



# GESTION DE LA FERTILITÉ DU SOL

**151** ROTALEG : optimiser l'intégration  
des légumineuses dans les rotations  
en grandes cultures biologiques



# L'agriculture biologique

en Pays de la Loire

Résultats  
de recherche

## Gestion de la fertilité du sol

### Essai ROTALEG : optimiser l'intégration des légumineuses dans des rotations de grandes cultures biologiques conduites sans apport de matières organiques

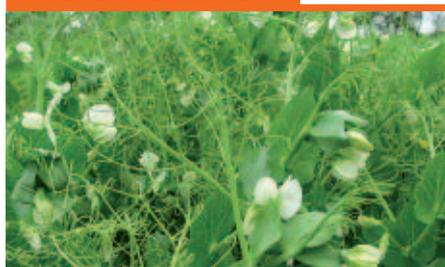
**Contexte** Dans les systèmes spécialisés en grandes cultures biologiques sans élevage, maintenir la fertilité des sols et maîtriser le salissement par les adventices sont les principales problématiques rencontrées par les agriculteurs. Ces facteurs expliquent aussi les rendements plus limités obtenus en AB par rapport au conventionnel et peuvent représenter un frein à la conversion. Le recours à la fertilisation organique extérieure présente un intérêt dans ce type de système, mais son utilisation suscite un certain nombre de questionnements. L'efficacité des apports d'engrais organiques s'avère très dépendante des conditions pédoclimatiques. Ces apports représentent un coût important qui n'est pas toujours compensé par un

gain de rendement. Enfin, l'origine de ces engrais organiques, provenant pour la plupart d'élevages conventionnels, interroge sur la durabilité de ces systèmes de cultures et sur les contradictions avec l'éthique portée par l'agriculture biologique.

Face à ce constat, l'insertion des légumineuses au sein des rotations apparaît comme un levier agronomique permettant de diminuer le recours aux engrais organiques extérieurs. Leur nutrition azotée, assurée en grande partie par la fixation de l'azote atmosphérique, leur confère une autonomie vis-à-vis de l'azote et permet de participer à l'entretien du stock en azote du sol. En couvert d'interculture, elles participent aussi à maîtriser le salissement en adventices.

#### Les légumineuses insérées dans les rotations de l'essai ROTALEG

##### Cultures annuelles



Féverole d'hiver et pois de printemps, les pailles sont restituées au sol après récolte.

##### Couvert d'interculture



Trèfle blanc nain semé simultanément avec un blé et laissé en couvert après la récolte de la céréale ou trèfle incarnat semé en post-récolte derrière un blé.

##### Culture pluriannuelle



Luzerne de 2 ans, la dernière fauche est enfouie au sol.

## Objectifs

L'essai ROTALEG a été mis en place en 2011 à la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou de manière à tester 5 rotations conduites en grandes cultures biologiques sans apport exogène de matières organiques. L'objectif est de comprendre comment optimiser l'intégration des légumineuses dans les rotations afin de maximiser leurs bénéfices agronomiques pour permettre une **gestion optimale de la fertilité, une maîtrise de l'enherbement et une rentabilité économique** du système.

## Présentation de l'essai

Commune	THORIGNE D'ANJOU (49)
Agriculateur	Ferme expérimentale
Type de sol	Limon sablo-argileux
Modalités testées	Comparaison de 5 rotations (3 à 9 ans) sans apport de matières organiques extérieures
Dispositif	Petites parcelles (18 x 80 m) x 3 blocs



L'essai est implanté sur une parcelle de 2,3 ha de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou. La parcelle dédiée à l'essai ROTALEG a été totalement déconnectée de l'assolement et du plan d'épandage de la ferme. Aucun apport de matières organiques n'a été réalisé sur la parcelle depuis 2008.

Le sol de la parcelle est de type limon sablo-argileux, peu profond (<60 cm) avec environ 40 % de sable et une charge en cailloux moyenne. Le sol présente un pH de 6.1, une CEC faible de 56 méq/kg et un taux de matières organiques à 1,8 %. Le niveau en phosphore est plutôt faible et les niveaux en potassium et magnésium sont faibles à moyens. Au vu de ses caractéristiques, le sol présente des risques de battance lorsque la couverture du sol est faible. D'autre part, de l'hydromorphie apparaît à environ 30 cm de profondeur, ce qui peut être la cause de stress physiologique en cas d'excès d'eau en hiver. Ainsi, le sol de ROTALEG, et en particulier sa faible profondeur, lui confère un potentiel agronomique limité.

### Les rotations testées

Les rotations testées diffèrent selon leur durée (3, 6 et 9 ans) et le mode d'insertion des légumineuses (interculture, culture annuelle ou pluriannuelle, association). Les rotations sont fixes, seul l'itinéraire technique et le choix variétal sont discutés chaque année.

