



Le labour, pratique consommatrice d'énergie fossile, sera nettement moins utilisé dans les systèmes de demain.

Systèmes de culture innovants

3 Vers la performance environnementale

L'INRA a mis en place un dispositif spécifique pour étudier et mettre au point les systèmes de culture de demain capables de répondre aux problématiques environnementales actuelles (énergie, changement climatique, pesticides).

La raréfaction des ressources fossiles, les conclusions du Grenelle Environnement sur l'emploi des pesticides, les positions prises par le GIEC* sur les risques liés au changement climatique, remettent au premier plan les questions de relations entre agriculture et environnement. Dans ce contexte, l'INRA a mis en place, dès 2008, le programme « Systèmes de culture Innovants sous Contraintes » (SIC), en partenariat avec la ferme d'AgroParis-Tech à Grignon (Yvelines). Quatre

systèmes de grande culture sont étudiés dans le contexte pédo-climatique du Bassin Parisien. En dehors du système de référence, chaque système est soumis à une contrainte majeure : soit réduire significativement la consommation d'énergie fossile, soit s'interdire l'utilisation de pesticides, soit limiter significativement les émissions de gaz à effet de serre. Ils devront, par ailleurs,

Les contraintes environnementales ont encore été peu étudiées à l'échelle du système de culture, renforçant l'originalité de ce dispositif.

respecter des objectifs environnementaux spécifiés et atteindre des niveaux de production élevés.

PHPE : le système de référence

Un système Productif à Hautes Performances Environnementales (PHPE) cherche à satisfaire un ensemble de critères environnementaux quantifiés (tous les critères agro-environnementaux de la méthode INDIGO doivent atteindre une note ≥ 7) tout en gardant une production élevée.

Dans cette optique, plusieurs pratiques sont mises en œuvre. Pour augmenter la biodiversité et limiter l'utilisation des pesticides, une rotation composée de cinq cultures (au lieu de trois, courante en Ile-de-France) est retenue : féverole d'hiver (FH) – blé tendre d'hiver (BTH) – colza d'hiver (CH) – BTH – culture intermédiaire (CI) – orge de printemps (OP). Une légumineuse permet de réduire les apports d'azote minéral. Le semis systématique d'une culture intermédiaire avant l'orge de printemps vise à réduire la lixiviation des nitrates. Un seul labour, avant le semis de l'orge de printemps, permet de diminuer la consommation d'énergie fossile. Les choix des variétés, dates et densités de semis, sont raisonnés pour réduire la pression de bio-agresseurs. Les objectifs de production s'appuient sur les connaissances locales ou régionales.

NRJ : objectif -50 % d'énergie consommée

Le système Energie moins (NRJ) vise à réduire de moitié la consommation d'énergie fossile par rapport à PHPE, en conservant ses deux objectifs (critères agro-environnementaux et productivité). Dans ce cas, la succession est : FH – BTH – lin oléagineux d'hiver – association BTH – trèfle blanc (TB) – TB en CI – avoine de printemps. La réduction de la fertilisation azotée permise par l'implantation de nombreuses légumineuses et d'espèces à forte efficacité d'utilisation de l'azote contribue à la diminution de la consommation d'énergie. Le labour est supprimé et les objectifs de production minorés de 20 % par rapport au système PHPE. Les céréales à paille sont bien représentées dans la succession et les choix des variétés, dates et densités de semis conduisent *a priori* à réduire les apports de produits phytosanitaires.

