

Unité Mixte de Recherche Agronomie

Unité Expérimentale Grandes Cultures Versailles-Grignon

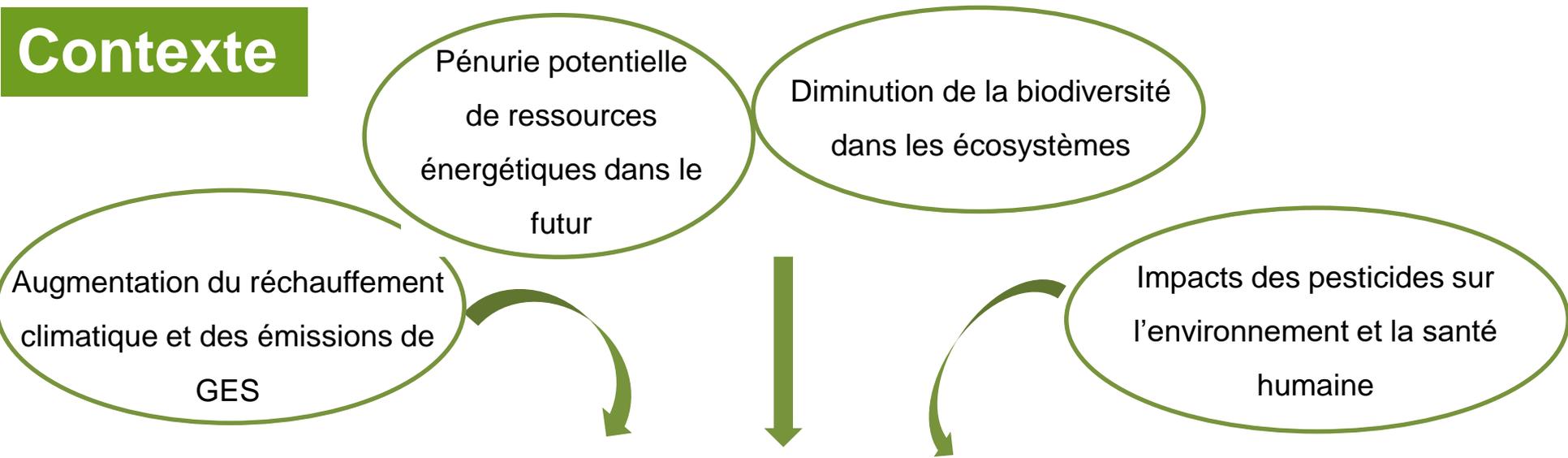
Comment et combien produire en réduisant les émissions de GES, la consommation d'énergie fossile ou en s'interdisant l'utilisation de pesticides ?

Acquis de 10 années d'évaluation de systèmes de culture
issus du dispositif de plein champ S.I.C.

C. Colnenne-David, G. Grandeau, M.H. Jeuffroy, J.M. Meynard, T. Doré



Contexte



Nous devons proposer de nouveaux systèmes de culture qui satisfont une multiplicité de critères environnementaux tout en étant productifs

Objectifs

1. Concevoir des systèmes de culture innovants (*Vereijken et al., 1997; Lançon et al., 2007*)

2. Evaluer les systèmes prototypes les plus prometteurs dans un essai de longue durée

SOMMAIRE

- ✓ **1. Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants**
- ✓ **2. Éléments de méthodologie**
- ✓ **3. Description du dispositif expérimental**
- ✓ **4. Comment et combien arrive-t-on à produire ?**
 - ✓ 4.1. Système « Productif à hautes performances environnementales »
 - ✓ 4.2. Système « Zéro pesticide »
 - ✓ 4.3. Système « Gaz à effet de serre moins »
 - ✓ 4.4. Système « Energie moins »
- ✓ **Conclusion**

1. Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

PHPE

Productif à hautes
performances
environnementales

0Pest

Sans pesticide

EN-

Energie moins

GES-

Gaz à effet de serre
moins

Sans pesticide
de synthèse ni
produit autorisé
en AB

50% réduction
consommation
d'énergie fossile /
système PHPE

50% réduction
émissions de
GES / système
PHPE

Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

PHPE

Productif à hautes performances environnementales

Un set de critères environnementaux

0Pest

Sans pesticide

Sans pesticide de synthèse ni produit autorisé en AB

Un set de critères environnementaux

EN-

Energie moins

50% réduction consommation d'énergie fossile / système PHPE

Un set de critères environnementaux

GES-

Gaz à effet de serre moins

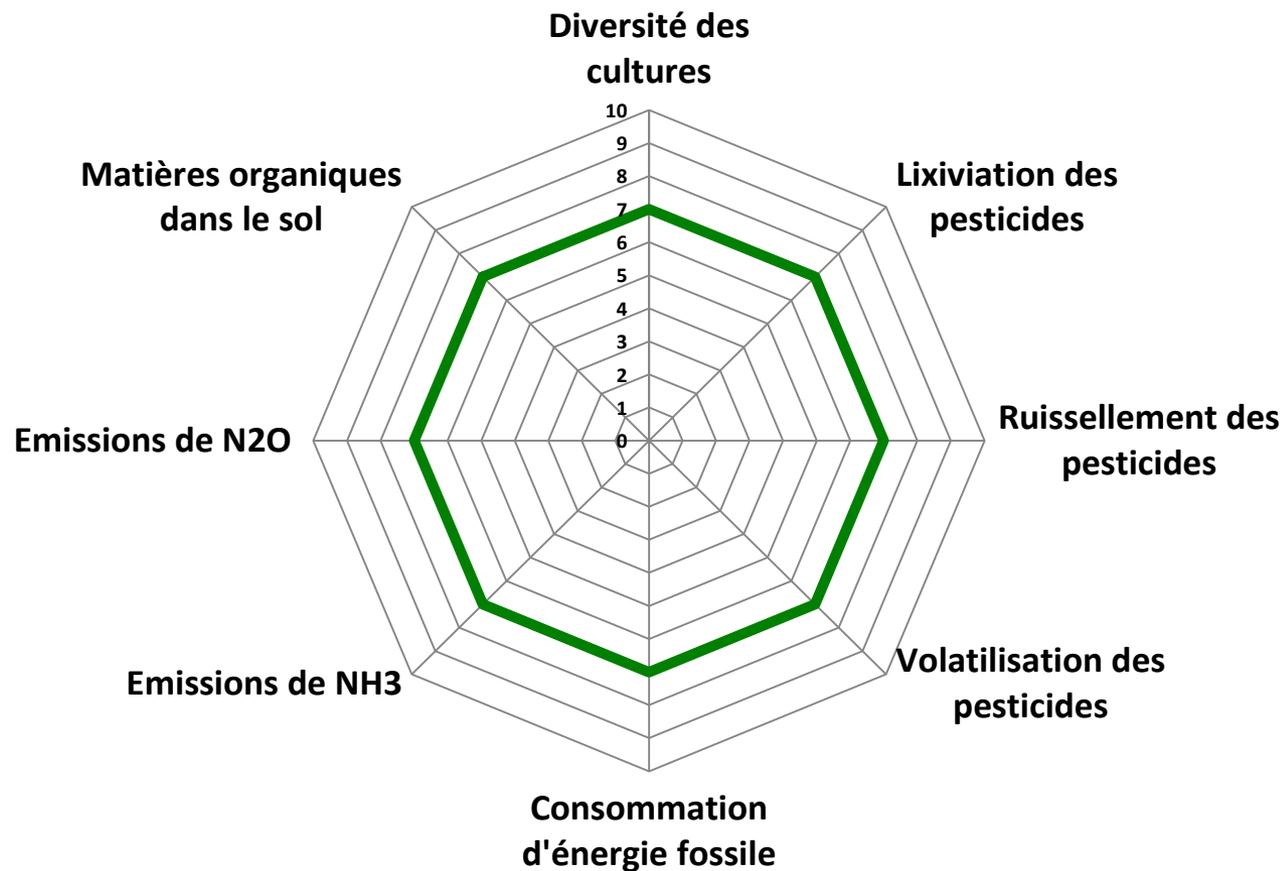
50% réduction émissions de GES / système PHPE

Un set de critères environnementaux

Les indicateurs agri-environnementaux

**Indicateurs
agri-environnementaux
calculés avec l'outil
Indigo®** (Bockstaller *et al.* 2008)

**Valeurs minimales ($v \geq 7$)
pour satisfaire les critères
environnementaux**



Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

PHPE

Productif à hautes performances environnementales

Un set de critères environnementaux

Haute production

0Pest

Sans pesticide

Sans pesticide de synthèse ni produit autorisé en AB

Un set de critères environnementaux

Haute production

EN-

Energie moins

50% réduction consommation d'énergie fossile / système PHPE

Un set de critères environnementaux

Haute production

GES-

Gaz à effet de serre moins

50% réduction émissions de GES / système PHPE

Un set de critères environnementaux

Haute production

2. Eléments de méthodologie

Conception « *de novo* » assistée par modèles, prototypage avec acteurs évaluation au champ

(Vereijken et al., 1997; Lançon et al., 2007; Lô-Pelzer et al., 2010)

Définition cadre
d'objectifs et de contraintes

Conception de
systèmes de culture
prototypes

- * connaissances expertes
(# 15 personnes mobilisées)
- * littérature scientifique

Evaluation *ex ante*

Caractérisation des
systèmes de culture
prototypes



Conception « *de novo* » assistée par modèles, prototypage avec acteurs évaluation au champ

(Vereijken et al., 1997; Lançon et al., 2007; Lô-Pelzer et al., 2010)

Définition cadre
d'objectifs et de contraintes



Evaluation ex ante

Conception de
systèmes de culture
prototypes

Optimisation

**Identification des systèmes
de culture prototypes les
plus prometteurs**

- * connaissances expertes
(# 15 personnes mobilisées)
- * littérature scientifique

70 systèmes prototypes conçus

Conception « *de novo* » assistée par modèles, prototypage avec acteurs évaluation au champ

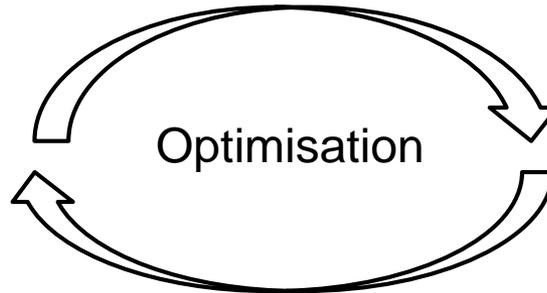
(Vereijken et al., 1997; Lançon et al., 2007; Lô-Pelzer et al., 2010)

Définition cadre d'objectifs et de contraintes

Conception de systèmes de culture prototypes

- * connaissances expertes (# 15 personnes mobilisées)
- * littérature scientifique

Evaluation *ex ante*



Les systèmes de culture prototypes les plus prometteurs

Evaluation *ex post* des prototypes au champ



Conception « *de novo* » assistée par modèles, prototypage avec acteurs évaluation au champ

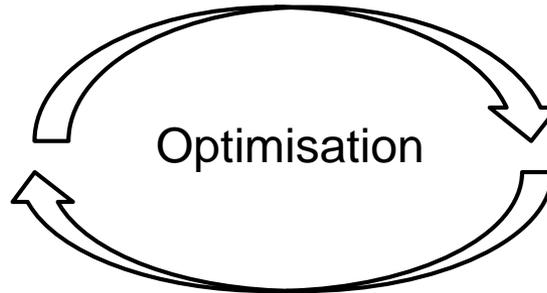
(Vereijken et al., 1997; Lançon et al., 2007; Lô-Pelzer et al., 2010)

Définition cadre d'objectifs et de contraintes

Conception de systèmes de culture prototypes

- * connaissances expertes (# 15 personnes mobilisées)
- * littérature scientifique

Evaluation *ex ante*



AMG



Les systèmes de culture prototypes les plus prometteurs

Evaluation *ex post* au champ



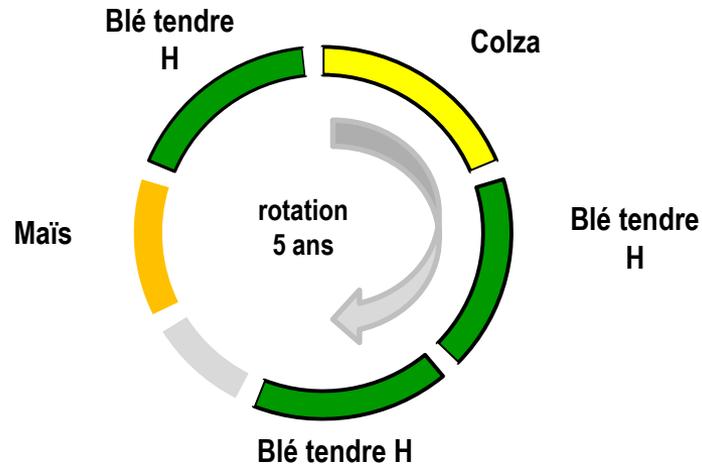
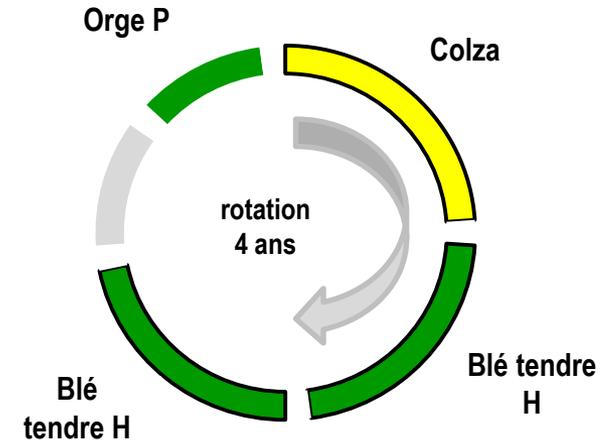
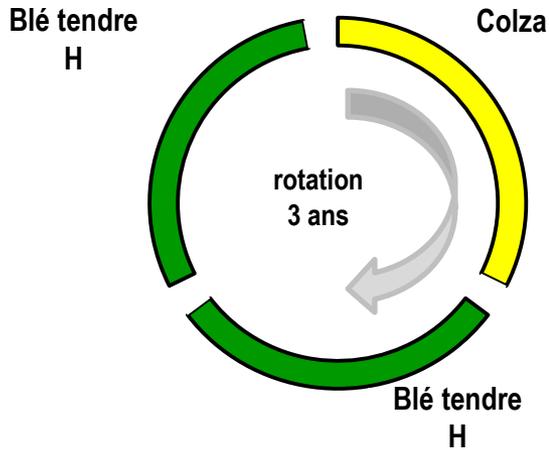
Field data

Si problème

systèmes de Culture Innovants

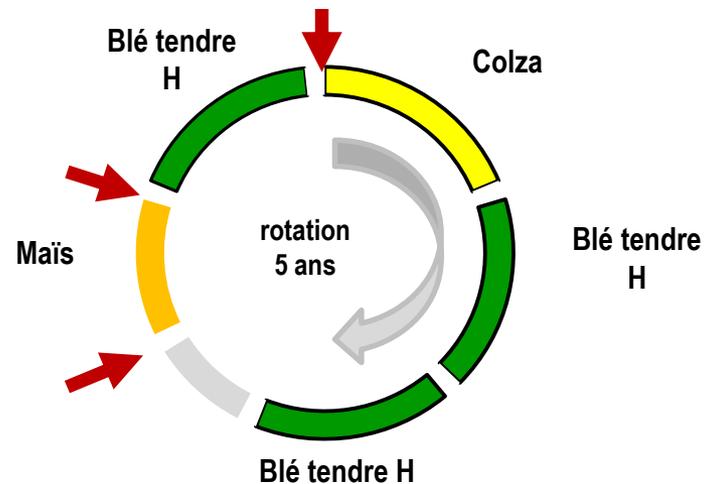
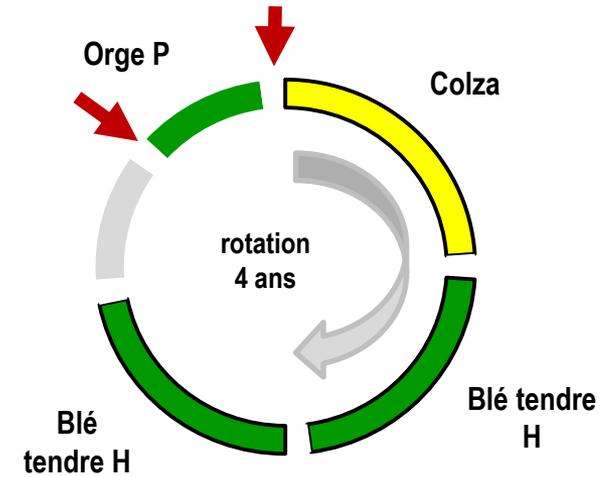
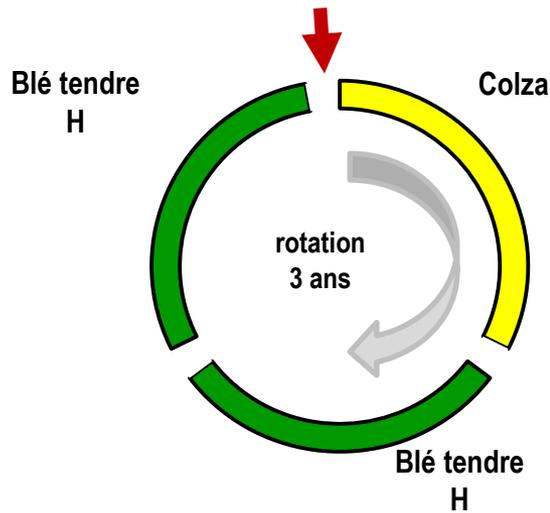


Pour évaluer les systèmes innovants, comparaison aux systèmes de culture représentatifs de la zone de production Plaine de Versailles (2009-2014) (L. Lefèvre, 2015)



Durée des rotations variables
Nombreuses céréales à paille d'hiver

Systemes de culture representatifs de la zone de production Plaine de Versailles (2009-2014) (L. Lefevre, 2015)

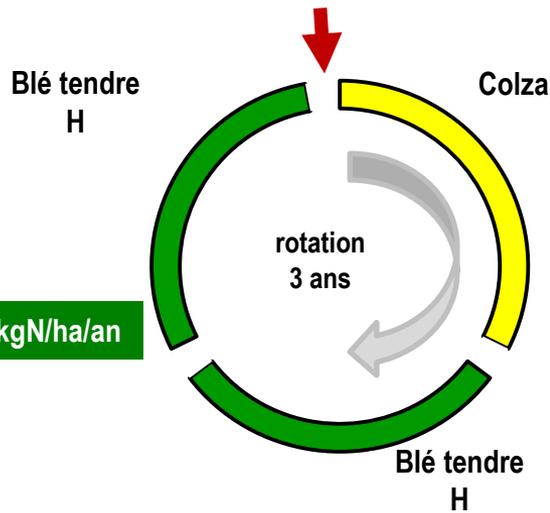


Durée des rotations variables
Nombreuses céréales à paille d'hiver

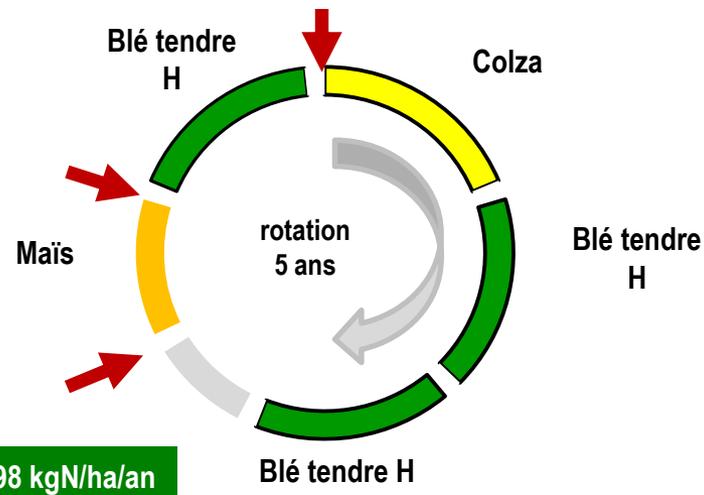
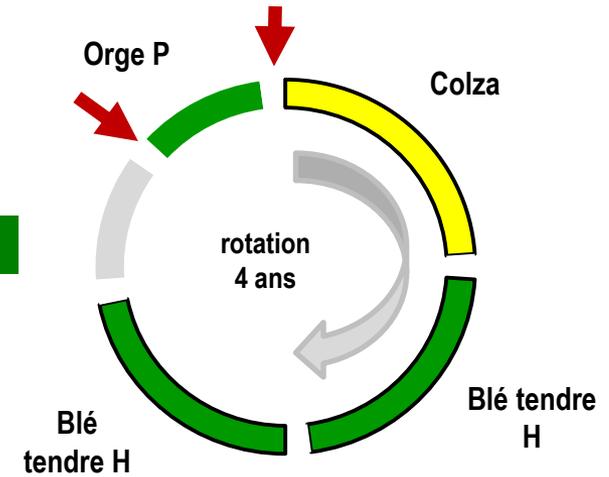
Labours réguliers ↓

