

# Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture

-

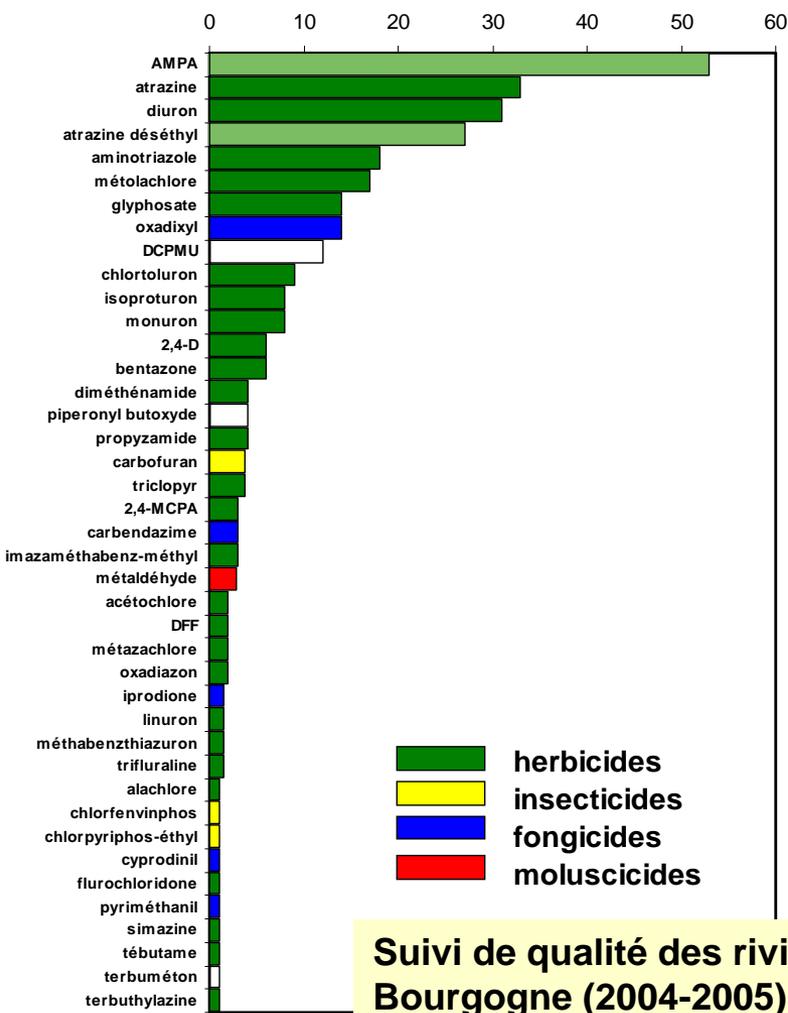
## Protection Intégrée contre la flore adventice

*Nicolas Munier-Jolain, Violaine Deytieux, Jean-Philippe  
Guillemin, Sylvie Granger, Sabrina Gaba*

*UMR Biologie et Gestion des Adventices – Dijon  
INRA – Réseau PIC*



## Fréquence de quantification



Suivi de qualité des rivières en Bourgogne (2004-2005)

Source : DRAF-SRPV

## La Protection Intégrée contre la flore adventice

*Comment réconcilier agriculture et environnement ?*

- Réduire les transferts d'herbicides vers les rivières et les nappes
- Contribuer à la préservation de la biodiversité

*graines = ressource trophique*

*...avec des retours attendus en terme de risque 'bioagresseurs'*



# La profession est démunie pour réduire la dépendance des systèmes agricoles aux herbicides



Photo ITB : témoin non désherbé en betterave

- Efficacité relative limitée des techniques alternatives (considérées individuellement)
- Effets cumulatifs à long terme  
***banque de graines = potentiel d'infestation dans les cultures suivantes***



Efficacités de techniques alternatives de désherbage et de gestion de la flore adventice

Techniques	Herbicides	Désherbage mécanique	Faux-semis	Densité de semis, écartement	Variétés compétitives	Culture de printemps dans une rotation type hiver
Efficacité	~ 98 %	47-61 %	56-72 %*	~ 75 %**	~ 75 %	20-96 %**

\* Kurstjens & Kropff, 2001

\*\* brochure 'Des parcelles plus propres avec moins d'herbicides' éditée par AgroTransfert Picardie

# Conséquence

PI-Adventices : combinaison de multiples techniques culturales alternatives

*rotation diversifiée, travail du sol, faux-semis, esquive des périodes de levées, choix de cultures et de variétés compétitives, densités fortes, écartements réduits, désherbage mécanique, allélopathie ...*

- Quelle efficacité de ces combinaisons de techniques ?
- Quelles conséquences ? Quelles performances ?
  - **Maîtrise de la flore**
  - **Dépendance aux herbicides**
  - **Impacts environnementaux herbicides, gaz à effets de serre, ...**
  - **Rentabilité économique**
  - **Faisabilité, acceptabilité sociale**



# INRA Dijon-Epoisses 2000 –

*une expérimentation systémique pour évaluer les performances de prototypes de Systèmes de Culture PI-Adventices*

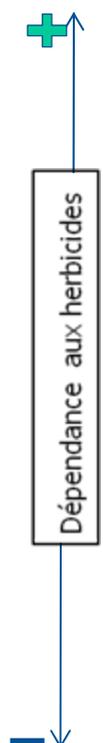


## Méthodologie des expérimentations 'systèmes'

1. Définition a priori des systèmes  
*Objectifs, contraintes, stratégies de gestion*
2. Définition de jeux de règles de décision
3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères

# 1. Définition a priori des systèmes

*Objectifs, contraintes, stratégies de gestion*



	Intitulé	Objectifs Agro-environnementaux
S1	Agriculture « raisonnée »	Maximiser les résultats économiques
S2	Protection intégrée (PIC) <i>Techniques culturales simplifiées</i>	Limiter les temps de travaux, Réduction de la dépendance aux herbicides
S3	Protection intégrée (PIC) <i>sans désherbage mécanique</i>	Réduction de la dépendance aux herbicides
S4	Protection intégrée (PIC) <i>avec désherbage mécanique</i>	Réduction forte de la dépendance aux herbicides <i>Production de betterave</i>
S5	Zéro herbicide	Aucun herbicide de synthèse

