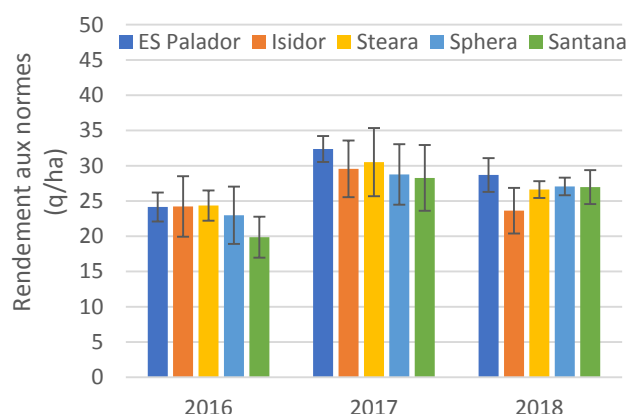


Figure 9 : Rendements de soja obtenus sur les essais du Gers sans irrigation (qtx/ha) en pluriannuel. Les barres d'erreur correspondent à l'écart-type calculé avec les répétitions

Au global, sur l'ensemble des sites, on constate une **différence entre le rendement moyen de la variété la plus productive et la moins productive de 4 à 5 qtx/ha** en conditions non irriguées; comme en conditions irriguées. Le choix variétal s'avère donc déterminant pour optimiser les performances du soja notamment sous l'angle de la productivité. Parmi les variétés testées, on constate que sur l'ensemble des essais, **ES Pallador est la variété qui obtient quasi systématiquement les meilleurs scores** (dans 5 essais sur 6 ; à l'exception de l'essai de la Drôme en 2016). Au contraire, Isidor est la variété qui est le plus souvent en queue de peloton dans le pool des variétés testées (dans 5 essais sur 6 ; l'exception étant l'essai du Gers en 2016). Ce dernier résultat s'explique probablement par le fait qu'Isidor est la variété la plus ancienne qui n'a donc pas bénéficié du progrès génétique de ces dernières années. Ce résultat est cependant à nuancer au regard du pool de variétés testées car Isidor reste malgré tout une variété productive, même par rapport à d'autres variétés modernes.

En revanche, pour les autres variétés, il est difficile de produire un classement. Comme le montrent les données des tableaux 3 et 4, les performances obtenues sont proches entre elles : on a donc un « continuum » de rendements obtenus, avec des variations de l'ordre de 1 à 5 % soit moins de 1qtx/ha de différence. Sur l'essai du Gers, on note qu'il n'existe pas de différence significative de rendement en dehors de la variété « de tête » et de la variété « de queue » (test de comparaison de moyenne Tukey HSD, alpha = 5%).

Année	ES PALLADOR	STEARA	ISIDOR	LUNA	Rendement moyen obtenu sur l'essai (qtx/ha)
2016	101 (2)	107 (1)	95 (4)	103 (3)	41.1
2017	118 (1)	100 (4)	101 (3)	104 (2)	22.8
2018	112 (1)	110 (2)	91 (4)	93 (3)	23.3

Tableau 3 : Indices de rendement obtenus pour les variétés présentes en pluriannuel sur les essais de la Drôme (entre parenthèses est indiqué le classement des variétés)

Année	ES PALLADOR	STEARA	ISIDOR	SPHERA	SANTANA	Rendement. Moyen obtenu sur l'essai (qtx/ha)
2016	110 (1)	105 (2)	104 (3)	104 (3)	95 (4)	23.1
2017	104 (1)	93 (5)	97 (5)	101 (3)	100 (4)	28.6
2018	101 (1)	99 (2)	86 (4)	99 (2)	98 (3)	26.6

Tableau 4 : Indices de rendement obtenus pour les variétés présentes en pluriannuel sur les essais du Gers (entre parenthèses est indiqué le classement des variétés)