Systemes de culture representatifs de la zone de production

Plaine de Versailles (2009-2014) (L. Lefevre, 2015)



198 kgN/ha/an



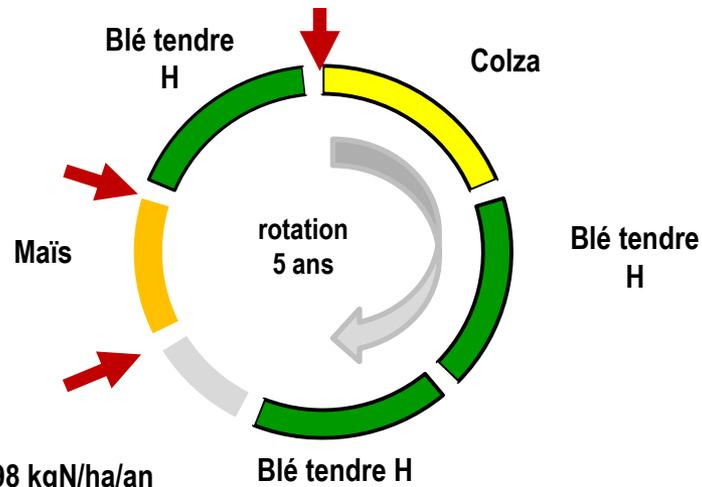
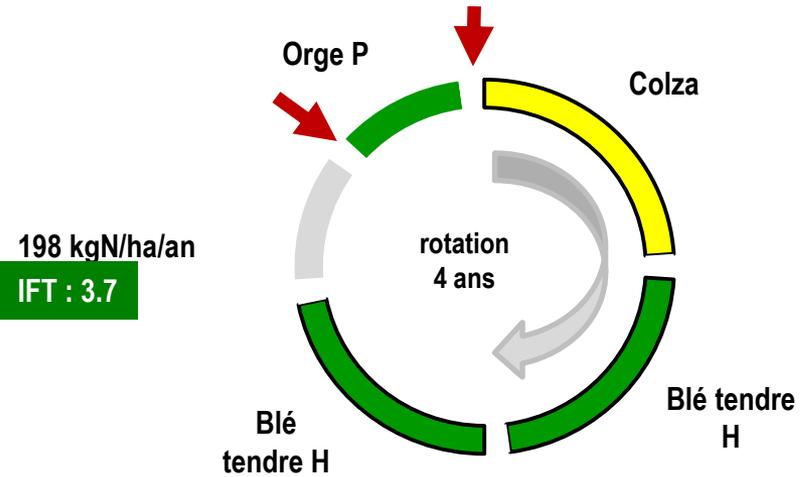
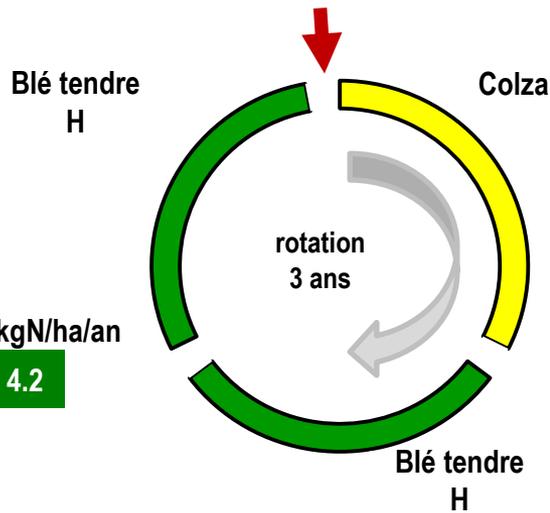
Durée des rotations variables
 Nombreuses céréales à paille d'hiver

Labours réguliers

Fertilisation azotée (>170kgN/ha/an)

Systèmes de culture représentatifs de la zone de production

Plaine de Versailles (2009-2014) (L. Lefèvre, 2015)

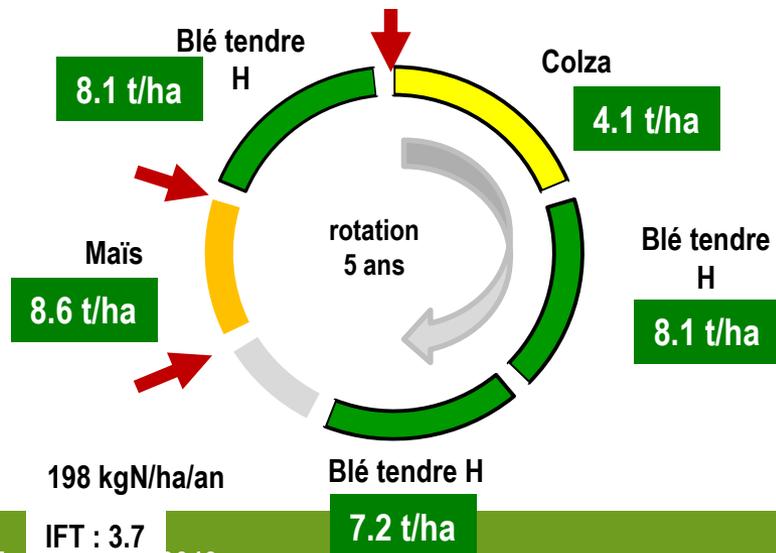
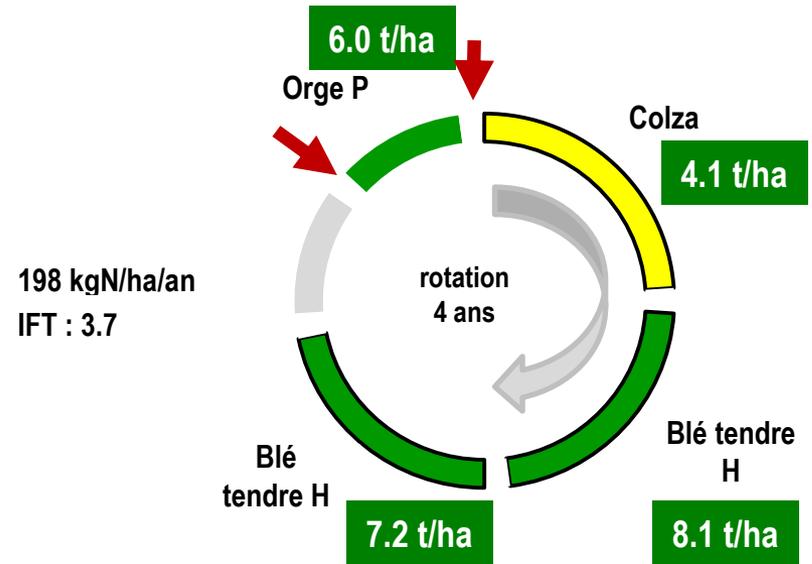
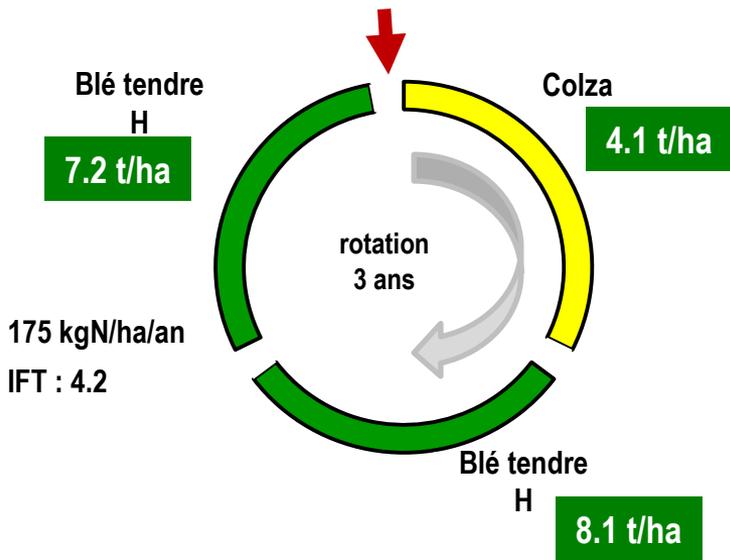


Durée des rotations variables
 Nombreuses céréales à paille d'hiver
 Labours réguliers ↓
 Fertilisation azotée (>170kgN/ha/an)

Protection phytosanitaire systématique

IFT : 3.7

Systemes de culture representatifs de la zone de production Plaine de Versailles (2009-2014) (L. Lefevre, 2015)



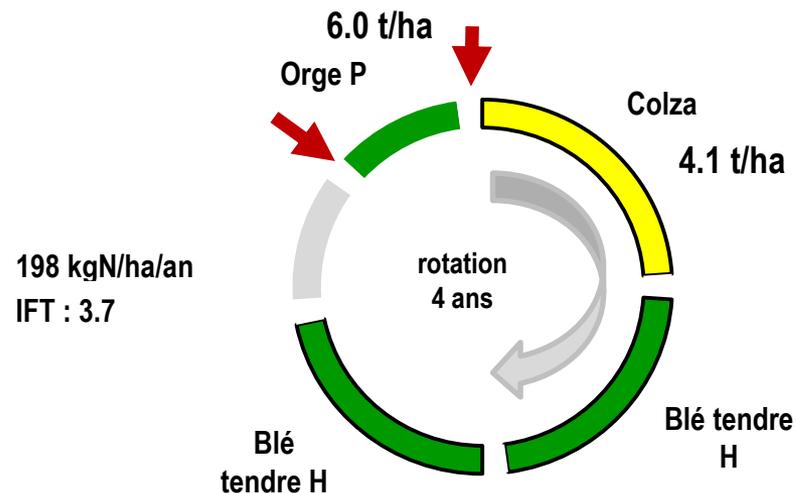
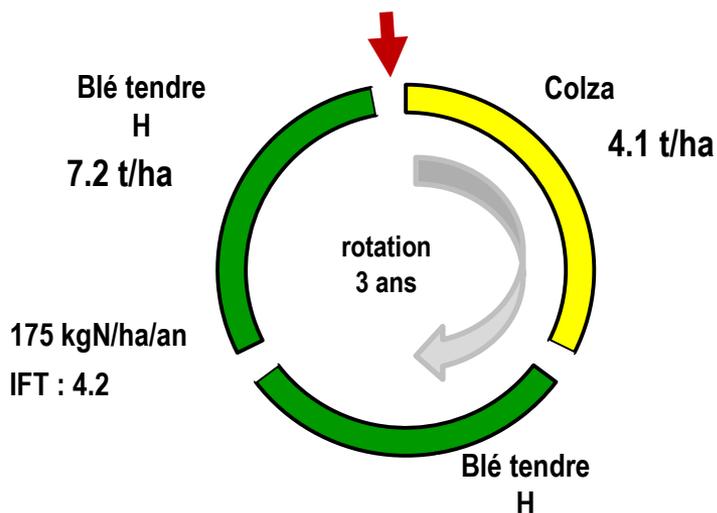
Durée des rotations variables
Nombreuses céréales à paille d'hiver
Labours réguliers ↓

Fertilisation azotée (>170kgN/ha/an)
Protection phytosanitaire systématique

Rendement (t/ha ; 0%)

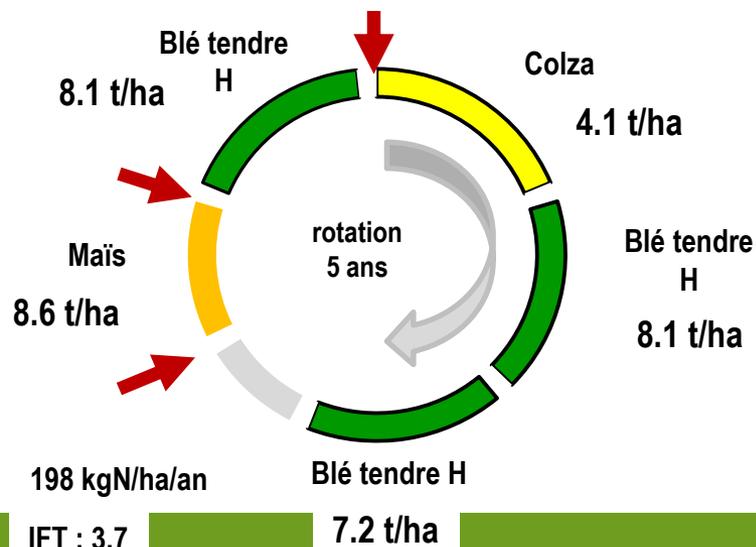
Systèmes de culture représentatifs de la zone de production

Plaine de Versailles (2009-2014) (L. Lefèvre, 2015)



Intitulé : système PV

Valeurs calculées à l'échelle de la rotation (/an) et moyennées



Durée des rotations variables
Nombreuses céréales à paille d'hiver
Labours réguliers ↓

Fertilisation azotée (>170kgN/ha/an)

Protection phytosanitaire systématique

Rendement (t/ha ; 0%)

3. Description du dispositif expérimental

Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène



© 2012 Google

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Image © 2012 IGN-France

©2008 Google

48°50'28.13" N 1°57'07.22" E

2011

Altitude 581 m

.021

Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène
- ✓ 3 répétitions
- ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
- ✓ Surface parcelle # 4000m²



Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène
- ✓ 3 répétitions
- ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
- ✓ Surface parcelle # 4000m²



Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène
- ✓ 3 répétitions
- ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
- ✓ Surface parcelle # 4000m²



Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène
- ✓ 3 répétitions
- ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
- ✓ Surface parcelle # 4000m²



Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
 - ✓ 6.2 ha
 - ✓ Sol : limon profond homogène
 - ✓ 3 répétitions
 - ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
 - ✓ Surface parcelle # 4000m²
 - ✓ Début : 2008-2009
 - ✓ Durée : 12 ans
 - ✓ 2018-2019 : en cours
- du 2nd cycle de rotation





4. Comment et combien arrive-t-on à produire ?

4.1. Système « Productif à hautes performances environnementales »

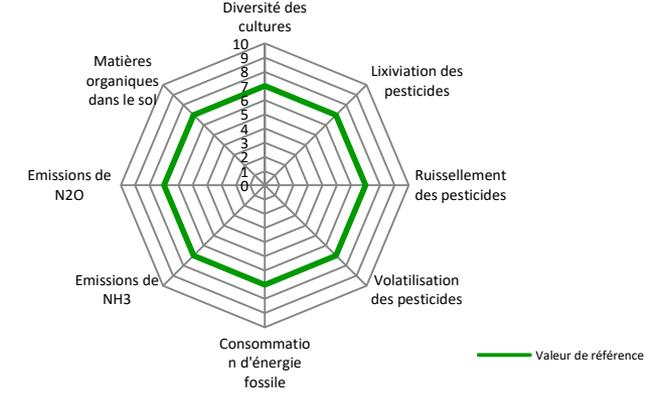
Sdci PHPE

**Un set de critères
environnementaux
+
Haute production**

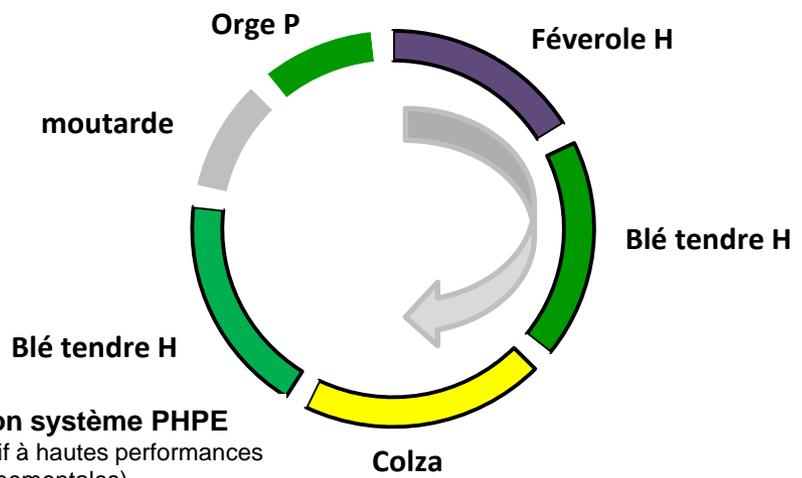
Objectifs - Leviers techniques

Satisfaire les critères environnementaux

Indicateurs agri-environnementaux (Indigo) calculés

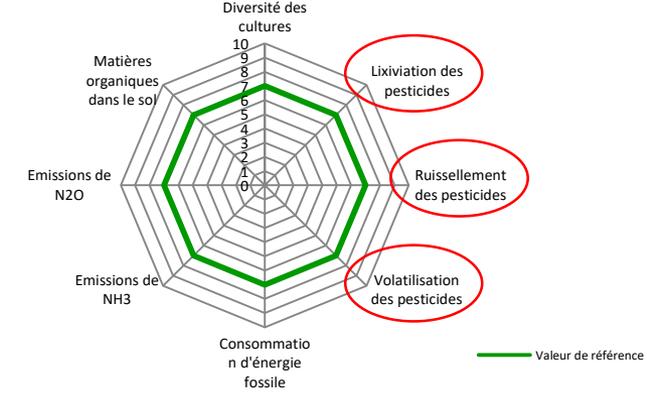


	PHPE	PV
--	-------------	-----------



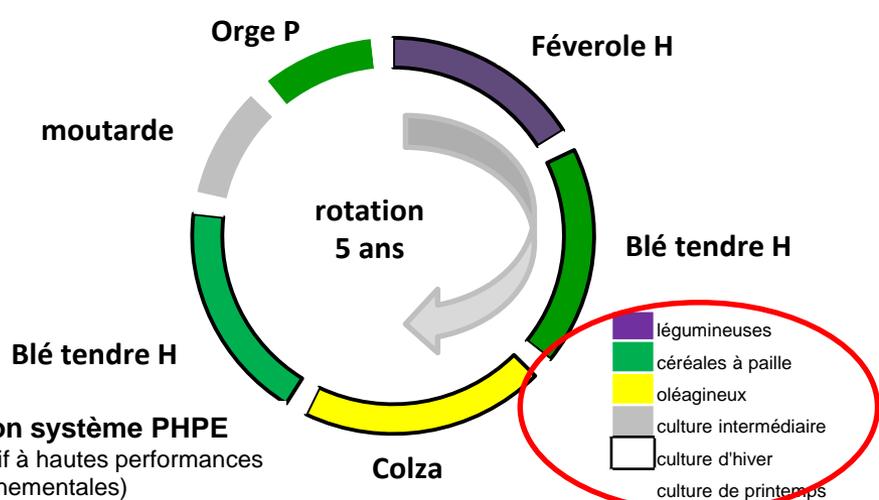
Objectifs - Leviers techniques

Indicateurs agri-environnementaux (Indigo) calculés



Satisfaire les critères environnementaux

- ✓ Limiter les pollutions d'origine pesticides : augmenter la diversité des espèces implantées, choisir des variétés résistantes et des dates et densités de semis spécifiques

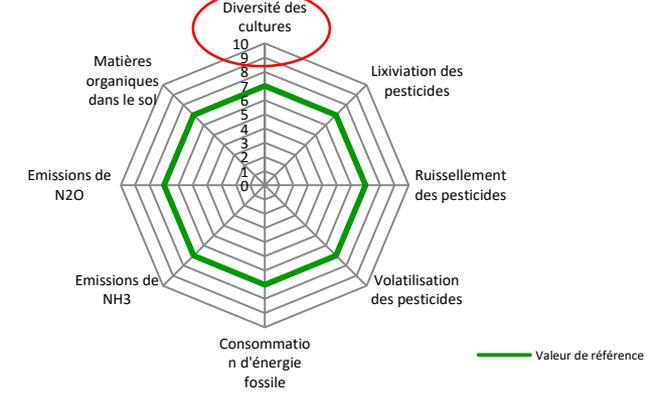


	PHPE	PV
Nombres d'espèces	6	2 à 4
Durée rotation	5 ans	3 à 5 ans

Rotation système PHPE (productif à hautes performances environnementales)

