



## Référents Recherche

Marjorie UBERTOSI, AgroSup Dijon  
[marjorie.ubertosi@agrosupdijon.fr](mailto:marjorie.ubertosi@agrosupdijon.fr)  
Christophe LECOMTE, INRAE Dijon  
[christophe.lecomte@inrae.fr](mailto:christophe.lecomte@inrae.fr)

## Référent Acteur

Delphine DE FORNEL, Terres Inovia  
[d.defornel@terresinovia.fr](mailto:d.defornel@terresinovia.fr)

## Laboratoires

- UMR Agroécologie, Dijon
- UMR Chrono-environnement, Besançon
- UMR Biogéosciences, Dijon
- UMR TheMA, Besançon
- UMR CESEAR, Dijon
- UE INRAE, Époisses
- UMR Agronomie, Grignon
- ISARA, Lyon

## Partenaires

- Terres Inovia
- Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne-Franche-Comté
- DRAAF Bourgogne-Franche-Comté
- Coopératives de la région
- Association pour la qualité de l'eau potable
- Bio Bourgogne
- Lycées agricoles
- AgroSup Dijon - EDUTER

## Systèmes de culture Innovation Protéines végétales Climat

- Les modèles climatiques et agronomiques ont permis de visualiser la **dynamique des paramètres climatiques** et d'en estimer les **conséquences sur les cultures** : description des stress et de leurs impacts sur les productions.
- Des **expérimentations** conduites sur deux campagnes culturales et dans différentes zones de la région ont évalué **l'impact d'un précédent légumineuses sur la culture suivante** : effet précédent de 10 légumineuses sur la teneur en protéines du blé suivant; et **l'intérêt de cette diversification** afin de **limiter les impacts environnementaux** des systèmes de culture.
- Le travail de **traque des systèmes de culture innovants** à partir d'enquêtes et de collectes de données existantes a mis en évidence les **motivations dans les prises de décision** des agriculteurs. Les études menées auprès des collectifs ont mis en lumière **l'importance des échanges et du soutien du groupe** dans la décision de changer de pratiques agronomiques.

## Problématique

- Peut-on identifier sur le territoire d'étude des **systèmes de culture producteurs de protéines performants** d'un point de vue agronomique et économique, et pouvant **répondre aux défis environnementaux et climatiques** ?
- Comment peut-on utiliser les **services associés à l'introduction de légumineuses** dans les systèmes de culture afin d'améliorer la **disponibilité en azote**, d'**augmenter les teneurs en protéines** produites par le système tout en **minimisant les impacts environnementaux** ?
- Comment **concevoir et évaluer des systèmes de culture à enjeux protéines** afin qu'ils représentent une alternative acceptable pour les exploitants agricoles et comment peut-on **accompagner ce changement** de pratiques ?



Figure n° 1  
Culture de pois

## Contribution à la transition des territoires ruraux et périurbains

- **L'intensification agricole** amorcée depuis les années 1950 a conduit au modèle dominant actuel caractérisé par des systèmes de production de grandes cultures et reposant sur l'utilisation d'engrais de synthèse et le choix d'espèces cultivées assurant la meilleure rentabilité à court terme. Ceci a conduit à **l'abandon d'espèces moins productives**, au profit du blé et du colza, à une **perte d'autonomie en protéines** d'origine végétale et à des **problèmes phytosanitaires et environnementaux** croissants.
- Aujourd'hui, les changements climatiques et l'appauvrissement des ressources questionnent la **durabilité de ce modèle** et se pose donc le défi d'une production de protéines plus autonome, performante et durable dans ce contexte. Ainsi, la question de **développer la production des protéines végétales** dans les systèmes de culture de la région Bourgogne-Franche-Comté, via notamment **l'intégration des légumineuses** dans les prairies ou en grandes cultures, pour améliorer la durabilité des systèmes de culture et augmenter l'autonomie en protéines à différentes échelles, devient pertinente.
- Le **projet ProSys** a eu pour objectifs de produire des connaissances nouvelles, d'étudier sur les plans agronomique, économique et environnemental des systèmes de culture expérimentaux ou ayant été testés par des agriculteurs, et d'analyser des conditions permettant leur adoption à une plus large échelle.

## Démarche

Le projet ProSys est divisé en 4 volets de recherche complémentaires. Il vise à **identifier des systèmes de culture producteurs de protéines, performants aux plans agronomique et environnemental, répondant au défi du changement climatique, et représentant une alternative économique viable pour les exploitants agricoles.**

### a. Modéliser

Le projet a permis d'enrichir les connaissances sur les **potentiels de production des légumineuses à graines** dans les différents territoires de la Bourgogne-Franche-Comté.