→ Teneur en protéines

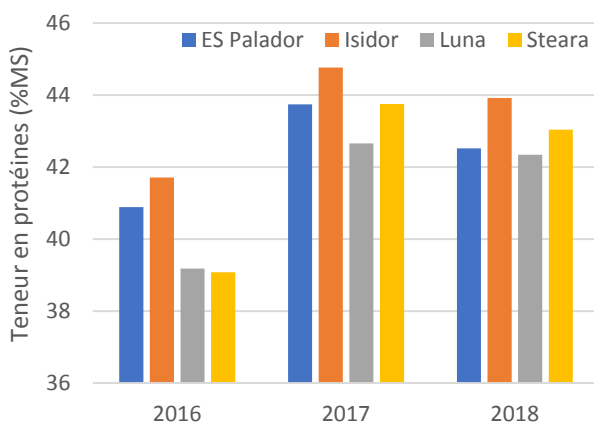


Figure 10: Teneurs en protéines obtenues sur les essais de la Drôme (qtx/ha) en pluriannuel

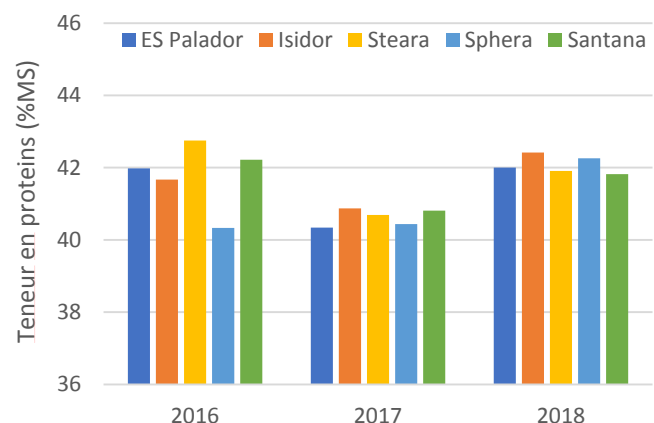


Figure 11 : Teneurs en protéines obtenues sur les essais du Gers (qtx/ha) en pluriannuel

Comme pour le rendement, on constate des écarts importants de teneur en protéines selon les années et les sites (figures 10 et 11). Sur les essais de la Drôme, la variété Isidor est très largement en tête sur les 3 ans (+1 à 2% en moyenne), ce qui n'est pas le cas dans les essais du Gers où les écarts sont inférieurs à 1% (tableaux 5 et 6). Toutefois, les écarts et le classement des teneurs en protéines sont très variables suivant les années climatiques. Il est donc difficile d'établir un classement, qui soit consensuel sur les différents sites et différentes années.

Année	ES PALLADOR	STEARA	ISIDOR	LUNA	%TP moyen obtenu sur l'essai (%)
2016	102	98	104	98	41.1
2017	100	100	102	97	22.8
2018	99	100	102	99	23.3

Tableau 5 : Indices de teneur en protéines obtenus pour les variétés présentes en pluriannuel sur les essais de la Drôme (% TP : taux protéiques en pourcentage)

Année	ES PALLADOR	STEARA	ISIDOR	SPHERA	SANTANA	%TP moyen obtenu sur l'essai (%)
2016	100	102	100	96	101	23.1
2017	99	100	101	100	100	28.6
2018	100	99	100	100	99	26.6

Tableau 6 : Indices de teneur en protéines obtenus pour les variétés présentes en pluriannuel sur les essais du Gers