# 1. Définition a priori des systèmes

*Objectifs, contraintes, stratégies de gestion*

+ ↑  
Dépendance aux herbicides  
↓ -

	Intitulé
<b>S1</b>	<b>Agriculture « raisonnée »</b>
<b>S2</b>	<b>Protection intégrée (PIC)</b> <b>Techniques culturales simplifiées</b>
<b>S3</b>	<b>Protection intégrée (PIC)</b> <b>sans désherbage mécanique</b>
<b>S4</b>	<b>Protection intégrée (PIC)</b> <b>avec désherbage mécanique</b>
<b>S5</b>	<b>Zéro herbicide</b>



5 systèmes x 2 répétitions  
10 parcelles de ~ 2 ha

Début de l'expé : été 2000

2. Définition de jeux de règles de décision  
expertise, modèles de simulation, résultats expérimentaux

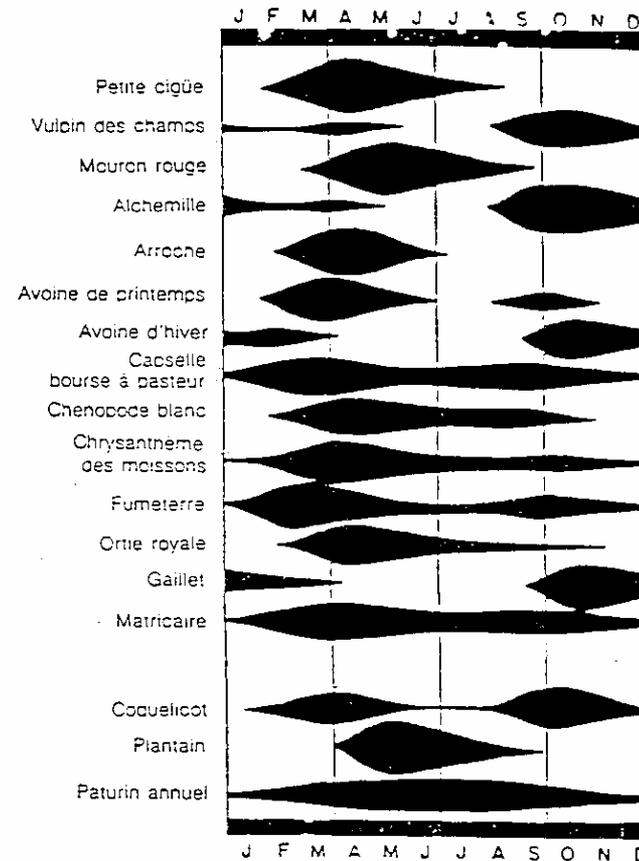
## 2. Définition de jeux de règles de décision *expertise*, modèles de simulation, résultats expérimentaux

### Diversification de la succession culturale

#### *diversification des dates de semis*

#### Espèces adventices

- période de levée diversifiée
- faible persistance des semences des espèces 'céréales'



*D'après Montégut*

## 2. Définition de jeux de règles de décision

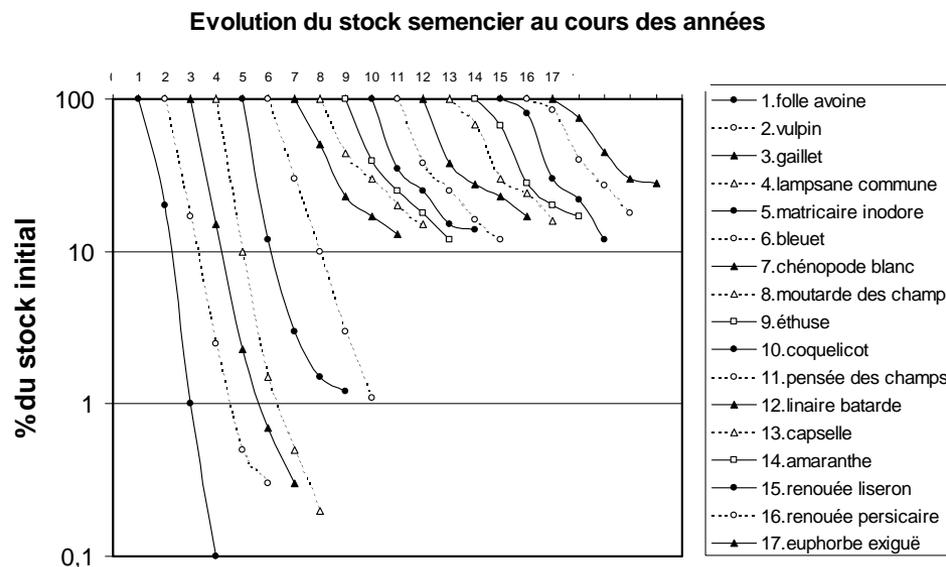
**expertise**, modèles de simulation, résultats expérimentaux

## Diversification de la succession culturale

*diversification des dates de semis*

### Espèces adventices

- période de levée diversifiée
- faible persistance des semences des espèces 'céréales'