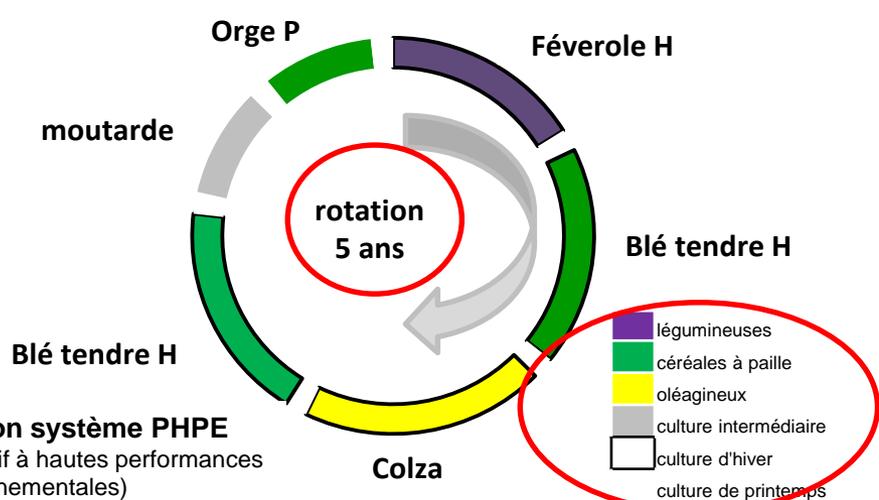
Objectifs - Leviers techniques

Indicateurs agri-environnementaux (Indigo) calculés



Satisfaire les critères environnementaux

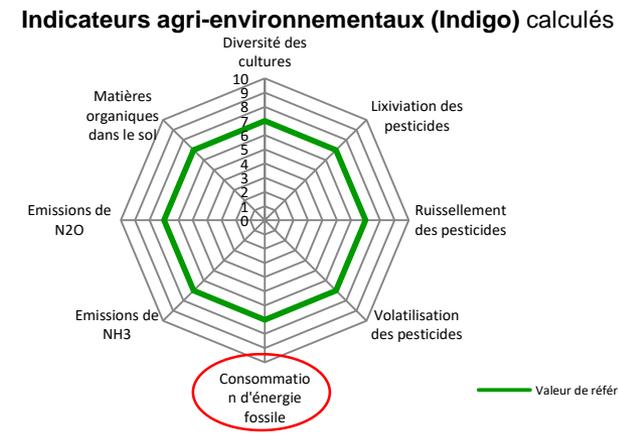
- ✓ Limiter les pollutions d'origine pesticides : augmenter la diversité des espèces implantées, choisir des variétés résistantes et des dates et densités de semis spécifiques
- ✓ **Accroître la diversité des espèces cultivées** : nombre élevé d'espèces implantées, allongement de la durée de la rotation



	PHPE	PV
Nombres d'espèces	6	2 à 4
Durée rotation	5 ans	3 à 5 ans

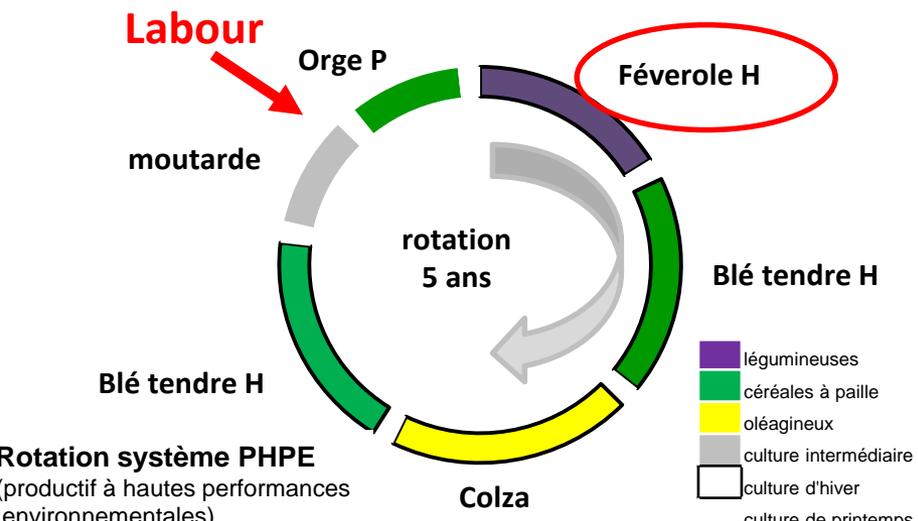
Rotation système PHPE
(productif à hautes performances environnementales)

Objectifs - Leviers techniques



Satisfaire les critères environnementaux

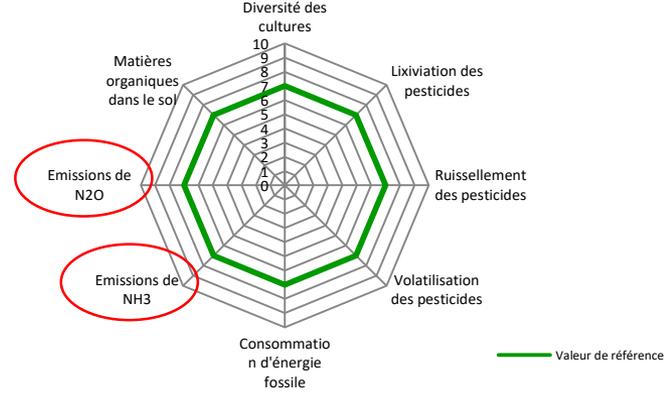
- ✓ Limiter les pollutions d'origine pesticides : augmenter la diversité des espèces implantées, choisir des variétés résistantes et des dates et densités de semis spécifiques
- ✓ Accroître la diversité des espèces cultivées : nombre élevé d'espèces implantées, allongement de la durée de la rotation
- ✓ **Limiter la consommation d'énergie fossile** : un labour / cycle de rotation – implantation de légumineuse



	PHPE	PV
Nombres d'espèces	6	2 à 4
Durée rotation	5 ans	3 à 5 ans
Nombre de labours	1/5 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Implantation légumineuse	1/ 5 ans	Aucune

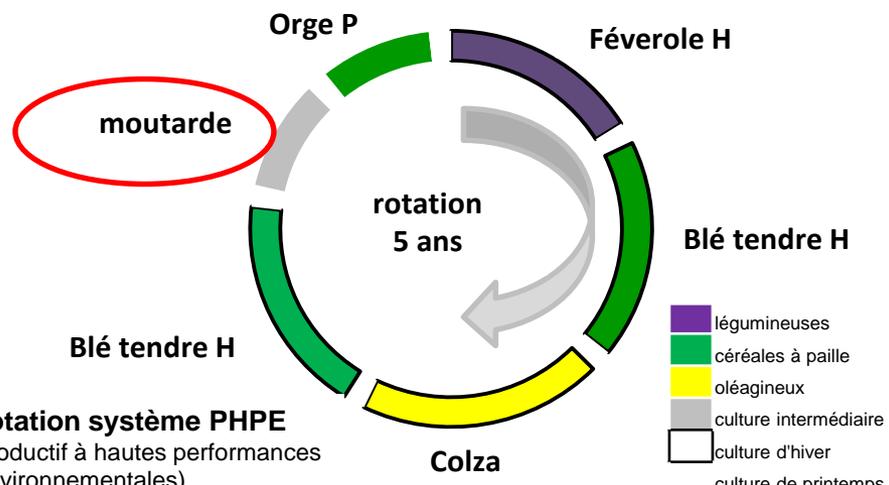
Objectifs - Leviers techniques

Indicateurs agri-environnementaux (Indigo) calculés



Satisfaire les critères environnementaux

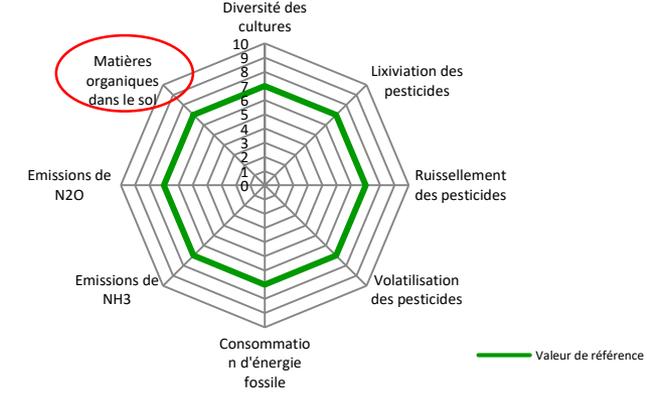
- ✓ Limiter les pollutions d'origine pesticides : augmenter la diversité des espèces implantées, choisir des variétés
- ✓ Accroître la diversité des espèces cultivées : nombre élevé d'espèces implantées, allongement de la durée de la rotation
- ✓ résistantes et des dates et densités de semis spécifiques
- ✓ Limiter la consommation d'énergie fossile : un labour / cycle de rotation – implantation de légumineuse
- ✓ **Limiter les pertes azotées** : planter des cultures intermédiaires, planification spécifique de la fertilisation azotée



	PHPE	PV
Nombres d'espèces	6	2 à 4
Durée rotation	5 ans	3 à 5 ans
Nombre de labours	1/5 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Implantation légumineuse	1/ 5 ans	Aucune
Culture intermédiaire	Oui	Non

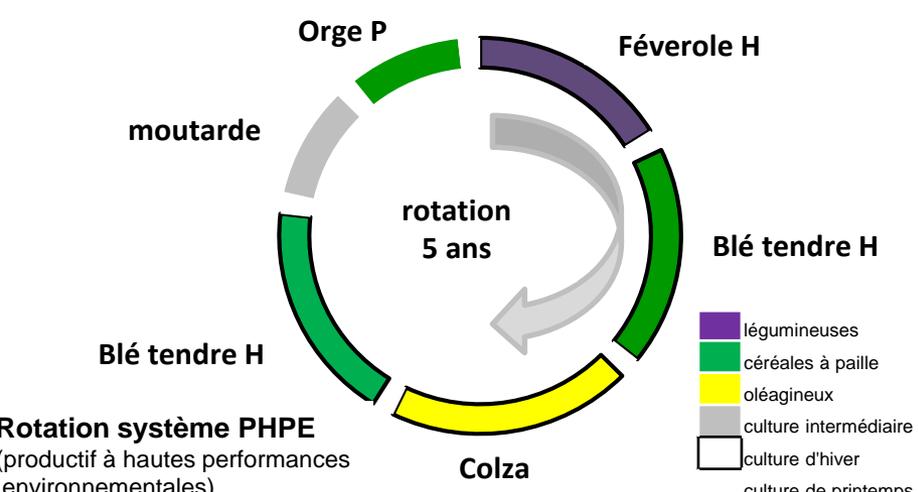
Objectifs - Leviers techniques

Indicateurs agri-environnementaux (Indigo) calculés



Satisfaire les critères environnementaux

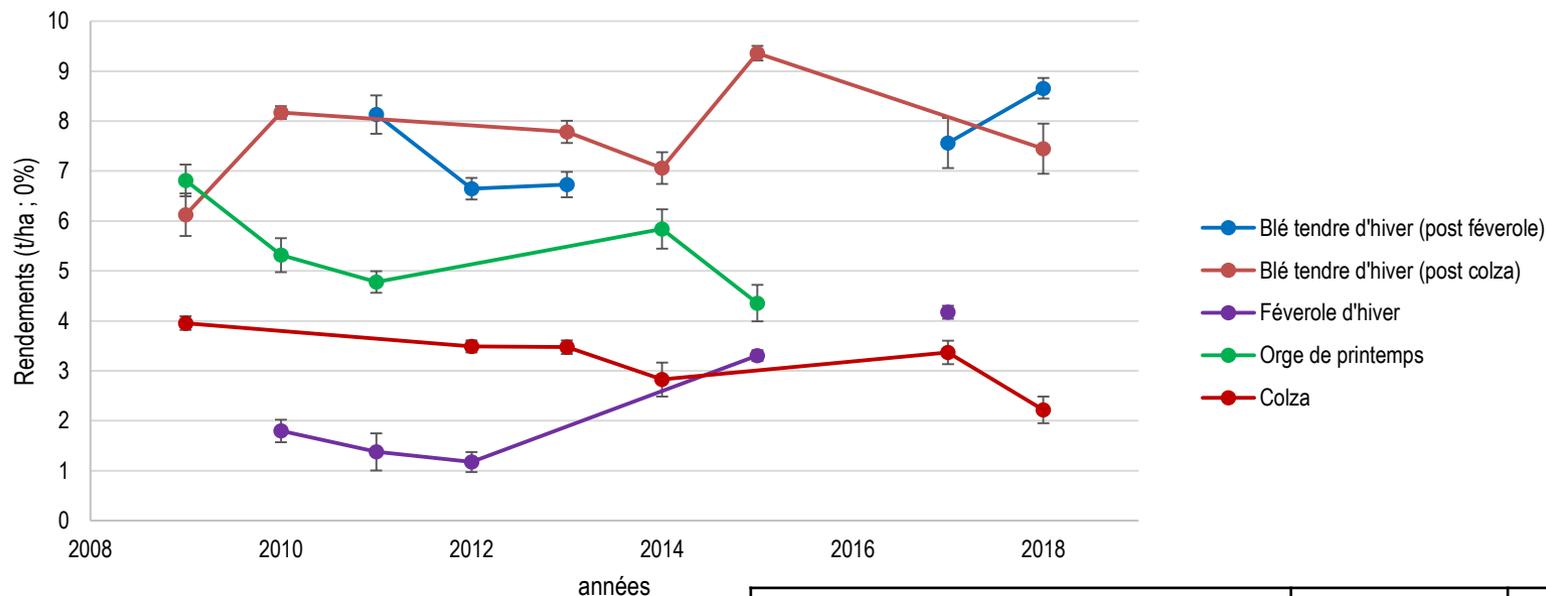
- ✓ Limiter les pollutions d'origine pesticides : augmenter la diversité des espèces implantées, choisir des variétés résistantes et des dates et densités de semis spécifiques
- ✓ Accroître la diversité des espèces cultivées : nombre élevé d'espèces implantées, allongement de la durée de la rotation
- ✓ Limiter la consommation d'énergie fossile : un labour / cycle de rotation – implantation de légumineuse
- ✓ Limiter les pertes azotées : planter des cultures intermédiaires, planification spécifique de la fertilisation azotée
- ✓ **Maintenir la fertilité des sols : restitution de toutes les pailles**



	PHPE	PV
Nombres d'espèces	6	2 à 4
Durée rotation	5 ans	3 à 5 ans
Nombre de labours	1/5 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Implantation légumineuse	1/ 5 ans	Aucune
Culture intermédiaire	Oui	Non
Restitution des pailles	Oui	Oui

→ Stabilité des niveaux de production dans le temps

PHPE : Evolution des rendements (t/ha ; 0%) de 2009 à 2018 (sans 2016)



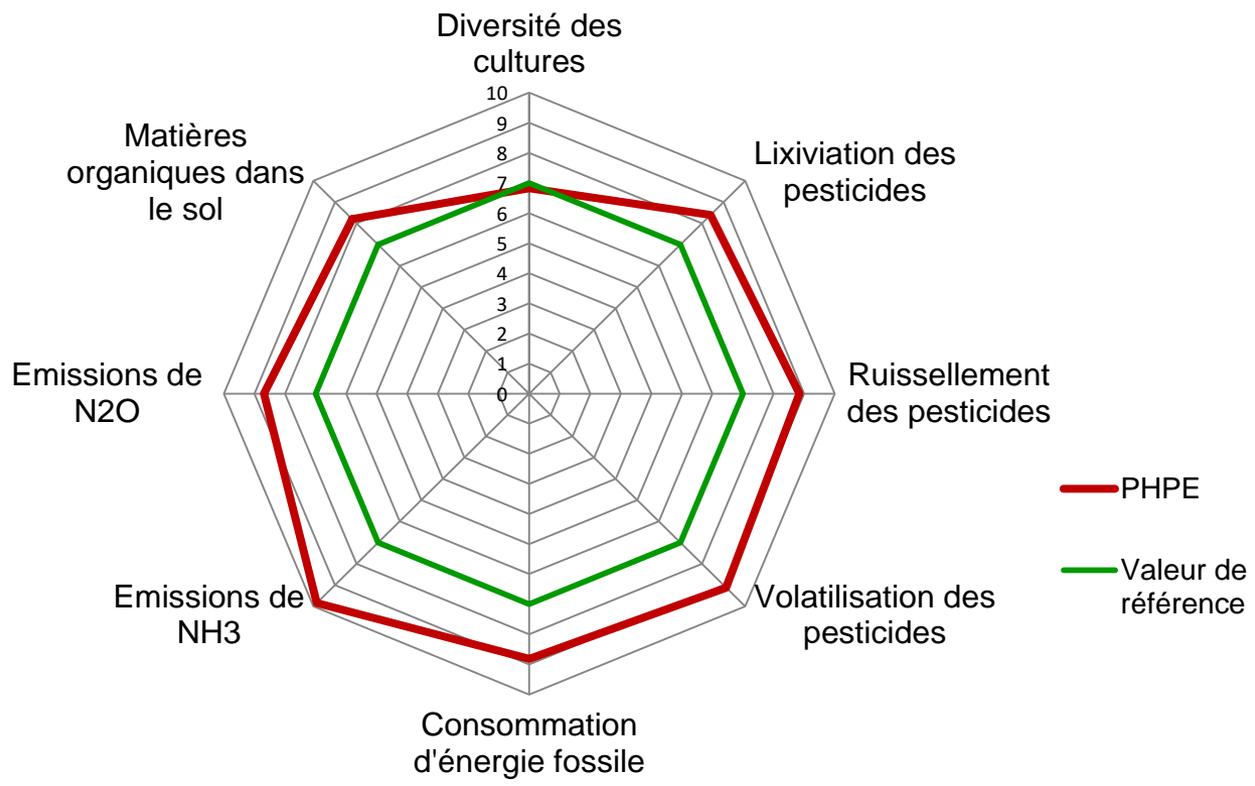
Rendements (t/ha/an ; 0%), de 2009 à 2018 (sans 2016)

PHPE : moyennes et écart-types à l'échelle de période

PV : valeurs représentatives de la période 2009-2014

Espèce	PHPE	PV
Blé tendre hiver (post féverole)	7.17 +/- 0.84	8.1
Blé tendre hiver (post colza)	7.36 +/- 1.09	blé de blé : 7.2
Colza	3.64 +/- 0.27	4.1
Orge printemps	5.64 +/- 1.05	6.0
Féverole d'hiver	2.37 +/- 1.31	

→ Valeurs élevées des indicateurs agri-environnementaux



Indicateurs agri-environnementaux calculés avec l’outil Indigo®

(Bockstaller et al. 2008)

Calculs sur une rotation complète (2009-2013) - Moyenne des trois répétitions

Autres indicateurs environnementaux → Applications réduites de pesticides

	PHPE	PV
IFT	1.9 +/- 1.5	3.9 +/- 0.3
IFT-H	1.2 +/- 0.7	1.2 +/- 0.1
IFT-F	0.2 +/- 0.3	1.4 +/- 0.2
IFT-I	0.6 +/- 1.1	0.5 +/- 0.1
IFT-R	0.0 +/- 0.0	0.6 +/- 1.0

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

Autres indicateurs environnementaux → Peu de nitrate lixivié

	PHPE	PV
IFT	1.9 +/- 1.5	3.9 +/- 0.3
IFT-H	1.2 +/- 0.7	1.2 +/- 0.1
IFT-F	0.2 +/- 0.3	1.4 +/- 0.2
IFT-I	0.6 +/- 1.1	0.5 +/- 0.1
IFT-R	0.0 +/- 0.0	0.6 +/- 1.0
Lixiviation de nitrate (kg NO ₃ /ha/an, <i>modèle de Burns simplifié ; Burns, 1976</i>)	8.93 +/- 2.24	nd

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

nd : non disponible

Autres indicateurs environnementaux

→ Peu d'émissions de gaz à effet de serre

	PHPE	PV
IFT	1.9 +/- 1.5	3.9 +/- 0.3
IFT-H	1.2 +/- 0.7	1.2 +/- 0.1
IFT-F	0.2 +/- 0.3	1.4 +/- 0.2
IFT-I	0.6 +/- 1.1	0.5 +/- 0.1
IFT-R	0.0 +/- 0.0	0.6 +/- 1.0
Lixiviation de nitrate (kg NO₃/ha/an) <i>(modèle de Burns simplifié ; Burns, 1976)</i>	8.93 +/- 2.24	nd
Emissions totales de GES <i>(kg CO₂ eq/ha/an ; GES'TIM, 2010)</i>	1 071 +/- 145	2 513 +/- 190
GES direct	622 +/- 82	1 366 +/- 87
GES indirect	449 +/- 64	1 147 +/- 103