Rotations	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020				
1	Féverole H	Blé tendre H Trèfle	TO	Féverole H	Blé tendre H Trèfle	TO	Féverole H	Blé tendre H Trèfle	TO				
2	Féverole H	Blé tendre H Tr	Orge H	CV	Pois/orge P	Blé tendre H Trèfle	TO	Féverole H	Blé tendre H Tr Orge H				
3*	Féverole H	Blé tendre H Tr	Orge H	CV	Pois/orge P	Blé tendre H Trèfle	TO	Féverole H	Blé tendre H Tr Orge H				
4	Féverole H	Blé tendre H	Luzerne			Blé tendre H	CV	TO	Féverole H	Blé tendre H	Luzerne		
5	Féverole H	Blé tendre H	CV	Pois/orge P	Blé tendre H	Luzerne			Blé tendre H	CV	Orge H	Trèfle	TO

\* La rotation 3 est la seule rotation qui reçoit des engrais organiques. Elle est fertilisée si le bilan azote de la culture met en avant un besoin. Les trèfles et la luzerne sont semés sous couvert des céréales, au semis ou en sortie d'hiver.  
H : hiver, P : printemps, TO : tournesol, CV : couvert végétal, || : fin de cycle de la rotation.

➔ **Rotation 1** : Rotation de 3 ans, cas-type de systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage des Pays de la Loire. Le maïs grain a été remplacé par du tournesol, plus adapté au contexte pédoclimatique de la parcelle.

➔ **Rotations 2 et 3** : Rotations de 6 ans, plus longues et diversifiées. Les rotations 2 et 3 sont identiques. Seule la rotation 3 est conduite avec une fertilisation organique exogène. Les besoins des cultures sont calculés à partir des reliquats azotés et de la méthode des bilans.

➔ **Rotation 4** : Rotation de 6 ans avec un débouché pour la luzerne envisagé (vente éleveur ou usine de déshydratation). Elle est insérée pendant deux ans au sein de la rotation et la dernière fauche est enfouie au sol avant le semis du blé tendre d'hiver.

➔ **Rotation 5** : Rotation de 9 ans. Les cultures de vente et les modes d'insertion des légumineuses sont diversifiés au maximum. Un débouché possible pour la luzerne est envisagé (vente éleveur ou usine de déshydratation). Elle est insérée pendant deux ans au sein de la rotation et la dernière fauche est enfouie au sol avant le semis du blé tendre d'hiver.

## Les règles de décision

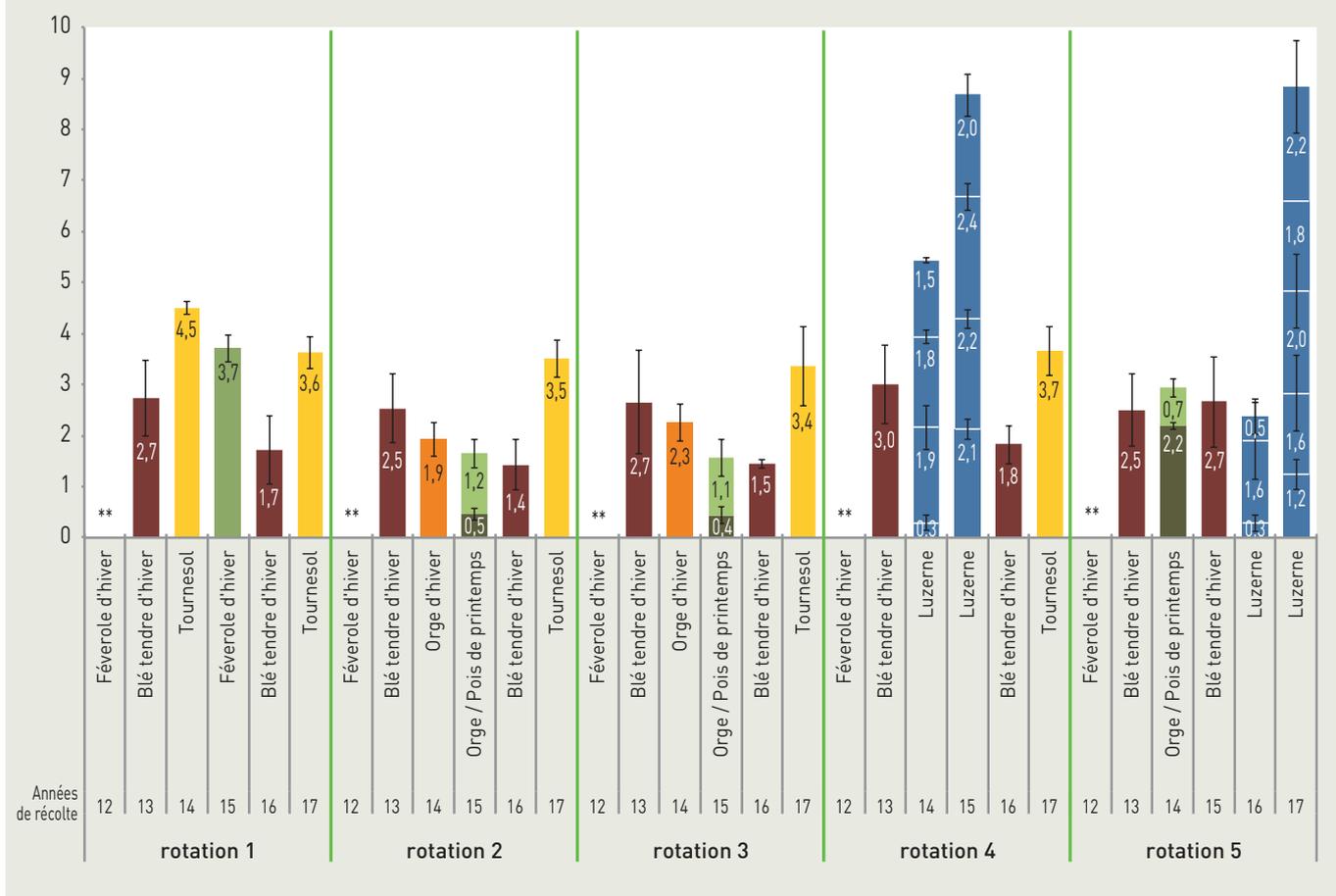
Objectifs	Règles de décision
Maintien de la fertilité du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'exportation des résidus de culture</li> <li>Diversification des modes d'insertion des légumineuses : pluriannuelle (luzerne de 2 ans), annuelle (féverole d'hiver et pois de printemps) et en interculture (trèfles)</li> <li>Maximisation de la présence des légumineuses fourragères (luzerne et trèfle) grâce au semis simultané ou sous couvert de la céréale</li> <li>Incorporation au sol de la biomasse de trèfle en interculture</li> <li>Incorporation au sol de la dernière coupe de luzerne avant destruction</li> </ul>
Lutte contre les adventices	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation du labour quasi systématique</li> <li>Travail du sol : déchaumage avec des outils à disques et à dents</li> <li>Désherbage mécanique : herse étrille et houe rotative (toutes cultures), bineuse (tournesol)</li> <li>Diversification des cultures : familles différentes (céréales, légumineuses, oléagineux)</li> <li>Alternance des semis hiver, printemps</li> <li>Variétés : choix de variétés adaptées à l'AB (mélange de variétés pour le blé)</li> </ul>
Rentabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choix des cultures des rotations en fonction de la demande de la filière : blé tendre panifiable, tournesol, protéagineux</li> </ul>