*D'après Chadoeuf, Barralis, Lonchamp*

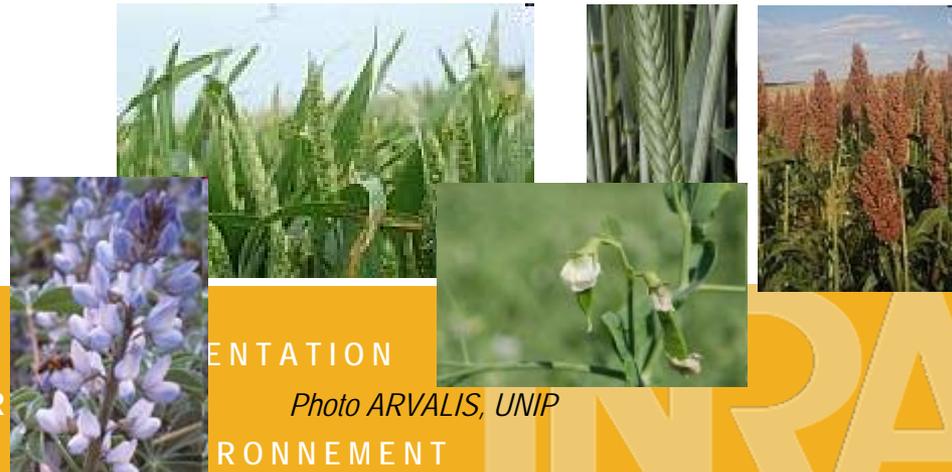
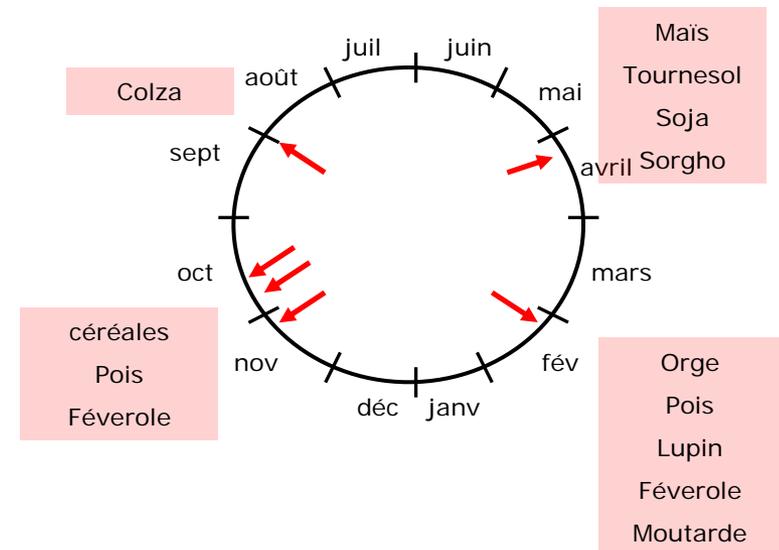
## 2. Définition de jeux de règles de décision *expertise*, modèles de simulation, résultats expérimentaux

### Diversification de la succession culturale

#### *diversification des dates de semis*

#### Espèces adventices

- période de levée diversifiée
- faible persistance des semences des espèces 'céréales'