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

nd : non disponible

Autre méthode de calcul

→ Faibles quantités d'énergie fossile consommées

	PHPE	PV
IFT	1.9 +/- 1.5	3.9 +/- 0.3
IFT-H	1.2 +/- 0.7	1.2 +/- 0.1
IFT-F	0.2 +/- 0.3	1.4 +/- 0.2
IFT-I	0.6 +/- 1.1	0.5 +/- 0.1
IFT-R	0.0 +/- 0.0	0.6 +/- 1.0
Lixiviation de nitrate (kg NO₃/ha/an) <i>(modèle de Burns simplifié ; Burns, 1976)</i>	8.93 +/- 2.24	nd
Emissions totales de GES <i>(kg CO₂ eq/ha/an ; GES'TIM, 2010)</i>	1 071 +/- 145	2 513 +/- 190
GES direct	622 +/- 82	1 366 +/- 87
GES indirect	449 +/- 64	1 147 +/- 103
Consommation totale d'énergie <i>(MJ/ha/an ; GES'TIM, 2010)</i>	7 755 +/- 711	13 630 +/- 895
Energie directe	3 665 +/- 223	4 314 +/- 122
Energie indirecte	4 090 +/- 489	9 316 +/- 888

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

nd : non disponible

4. Comment et combien arrive-t-on à produire ?

4.2. Système « Zéro pesticide » (0Pest)

Sdci 0Pest

Sans pesticide

+

**Un set de critères
environnementaux**

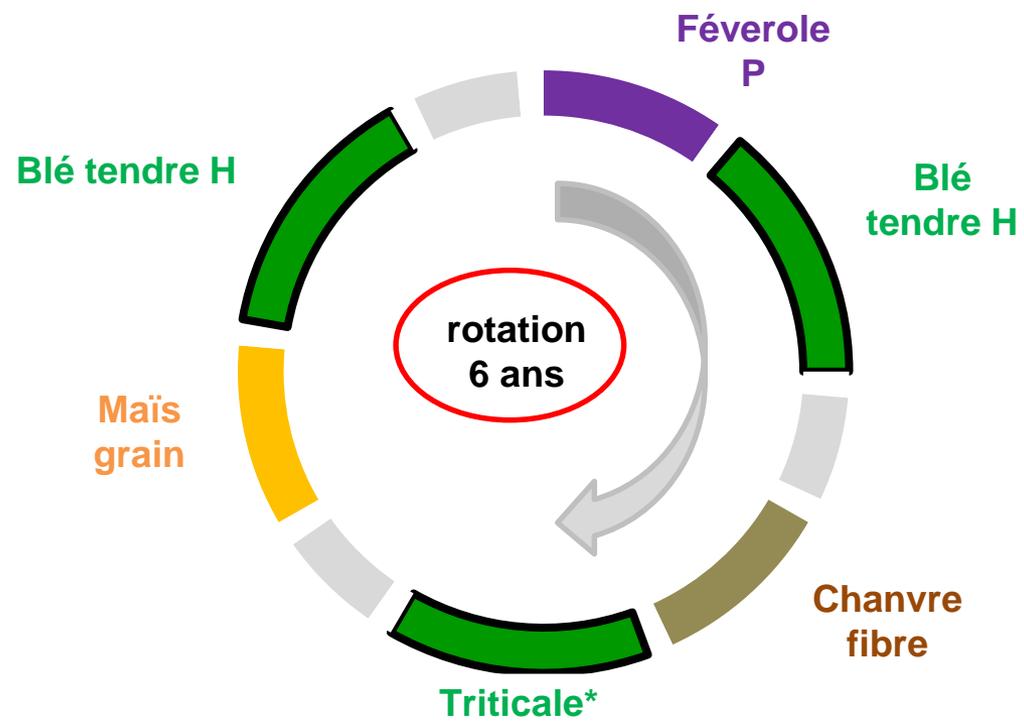
+

Haute production

Leviers techniques mobilisés

combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

- Grande diversité**
- ✓ des espèces implantées
 - ✓ des périodes de semis
- Durée allongée de la rotation**



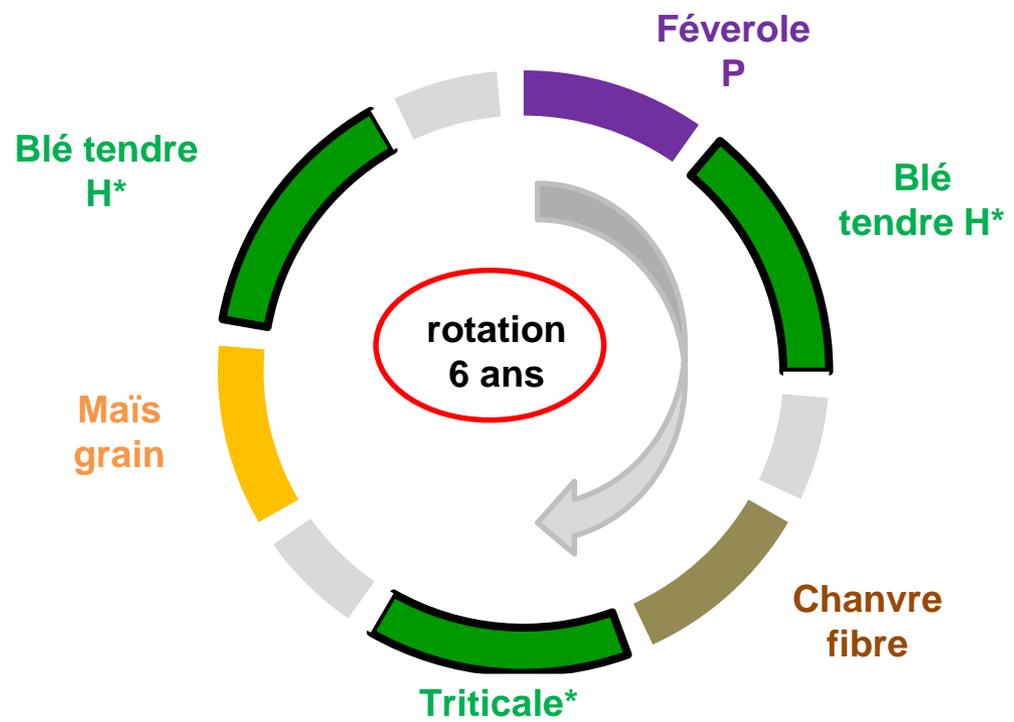
- légumineuses
- céréales à paille
- maïs
- chanvre
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

	0Pest	PV
Nombre d'espèces	6	2 à 4
Alternance période de semis	systématique	Semis hiver:3/3, 3/4, 4/5
Durée rotation	6 ans	3, 4, 5 ans

Leviers techniques mobilisés

combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

- Grande diversité
- ✓ des espèces implantées
- ✓ des périodes de semis
- Durée allongée de la rotation
- Dates de semis retardées *
- Densités de semis augmentées



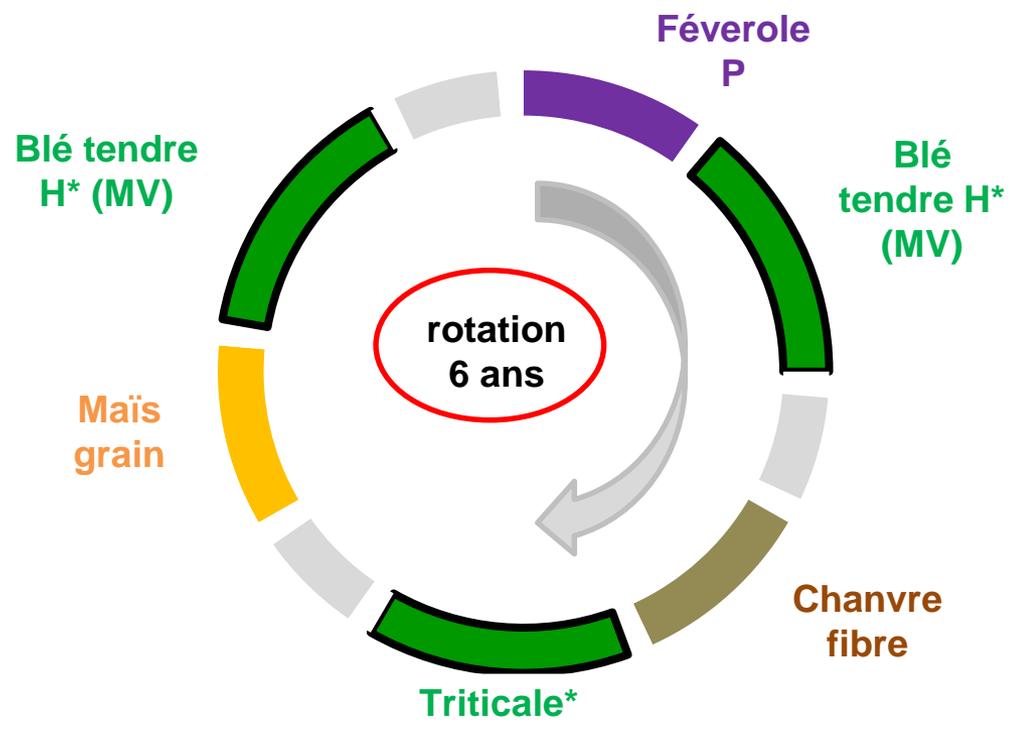
- légumineuses
- céréales à paille
- maïs
- chanvre
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

	0Pest	PV
Nombre d'espèces	6	2 à 4
Alternance période de semis	systématique	Semis hiver:3/3, 3/4, 4/5
Durée rotation	6 ans	3, 4, 5 ans
Dates de semis (blé tendre hiver, triticales)	1-10 novembre	15 octobre
Densités de semis (blé tendre d'hiver)	350 grains/m ²	250 grains/m ²

Leviers techniques mobilisés

combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

- Grande diversité
 - ✓ des espèces implantées
 - ✓ des périodes de semis
- Durée allongée de la rotation
- Dates de semis retardées *
- Densités de semis augmentées
- Mélanges variétaux (MV)
- Variétés peu sensibles



- légumineuses
- céréales à paille
- maïs
- chanvre
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

	0Pest	PV
Nombre d'espèces	6	2 à 4
Alternance période de semis	systématique	Semis hiver:3/3, 3/4, 4/5
Durée rotation	6 ans	3, 4, 5 ans
Dates de semis (blé tendre hiver, triticales)	1-10 novembre	15 octobre
Densités de semis (blé tendre d'hiver)	350 grains/m ²	250 grains/m ²
Mélanges variétaux	blé tendre hiver	aucun

Leviers techniques mobilisés

combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

Grande diversité

- ✓ des espèces implantées
- ✓ des périodes de semis

Durée allongée de la rotation

Dates de semis retardées *

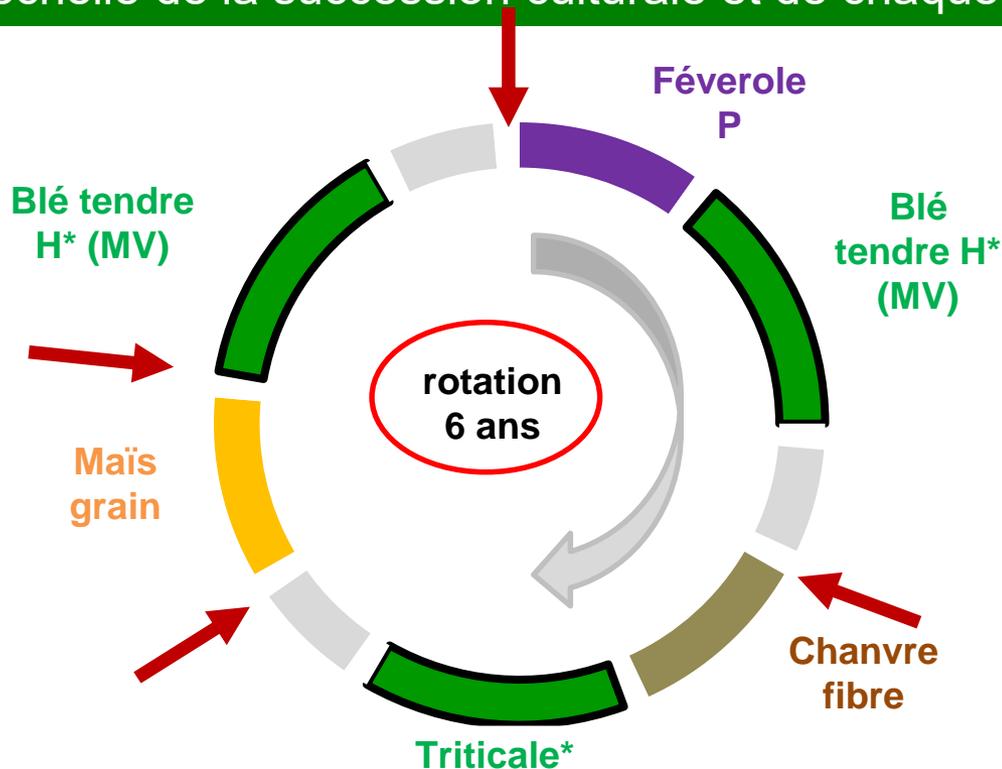
Densités de semis augmentées

Mélanges variétaux (MV)

Variétés peu sensibles

Labour ↓

Désherbage mécanique



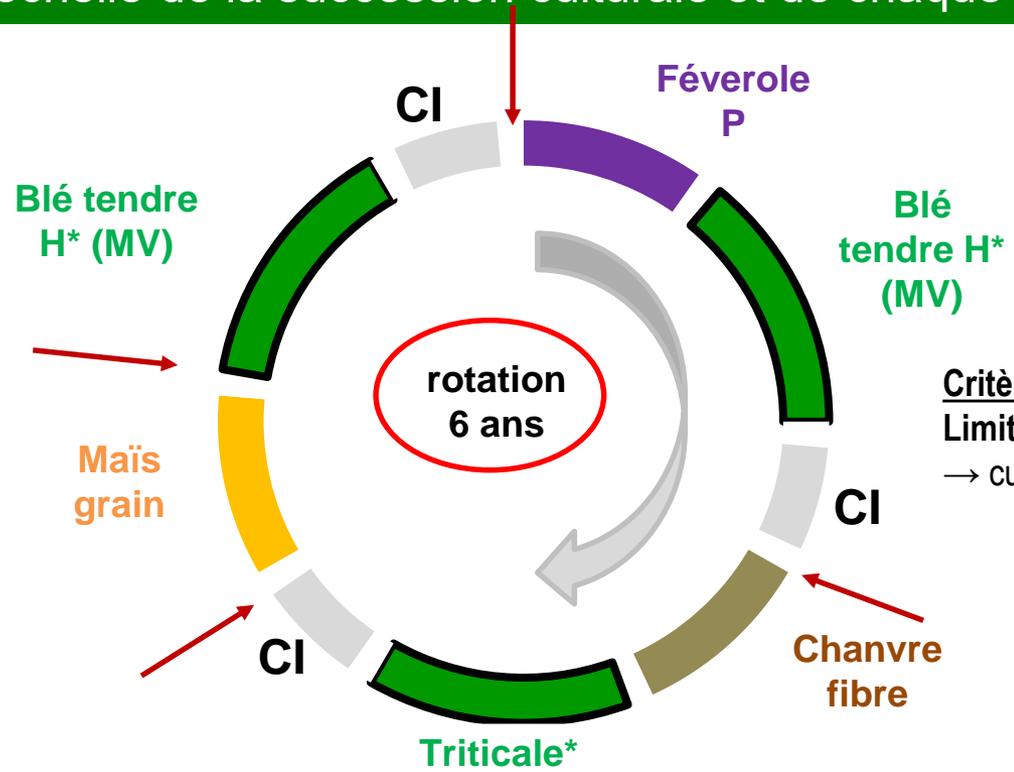
- légumineuses
- céréales à paille
- maïs
- chanvre
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

	0Pest	PV
Nombre d'espèces	6	2 à 4
Alternance période de semis	systématique	Semis hiver:3/3, 3/4, 4/5
Durée rotation	6 ans	3, 4, 5 ans
Dates de semis (blé tendre hiver, triticale)	1-10 novembre	15 octobre
Densités de semis (blé tendre d'hiver)	350 grains/m ²	250 grains/m ²
Mélanges variétaux	blé tendre hiver	aucun
Labour	4/6 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Désherbage mécanique	Oui	Non

Leviers techniques mobilisés

combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

- Grande diversité
 - ✓ des espèces implantées
 - ✓ des périodes de semis
- Durée allongée de la rotation
- Dates de semis retardées *
- Densités de semis augmentées
- Mélanges variétaux (MV)
- Variétés peu sensibles
- Labour ↓
- Désherbage mécanique



Critères Environnementaux
 Limiter les pertes N
 → cultures intermédiaires

- légumineuses
- céréales à paille
- maïs
- chanvre
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

	0Pest	PV
Nombre d'espèces	6	2 à 4
Alternance période de semis	systématique	Semis hiver:3/3, 3/4, 4/5
Durée rotation	6 ans	3, 4, 5 ans
Dates de semis (blé tendre hiver, triticales)	1-10 novembre	15 octobre
Densités de semis (blé tendre d'hiver)	350 grains/m ²	250 grains/m ²
Mélanges variétaux	blé tendre hiver	aucun
Labour	4/6 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Désherbage mécanique	Oui	Non

Leviers techniques mobilisés

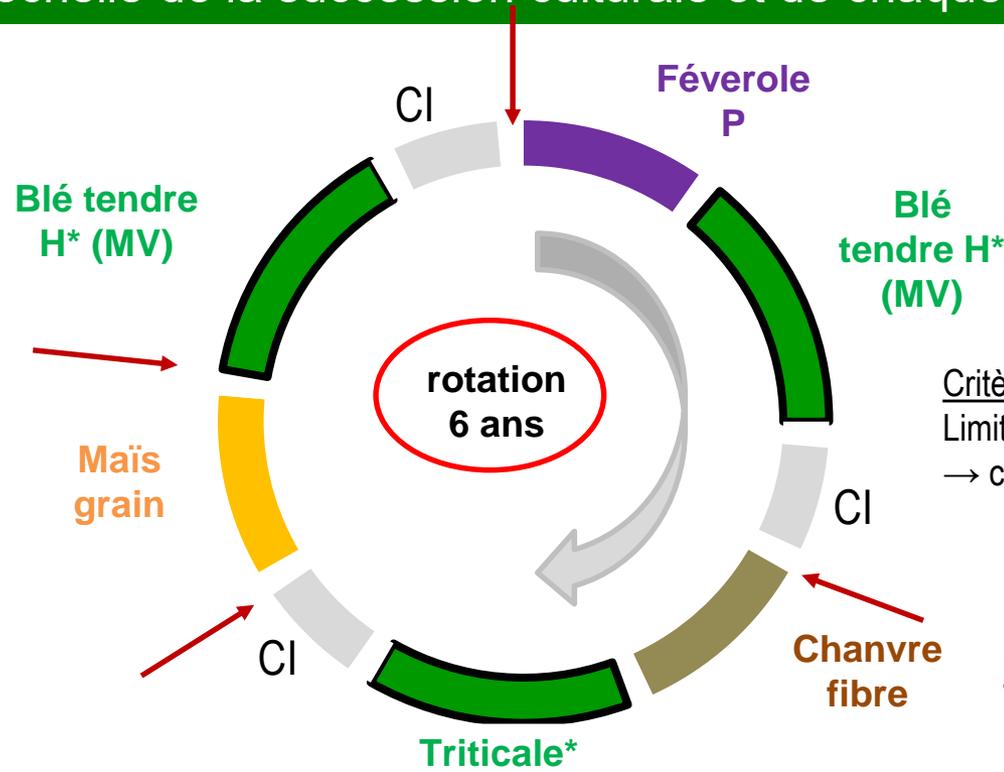
combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

Grande diversité
 ✓ des espèces implantées
 ✓ des périodes de semis
 Durée allongée de la rotation

Dates de semis retardées *
 Densités de semis augmentées

Mélanges variétaux (MV)
 Variétés peu sensibles

Labour ↓
 Désherbage mécanique



Critères Environnementaux
 Limiter les pertes N
 → cultures intermédiaires

Production COMPROMIS
 → Réduire les objectifs

- légumineuses
- céréales à paille
- maïs
- chanvre
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