## Performances agronomiques et économiques

Après 6 années d'essai, la rotation 1 a effectué 2 cycles et les rotations 2, 3 et 4 ont effectué 1 cycle. C'est donc l'occasion de faire un premier bilan sur les performances de l'essai



Essai Rotaleg - Comparaison de 5 rotations  
Rendements standardisés\*



\* Rendements standardisés aux normes de chaque culture : céréales et protéagineux à 15 % d'humidité, tournesol à 9 % d'humidité et luzerne à 0 % d'humidité.

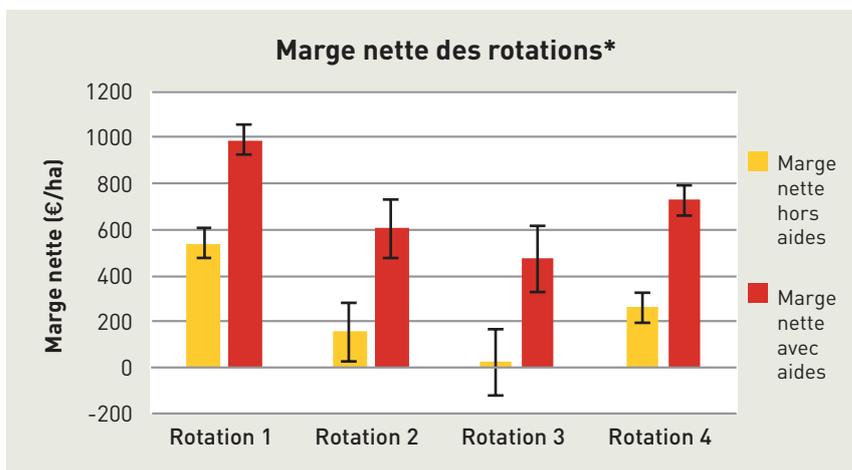
\*\* Récolte de la féverole 2012 non réalisée en raison d'un salissement important en matricaire.

Après six années d'essai, les résultats mettent en avant un maintien des rendements dans les moyennes régionales. Aucune baisse importante de rendement n'a été observée quelle que soit la rotation. Avec un rendement moyen de 37,3 q/ha, le tournesol obtient des rendements très élevés et supérieurs à notre objectif de rendement de 25q/ha. En revanche, les céréales d'hiver atteignent un rendement moyen de 21,5 q/ha, plutôt décevant vis-à-vis de de l'objectif fixé de 30 q/ha.

► La rotation 1 présente le meilleur résultat grâce à la présence du tournesol et de la féverole d'hiver une année sur trois qui sont les deux cultures les plus rentables dans les conditions de l'essai.

► La fertilisation organique appliquée dans la rotation 3 ne permet pas de gain économique. Cette rotation obtient la marge nette la plus faible. Les apports n'ont donc pas été suffisamment valorisés pour être compensés par un gain de rendement.

► La rotation 4 (avec luzerne) présente des résultats intermédiaires. Si la vente de la luzerne (en foin ou enrubannage) joue peu sur la marge à l'échelle de la rotation, les meilleurs rendements obtenus sur blé et tournesol après luzerne permettent d'atteindre une marge plus élevée que pour l'autre rotation de 6 ans (rotation 2).