AGRICULTURE

PHOTOGRAFIQUE

Photo ARVALIS, UNIP

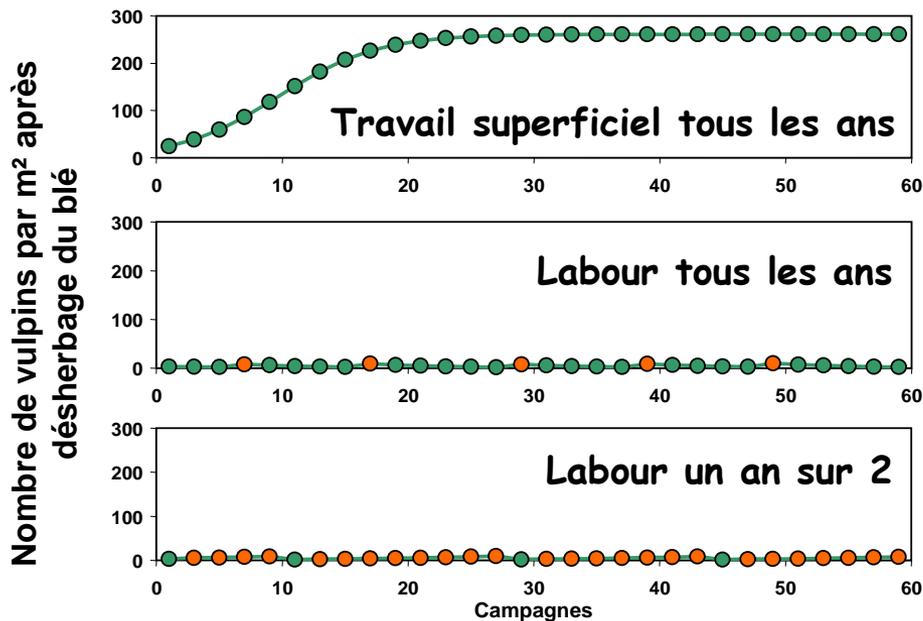
AGRICULTURE

INRA

2. Définition de jeux de règles de décision  
 expertise, modèles de simulation, résultats expérimentaux

## Raisonnement du travail du sol

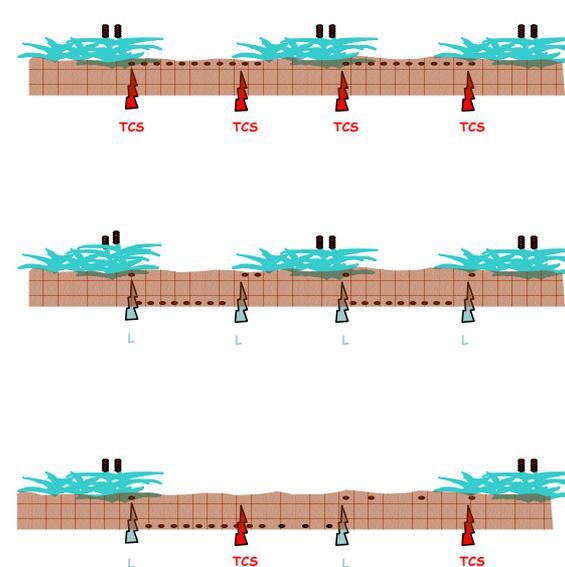
*Labour 1 an sur 2*



- Traitement → 95 % de mortalité
- Impasse

## Rotation Maïs-Blé

Blé - Maïs - Blé - Maïs - Blé

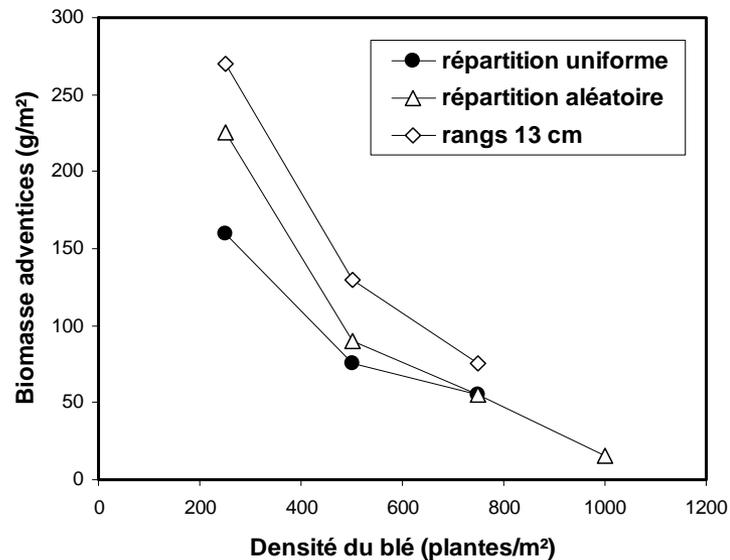


L = Labour

TS = travail superficiel

## 2. Définition de jeux de règles de décision expertise, modèles de simulation, **résultats expérimentaux**

### Densités élevées, écartement réduit



d'après Olsen *et al.*, 2005

### Antagonisme avec le risque 'maladies'

*mais, semis tardifs, variétés résistantes*

## 2. Définition de jeux de règles de décision

### Ensemble de règles

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
<b><i>rotation diversifiée</i></b>		X	X	X	X
<b><i>travail du sol : labour 1 an sur 2</i></b>			X	X	X
<b><i>travail du sol : faux-semis répétés</i></b>		X	X	X	X
<b><i>semis tardif du blé esquivé des levées</i></b>		X	X	X	X
<b><i>choix de cultures compétitives (triticale)</i></b>		X	X	X	X
<b><i>choix de variétés compétitives</i></b>		X	X	X	X
<b><i>densités fortes, écartements réduits</i></b>		X	X	X	X
<b><i>choix d'herbicides en fonction du profil écotoxicologique</i></b>		X	X	X	
<b><i>désherbage mécanique</i></b>				X	X
<b><i>désherbage mixte</i></b>				X	
<b><i>mulchs</i></b>		X			
<b><i>allélopathie</i></b>		X	X	X	X

### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Impacts environnementaux Réduction de la dépendance aux herbicides

IFT 2001-2006

Indicateur de dépendance

Nombre de traitements

pondérés par : dose relative  
surface traitée

I-Pest 2001-2006

Indicateur de d'impact environnemental

'Système expert' à base de logique  
floue

- sensibilité du milieu
- conditions d'application
- caractéristique écotoxicologique des produits

Développé par l'INRA de Colmar  
(Girardin, Bockstaller et al.)

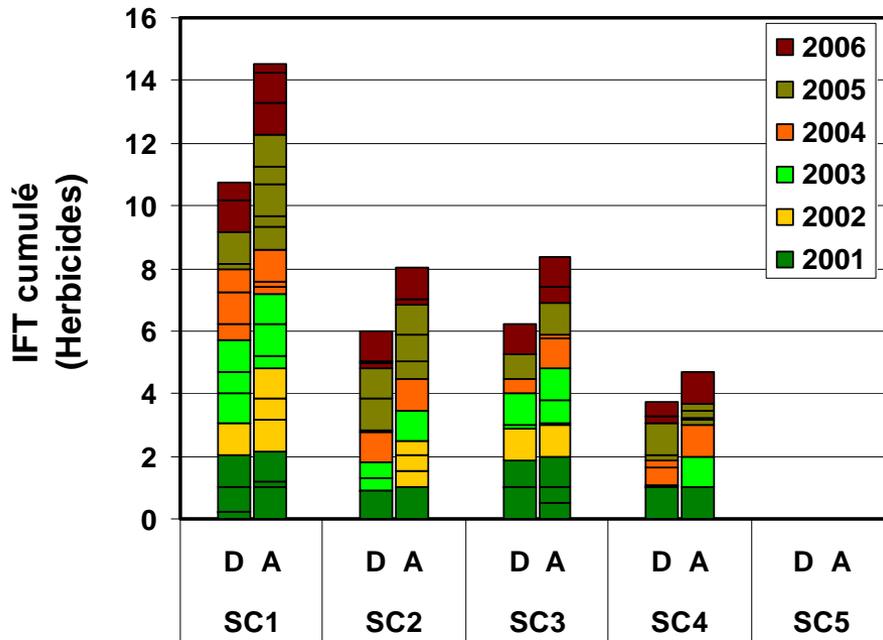
### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Impacts environnementaux

## Réduction de la dépendance aux herbicides

IFT 2001-2006

Indicateur de dépendance



IFT<sub>Herbicides</sub>  
annuel

2.1

1.2

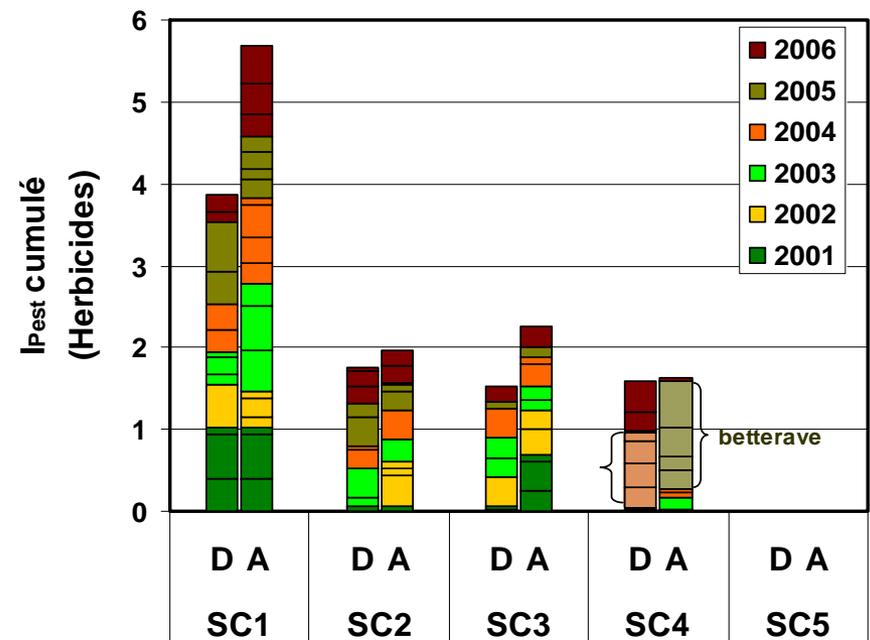
1.2

0.7

0

I-Pest 2001-2006

Indicateur de d'impact environnemental



I-Pest<sub>Herbicides</sub>  
annuel

0.79

0.31

0.31

0.27

0

0.1 (hors betterave)