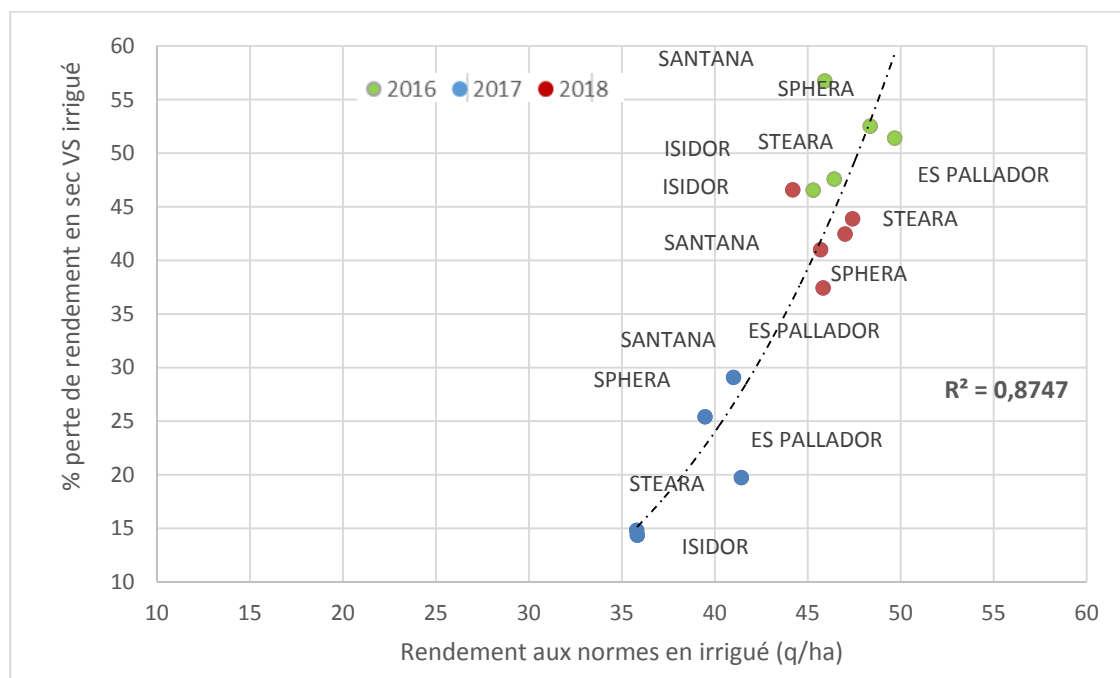
Le classement variétal est-il conservé entre conditions irriguées et non irriguées ?

Comme le montre le tableau 7, les pertes de rendement dues à l'absence d'irrigation sont très importantes, de 14% en 2018 à 56% en 2016.

Année	Variété	Rdt sec (qtx/ha)	Rdt irrigué (qtx/ha)	% perte rdt sec
2016	STEARA	24.4	46.4	47.6
	ISIDOR	24.2	45.3	46.5
	ES PALLADOR	24.2	49.7	51.4
	SPHERA	23.0	48.4	52.5
	SANTANA	19.9	45.9	56.7
2017	ES PALLADOR	33.3	41.4	19.7
	ISIDOR	30.7	35.8	14.3
	STEARA	30.5	35.8	14.8
	SPHERA	29.5	39.5	25.4
	SANTANA	29.1	41.0	29.1
2018	ES PALLADOR	28.7	45.8	37.4
	SPHERA	27.1	47.0	42.4
	SANTANA	27.0	45.7	41.0
	STEARA	26.6	47.4	43.9
	ISIDOR	23.6	44.2	46.6

Tableau 7 : rendements en sec et en irrigué obtenus sur les 3 années d'essai dans le Gers.

Les variétés qui obtiennent les meilleures performances en conditions irriguées sont aussi celles pour lesquelles le pourcentage de perte de rendement en sec est aussi le plus élevé (cf figure 4). Néanmoins, on s'aperçoit que la variété ES Pallador obtient un pourcentage de perte, en relatif par rapport à son niveau de rendement en irrigué, plus faible que la moyenne : elle semble ainsi plus « résiliente ». C'est aussi celle qui obtient les meilleures performances en sec en pluriannuel.



Variété	Irrigation	Rdt aux normes qtx/ha (moyenne ajustée calculée)	Test de comparaison de moyenne (Tukey, alpha=5%)
ISIDOR	Non	24.9	A
SANTANA	Non	26.0	AB
STEARA	Non	26.2	AB
SPHERA	Non	27.2	AB
ES PALLADOR	Non	28.4	B
ISIDOR	Oui	40.6	A
SANTANA	Oui	43.0	AB
STEARA	Oui	44.2	B
SPHERA	Oui	44.9	B
ES PALLADOR	Oui	45.8	B

Tableau 8 : Moyenne ajustée, écart-type moyen calculé et comparaison de moyenne par le test de Tukey-HSD (alpha=5%). L'écart-type estimé est de 2.35 qtx/ha.

La teneur en protéines, en sec, apparaît liée au rendement : plus le rendement est élevé, plus la teneur en protéines est basse, bien que les variations de teneur en protéines soient relativement faibles (+/- 3%, figure 13). Cependant, l'analyse statistique montre que cette tendance n'est pas significative. En irrigué, la relation entre rendement et teneur en protéines est plus floue (figure 14) et là encore non significative.