\* Les résultats présentés sont ceux de l'essai extrapolés à une exploitation de grandes cultures biologiques de 135 ha de SAU et 1,3 UTH.

## Autonomie en azote des rotations



### Des apports nets en azote différents selon les légumineuses

	Féverole d'hiver	Pois de printemps	Luzerne (2 ans)	Trèfle (incarnat & blanc)
Biomasse aérienne (t MS/ha)	6,2	2,5	14,1	2,3
% de fixation symbiotique*	64 %	52 %	80 %	87 %
N atmosphérique fixé (kg N/ha)	166	46	408	85
N exporté (kg N/ha)	143	34	375	0
<b>Apport net N** (kg N/ha)</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>33***</b>	<b>85</b>

**Apport Net des légumineuses (kg/ha)** – valeurs issues des 6 années d'expérimentations et des 5 rotations testées.

\* % d'azote fixé par la plante issu de l'air

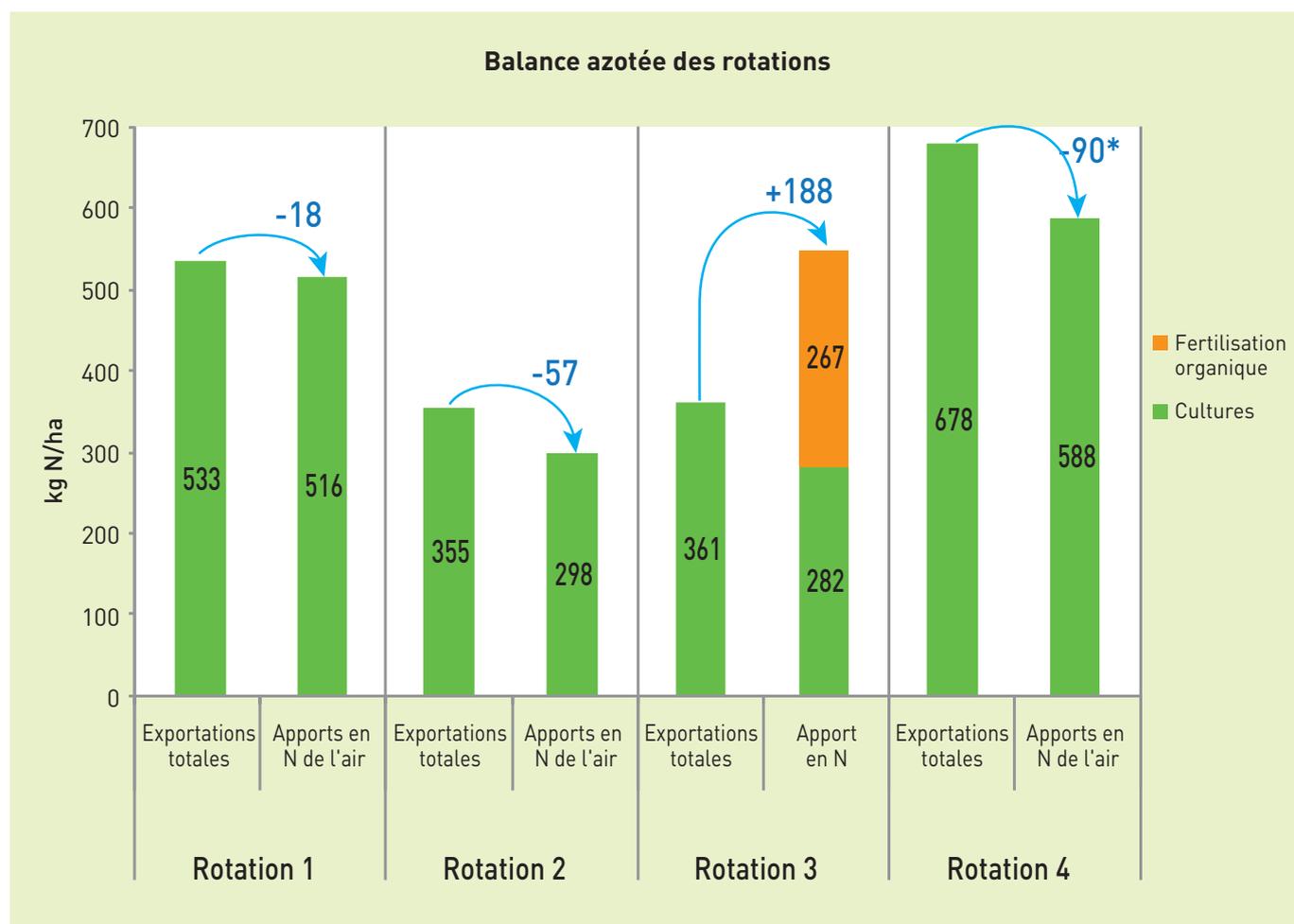
\*\* Quantité d'azote issu de l'air et restitué au sol après la récolte (système racinaire compris)

\*\*\* Sous-estimation évidente de l'azote restitué par le système racinaire (manque de références bibliographiques), résultat à utiliser avec précaution.