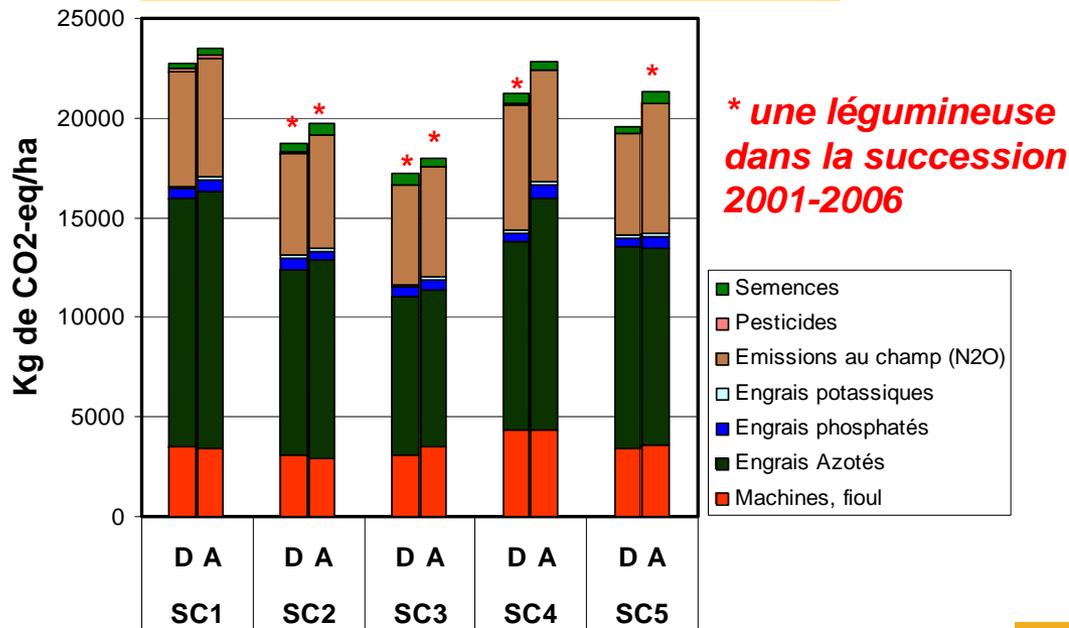
### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Impacts environnementaux

### Émission de gaz à effet de serre

*Systemes à fort usage d'outils : travail du sol superficiel (faux-semis)  
désherbage mécanique*

Analyse de Cycle de Vie (ACV)  
méthode SALCA, collaboration Zürich



Pas d'augmentation des émissions par ha

- *impact limité de la mécanisation*
- *impact élevé des émissions liées à la fertilisation azotée*
- *légumineuses*
- *objectif de rendement réduit (semis tardifs, variétés)*

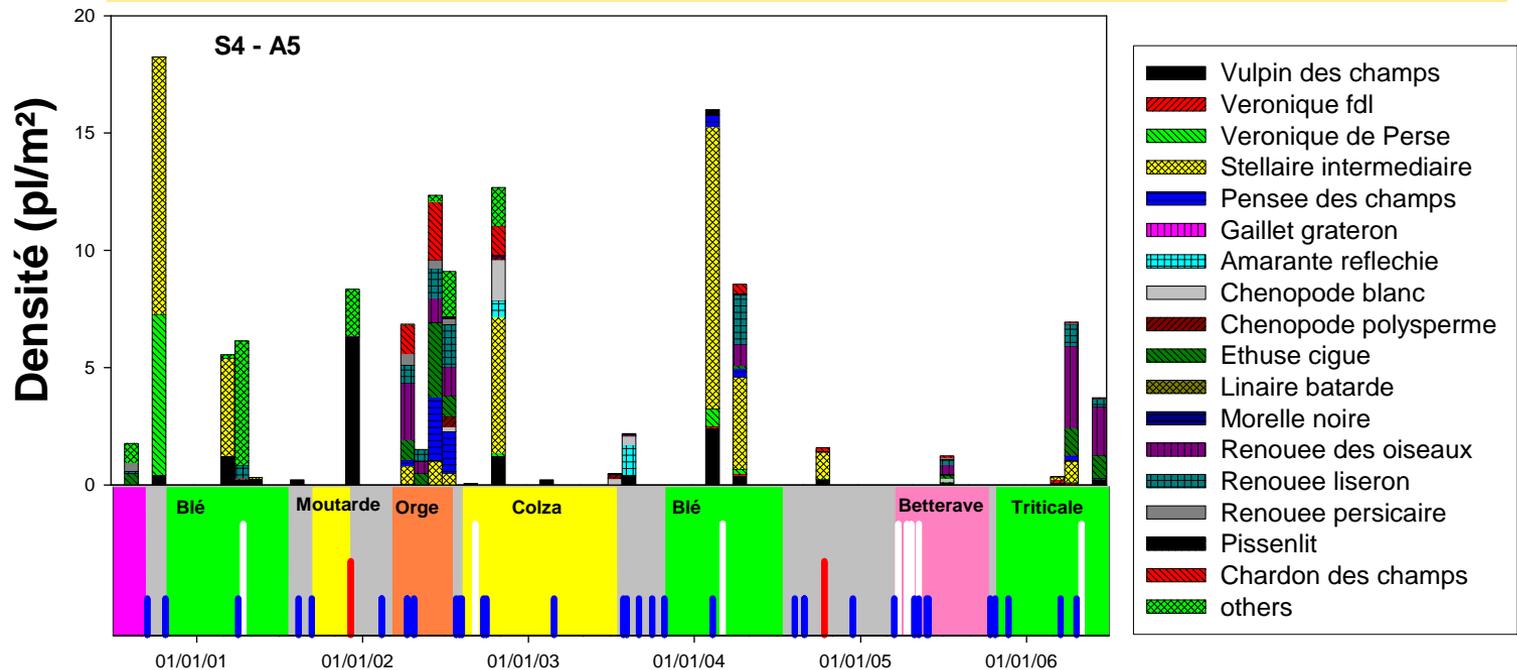
### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Maîtrise de la flore adventice