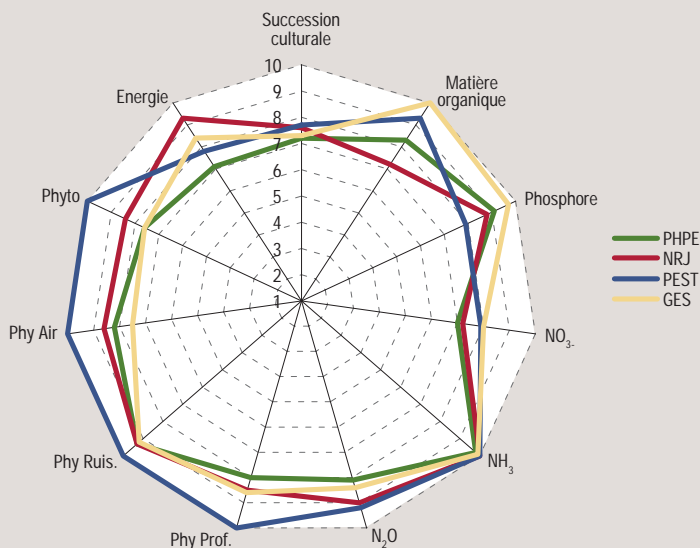
PEST : le 0 phyto

Le système Sans pesticide (PEST) s'interdit tout traitement phytosa-

Tous les systèmes attestent *a priori* de performances environnementales satisfaisantes.

Les associations d'espèces permettent de limiter les risques parasitaires.

Figure 1 : Evaluation *a priori* des performances environnementales des quatre systèmes retenus pour l'expérimentation. Moyennes annuelles calculées sur la succession avec l'outil INDIGO (v.1.95)



Indicateurs relatifs aux produits phytosanitaires :

- Phyto : Pression globale
- Phy Air : Indicateur de diffusion dans l'air
- Phy Ruis. : Indicateur de ruissellement
- Phy Prof. : Indicateur de présence en profondeur dans le sol

Systèmes de culture :

- PHPE : Productif à Hautes Performances Environnementales
- NRJ : Energie moins
- PEST : Sans pesticide
- GES : Gaz à Effet de Serre moins

1 = niveau « inacceptable » en matière d'effet sur l'environnement
 7 = minimum acceptable en matière d'effet sur l'environnement
 10 = absence d'effet sur l'environnement



nitaire, en conservant les deux objectifs de PHPE. Pour cela, la rotation comporte une alternance systématique d'espèces d'hiver et de printemps : (CI) – féverole de printemps (FP) – BTH – (CI) – chanvre – triticale (T) – (CI) – maïs (M) – BTH. Des couverts d'espèces variées sont implantés systématiquement avant les cultures de printemps pour réduire la lixiviation du nitrate. La pratique du labour et du binage concilie la gestion des bio-agresseurs et une consommation d'énergie fossile pas trop élevée. Les principes pour choisir les variétés, dates et densités de semis de la modalité PHPE sont appliqués. Les objec-

Les systèmes mis en place ont été conçus avec la méthode d'optimisation de prototypes : l'évaluation *a priori* (dires d'experts, modèles et outils) permet d'en estimer les performances.

tifs de production, inférieurs au traitement PHPE, sont plus élevés que ceux obtenus en agriculture biologique.

GES: objectif -50 % d'émissions de gaz à effet de serre

Le système Gaz à Effet de Serre moins (GES) a pour but de réduire de moitié les émissions de gaz à effet de serre par rapport à PHPE, en conservant ses deux objectifs. Deux stratégies sont suivies simultanément :

1. augmenter le stock de carbone dans les sols ;
2. réduire les émissions directes et indirectes de protoxyde d'azote (N_2O).

Pour répondre au premier objectif, une culture intermédiaire est systématiquement implantée, le

labour est supprimé, les objectifs de production sont élevés et de nombreuses céréales sont implantées (leurs résidus permettent un stockage de carbone maximal dans les sols).

Pour répondre au second objectif, de nombreuses légumineuses ont été retenues dans la succession, et la fertilisation azotée est gérée de façon particulière (formes d'engrais spécifiques, utilisation d'inhibiteurs de nitrification, planning d'épandage adapté aux conditions climatiques). Un décompactage sera autorisé si l'émission de N_2O s'amplifiait en raison d'un tassement progressif du sol. La succession est : (CI) – FP – CH – (CI) – BTH – (CI) – orge d'hiver – (CI) – M – T.

Le lin fait partie des espèces ayant une bonne efficacité d'utilisation de l'azote. Les apports d'engrais sont limités, réduisant d'autant les consommations d'énergie.