Le trèfle cultivé en interculture ressort comme le meilleur levier pour fournir de l'azote au système, grâce à une capacité plus élevée à fixer l'azote de l'air et à l'absence d'exportation. Ce résultat met en avant l'intérêt de valoriser la période d'interculture pour produire de la biomasse et maximiser les entrées d'azote atmosphérique avant la culture suivante.

La luzerne est la culture qui permet de produire la quantité la plus élevée d'azote atmosphérique, compte tenu de sa pérennité (2 ans) et des différentes fauches (3 à 4 par an). Cependant, les exportations sont également très importantes et ne permettent pas un enrichissement du sol. Dans notre étude, l'estimation de l'azote restitué par le système racinaire a été clairement sous-évaluée. Le manque de références bibliographiques sur le sujet ne nous a pas permis d'affiner ce résultat.

Les légumineuses à graines (féverole d'hiver et pois de printemps) permettent des apports limités (environ 20 uN/ha). Leur taux de fixation symbiotique est plus faible et les exportations via les graines sont importantes.



\* bilan azoté à prendre avec précaution du fait de la sous-estimation des apports d'azote par le système racinaire de la luzerne

En cas de bilan azoté négatif, le recours aux réserves en azote du sol est nécessaire pour assurer les exportations des cultures. En cas de bilan azoté positif, le système de cultures permet de répondre aux exportations des cultures et éventuellement d'enrichir le sol en azote.

- **La rotation 1 présente un bilan azoté équilibré.** Les exportations, relativement importantes (> 500 kg N/ha), sont presque entièrement compensées par les apports d'azote issu de l'air. La réussite de la féverole d'hiver et la forte production de biomasse de trèfle en interculture ont permis d'assurer une fourniture en azote de l'air suffisamment importante. Seuls 18 kg N/ha ont été consommés dans le stock du sol.
- **La rotation 2 présente un bilan azoté négatif, de - 57 kg N/ha.** Ce déficit s'explique principalement par une mauvaise valorisation des périodes d'interculture. Le trèfle semé sous couvert du premier blé n'a pas levé (mauvais lit de semences et concurrence des adventices) et n'a pas permis de valoriser la période entre le blé et l'orge d'hiver pour produire une biomasse fixatrice d'azote de l'air. Après l'orge d'hiver, le choix d'un couvert de moutarde blanche s'est avéré peu pertinent et n'a pas permis de fixer de l'azote de l'air. Enfin, le mélange pois/orge de printemps est neutre vis-à-vis de l'azote.
- **La fertilisation organique apportée sur la rotation 3 permet d'avoir un bilan azoté positif, mais n'améliore pas les exportations.** En effet, les 267 kg N/ha apportés par la fertilisation ont permis d'augmenter les exportations de seulement 6 kg N/ha par rapport à la rotation 2. Les apports ont donc été très peu valorisés par les cultures.
- **La rotation 4 présente un bilan azoté sous-estimé.** Les apports d'azote issu du système racinaire de la luzerne étant largement sous-estimés, nous pouvons faire l'hypothèse que le bilan azoté de cette rotation est équilibré.

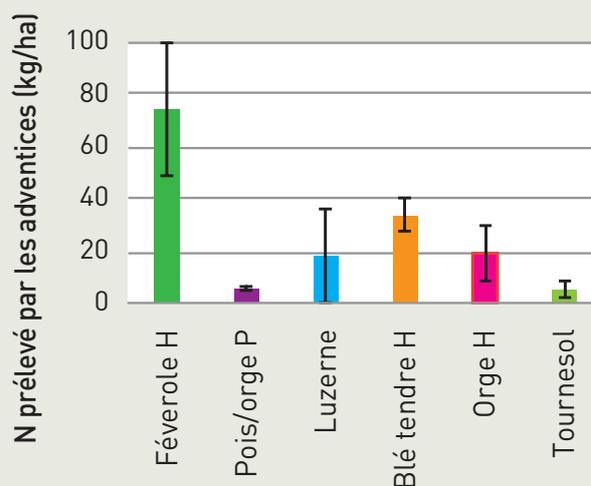
## Maîtrise des adventices



### Un concurrent direct pour l'azote

Le peuplement en adventices représente un concurrent direct pour l'azote du sol. Sur l'essai, le peuplement en adventices a prélevé entre 5 et 74 kg d'N/ha au stade floraison des cultures. Le tournesol est la culture qui a permis de mieux maîtriser les adventices, avec seulement 5 kg d'N/ha prélevés. En 1<sup>re</sup> année d'essai, la féverole, particulièrement infestée en matricaire, a été pénalisée de 74 kg N/ha. Cette figure illustre ainsi l'importance d'accorder une attention particulière à la stratégie de maîtrise des adventices.