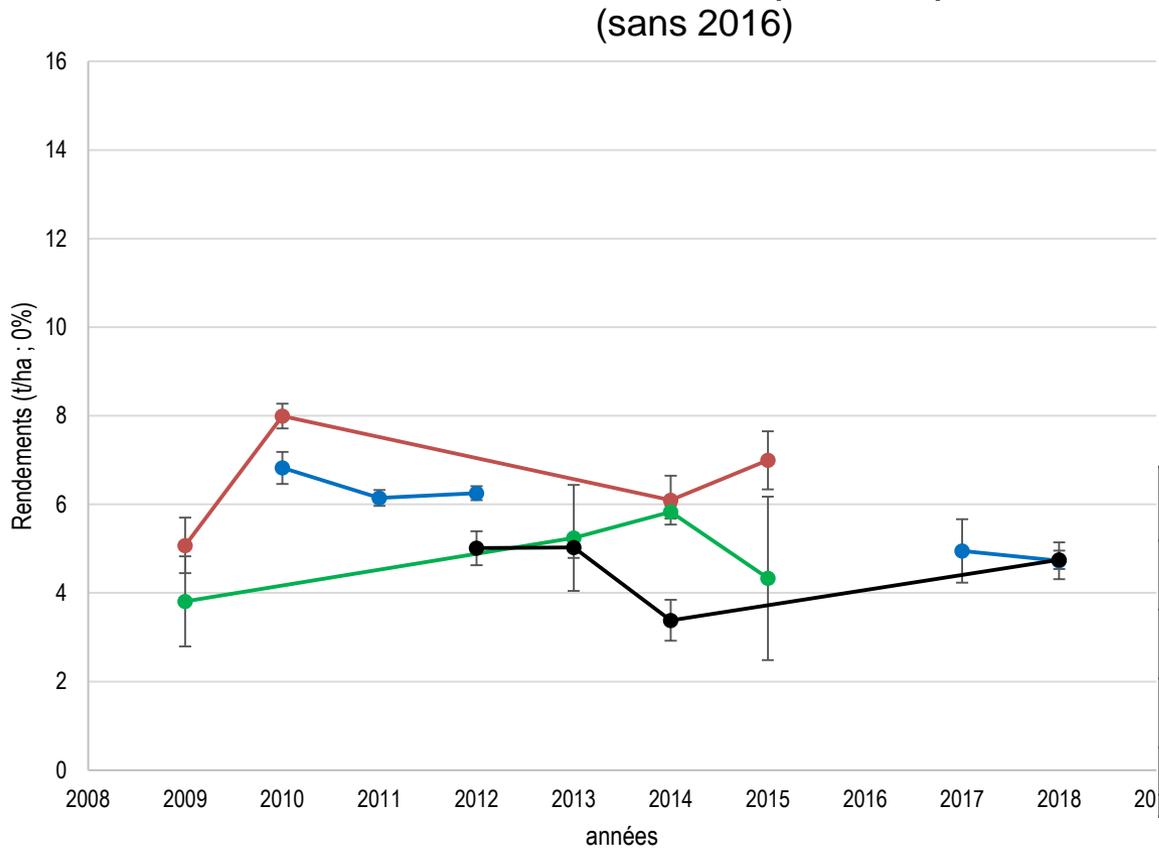
	0Pest	PV
Nombre d'espèces	6	2 à 4
Alternance période de semis	systématique	Semis hiver: 3/3, 3/4, 4/5
Durée rotation	6 ans	3, 4, 5 ans
Dates de semis (blé tendre hiver, triticale)	1-10 novembre	15 octobre
Densités de semis (blé tendre d'hiver)	350 grains/m ²	250 grains/m ²
Mélanges variétaux	blé tendre hiver	aucun
Labour	4/6 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Désherbage mécanique	Oui	Non

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%)	
Blé tendre H	4.7 (6.7 PHPE)
Triticale	4.3
Maïs grain	5.6
Féverole P	3.1
Chanvre	8 tMS

Joker : 2 années luzerne

Productions stabilisées dans le temps

OPEst : Evolution des rendements (t/ha ; 0%), de 2009 à 2018
(sans 2016)



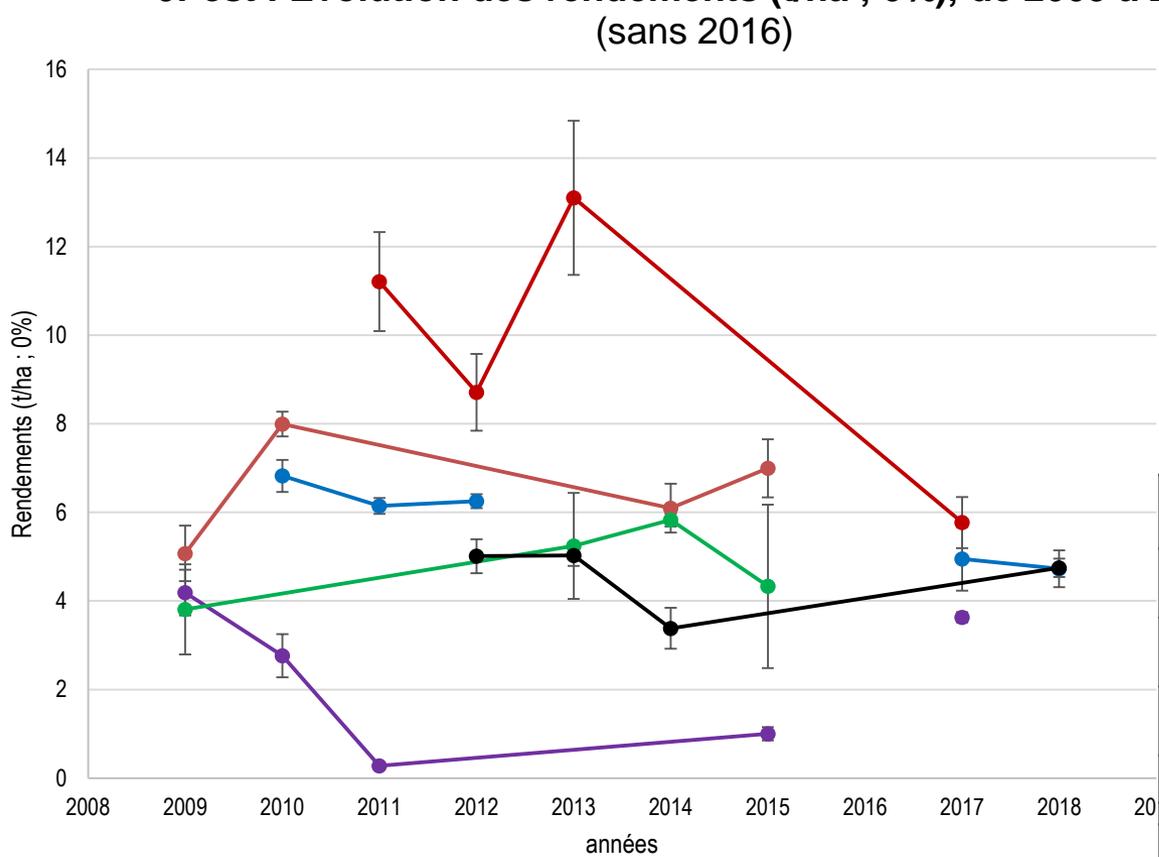
- Blé tendre d'hiver (post féverole)
- Blé tendre d'hiver (post maïs)
- Maïs grain
- Triticale

Espèce	OPEst	PV
Blé tendre hiver (post féverole)	5.18 +/- 0.90	Blé de blé (7.1)
Blé tendre hiver (post maïs)	6..54 +/- 1.25	8.1
Triticale	4.54 +/- 0.78	
Maïs grain	4.80 +/- 0.90	8.6

Rendements (t/ha/an ; 0%), de 2009 à 2018 (sans 2016)
OPEst : moyennes et écart-types à l'échelle de la période
PV : valeurs représentatives de la période 2009-2014

Productions plus fluctuantes

OPEst : Evolution des rendements (t/ha ; 0%), de 2009 à 2018
(sans 2016)



- Blé tendre d'hiver (post féverole)
- Blé tendre d'hiver (post maïs)
- Féverole de printemps
- Maïs grain
- Chanvre
- Triticale

Espèce	OPEst	PV
Blé tendre hiver (post féverole)	5.18 +/- 0.90	Blé de blé (7.1)
Blé tendre hiver (post maïs)	6.54 +/- 1.25	8.1
Triticale	4.54 +/- 0.78	
Maïs grain	4.80 +/- 0.90	8.6
Chanvre	9.70 +/- 3.18	
Féverole de printemps	2.37 +/- 1.68	

Rendements (t/ha/an ; 0%), de 2009 à 2018 (sans 2016)
 OPEst : moyennes et écart-types à l'échelle de la période
 PV : valeurs représentatives de la période 2009-2014

→ Une marge semi-nette aussi élevée que celle des systèmes PV et PHPE

Performances économiques

calculées selon divers scénarii de prix (*Massot et al., 2016*), sur la période 2009 – 2014

	0Pest	PV	PHPE
Marge semi-nette (€/ha/an)	858 +/- 151	917 +/- 227	811 +/- 178
Charges opérationnelles (€/ha/an)	280 +/- 15 ab	528 +/- 49 d	302 +/- 17 b
Charges carburant (€/ha/an)	55 +/- 10 d	52 +/- 10 cd	43 +/- 8 b
Charges d'engrais (€/ha/an)	34 +/- 7 a	226 +/- 44 c	67 +/- 12 b
Temps de travail (h/ha/an)	3.58 +/- 0.36	3.42 +/- 0.06	2.74 +/- 0.08

0Pest : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

a, b, c, d : groupes statistiques

→ Des valeurs de charges opérationnelles de carburant non différentes de celles des systèmes PV

Performances économiques

calculées selon divers scénarii de prix (*Massot et al., 2016*), sur la période 2009 – 2014

	0Pest	PV	PHPE
Marge semi-nette (€/ha/an)	858 +/- 151	917 +/- 227	811 +/- 178
Charges opérationnelles (€/ha/an)	280 +/- 15 ab	528 +/- 49 d	302 +/- 17 b
Charges carburant (€/ha/an)	55 +/- 10 d	52 +/- 10 cd	43 +/- 8 b
Charges d'engrais (€/ha/an)	34 +/- 7 a	226 +/- 44 c	67 +/- 12 b
Temps de travail (h/ha/an)	3.58 +/- 0.36	3.42 +/- 0.06	2.74 +/- 0.08

0Pest : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

a, b, c, d : groupes statistiques

→ Des temps de travail comparables à ceux des systèmes PV

Performances économiques

calculées selon divers scénarii de prix (*Massot et al., 2016*), sur la période 2009 – 2014

	0Pest	PV	PHPE
Marge semi-nette (€/ha/an)	858 +/- 151	917 +/- 227	811 +/- 178
Charges opérationnelles (€/ha/an)	280 +/- 15 ab	528 +/- 49 d	302 +/- 17 b
Charges carburant (€/ha/an)	55 +/- 10 d	52 +/- 10 cd	43 +/- 8 b
Charges d'engrais (€/ha/an)	34 +/- 7 a	226 +/- 44 c	67 +/- 12 b
Temps de travail (h/ha/an)	3.58 +/- 0.36	3.42 +/- 0.06	2.74 +/- 0.08

0Pest : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

a, b, c, d : groupes statistiques

→ **Sans problème de qualité des semences de céréales**

Campagne N° de répétition	Espèce	Don*	Niv*	ZEA*	15-Ac*	3-Ac*	Fusa*
2013 (rép.3)	Triticale						
2014 (rép. 1)	Triticale						
2014 (rép.2)	Blé tendre						
2014 (rép.3)	Maïs						
2015 (rép.3)	Blé tendre						
2015 (rép.1)	Maïs						
2016 (rép.1)	Blé tendre						
2016 (rép.2)	Blé tendre						
2017 (rép.3)	Blé tendre						
2018 (rép.1)	Blé tendre						
2018 (rép.2)	Triticale						

Non détectée

Non quantifiable

<< seuil toxicité

≤ seuil toxicité

DON : déoxynivalénol ; Niv : nivalénol, ZEA : zéaralénone ; 15-Ac et 3-Ac : composés acétylés ; Fusa : fusarénone

→ Sans évolution négative du milieu



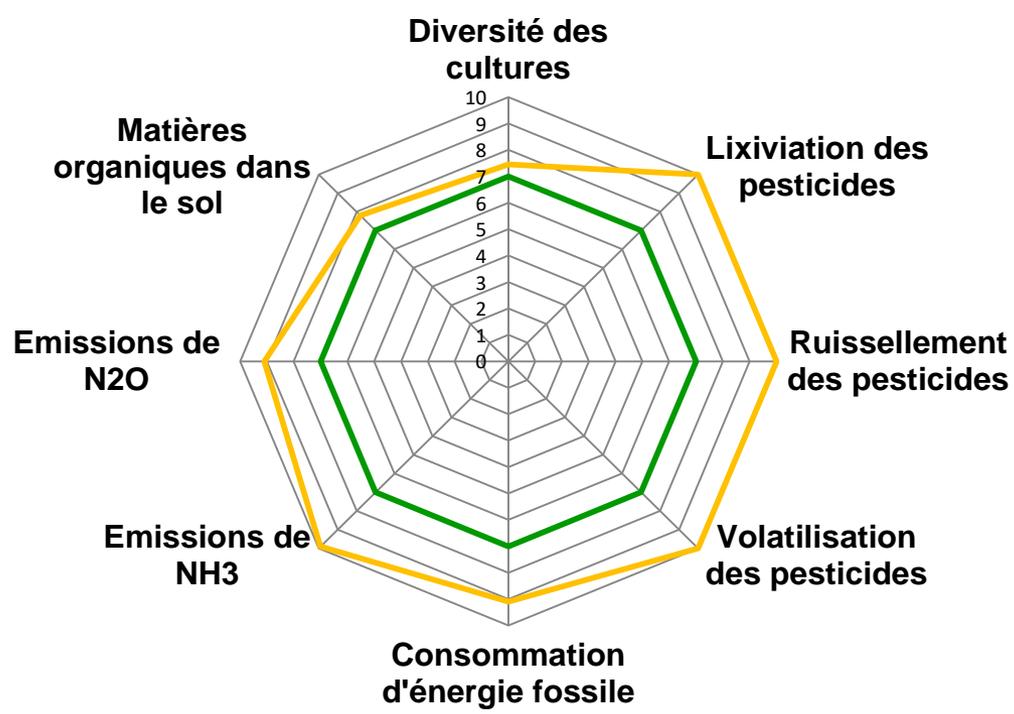
0Pest : triticales (répétition 2 – mars 2018)

0Pest : blé tendre d'hiver (répétition 1 – mars 2018)

0Pest : culture intermédiaire (répétition 3 - octobre 2017)



→ Des valeurs de indicateurs agri-environnementaux supérieures à 7



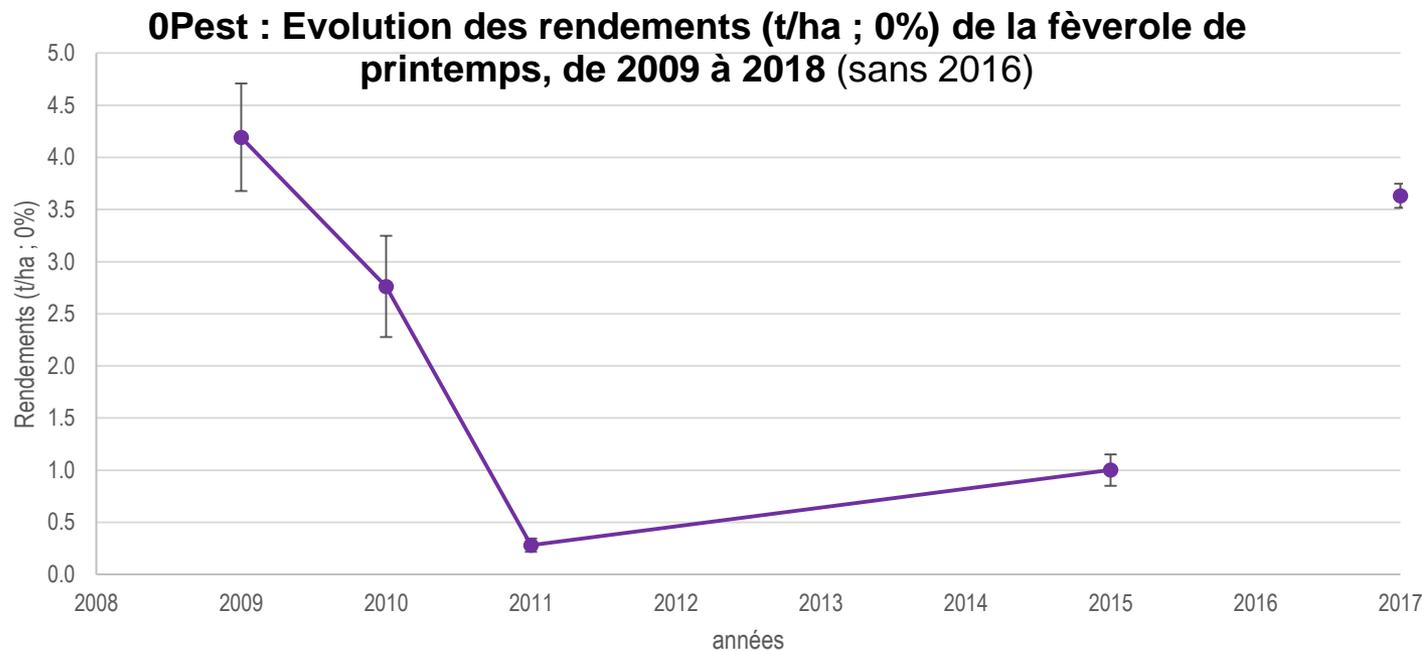
Indicateurs agri-environnementaux (Indigo)

calculs sur le premier cycle de rotation (2009-2014)
moyenne des trois répétitions

- 0Pest
- Valeur de référence

→ Avec des apprentissages

1. Produire des féveroles de printemps



2. Ajuster les règles de décision liées à la pratique du désherbage mécanique

3. Gérer les ravageurs en début de cycle

- ✓ ↗ temps de surveillance (effaroucheurs multiples)
- ✓ deux semis de maïs en 2013 et 2014

4. Comment et combien arrive-t-on à produire ?

4.3. Système « Gaz à effet de serre moins »

(GES-)

Sdci GES-

**Moins 50% d'émission
GES / sdci PHPE**

+

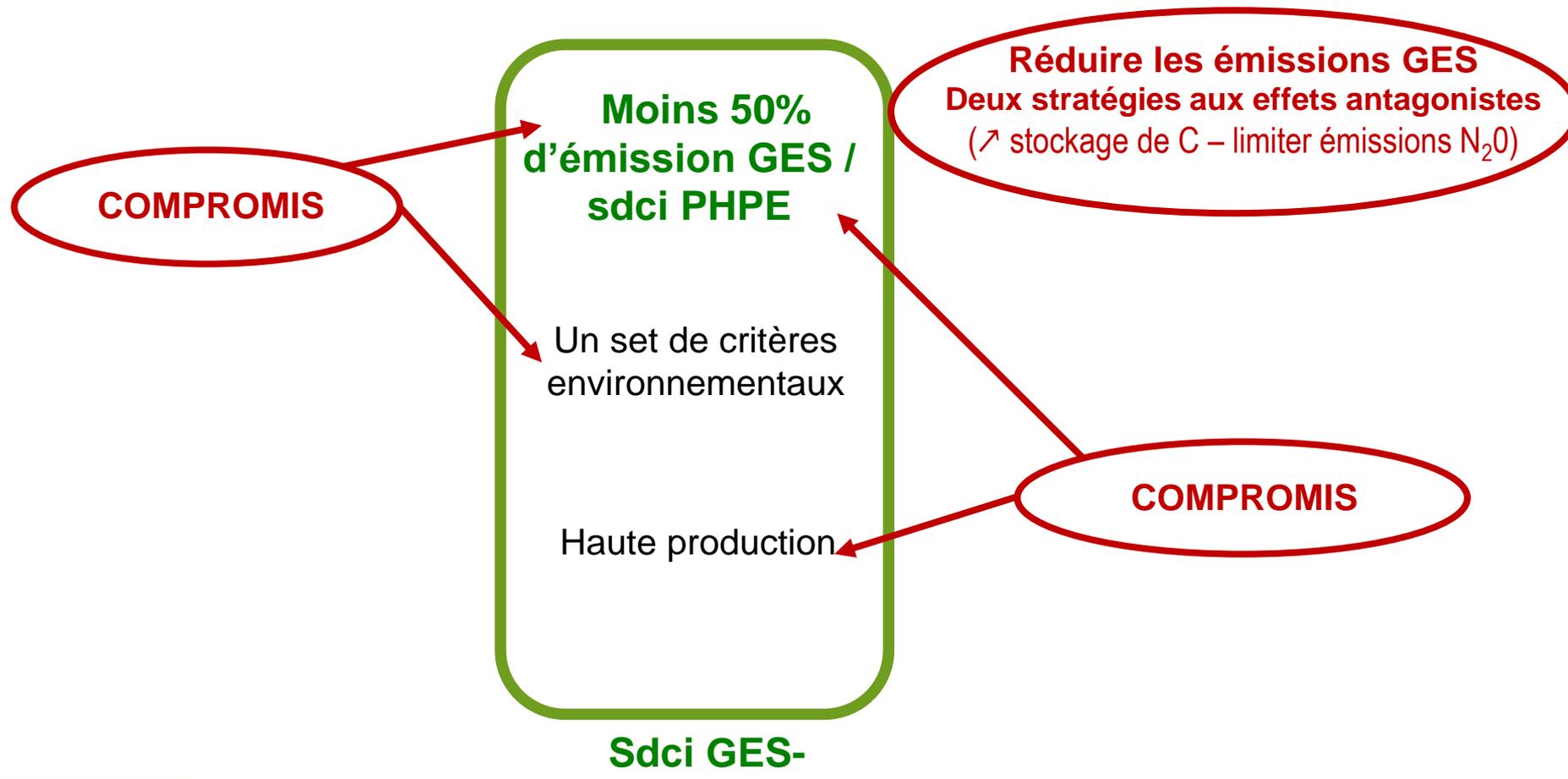
**Un set de critères
environnementaux**

+

Haute production

Le sdcI GES- : un système complexe à concevoir

Dès la conception → COMPROMIS



Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limiter les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limiter les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ réduire les processus de minéralisation → sans travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limitier les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ réduire les processus de minéralisation → sans travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production
- ↘ quantités de résidus de culture / espèces de céréale à paille	+ implanter des légumineuses	+ ↗ diversité des espèces implantées	- ↘ production / espèces de céréale à paille