*Critère d'évaluation : évolution des infestations (flore levée, stock semencier)*

Exemple d'Évolution de la flore sur une parcelle en Protection Intégrée

SC4 : PI avec désherbage mécanique



### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Maîtrise de la flore adventice

*Critère d'évaluation : évolution des infestations (flore levée, stock semencier)*

### Coefficient de corrélation Année-Densité (avant/après désherbage)

	Rep	Toutes espèces		Annuelles Dicots hivernales		Annuelles Dicots printemps-été		Annuelles Graminées	
		Avant désherbage	Après désherbage	Avant désherbage	Après désherbage	Avant désherbage	Après désherbage	Avant désherbage	Après désherbage
SC1 - Standard	A	-1***	0.1	-1***	0.20	-0.73	-0.2	0.2	0.7
	D	-0.4	0.77	0.8	-0.67	-0.77	0.15	0.4	0.52
SC2 - PIC - TCS	A	-0.8	0.20	-0.77	-0.72*	-0.31	0.01	0.4	0.43
	D	0.66	-0.08	0.87	0.29	-0.72	0.34	0.87*	-0.05
SC3 – PIC sans désherbage méca.	A	0.16	-0.19	0.16	0.31	0.32	-0.13	-0.88*	-0.87**
	D	nc	-0.06	nc	0.34	nc	0.14	nc	-0.35
SC4 – PIC avec désherbage méca.	A	nc	0.07	nc	0.20	nc	0.12	nc	0.22
	D	nc	0.55	nc	-0.23	nc	0.87*	nc	-0.23
SC5 – zero herbicide	A	-0.2	0.07	-0.86	0.11	0.15	0.07	-0.31	-0.07
	D	-0.1	-0.14	0.05	0.00	-0.16	-0.05	0.05	0.30

nc : données manquantes



⇒ Décroissance de l'infestation : maîtrise de la flore OK

⇒ Stabilité de l'infestation : maîtrise de la flore OK

⇒ Croissance de l'infestation : défaut de maîtrise



### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

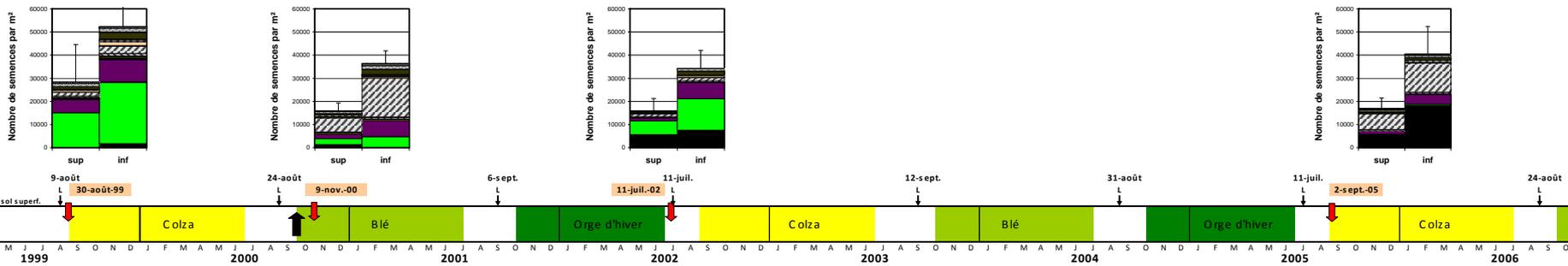


## Maîtrise de la flore adventice

*Critère d'évaluation : évolution des infestations (flore levée, stock semencier)*

### Évolution du stock semencier

#### Système 1 : Référence



■ Ethuse cigüe

■ Capselle

■ Chénopode polysperme

■ Euphorbe Réveil-matin

■ Gaillet grateron

■ Matricaire sp.

■ Renouée persicaire

■ Moutarde des champs

■ Tabouret des champs

■ Vulpin

■ Linaire mineure

■ Chardon des champs

■ Euphorbia sp.

■ Geranium sp.

■ Coquelicot

■ Sétaire verte

■ Moutarde blanche

■ Véronique feuilles de lierre

■ Amarante

■ Chénopode blanc

■ Panic pied-de-coq

■ Renouée liseron

■ Graminae

■ Renouée des oiseaux

■ Sétaire sp.

■ Morelle noire

■ Véronique de Perse

■ Mouron des champs

■ Chénopode hybride

■ Euphorbe exigüe

■ Fumeterre

■ Linaire sp.