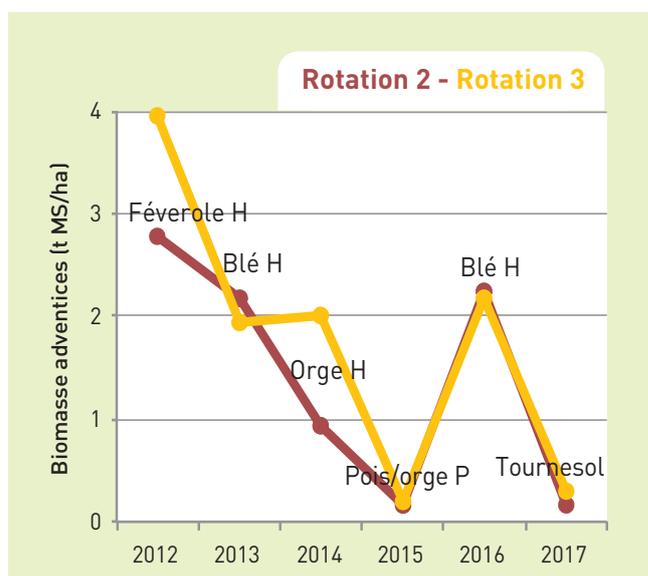
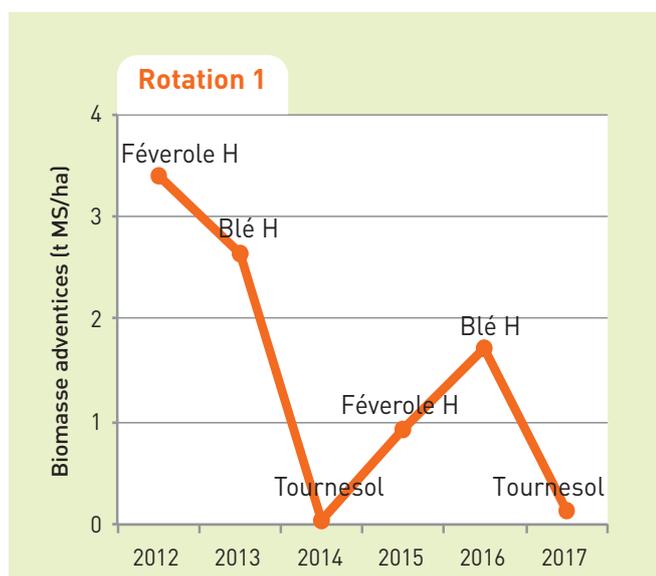
Prélèvement d'azote par les adventices sur chaque culture

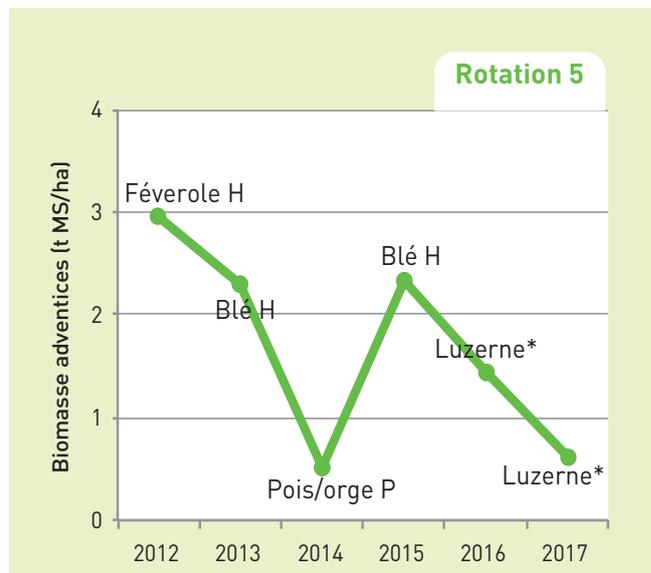
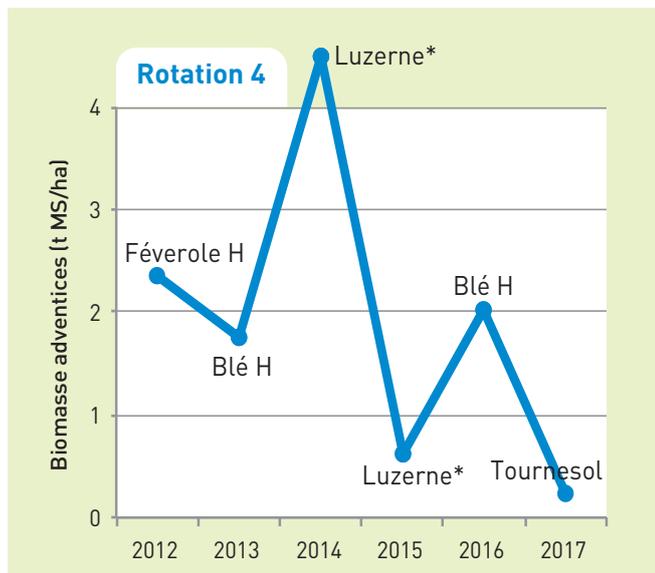


### Une dynamique positive pour toutes les rotations

En 2012, le salissement en adventices était très important sur l'ensemble des rotations (présence forte de matricaire). L'effet des rotations est nettement visible après six années d'essai.

Evolution de la biomasse en adventices





\* Sur luzerne : mesures de biomasse adventices réalisées à la première fauche en année 1 et avant destruction en année 2.