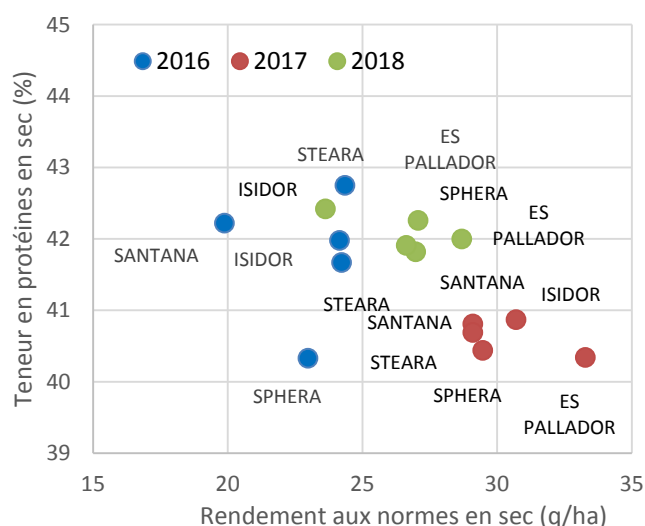


Figure 13 : Relation entre rendement et teneur en protéines obtenue en sec sur les essais menés dans le Gers.

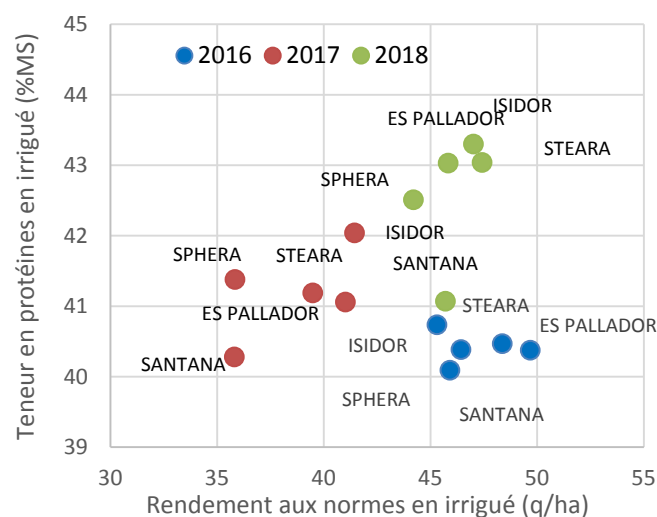


Figure 14 : Relation entre rendement et teneur en protéines obtenue en irrigué sur les essais menés dans le Gers.

Sur le soja en sec, l'analyse statistique réalisée (test de comparaison de moyennes Tukey HSD, alpha=5%) montre que les différences obtenues entre variétés sont significatives sauf pour Sphera,

significativement inférieure aux autres mais avec moins d'1 % de différence selon les moyennes ajustées calculées. En conditions irriguées, seule la variété de tête (Isidor) et la variété de queue (Santana) sont significativement différentes, avec encore une fois une différence de teneur de moins d'1 % sur les moyennes ajustées. Le classement variétal obtenu en sec et en irrigué n'est pas le même : toutefois, les différences de teneur en protéines obtenues sont relativement faibles et la différence de classement n'influe que très peu sur les performances.

Un autre indicateur est le rendement protéique (tableaux 9 et 10), qui combine les deux critères de rendement et teneur en protéines. Les données obtenues sur l'essai montrent que dans les deux conditions, en sec et en irrigué, ES Pallador présente le meilleur rendement protéique.

Variétés	Rdt protéique (qtx/ha)	Variétés	Rdt protéique (qtx/ha)
SANTANA	9.65	STEARA	17.65
ISIDOR	10.02	SPHERA	17.83
SPHERA	10.07	SANTANA	17.84
STEARA	10.17	ISIDOR	17.94
ES PALLADOR	10.87	ES PALLADOR	19.75

Tableau 9 : Rendement protéique obtenu en sec pour les différentes variétés
Tableau 10 : Rendement protéique obtenu en irrigué pour les différentes variétés

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les essais conduits dans le cadre du projet ont permis de montrer que le choix variétal est aussi déterminant en sec qu'en irrigué pour le niveau de rendement. Certaines variétés étaient plus performantes en conditions non irriguées, avec un delta pouvant aller jusqu'à 5 qtx/ha. Les essais menés dans le Gers et dans la Drôme tendent à montrer que parmi les variétés communes aux sites, ES Pallador est actuellement la plus performante en terme de rendement au sein du pool de variétés testées. La comparaison des variétés entre conditions irriguées et non irriguées en terme de rendement menée dans le Gers tend à montrer que des différences de classement peuvent être visibles une année donnée entre sec et irrigué mais qu'au global, comme a pu le montrer l'analyse statistique, le classement obtenu en terme de rendement reste conservé entre les deux conditions.