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limitier les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ réduire les processus de minéralisation → sans travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production
- ↘ quantités de résidus de culture / espèces de céréale à paille	+ implanter des légumineuses	+ ↗ diversité des espèces implantées	- ↘ production / espèces de céréale à paille
- ↘ quantités de résidus de culture	+ réduire les quantités de fertilisant	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limiter les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ réduire les processus de minéralisation → sans travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production
- ↘ quantités de résidus de culture / espèces de céréale à paille	+ implanter des légumineuses	+ ↗ diversité des espèces implantées	- ↘ production / espèces de céréale à paille
- ↘ quantités de résidus de culture	+ réduire les quantités de fertilisant	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production
	+ réduire la disponibilité en NO₃⁻ dans le sol → limiter les apports de fertilisants azoté	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limitier les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ réduire les processus de minéralisation → sans travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production
- ↘ quantités de résidus de culture / espèces de céréale à paille	+ implanter des légumineuses	+ ↗ diversité des espèces implantées	- ↘ production / espèces de céréale à paille
- ↘ quantités de résidus de culture	+ réduire les quantités de fertilisant	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production
	+ réduire la disponibilité en NO ₃ dans le sol → limiter les apports de fertilisants azoté	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production
+ implanter un grand nombre d'espèces de céréale à paille		- ↘ diversité des espèces implantées	

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limiter les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ réduire les processus de minéralisation → sans travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production
- ↘ quantités de résidus de culture / espèces de céréale à paille	+ implanter des légumineuses	+ ↗ diversité des espèces implantées	- ↘ production / espèces de céréale à paille
- ↘ quantités de résidus de culture	+ réduire les quantités de fertilisant	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production
	+ réduire la disponibilité en NO ₃ ⁻ dans le sol → limiter les apports de fertilisants azoté	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production
+ implanter un grand nombre d'espèces de céréale à paille		- ↘ diversité des espèces implantées	
+ implanter un grand nombre de cultures intermédiaires	+ ↘ disponibilité en NO₃⁻ dans le sol	+ ↘ pertes azotées	- ↘ disponibilités eau et N dans les sols et ↘ productions de biomasse

Exemples de compromis

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limiter les émissions N ₂ O		
+ produire des quantités importantes de résidus de culture → maintenir des niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée		+ ↗ production

Grande incertitude de la valeur du facteur d'émission lié à la fertilisation azotée
 → **Hierarchiser les stratégies**

⋮

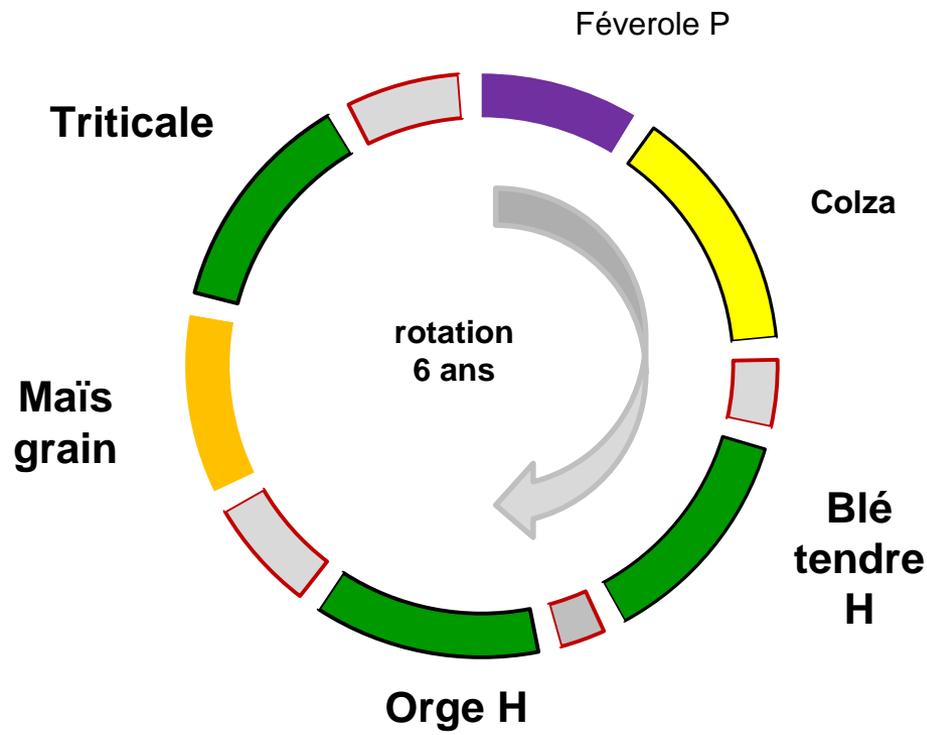
1. Favoriser le stockage de carbone dans les sols
2. Limiter autant que possible les émissions de N₂O

	azote		
+ implanter un grand nombre d'espèces de céréale à paille		- ↘ diversité des espèces implantées	
+ implanter un grand nombre de cultures intermédiaires	+ ↘ disponibilité en NO ₃ ⁻ dans le sol	+ ↘ pertes azotées	- ↘ disponibilités eau et N dans les sols et ↘ productions de biomasse

Leviers techniques

Favoriser le stockage de C dans le sol

- ✓ implanter des espèces dont les résidus ont un potentiel de stockage élevé
- ✓ maintenir des niveaux élevés de production



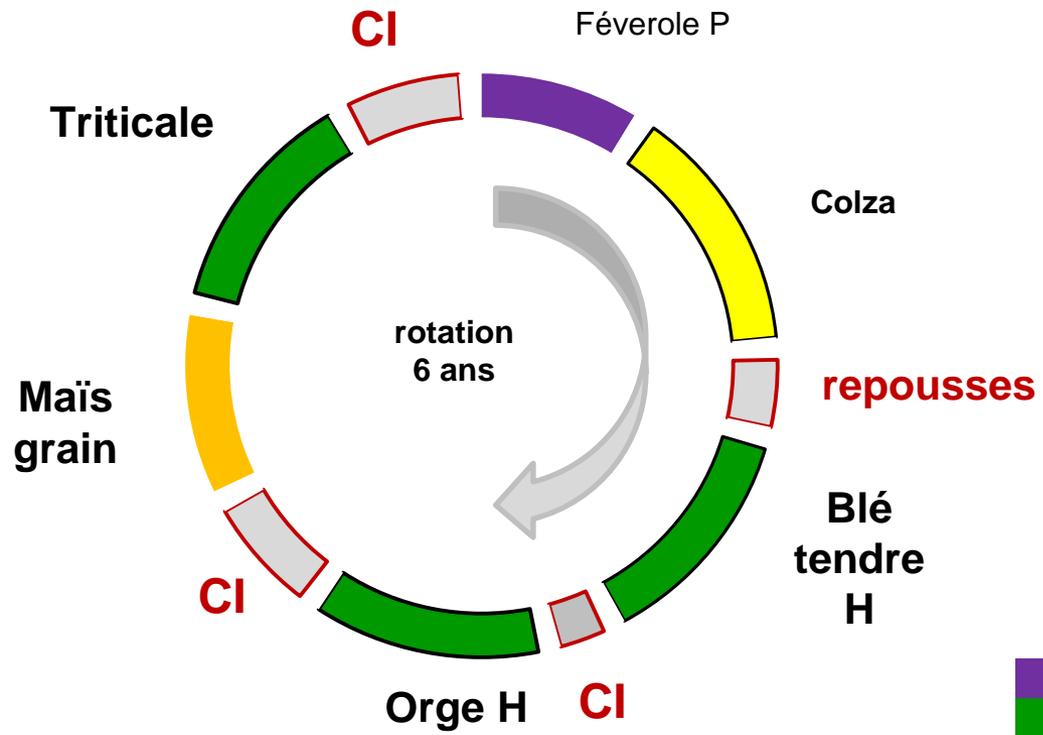
- légumineuses
- céréales à paille
- oléagineux
- maïs
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole P	4.1
Orge H	6.1
Triticale	6.0

Leviers techniques

Favoriser le stockage de C dans le sol

- ✓ implanter des espèces dont les résidus ont un potentiel de stockage élevé
- ✓ maintenir des niveaux élevés de production
- ✓ **produire de la biomasse (CI)**
- ✓ **sans labour**



	légumineuses
	céréales à paille
	oléagineux
	maïs
	culture intermédiaire
	culture d'hiver
	culture de printemps

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole P	4.1
Orge H	6.1
Triticale	6.0

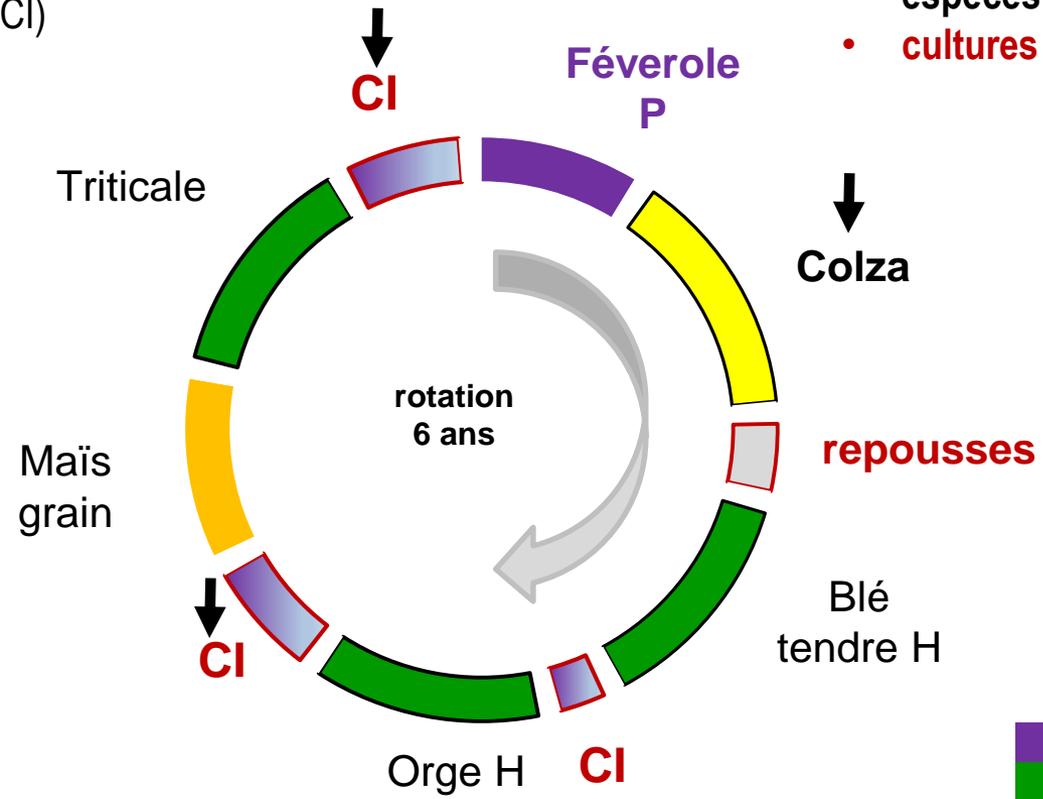
Leviers techniques

Favoriser le stockage de C dans le sol

- ✓ implanter des espèces dont les résidus ont un potentiel de stockage élevé
- ✓ maintenir des niveaux élevés de production
- ✓ produire de la biomasse (CI)
- ✓ sans labour

Limiter les émissions de N₂O

- ✓ implantations
 - légumineuses
 - espèces à pivots ↓
 - cultures intermédiaires



	légumineuses
	céréales à paille
	oléagineux
	maïs
	culture intermédiaire
	culture d'hiver
	culture de printemps

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole P	4.1
Orge H	6.1
Triticale	6.0

Leviers techniques

Favoriser le stockage de C dans le sol

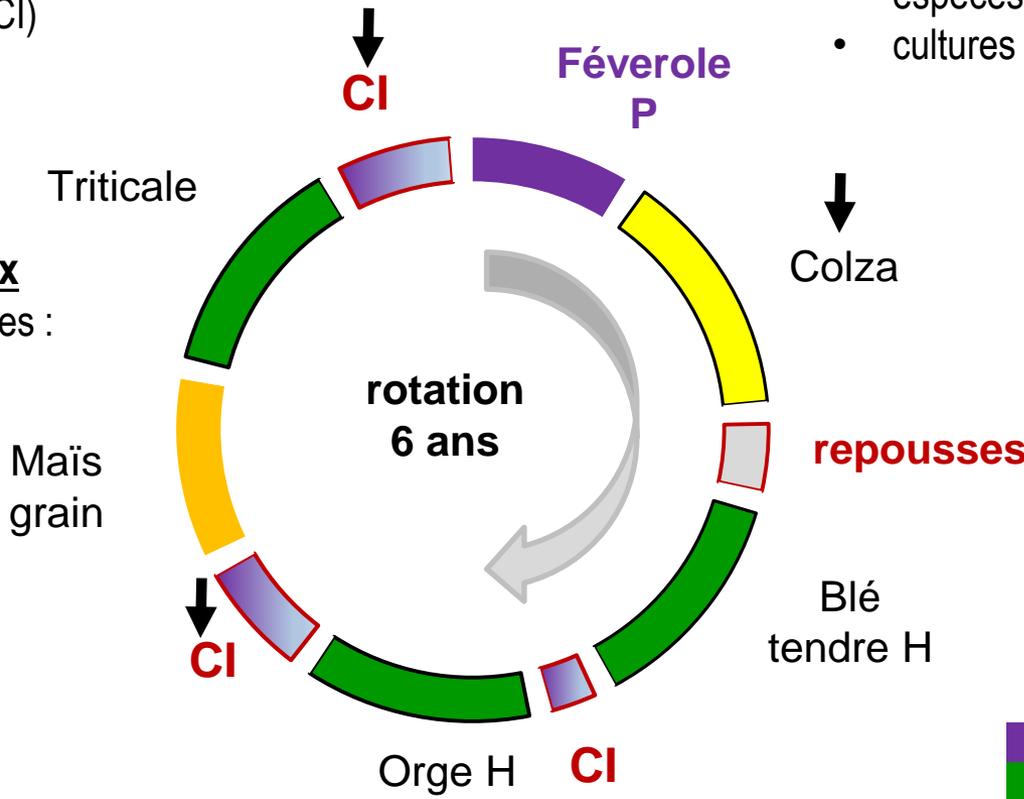
- ✓ implanter des espèces dont les résidus ont un potentiel de stockage élevé
- ✓ maintenir des niveaux élevés de production
- ✓ produire de la biomasse (CI)
- ✓ sans labour

Critères environnementaux

- ↳ pollutions liées aux pesticides :
- ↗ diversité des espèces

Limiter les émissions de N₂O

- ✓ implantations
 - légumineuses
 - espèces à pivots ↓
 - cultures intermédiaires



- légumineuses
- céréales à paille
- oléagineux
- maïs
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole P	4.1
Orge H	6.1
Triticale	6.0

Leviers techniques

Favoriser le stockage de C dans le sol

- ✓ implanter des espèces dont les résidus ont un potentiel de stockage élevé
- ✓ **maintenir des niveaux élevés de production**
- ✓ produire de la biomasse (CI)
- ✓ sans labour

Critères environnementaux

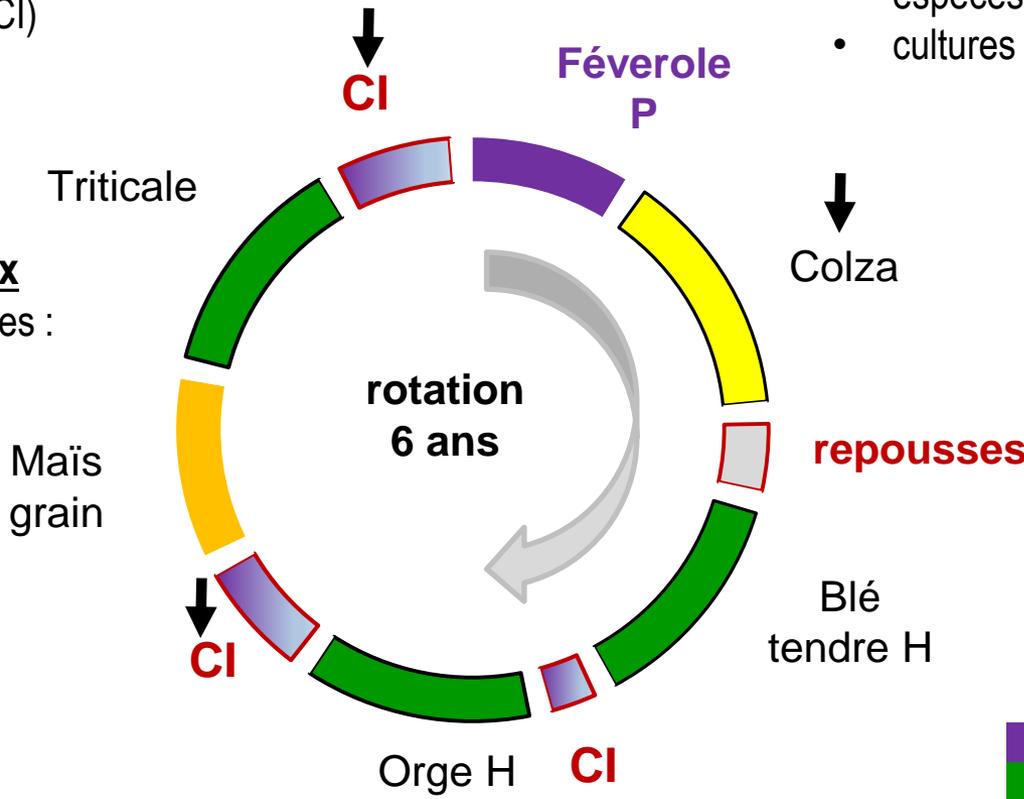
- ↳ pollutions liées aux pesticides :
- ↗ diversité des espèces

Production

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole P	4.1
Orge H	6.1
Triticale	6.0

Limiter les émissions de N₂O

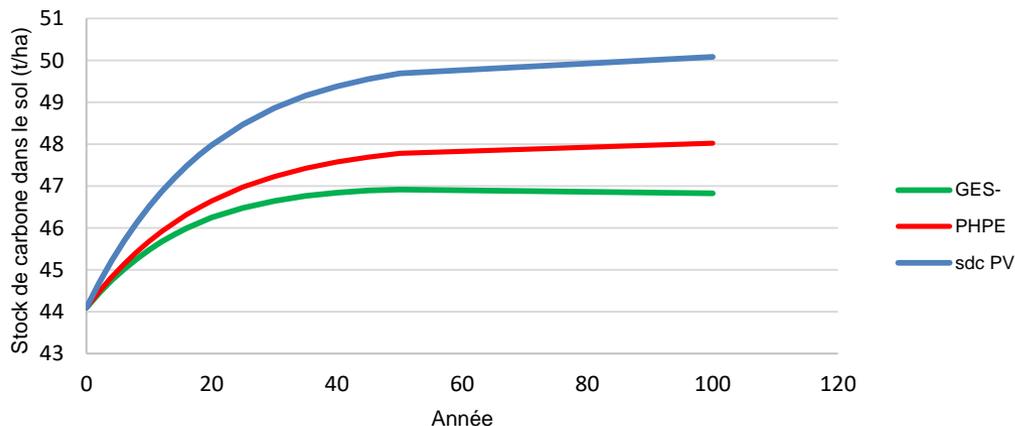
- ✓ implantations
 - légumineuses
 - espèces à pivots ↓
 - cultures intermédiaires