Après un cycle (ou deux pour la rotation 1), les rotations ont permis une maîtrise du peuplement en adventices. Le contexte pédoclimatique de l'essai est très peu propice aux stratégies de maîtrise des adventices par le travail du sol (faux semis) et le désherbage mécanique en cultures d'hiver (herse étrille ou houe rotative). De ce fait, d'autres leviers ont été mobilisés. L'intégration des cultures de printemps avec le tournesol et le mélange pois/orge de printemps s'est avérée très efficace.

Ces cultures permettent une alternance des dates de semis et les conditions climatiques sont plus favorables pour réaliser des interventions de désherbage mécanique efficaces (herse étrille, houe rotative et binage). De plus, ces cultures sont précédées d'un couvert végétal dense (à base de trèfle) qui limite le développement des adventices. Enfin, la date de semis est systématiquement réfléchi de manière à obtenir un démarrage rapide et vigoureux de la culture.

Retrouvez plus d'informations dans la synthèse détaillée des 6 premières années de l'essai sur notre site internet

[www.pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr](http://www.pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr)



➤ Rédacteurs :  
Gaëlle FOREST  
François BOISSINOT  
Virginie RIOU

➤ Contact : François Boissinot - 02 41 18 60 34 - 06 08 87 96 09 - francois.boissinot@pl.chambagri.fr

Programme piloté par :



En partenariat avec :



Financé par :



Une année sèche et un hiver froid. Le bilan agro-climatique de la campagne 2016/2017 est diamétralement opposé à celui de la campagne précédente. L'année est caractérisée par une faible pluviométrie sur quasiment l'ensemble du cycle des cultures (- 30% par rapport à la moyenne trentenaire). En revanche, après deux hivers relativement doux, la période hivernale 2016/2017 a renoué avec des températures proches des normales de saison. L'hiver a été froid et particulièrement en janvier : une vingtaine de jours avec des gelées ont été recensés en Pays de la Loire.

### Automne

La sécheresse de l'été 2016, qui se prolonge jusqu'au début de l'automne, a provoqué un retardement dans les semis de céréales. Ils démarrent aux alentours du 15 octobre et s'étaleront jusqu'à la mi-décembre sur des sols plus humectés. De façon générale, les levées des céréales sont homogènes et satisfaisantes. Cependant, sur sols très secs, la préparation du sol est motteuse et les levées seront difficiles et tardives. En ce qui concerne les protéagineux, le retour de la pluie en novembre limitera les fenêtres d'interventions mais les semis seront réalisés dans de bonnes conditions.

En termes de maîtrise des adventices, l'automne sec a été défavorable aux faux-semis. En conséquence, certaines parcelles se retrouvent précocement salies. Cependant, la faible pluviométrie hivernale a permis de maintenir une bonne portance des sols et ainsi permis de réaliser facilement des passages de désherbage mécanique efficaces.

### Hiver

La présence des premières gelées en novembre est venue annoncer l'arrivée d'un hiver froid. Après deux hivers doux, les températures se rapprochent enfin des normales saisonnières. En conséquence, le froid permet de limiter le développement des maladies et les cultures sont globalement saines.

La pluviométrie reste, elle, anormalement faible (- 110 mm par rapport à la moyenne trentenaire).

A ce stade, le manque d'eau n'est alors pas préjudiciable sur la culture. Les reliquats azotés sont en moyenne élevé à très élevé.

### Printemps

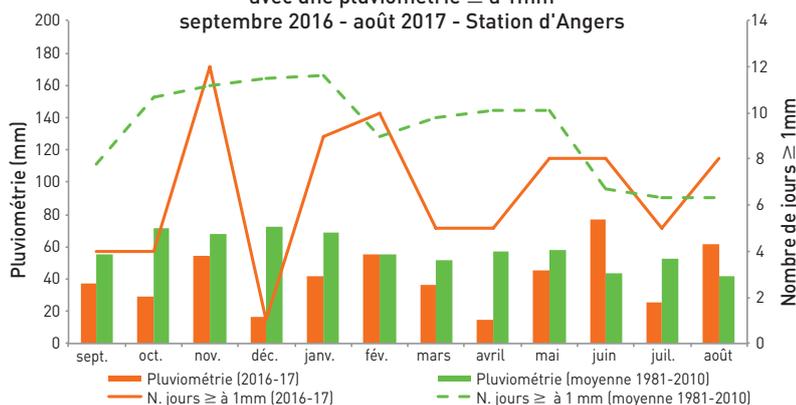
La période printanière se caractérise par une absence prolongée de précipitations et des petites gelées en avril. Ce mois sans pluie a pu impacter le nombre d'épi sur les céréales, notamment sur les sols superficiels. Les températures particulièrement basses de fin avril sont survenues pendant la floraison des protéagineux, ce qui a pu provoquer un avortement de certaines fleurs. Cependant, les dégâts liés à cet épisode de froid restent limités en grandes cultures. Seuls les semis de maïs ont dû être retardés. Le retour d'une pluviométrie normale sur les mois de mai et juin a permis de réaliser un bon remplissage des grains en céréales. Par ailleurs, la pression en maladies reste très faible et les parcelles restent propres.