■ Renouée à feuilles de

■ Sénéçon vulgaire

■ Stellaire

■ Pensée des champs

### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

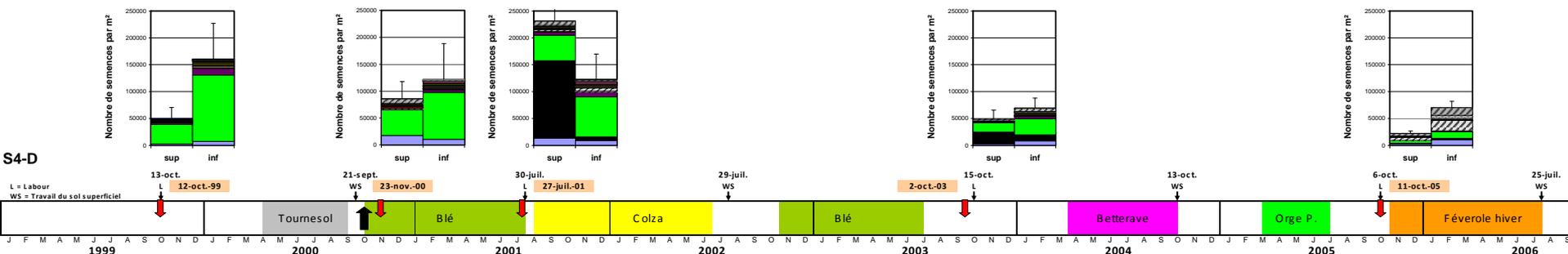


## Maîtrise de la flore adventice

*Critère d'évaluation : évolution des infestations (flore levée, stock semencier)*

### Évolution du stock semencier

#### Système 4 : Protection Intégrée avec désherbage mécanique



■ Ethuse cigüe

■ Capselle

■ Chénopode polysperme

■ Euphorbe Réveil-matin

■ Gaillet grateron

■ Matricaire sp.

■ Renouée persicaire

■ Moutarde des champs

■ Tabouret des champs

■ Vulpin

■ Linaire mineure

■ Chardon des champs

■ Euphorbia sp.

■ Geranium sp.

■ Coquelicot

■ Sétaire verte

■ Moutarde blanche

■ Véronique feuilles de lierre

■ Amarante

■ Chénopode blanc

■ Panic pied-de-coq

■ Renouée liseron

■ Graminae

■ Renouée des oiseaux

■ Sétaire sp.

■ Morelle noire

■ Véronique de Perse

■ Mouron des champs

■ Chénopode hybride

■ Euphorbe exigüe

■ Fumeterre

■ Linaire sp.

■ Renouée à feuilles de

■ Séneçon vulgaire

■ Stellaire

■ Pensée des champs

### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

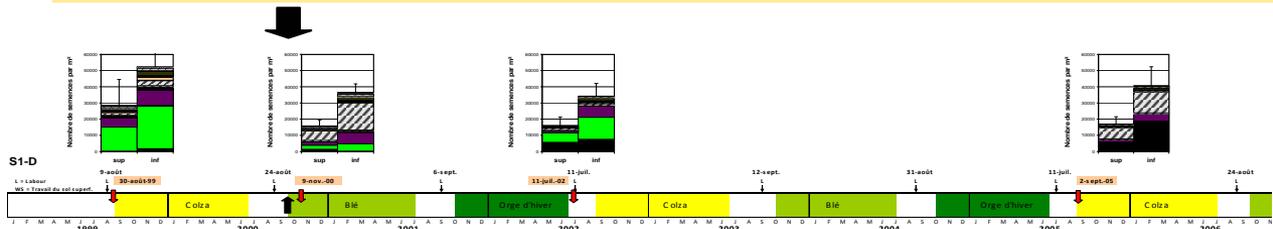


## Maîtrise de la flore adventice

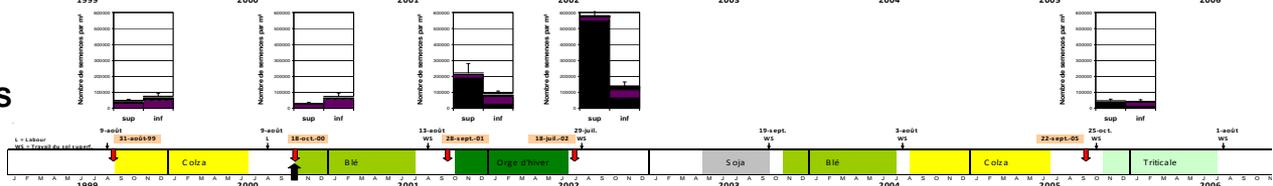
*Critère d'évaluation : évolution des infestations (flore levée, stock semencier)*

### Évolution du stock semencier

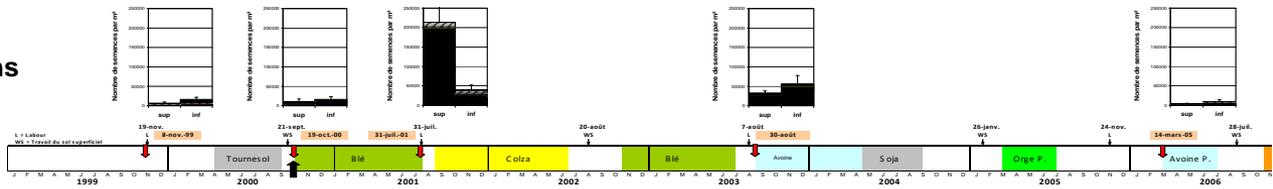
Système 1 : Référence



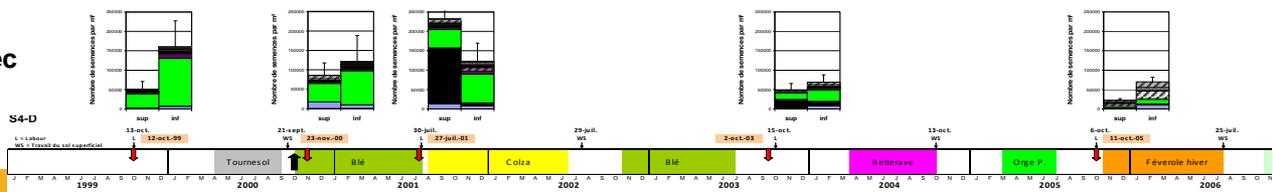
Système 2 : Protection Intégrée, TCS



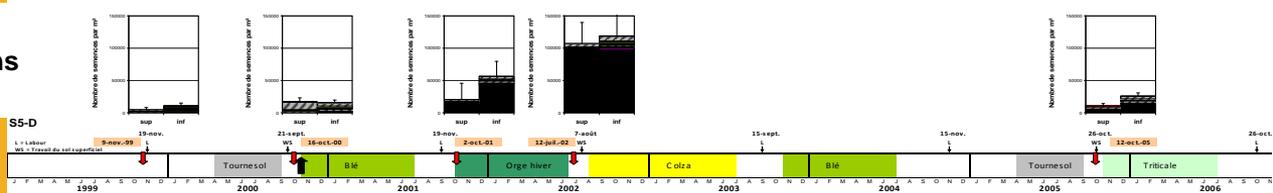
Système 3 : Protection Intégrée, sans désherbage mécanique