Les résultats d'essai ont également montré que les teneurs en protéines du grain de soja à la récolte dépendent de la conduite en sec ou en irrigué. En irrigué, la production de protéines semble principalement dépendre de la variété; sans irrigation il y a une forte corrélation avec le rendement. Il est toutefois difficile de préconiser des variétés sur le critère de la teneur en protéines compte tenu du fait que le classement des variétés varie d'une année sur l'autre et de la relation rendement/teneur en protéines. Toutefois, pour un débouché vers l'alimentation animale, les résultats suggèrent que le rendement protéique serait un bon indicateur du niveau de production de protéines pour le soja en sec puisqu'il intègre la relation rendement/protéines. La réflexion serait différente pour un débouché en alimentation humaine, car les transformateurs imposent un taux de protéines minima, souvent de 41% : dans ce cas, l'indicateur rendement protéique apparaît insuffisant.

Les résultats présentés ici ne concernent qu'une faible partie du pool de variétés aujourd'hui disponibles sur le marché. A terme, la démarche est donc de reproduire ces essais sur un pool de

variétés plus large, intégrant d'autres variétés récentes, pour en entériner les conclusions. Par ailleurs, les résultats de cette étude ayant montré des différences de comportement entre conduite en sec et en irrigué, il serait nécessaire de mener des travaux de recherche pour identifier les traits fonctionnels expliquant les différences de performances des variétés en sec. Cela passe également par des travaux pour mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre dans la tolérance au stress hydrique. Il serait alors possible de s'orienter vers une création variétale basée sur le mode de production, avec ou sans irrigation.

Auteurs Contacts

Cécile Le Gall – Terres Inovia : c.legall@terresinovia.fr
Enguerrand Burel – CREABio : eburel.creab@gmail.com
Jean Champion – CA 26 : jean.champion@drome.chambagri.fr
Laurence Fontaine – ITAB : laurence.fontaine@itab.asso.fr



Contributeur : Stéphanie THEBAULT- IBB - stephanie.thebault@bio-bretagne-ibb.fr

Photos : 2,3 : PAIS -IBB ; 1,6,7: Chambre d'Agriculture Pays de Loire ; 4,5,10: Chambre d'Agriculture Bretagne ; 8,9,11,12,13,14,15 : Chambre d'Agriculture de la Drôme

Création graphique : Service Communication – ITAB

Pour citer ce document : Le Gall C., Burel E., Champion J., Fontaine L., 2019. Tolérance variétale au stress hydrique en soja (variétés tardives)- Adaptation de l'itinéraire technique du soja en dehors de sa zone de production traditionnelle. CASDAR SECALIBIO (2015-2019).

Ce document a été réalisé dans le cadre du projet Casdar SECALIBIO. Les différents essais menés dans le cadre du projet ont fait l'objet d'un financement conjoint du Casdar au travers des projets Secalibio mais aussi EcovAB ; par ailleurs, les essais menés dans le Gers ont bénéficié d'un financement de la Région Occitanie.

SECALIBIO est coordonné par l'ITAB (antoine.roinsard@itab.asso.fr),

Initiative Bio Bretagne (stephanie.thebault@bio-bretagne-ibb.fr),

Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire (Melanie.GOUJON@pl.chambagri.fr)

Partenaires : IDELE, IFIP, ITAVI, ARVALIS – Institut du végétal, CETIOM, INRA (EASM, GenESI, UMR PEGASE, UE PEAT), AFZ, CRA Bretagne, CDA 44, CDA 26, Bio Centre, FRAB Nouvelle Aquitaine, CREABio, SAS Trinottières, LPA de Tulle Naves, LPA de Bressuire.

Retrouvez toutes les productions du projet sur <https://wiki.itab-lab.fr/alimentation/>