- légumineuses
- céréales à paille
- oléagineux
- maïs
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

→ Difficultés pour stocker du carbone dans le sol

Evolution du stock de carbone dans les sols



Des niveaux de production du sdcj GES- comparables au sdcj PHPE

	GES-	PHPE	PV
Blé tendre H	7.38 +/- 0.14	7.27 +/- 0.87	8.1
Colza	2.43 +/- 2.14	3.64 +/- 0.27	4.1
Maïs	6.79 +/- 0.67		8.6

Rendements (t/ha ; 0%)

GES- et PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014 et 2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : valeurs représentatives de la période 2009-2014

Des productions faibles de biomasse des cultures intermédiaires

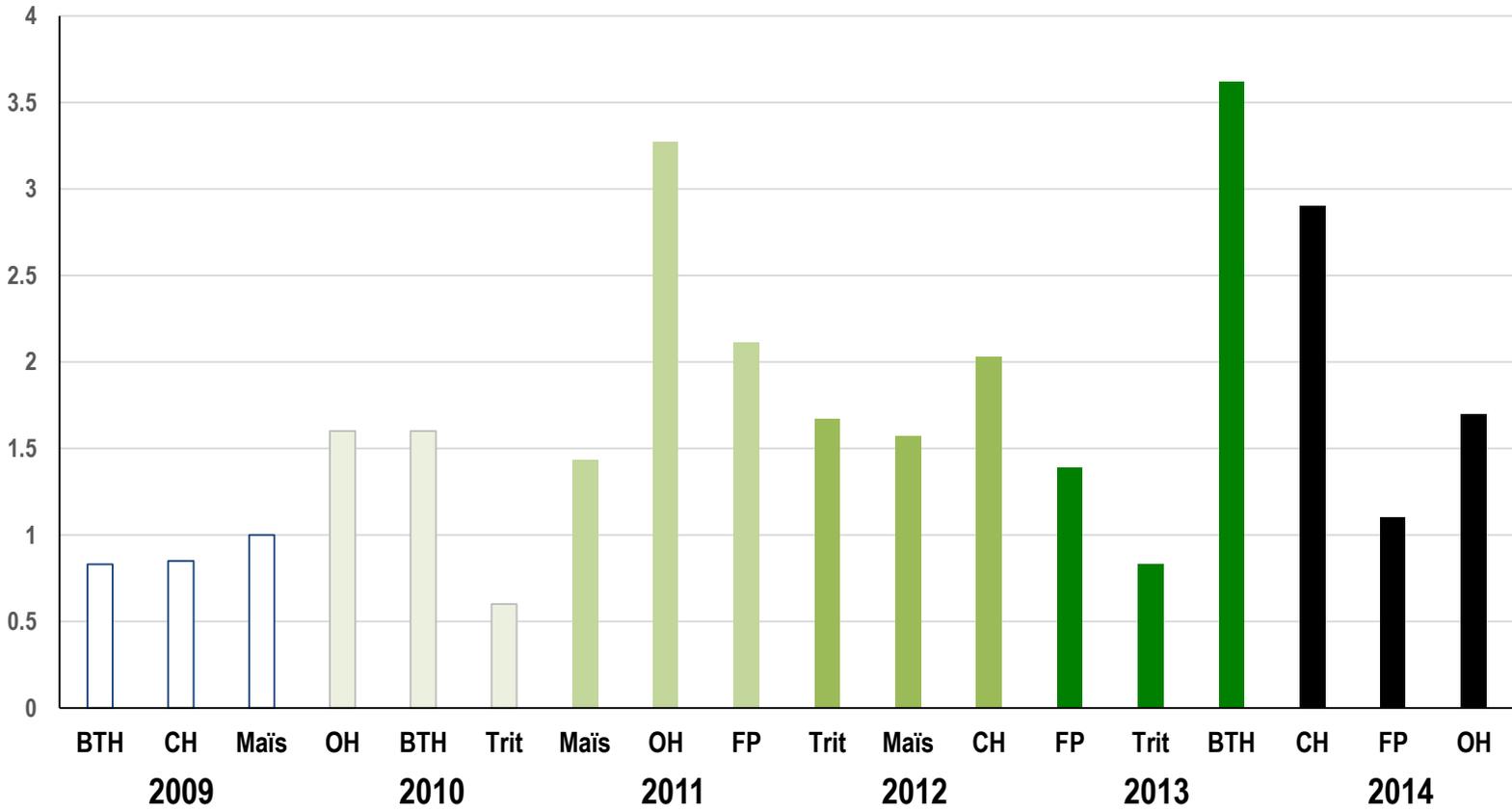
Evolution du stock de carbone dans le sol (t/ha ; 0-30 cm) simulée avec l'outil SIMEOS (<http://www.simeos-amg.org>) des sdcj GES- et PHPE (valeurs moyennes sur trois répétitions) et des systèmes PV (valeur moyenne sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles) dans le sol de l'Ile-de-France

GES-		Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
gamme de production (t/ha)	2009			Moutarde brune
0 t/ha	2010	Pois fourrager	Repousse colza, pois fourrager	
0 à 1 t/ha	2011	Trèfle Alexandrie, avoine ptps	Pois ptps	Avoine ptps
1 à 2 t/ha	2012		Trèfle Alexandrie, avoine ptps	
2 à 3 t/ha	2013		Moutarde blanche	Repousses colza, fenugrec
> 3 t/ha	2014		Avoine ptps, lentille fourragère, moutarde blanche	Sarrasin

Production de biomasse des cultures intermédiaires (t ms/ha) sur les différentes répétitions (2009-2014)

Des applications de plus en plus nombreuses et importantes d'herbicides

Evolution de l'indice de fréquence de traitement herbicide GES- (détails des trois répétitions, 2009-2014)



Des évolutions non maîtrisées du milieu

GES- : parcelle de colza d'hiver (répétition 1 – mai 2014)



GES- : parcelle de féverole de printemps (répétition 2 – mai 2014 et juillet 2014)



Bilan après le premier cycle de rotation

1. Aucune réduction des émissions de GES / au sdcj PHPE

2. Des évolutions non maîtrisées du milieu malgré des applications nombreuses d'herbicides

3. Des applications de molluscicides en augmentation

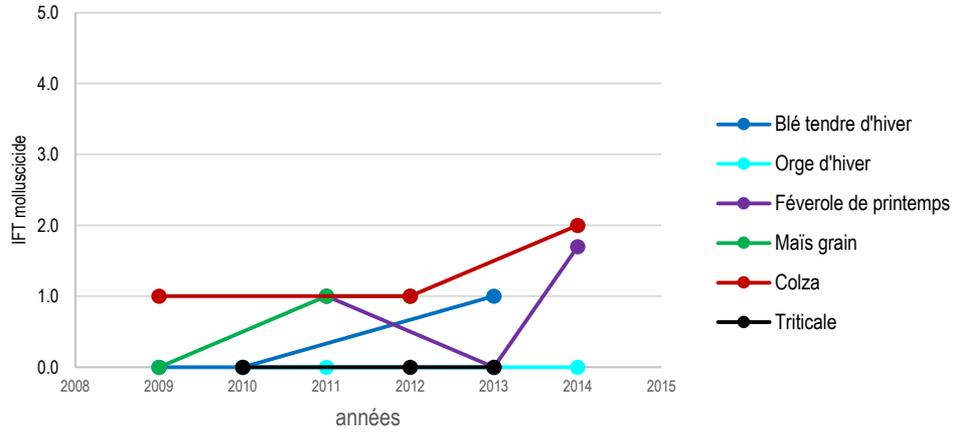
Balance carbone (kg C02eq/ha/an - GES'TIM, 2010 – SIMEOS (<http://www.simeos-amg.org/>))

GES-	PHPE	PV
1 202 +/- 86	1 188 +/- 270	2 102 +/- 174

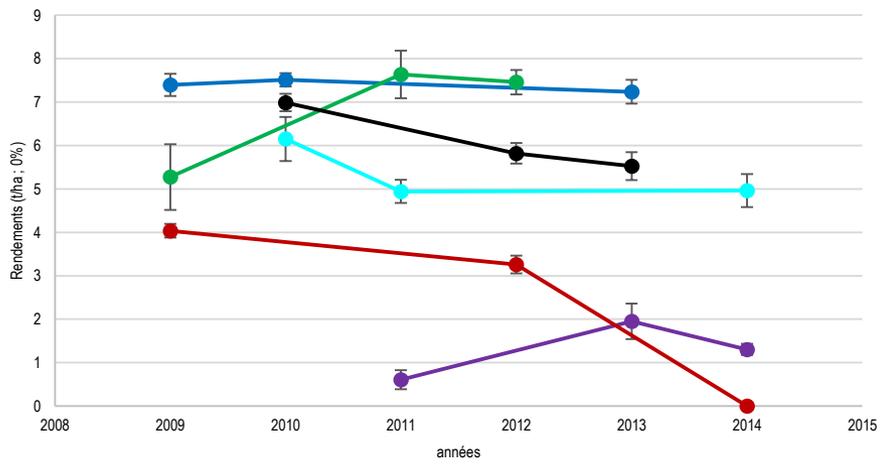
GES- : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur trois répétitions
 PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions
 PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

4. Des chutes de production

GES- : Evolution des indices de fréquence de traitement molluscicide : 2009 à 2014



GES- : Evolution des rendements (t/ha ; 0%) de 2009 à 2014



Prototype 2 : Leviers mobilisés

1. LIMITER LES EMISSIONS DE N₂O

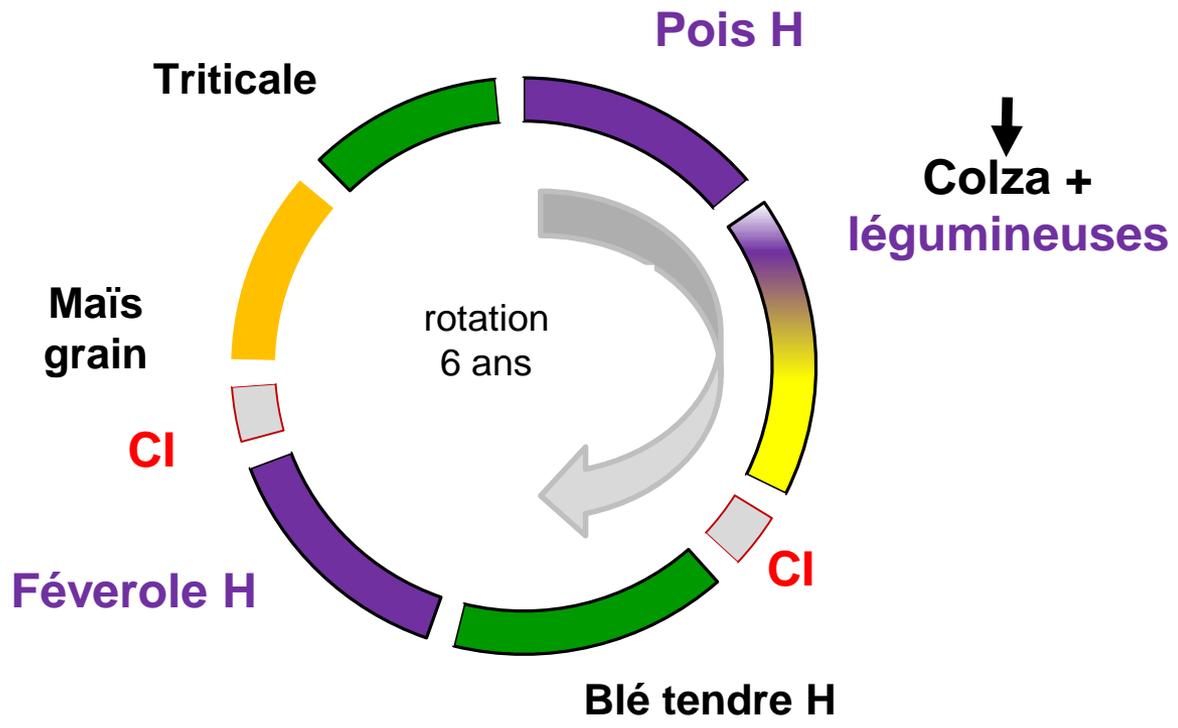
2. Favoriser le stockage de carbone dans le sol

Prototype 2 : Leviers mobilisés

1. LIMITER LES EMISSIONS DE N₂O

- ✓ Implantations
 - de nombreuses légumineuses
 - espèces à pivots ↓
 - cultures intermédiaires
- ✓ Réduire la fertilisation azotée (- 20kgN/ha/an)

2. Favoriser le stockage de carbone dans le sol



- légumineuses
- céréales à paille
- oléagineux
- maïs
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

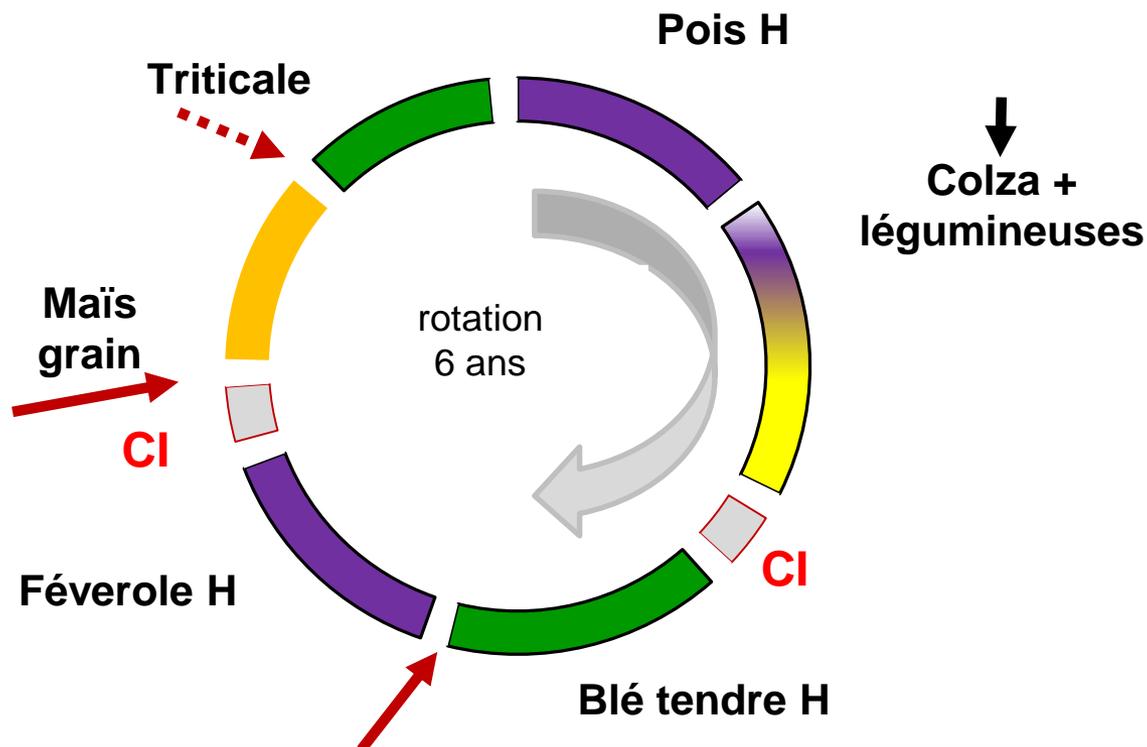
Prototype 2 : Leviers mobilisés

1. LIMITER LES EMISSIONS DE N₂O

- ✓ Implantations
 - de nombreuses légumineuses
 - espèces à pivots ↓
 - cultures intermédiaires
- ✓ Réduire la fertilisation azotée (- 20kgN/ha/an)

2. Favoriser le stockage de carbone dans le sol

- ✓ implanter des espèces dont la teneur en C des résidus est spécifique
- ✓ produire de la biomasse (CI)
- ✓ **Ne pas limiter la production (travail du sol superficiel autorisé)** →



Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole H	3.0
Pois H	4.4
Triticale	6.0

	légumineuses
	céréales à paille
	oléagineux
	maïs
	culture intermédiaire
	culture d'hiver
	culture de printemps

4. Comment et combien arrive-t-on à produire ?

4.4. Système « Energie moins » (EN-)

Sdci EN-

**Moins 50% consommation
d'énergie / sdci PHPE**

+

**Un set de critères
environnementaux**

+

Haute production

Leviers mobilisés

dans nos conditions expérimentales de grandes cultures,
sans apport de fertilisant organique

STRATEGIES

**Limiter la consommation
d'énergie directe**

→ non labour et semis direct

**Limiter la consommation
d'énergie indirecte**

→ légumineuses

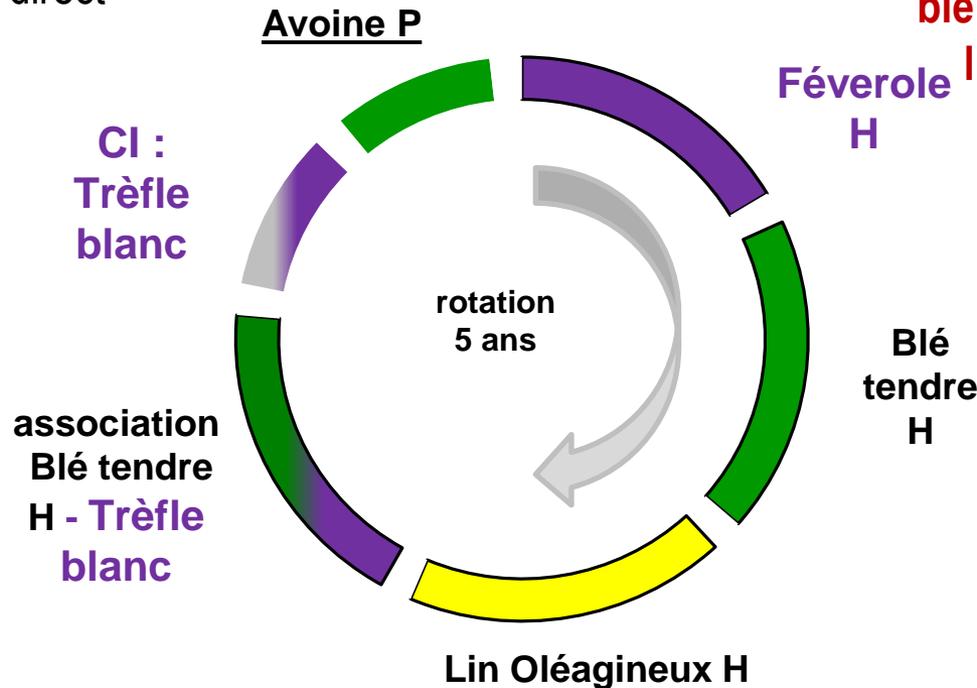
→ espèce à forte efficacité d'utilisation N

→ **réduire les objectifs de production**

blé tendre H : -20% / PHPE

lin, avoine non fertilisés

COMPROMIS



Critères environnementaux

↳ pollutions liées aux pesticides :
espèces diversifiées
maintien fertilité des sols :
restitution des pailles

→ Réduction de la consommation d'énergie fossile

Consommation d'énergie fossile (MJ/ha/an ; GES'TIM, 2010)

	EN-	PHPE	PV
Energie totale	5 201+/-502	7 755 +/- 711	13 630 +/- 895
Energie directe	2 618+/-171	3 665 +/- 223	4 314 +/- 122
Energie indirecte	2 584+/-479	4 090 +/- 489	9 316 +/- 888