### Été

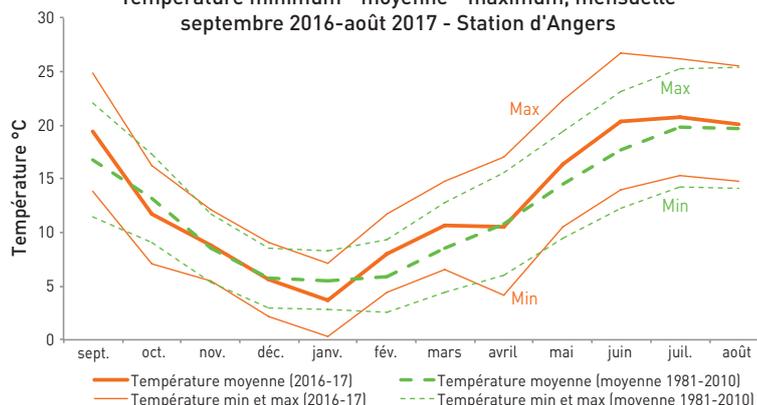
La récolte des céréales est précipitée par des mois de juin et juillet particulièrement chauds et secs. Malgré un potentiel très bon, le manque de remplissage des grains en fin de cycle viendra pénaliser quelque peu les rendements, mais les résultats restent très bons.

Ce début d'été très chaud et sec est très pénalisant pour les cultures de maïs, surtout en situation non irriguée. Les semis tardifs sont encore plus lourdement impactés. Le retour des pluies au mois d'août viendra sauver quelques parcelles.

Pluviométrie moyenne mensuelle et nombre de jours avec une pluviométrie  $\geq$  à 1mm septembre 2016 - août 2017 - Station d'Angers



Température minimum - moyenne - maximum, mensuelle septembre 2016-août 2017 - Station d'Angers



# Équipe Grandes cultures biologiques

## CONTACTS



**François BOISSINOT**

Coordinateur du programme de recherche régional en grandes cultures biologiques

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

9 rue André-Brouard – CS 70510  
49105 ANGERS Cedex 2

02 41 18 60 34 - 06 08 87 96 09

[francois.boissinot@pl.chambagri.fr](mailto:francois.boissinot@pl.chambagri.fr)



**Agathe LEMOINE**

Conseillère en agronomie productions végétales

**Chambre d'agriculture de la Mayenne**

Parc technopole - Rue Albert-Einstein-Change  
BP 36135 - 53061 LAVAL Cedex 9

02 43 67 38 68 - 06 31 27 82 14

[agathe.lemoine@mayenne.chambagri.fr](mailto:agathe.lemoine@mayenne.chambagri.fr)



**Florence LETAILLEUR**

Chargée de mission Agriculture biologique

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

15 rue Jean Grémillon  
72013 LE MANS Cedex 2

02 43 29 24 57 - 06 71 22 26 55

[florence.letailleur@pl.chambagri.fr](mailto:florence.letailleur@pl.chambagri.fr)



**Gilles LE GUELLAUT**

Chargé de mission en agriculture biologique

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

Rue Pierre-Adolphe-Bobierre – La Géraudière  
44939 NANTES Cedex 9

02 53 46 61 74 - 06 45 70 07 56

[gilles.leguellaut@pl.chambagri.fr](mailto:gilles.leguellaut@pl.chambagri.fr)



**Virginie RIOU**

Conseillère spécialisée sol

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

Département Agronomie-Machinisme

14 avenue Jean Joxé – CS 80646

49006 ANGERS Cedex 01

02 41 96 75 49 - 06 26 64 30 96

[virginie.riou@pl.chambagri.fr](mailto:virginie.riou@pl.chambagri.fr)



**Céline BOURLET**

Chargée de mission expérimentation agronomie

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

9 rue André-Brouard – CS 70510

49105 ANGERS Cedex 2

02 41 18 60 35 - 07 63 04 43 11

[celine.bourlet@pl.chambagri.fr](mailto:celine.bourlet@pl.chambagri.fr)



**Stéphane HANQUEZ**

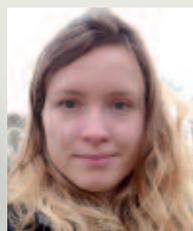
Chargé de mission Agriculture biologique

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

21 boulevard Réaumur  
85013 LA ROCHE-SUR-YON Cedex

02 51 36 81 68 - 06 07 74 92 22

[stephane.hanquez@pl.chambagri.fr](mailto:stephane.hanquez@pl.chambagri.fr)



**Gaëlle FOREST**

Chargée de mission grandes cultures biologiques

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

9 rue André-Brouard – CS 70510

49105 ANGERS Cedex 2

02 41 18 60 36 - 07 63 79 45 33

[gaelle.forest@pl.chambagri.fr](mailto:gaelle.forest@pl.chambagri.fr)



**Cécile BROUILLARD**

Chargée de mission Agriculture biologique

**Chambre d'agriculture Pays de la Loire**

21 boulevard Réaumur  
85013 LA ROCHE-SUR-YON Cedex

02 51 36 82 22 - 06 62 31 79 80

[cecile.brouillard@pl.chambagri.fr](mailto:cecile.brouillard@pl.chambagri.fr)