Tableau 1 : Performances *a priori* du système Energie moins (NRJ). Moyennes annuelles des consommations d'énergie (directes et indirectes) calculées sur la succession, exprimées en MJ/ha et MJ/t (GESTIM, 2010)

Systèmes de culture	Consommation d'énergie (MJ/ha) GESTIM (2010)	Consommation d'énergie (MJ/t) GESTIM (2010)
PHPE	8937	1731
NRJ	5430	1471
Performances (%) PHPE-NRJ	39	15
PHPE		

→ Les objectifs de réduction de consommation d'énergie fossile sont les plus difficiles à atteindre.

Les résultats obtenus « a priori »

Pour évaluer les performances environnementales des systèmes étudiés, les valeurs des onze indicateurs agro-environnementaux sont calculées avec INDIGO sur deux successions culturales et moyennées (figure 1). Pour les quatre systèmes, tous les indicateurs atteignent *a priori* les performances souhaitées.

Calculée avec GESTIM, la réduction des consommations d'énergie fossile (MJ/ha) du système NRJ est évaluée *a priori* à 39 % de ceux du système PHPE, soit un peu moins bien que l'objectif fixé (tableau 1). La réduction importante de la production (-20 % relativement au système PHPE) conduit à une moindre performance énergétique lorsque les résultats sont exprimés en MJ/q, la réduction n'étant que de 15 %. Toutefois, respecter la contrainte est d'autant plus difficile que le système PHPE a lui-même été construit avec des objectifs énergétiques contraignants.

Simulé avec AMG sur 50 ans, le stockage de carbone dans le sol évolue positivement pour PHPE et GES (tableau 2). Il est supérieur de 21 t éq.CO₂/ha pour le système GES par rapport à PHPE, pour une teneur en matière organique des sols de 1,6 % (valeur courante en Ile-de-France). Comme les objectifs de production de GES restent élevés, les émissions de N₂O sont faiblement limitées (-8,75 t éq.CO₂/ha sur



Tous les systèmes conçus pour répondre à des enjeux environnementaux comptent au moins une légumineuse dans leur rotation.

50 ans). Globalement, les émissions de GES sont réduites de 68 %.

En attendant le verdict du terrain

Le dispositif expérimental mis en place à Grignon depuis 2008, pour une durée d'au-moins 10 ans, permet :

- d'évaluer la capacité des systèmes à satisfaire les contraintes, les objectifs environnementaux et les niveaux de production ;
 - de conduire des diagnostics agronomiques pour comprendre les raisons de ces performances ;
 - de caractériser et d'analyser les impacts des systèmes sur le milieu.
- Les conclusions sur les performances des systèmes sont attendues après une rotation complète. Une analyse multicritère, de type analyse de cycle de vie, sera conduite en parallèle. Les résultats auront un sens pour les régions du Nord de l'Europe. ■

GIEC* : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
GESTIM* : Guide méthodologique pour l'Estimation des Impacts des activités agricoles sur l'effet de serre.

Caroline Colnenne-David
caroline.colnenne@grignon.inra.fr

Gilles Grandeau
grandeau@grignon.inra.fr

INRA
Thierry Doré
thierry.dore@agroparistech.fr
AgroParisTech

Tableau 2 : Performances *a priori* du système Gaz à Effet de Serre moins (GES). Quantités de carbone stockées dans le sol (AMG, version 2010) pour une teneur en matière organique des sols égale à 1,6 %, et émissions de gaz à effet de serre (directes et indirectes, GESTIM, 2010) sur 50 ans

Systèmes de culture	Stockage C - 50 ans (t éq.CO ₂ /ha) AMG (2010)	Emissions GES - 50 ans (t éq.CO ₂ /ha) GESTIM (2010)	Bilan global - 50 ans Emission - stockage (t éq.CO ₂ /ha)
PHPE	20	63	43
GES	41	55	14
Performances (%) PHPE-GES PHPE	106	14	68

→ Réduire de moitié les émissions de gaz à effet de serre par rapport au système de référence semble *a priori* possible avec le système proposé, mais une vérification est nécessaire sur le terrain.