L'étude des contraintes environnementales a été réalisée pour le **climat actuel** et pour un **climat futur probable** modélisé. Des cartographies ont été produites : évolution du risque de dégâts de gel hivernal, fortes températures, stress hydrique, évolution de la date de début de floraison du pois...

### b. Mener des expérimentations

Une étude approfondie sur 10 espèces de légumineuses (à graines et fourragères) – menée au domaine INRAE dans la plaine de Dijon – a permis de **caractériser le cycle de l'azote**, de l'effet précédent aux pertes azotées en passant par l'impact sur la production de protéines végétales. Des expérimentations de longues durées ont également été financées et analysées dans le cadre de ce projet, en particulier l'évaluation de l'impact des **pratiques culturales sur les rejets de nitrates** et des **systèmes de culture sur la fonction filtre des sols**. Des expérimentations à but pédagogique ont également été menées en partenariat avec les lycées agricoles.

### c. Recenser et analyser des données

**De nouveaux systèmes de cultures mis en place par des agriculteurs ont été recensés et décrits.** Ces systèmes peu communs doivent servir de supports de réflexion voire d'exemples pour envisager des évolutions des systèmes traditionnels vers des systèmes innovants, producteurs de protéines, avec des performances économiques et environnementales intéressantes. Plusieurs **impacts environnementaux** des systèmes de culture avec ou sans légumineuses ont été répertoriés (pertes d'azote, qualité des eaux de collecte de plusieurs bassins versants pour les nitrates et les pesticides, maîtrise des adventices...).

De plus, des données de production ont été recensées à l'échelle de la région pour **confronter les résultats des simulations par le modèle Azodyn-Pea à la réalité.**

### d. Réaliser des enquêtes

Des enquêtes qualitatives dans le cadre d'entretiens semi-directifs ont été réalisées, auprès d'agriculteurs et d'acteurs de la filière. Ces enquêtes avaient pour but d'**identifier les déterminants de l'évolution des systèmes de culture**. Elles ont été conduites sur un échantillon représentatif de la diversité des profils d'agriculteurs et d'exploitations de Bourgogne-Franche-Comté.

### e. Valoriser dès le début du projet

La stratégie de valorisation du projet mise en place dès le début a permis la création de **groupes de travail avec l'enseignement agricole et les professionnels du monde agricole** afin de concevoir ensemble des outils, messages et supports de communication pour diffuser les résultats du programme.

## Les terrains d'étude

Le projet a couvert la diversité des zones de production de la région. Afin de satisfaire cet objectif tout en restant pertinent, **différentes échelles ont été considérées** en fonction des tâches réalisées.

- de **la parcelle** pour le recensement des systèmes de culture et les expérimentations pour l'acquisition de nouvelles références...
- ... à **la région Bourgogne-Franche-Comté** pour les cartographies des contraintes environnementales et du potentiel de rendements des cultures, actuels et à venir dans le contexte du changement climatique et les études socioéconomiques auprès des agriculteurs.

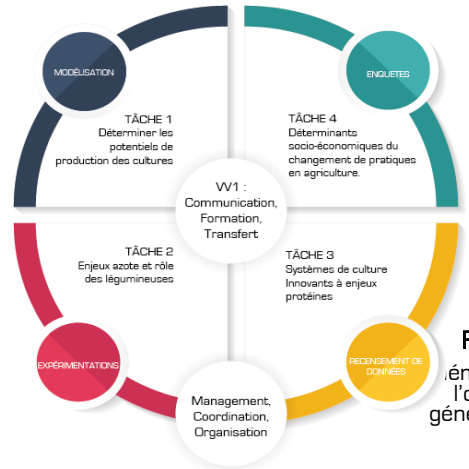
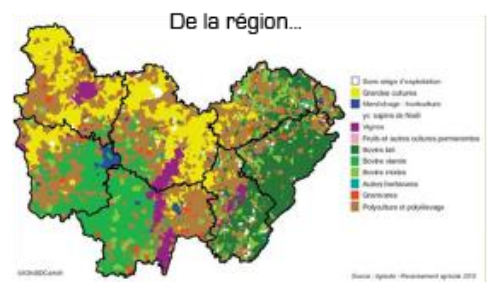