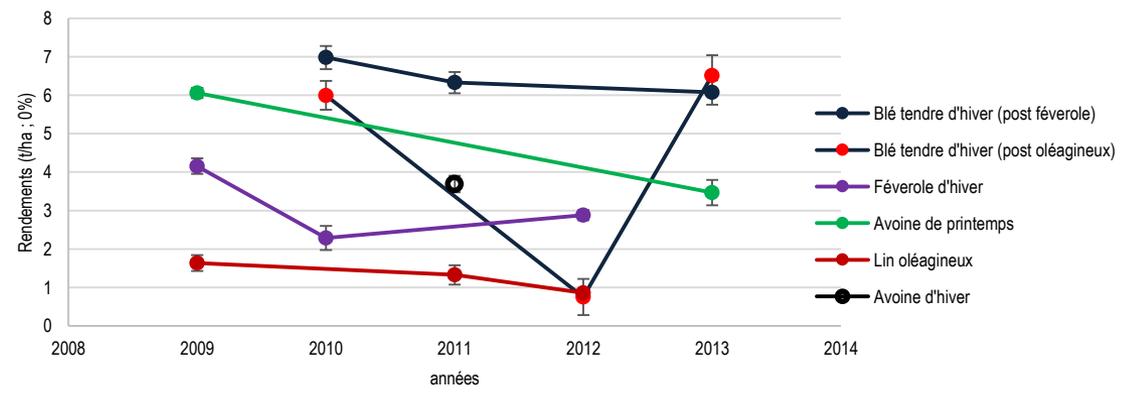
EN- : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

→ Diminution tendancielle des productions, voire des échecs

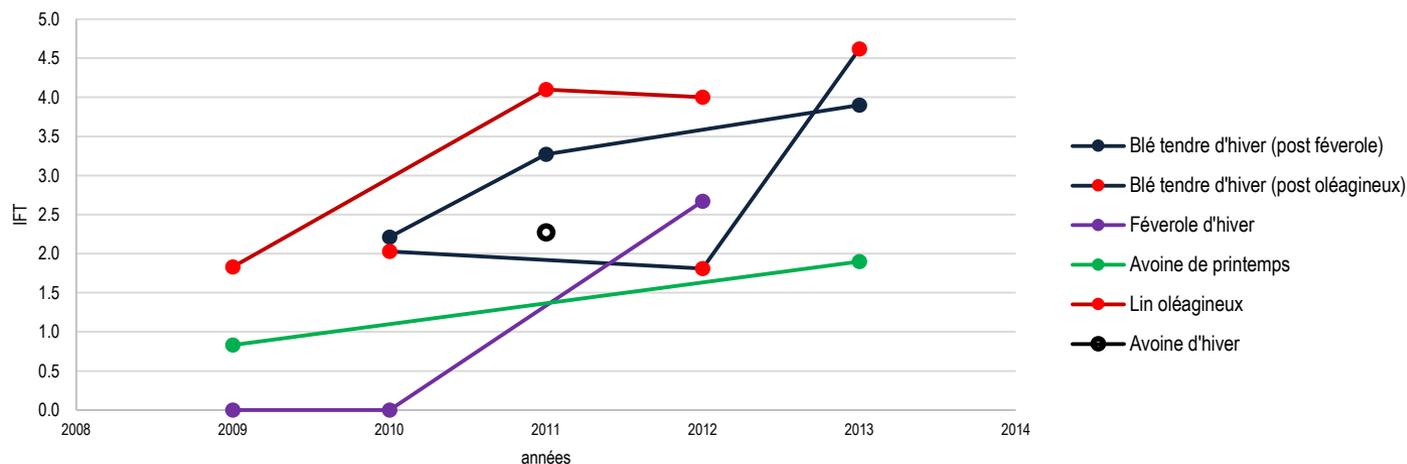
EN- : Evolution des rendements (t/ha ; 0%)
2009 à 2014



Evolution des rendements (t/ha ; 0%), de 2009 à 2014

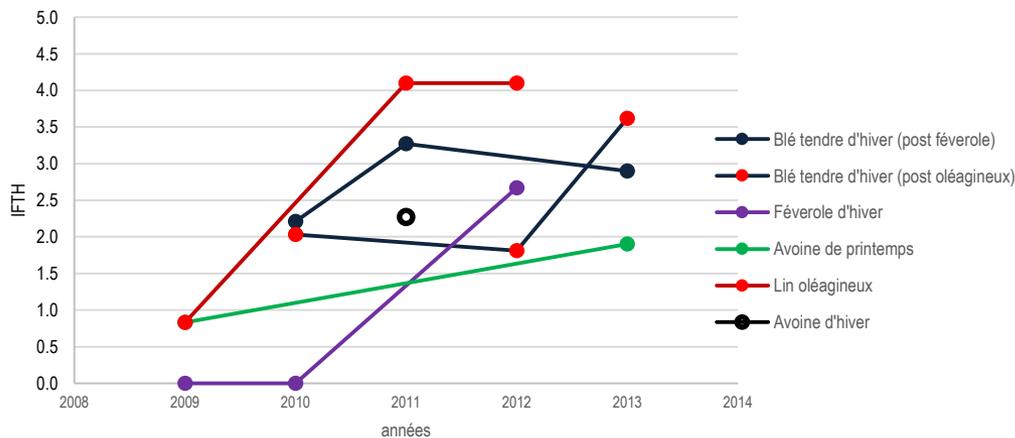
→ Augmentation de l'utilisation des pesticides

EN- : Evolution des indices de fréquence de traitement
2009 à 2013

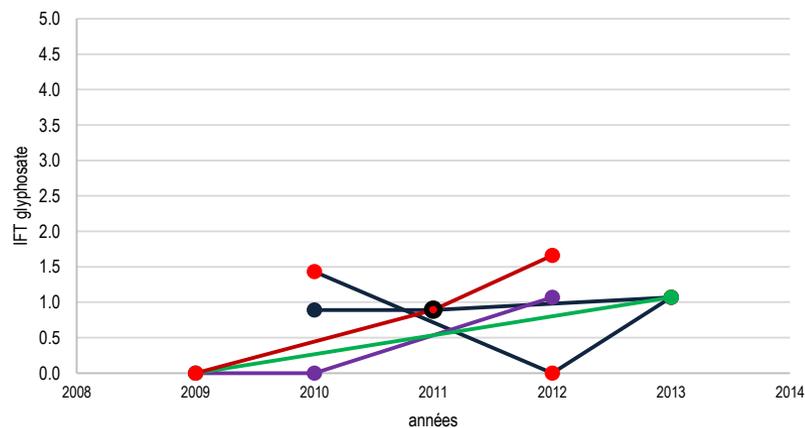


Une dépendance au glyphosate

EN- : Evolution des indices de fréquence de traitement herbicide
2009 à 2013



EN- : Evolution des indices de fréquence de traitement
"glyphosate" : 2009 à 2013



→ Sans maîtriser les populations d'adventices



EN- : colza d'hiver (répétition 1 – novembre 2013)
Ray Grass



EN- : trèfle (répétition 3 – hiver 2012)
Adventices diverses



EN- : blé tendre d'hiver (répétition 1 – juillet 2013)
Folle avoine



EN- : avant semis d'hiver (répétition 2 – novembre 2012)
Adventices diverses

Prototype 2 : Leviers mobilisés

dans nos conditions expérimentales de grandes cultures,
sans apport de fertilisant organique

STRATEGIES

**Limiter la consommation
d'énergie directe**

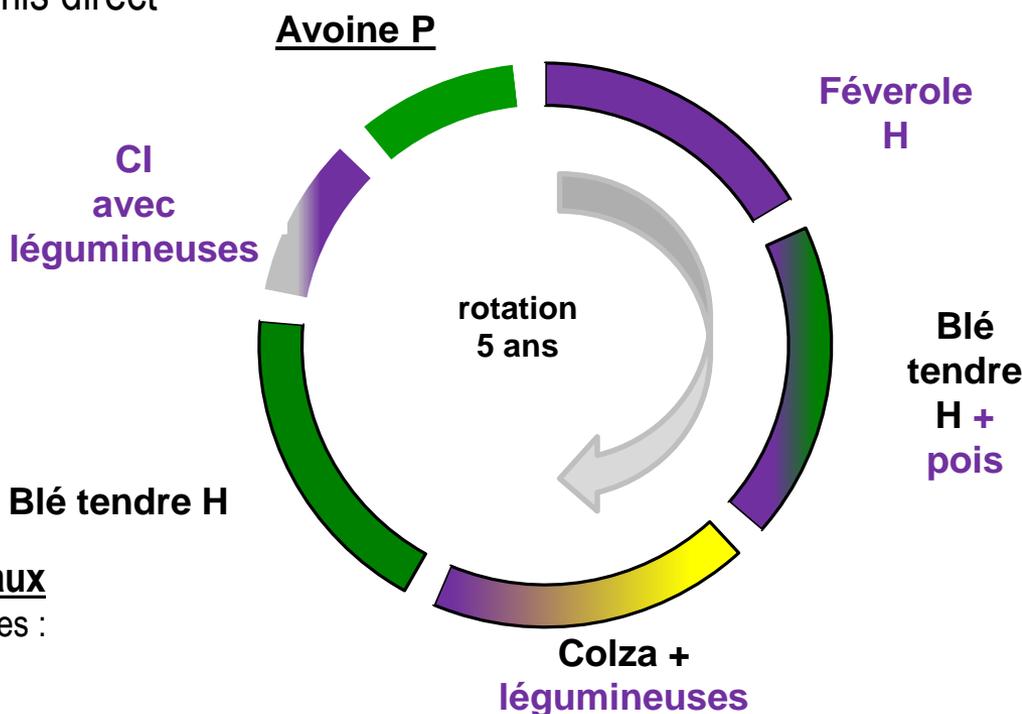
→ non labour et semis direct

**Limiter la consommation
d'énergie indirecte**

→ légumineuses : soja, trèfle, pois...

→ espèce à forte efficacité d'utilisation N

→ **réduire les objectifs de production / sdci PHPE**



Rdt (t/ha ; 0%)	EN-	PHPE
Blé tendre H	5.4	6.7
Colza	1.8	2.8

- légumineuses
- céréales à paille
- oléagineux
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps

Critères environnementaux

- ↳ pollutions liées aux pesticides :
- espèces diversifiées
- maintien fertilité des sols :
- restitution des pailles

Conclusion

BILAN (1/3)

Premier cycle de rotation 2009-2013 ou 2014	PHPE	OPest	GES-	EN-
Productions	Stabilisées	Stabilisées ou fluctuantes selon espèces, avec « échecs » ponctuels (maladies, insectes)	Chute et échec de productions en 2014 (2 répétitions/3)	Chute et échecs de production
Evolution du milieu	Milieu stabilisé	Stabilisé , populations d'adventices maîtrisées non recours au « joker » luzerne	Populations d'adventices non maîtrisées en 2013-2014	Populations d'adventices difficilement maîtrisables post culture de lin
Marge semi-nette (€/ha/an) PV : 914 +/- 227	811 (+/- 178)	858 (+/- 151)	675 (+/- 170)	772 (+/- 154)

BILAN (1/3)

Premier cycle de rotation 2009-2013 ou 2014	PHPE	OPest	GES-	EN-
Productions	Stabilisées	Stabilisées ou fluctuantes selon espèces, avec « échecs » ponctuels (maladies, insectes)	Chute et échec de productions en 2014 (2 répétitions/3)	Chute et échecs de production
Evolution du milieu	Milieu stabilisé	Stabilisé, populations d'adventices maîtrisées non recours au « joker » luzerne	Populations d'adventices non maîtrisées en 2013-2014	Populations d'adventices difficilement maîtrisables post culture de lin
MSN (€/ha/an) PV : 914 +/- 227	811 (+/- 178)	858 (+/- 151)	675 (+/- 170)	772 (+/- 154)
Performances environnementales et pratiques culturales (2009-2014) – Comparaisons aux systèmes PV				
Diversité des espèces	+ 33%	+ 66%	+ 100%	+ 66%
Durée de la rotation (ans)	+ 25%	+ 50%	+ 50%	+ 25%
IFT	- 51%	- 100%	- 34%	- 38%
IFTH	=	- 100%	+ 24%	+ 83%
Consommation d'énergie fossile (MJ/ha/an)	- 43%	- 44%	- 45%	- 62%
Emissions GES (kgeqCO2/ha/an)	- 57%	- 66%	- 58%	- 78%
Apports fertilisants N (kgN/ha/an)	- 64%	- 85%	- 71%	- 90%
Sdci : moindre dépendance économique aux fluctuations des prix des intrants				

BILAN (1/3)

Premier cycle de rotation 2009-2013/14	PHPE	OPest	GES-	EN-
Productions	Stabilisées	Stabilisées ou fluctuantes selon espèces, avec « échecs » ponctuels (maladies, insectes)	Chute et échec de productions en 2014 (2 répétitions/3)	Chute et échec de production
Evolution du milieu	Milieu stabilisé	Stabilisé, populations d'adventices maîtrisées non recours au « joker » luzerne	Populations d'adventices non maîtrisées en 2013-2014	Populations d'adventices difficilement maîtrisables post culture de lin
MSN (€/ha/an) PV : 914 +/- 227	811 (+/- 178)	858 (+/- 151)	675 (+/- 170)	772 (+/- 154)

Performances environnementales et pratiques culturales (2009-2014) – Comparaisons aux systèmes PV

Diversité d'espèces implantées	+33%	+66%	+100%	+66%
Durée de la rotation (ans)	+25%	+50%	+50%	+25%
IFT	-51%	-100%	-34%	-38%
IFTH	=	-100%	+24%	+83%
Consommation d'énergie (MJ/ha/an)	-43%	-44%	-45%	-62%
Emissions GES (kgeqCO2/ha/an)	-57%	-66%	-58%	-78%
Apports fertilisants N (kgN/ha/an)	-64%	-85%	-71%	-90%

Sdci : moindre dépendance économique aux fluctuations des prix des intrants

Premières tendances : 2nd cycle de rotation

Evolution des prototypes	Règles de décisions légèrement modifiées	Règles de décisions modifiées	Nouveau prototype en 2014	Nouveau prototype en 2013
Premiers résultats	Amélioration de la maîtrise du sdci Milieu stabilisé Productions stabilisées	Amélioration de la maîtrise du sdci Milieu stabilisé Productions stabilisées ou fluctuantes selon les espèces	Amélioration de la maîtrise du sdci Populations d'adventices et limaces maîtrisées Productions améliorées	Difficulté de la maîtrise du sdci Populations d'adventices maîtrisées via herbicides Populations des limaces non maîtrisées Productions mitigées

Des systèmes de culture conçus pour répondre à une multiplicité d'objectifs (i.e. une contrainte environnementale forte en rupture, une multiplicité d'objectifs environnementaux et de production) **et évalués en plein champ**

Des pratiques en évolution pour concevoir des combinaisons nouvelles et cohérentes de pratiques culturelles, gérées à l'échelle de la culture et de la succession culturale et régies par des règles de décision. Certaines de ces combinaisons sont maîtrisées et permettent d'atteindre les objectifs (sdci PHPE et 0Pest)

Des difficultés à concevoir ces systèmes dès l'étape de conception :

- ✓ manque de connaissances scientifiques (sdci GES-),
- ✓ identification de compromis pour satisfaire la multiplicité des objectifs (sdci 0Pest, GES-, EN-)

Des résultats stabilisés dans la temps :

- ✓ niveau de production (sdci PHPE),
- ✓ qualité des semences de céréales à paille (sdci 0Pest),
- ✓ temps de travail (sdci PHPE et 0Pest)
- ✓ résultats économiques (sdci PHPE et 0Pest)....

Des apprentissages en cours de route pour atteindre les objectifs :

conception « de novo » → conception « pas à pas »

- ✓ des niveaux faibles de production (fèverole hiver - sdci PHPE ; maîtrise des adventices et pratiques du désherbage mécanique – sdci 0pest)
- ✓ des évolutions de milieu non contrôlées (populations d'adventices et de limaces - sdci GES- et EN-) et des règles de décision à consolider

BILAN (3/3)

Des résultats robustes issus d'un dispositif conduit sur le «moyen» terme (10 ans) et des transpositions possibles dans des conditions pédoclimatiques analogues : systèmes conçus sur la base de règles de décision

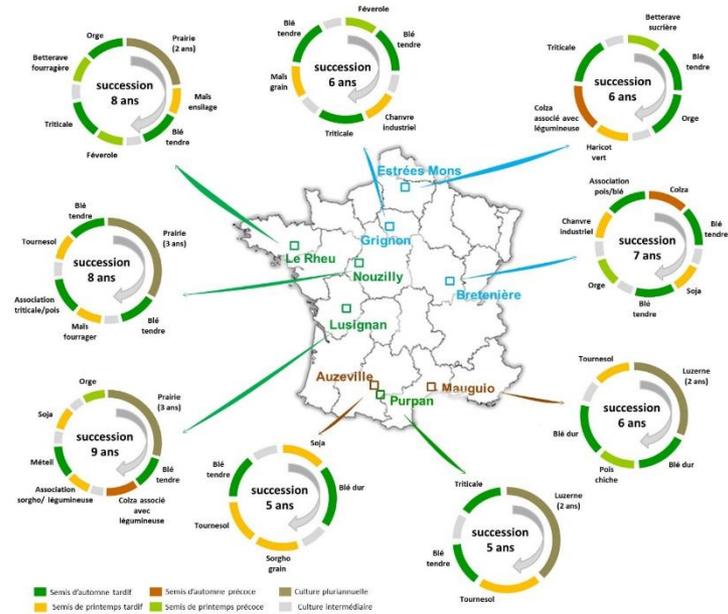
Des réseaux d'expérimentations multilocaux contribuent à conforter l'efficacité des combinaisons cohérentes, de pratiques culturales, dans des milieux différents



Réseau européen : réduction des apports de pesticides (2011-2014)

Identification des combinaisons efficaces et communes de pratiques culturales

- ✓ diversification des espèces implantées dans la rotation
- ✓ mélanges variétaux
- ✓ désherbage mécaniques // distances entre rangs



Rés0pest (2013-2024) : interdiction des apports de pesticides

Identification de combinaisons efficaces et communes de pratiques culturales

- ✓ adventices : allongement des rotations, diversification des dates de semis
- ✓ maladies : diversification des espèces, mélanges de variétés résistantes

Céréales : valeurs de teneur en mycotoxines inférieures aux seuils toxicité
Capitalisation des règles de décision, analyses de leurs évolutions en cours

Unité Mixte de Recherche Agronomie



Renewable Agriculture and Food Systems: 30(6); 487-502 doi:10.1017/S1742170514000313

Designing innovative productive cropping systems with quantified and ambitious environmental goals

Caroline Colnenne-David^{1*} and Thierry Doré²

¹INRA, UMR 211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon, France.
²AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon, France.
 *Corresponding author: caroline.colnenne@grignon.inra.fr



Problématiques & Débats

Concilier performances environnementales et rendements élevés : premières évaluations de systèmes de culture innovants sous contraintes

Caroline Colnenne-David¹, Gilles Grandjean², Thierry Doré³

Field Crops Research 210 (2017) 114-128

Contents lists available at ScienceDirect

Field Crops Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fcr

Ambitious environmental and economic goals for the future of agriculture are unequally achieved by innovative cropping systems

Caroline Colnenne-David^{1*}, Gilles Grandjean², Marie-Hélène Jeuffroy³, Thierry Doré³

Merci pour votre attention

<https://www6.versailles-grignon.inra.fr/agronomie/CV-et-Theses/Caroline-Colnenne>



BILAN CHIFFRE

	PHPE	OPest	GES-	EN-
MSN (2009-2014 - €/ha/an) PV : 914 +/- 227	811 (+/- 178)	858 (+/- 151)	675 (+/- 170)	772 (+/- 154)
Performances environnementales et pratiques culturales (2009-2014)				
Diversité (nb) d'espèces implantées PV : 2 à 4	4 + CI	5 + CI	6 + CI	5 + CI
Durée de la rotation (ans) PV : 3 à 5	5	6	6	5
IFT - PV : 3.9 +/- 0.3	1.9 (+/- 1.5)	0	2.56 (+/- 2.81)	2.4 (+/- 0.3)
IFTH - PV : 1.2 +/- 0.1	1.2 (+/- 0.7)	0	1.49 (+/- 1.85)	2.2 (+/- 0.2)
Consommation d'énergie fossile (MJ/ha/an) PV : 13 630 +/- 895	7 755 (+/- 711)	7 604 (+/- 517)	7 459 (+/- 793)	5 201 (+/- 502)
Emissions GES (kgeqCO2/ha/an) PV : 2 513 +/- 190	1 071 (+/- 145)	844 (+/- 46)	1 052 (+/- 183)	554 (+/- 107)
Lixiviation de nitrate (kg NO3/ha/an)	8.9 (+/- 2.2)	7.8 (+/- 0.8)	4.5 (+/- 0.6)	6.3 (+/- 0.7)
Apports fertilisants N minéraux (kgN/ha/an) PV : 195 +/- 15	70 (+/- 35)	29 (+/- 48)	57 (+/- 14)	19 (+/- 6)