Figure n°2  
Schéma représentant l'organisation générale du projet

Figure n°3  
Cartes des différents territoires et des zones d'étude de la région



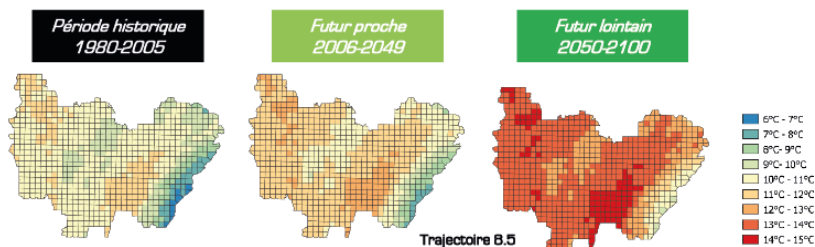
## Impact du réchauffement climatique en Bourgogne-Franche-Comté sur le stress gel hivernal et la date de floraison du pois d'hiver

Le pois d'hiver est semé et récolté plus précocement que le pois de printemps et échappe davantage aux stress de fin de cycle. De ce fait, il a un meilleur potentiel de rendement et représente un meilleur candidat pour la diversification des systèmes de culture en contexte de changement climatique, à condition de limiter le risque de gel hivernal.

### Caractérisation de l'évolution du climat de Bourgogne-Franche-Comté

Des données climatiques régionalisées ont été produites. Puis des simulations ont permis d'obtenir des données à un pas de temps journalier, à la résolution de 8 km, en explorant deux trajectoires de changement climatique : l'une des plus vertueuse RCP 4.5 et la moins vertueuse RCP 8.5. Les variables nécessaires à la cartographie des stress abiotiques via des modèles de culture (températures, précipitations, rayonnement et évapotranspiration potentielle) ont ainsi été obtenues sur la période de 1980 à 2100.

**Figure n°4**  
Augmentation des températures moyennes journalières selon le scénario de réchauffement le plus rapide



Parmi les variables climatiques étudiées en Bourgogne-Franche-Comté, les températures montrent l'évolution moyenne la plus marquée sur la période 1980 à 2100, quelle que soit la trajectoire. Les températures maximales augmentent plus (environ + 4°C en fin de 21ème siècle pour RCP 8.5) que les températures minimales (environ + 3,5°C pour RCP 8.5). Le réchauffement est modulé par la physiographie de la région (positionnement géographique, relief, occupation du sol).

### Incidences sur la culture de pois

Des modèles de culture simulant le stress dû au gel hivernal et la date de floraison ont été calibrés et validés pour le pois. Ils ont été alimentés par les données de températures minimales et maximales simulées en Bourgogne-Franche-Comté pour calculer l'évolution du stress de gel hivernal chez le pois d'hiver et de la date de début floraison chez un pois d'hiver et de printemps.

Les résultats montrent que le risque de gel hivernal ne disparaît pas dans le futur malgré la hausse des températures. Cela s'explique par le mécanisme d'acclimatation des plantes qui est moins performant en contexte plus chaud. Par ailleurs, les dates de début floraison du pois seront de plus en plus précoces dans le futur avec l'augmentation des températures. Les dates de floraison les plus précoces sont obtenues pour le pois d'hiver avec des résultats de simulations montrant une avancée d'environ 1 mois en fin de 21ème siècle pour la trajectoire RCP 8.5 rendant probablement cette culture plus sensible au gel tardif.

## Processus azotés à l'origine de l'effet précédent des légumineuses sur une culture de blé

### Une plus grande disponibilité en azote après les précédents légumineuses

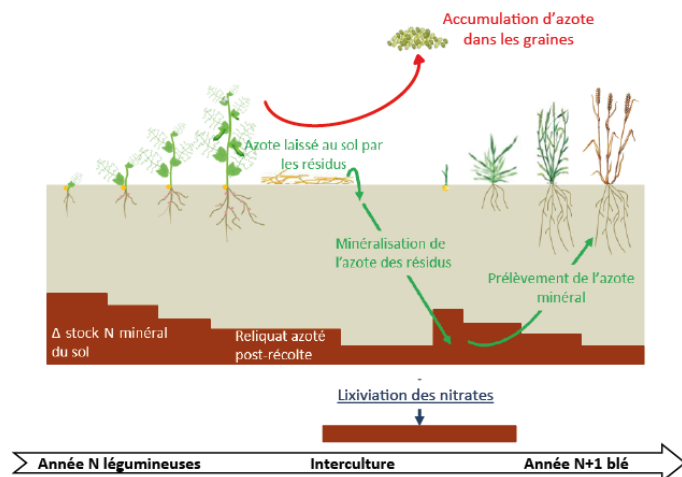
Une étude comparative a été faite pour 10 espèces de légumineuses à graines. La minéralisation des résidus de légumineuses est connue pour libérer des quantités d'azote disponibles pour les cultures suivantes. Il existe une grande variabilité de ces quantités entre les espèces de légumineuses selon le rapport C/N des résidus. Il est nécessaire de réaliser une bonne gestion de cet azote, par l'implantation de cultures intermédiaires par exemple, afin de limiter les fuites éventuelles par lixiviation.

### Des différences significatives selon les espèces

Les profils des légumineuses ont permis de distinguer :

- Les espèces avec une forte capacité de prélèvement de l'azote minéral du sol et avec de plus faibles risques de pertes d'azote par lixiviation après leur récolte (haricot, pois chiche et soja).
- Les espèces avec une plus faible capacité de prélèvement de l'azote minéral du sol et avec de plus forts risques de pertes d'azote par lixiviation (féverole, lentille, pois, vesce commune et vesce de Narbonne).

L'établissement de ces profils fonctionnels aide ainsi au choix des espèces de légumineuses selon les objectifs recherchés dans un environnement donné, et à adapter en conséquence la gestion de l'azote dans les systèmes de culture. Par exemple, des impacts négatifs induits par certaines cultures de légumineuses dans certaines conditions climatiques peuvent être compensés par la mise en place de pratiques agricoles adéquates (associations légumineuses-céréales...).



**Figure n°5**  
Les processus azotés à l'origine de l'effet précédent des légumineuses



## Systèmes de culture innovants

La traque réalisée auprès de 13 agriculteurs a permis d'identifier 11 systèmes de culture différents regroupant **6 modes d'insertion des légumineuses** : prairie temporaire, méteil, légumineuses à graines, couvert d'interculture, couvert permanent et plante compagne.

### Une insertion des légumineuses pour leurs services fournis

En polyculture-élevage, l'augmentation de l'**autonomie en protéines** de l'exploitation constitue le premier service fourni par les légumineuses, majoritairement par des prairies à base de légumineuses et des méteils. Les plantes compagnes et les couverts peuvent être ponctuellement valorisés pour l'alimentation des troupeaux. En revanche, les légumineuses à graines sont destinées essentiellement à la vente.

L'insertion de légumineuses à graines permet de **réduire le recours aux fertilisants azotés** et parfois **aux herbicides**. En effet, une insertion de légumineuses fourragères ou à graines réussie permet de casser le cycle des adventices et contribue à la gestion des graminées par leur développement parfois très dense.

### Des impacts sur la qualité de l'eau

L'étude menée à Bretenière (21) sur l'impact de systèmes de culture plus ou moins dépendants des herbicides sur la qualité des eaux a montré des flux de pesticides différents d'un dispositif à l'autre : alors que les pesticides appliqués sont retrouvés dans l'eau pour certains systèmes, d'autres, comme la parcelle sans désherbant chimique, exportent des résidus anciens présents de longue date dans le sol. Sur ces systèmes contrastés, la dynamique des nitrates montrent des **épisodes de lixiviation** qui font suite à la **culture de certaines légumineuses** et au **retournement de la luzerne**, pouvant être **limités par l'implantation d'une culture intermédiaire**. Le suivi expérimental sur le bassin versant de la Loue (25) met en évidence des risques de lixiviation de nitrates importants suite aux retournements des prairies, risques très marqués pour les sols superficiels. Dans l'Yonne (89), le passage au **semis direct sous couvert** a entraîné une **diminution des concentrations en nitrates** dans les eaux de collecte. Enfin, le dispositif de la parcelle drainée de Virey le Grand (71) a permis de suivre la dynamique de l'azote dans ce système conventionnel et également la dynamique du glyphosate et de l'AMPA sur une saison.

## Déterminants socio-économiques du changement de pratiques en agriculture

### Un levier économique non négligeable

Les pertes de rendements sur les systèmes simplifiés incitent à la diversification, les **aides publiques** peuvent opérer, de même que l'identification de **nouveaux débouchés**, notamment en **alimentation humaine**, permettant une meilleure valorisation qu'en alimentation animale. La **proximité géographique d'un lieu de collecte** se présente aussi comme un levier et conduit à souligner le **rôle essentiel des organismes stockeurs et coopératives** dans la mise en place de nouvelles filières.

### Le rôle du collectif

Sur le plan social, adopter de nouvelles cultures, conduit à **changer ses pratiques**. Bien que cela réponde à une pression sociétale et médiatique, il s'agit d'innover en explorant d'autres modalités que le système technique existant. Il est dès lors important de **trouver des ressources en termes de savoirs, savoir-faire et de soutien**. Certains agriculteurs se regroupent pour chercher, explorer ensemble des solutions, mais aussi pour partager leurs problèmes, s'entraider et se rassurer. Les **collectifs d'échanges** de pratiques sont ainsi de véritables vecteurs de changement. Or seulement 10% des agriculteurs appartiennent à un collectif. **Promouvoir ces dynamiques collectives constitue un enjeu d'importance** pour évoluer vers un système plus durable.

## Conclusions

Le projet PSDR ProSys a permis de travailler sur plusieurs enjeux majeurs de l'agriculture d'aujourd'hui dans un contexte social, économique et environnemental qui pousse l'agriculture à évoluer voire à changer. La caractérisation du changement climatique en région Bourgogne-Franche-Comté et les impacts associés ont donné des résultats qui ont valeur d'exemple et qui pourront être extrapolés à d'autres territoires de France. Les systèmes de culture et plus globalement de production ont été ré-analysés au regard des nouveaux enjeux. Les résultats du projet sur les services écosystémiques rendus par les légumineuses et les moteurs du changement montrent l'intérêt et les limites à dépasser pour leur intégration dans les systèmes de culture. Dans le contexte de la transition agroécologique actuel, les résultats scientifiques du projet mais également la démarche de valorisation des résultats scientifiques, de partenariats et de co-construction des savoirs, ont vocation à être diffusés et partagés.

### Pour aller plus loin

- Castel T., Lecomte C., Richard Y., Lejeune-Hénaut I., Larmure A., 2019. Évolution rétrospective du risque gélif hivernal en climat tempéré suite au réchauffement climatique. Revue scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature. 2019, p.323-332
- Guinet M., 2019. Quantification des flux d'azote induits par les cultures de légumineuses et étude de leurs déterminants : comparaison de 10 espèces de légumineuses à graines. Thèse de doctorat, Ecole doctorale Environnement-Santé UBFC, Mars 2019, Dijon, 239 p.
- Laroche C., Queyrel W., Jeuffroy M.H., Voisin A.S., Lecomte Ch., Ubertosi M., Duc G., Petit M.S. (2018). Traque et analyse de systèmes avec légumineuses en Bourgogne-Franche-Comté pour produire des références pour l'action. Rencontres Francophones sur les Légumineuses II, le 17 et 18 octobre 2018, Toulouse.
- Munier-Jolain N., Abgrall M., Adeux G., Alletto L., Bonnet C., Cordeau S., Darras S., Deswarte C., Farcy P., Gavaland A., Justes E., Sciarra G., Meunier D., Pernelle J., Raffailac D., Gleizes B., Tison G., Ubertosi M. (2018). Projet SYSTEM-ECO4 : Évaluation de systèmes de grandes cultures à faible usage de pesticides. Project System-Eco4. Innovations Agronomiques, 70, 257-271.
- Vergote M. H., Tanguy C., Garcia E. (2019). Les collectifs producteurs de savoirs pour l'action : retour d'expériences sur l'insertion de légumineuses dans l'assolement en Bourgogne Franche-Comté. Innovations Agronomiques, 74 : 105-120

**Document de synthèse tiré des travaux de :** Castel Thierry, Guinet Maé, Joly Daniel, Larmure Annabelle, Laroche Candice, Lecomte Christophe, Lucot Eric, Nicolardot Bernard, Petit Marie-Sophie, Peyrard Manon, Prudhon Marie, Queyrel Wilfried, Tanguy Corinne, Ubertosi Marjorie, Vergote Marie-Hélène, Voisin Anne-Sophie

Plus d'informations sur le programme PSDR et le projet

[www.psdrr.fr](http://www.psdrr.fr)  
[www6.inrae.fr/psdr-bourgogne](http://www6.inrae.fr/psdr-bourgogne)

### Pour citer ce document :

Laroche C., Lecomte C., Ubertosi M. (2020).

*L'adaptation pédoclimatique, les impacts environnementaux positifs et la valeur économique de nouveaux systèmes de culture durables producteurs de protéines.*  
Projet PSDR ProSys,  
Bourgogne-Franche-Comté,  
Les 4 pages résultats PSDR4

### Contacts :

PSDR Bourgogne-Franche-Comté

Candice LAROCHE (INRAE)

[candice.laroche@inrae.fr](mailto:candice.laroche@inrae.fr)

Marie-Claude LEMOINE (INRAE)

[marie-claude.lemoine@inrae.fr](mailto:marie-claude.lemoine@inrae.fr)

Animation Nationale PSDR :

André TORRE (INRAE)

[torre@agroparistech.fr](mailto:torre@agroparistech.fr)