Système 4 : Protection Intégrée, avec désherbage mécanique



Système 5 : Protection Intégrée, sans herbicide



- Pensée des champs
- Véronique de Perse
- Véronique feuilles de lierre
- Tabouret des champs
- Stellaire
- Morelle noire
- Moutarde blanche
- Moutarde des champs
- Séneçon vulgaire
- Sétaire sp.
- Sétaire verte
- Renouée persicaire
- Renouée à feuilles de patience
- Renouée des oiseaux
- Coquelicot
- Matricaire sp.
- Linaira sp.
- Graminae
- Geranium sp.
- Gaillet grateron
- Fumeterre
- Renouée liseron
- Euphorbia sp.
- Euphorbe Réveil-matin
- Euphorbe exigüe
- Panic pied-de-coq
- Chardon des champs
- Chénopode polysperme
- Chénopode hybride
- Chénopode blanc
- Linaira mineure
- Capselle
- Mouron des champs
- Amarante
- Vulpin
- Ethuse cigüe

### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

#### Maîtrise de la flore adventice

*Critère d'évaluation : évolution des infestations (flore levée, stock semencier)*

#### Sur la période 2001-2006

- Flore bien maîtrisée, malgré le faible usage d'herbicides
- Vulpin *espèce à période de levée marquée et stock peu persistant*  
***très sensible aux techniques de PI...***  
***...alors qu'elle infeste massivement les systèmes céréaliers***  
***(résistance...)***

#### 2007-2008

***Tendance à la progression sur le système sans herbicide***

- ***du chardon : vivace peu sensible aux technique de PI***
- ***du gaillet : levées échelonnées***



### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

#### Faisabilité, acceptabilité

*Organisation du travail à l'échelle de l'exploitation*

## Facteurs défavorables

- Interventions supplémentaires
  - *Désherbage mécanique*
  - *Travail du sol superficiel*
  - *faux-semis*
- Retard de date de semis des céréales
  - *esquive des levées automnales*
  - *réduction du nombre de jours favorables*

## Facteurs favorables

- Nombre de traitements réduits
- Succession diversifiée
  - *étalement des travaux*



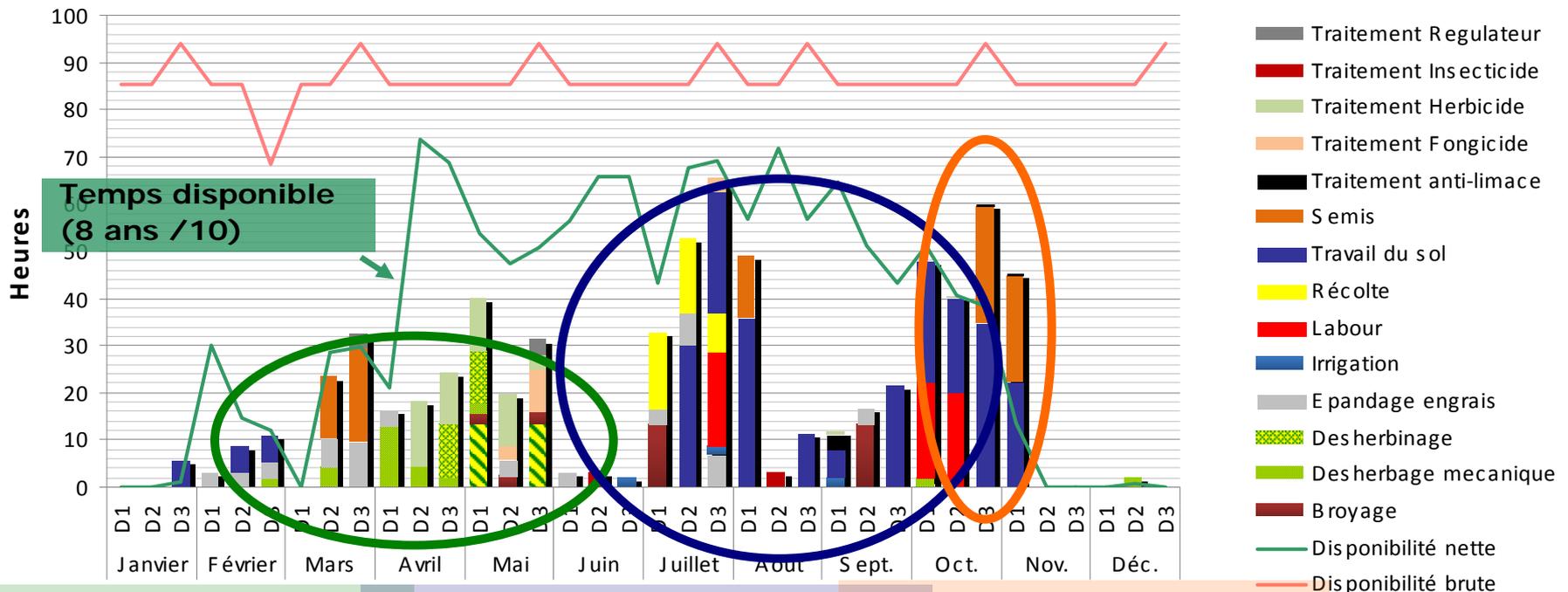
### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

#### Faisabilité, acceptabilité

*Organisation du travail à l'échelle de l'exploitation*



**Simulation du travail sur une ferme fictive (130 ha, 1 UTH)**  
**CS4 : PI avec désherbage mécanique**



Temps disponible (8 ans / 10)

désherbage mécanique  
*Pas de problème*

Travail du sol répété  
*Pas de problème*

Semis tardif des céréales

Risque de tension dans l'organisation du travail

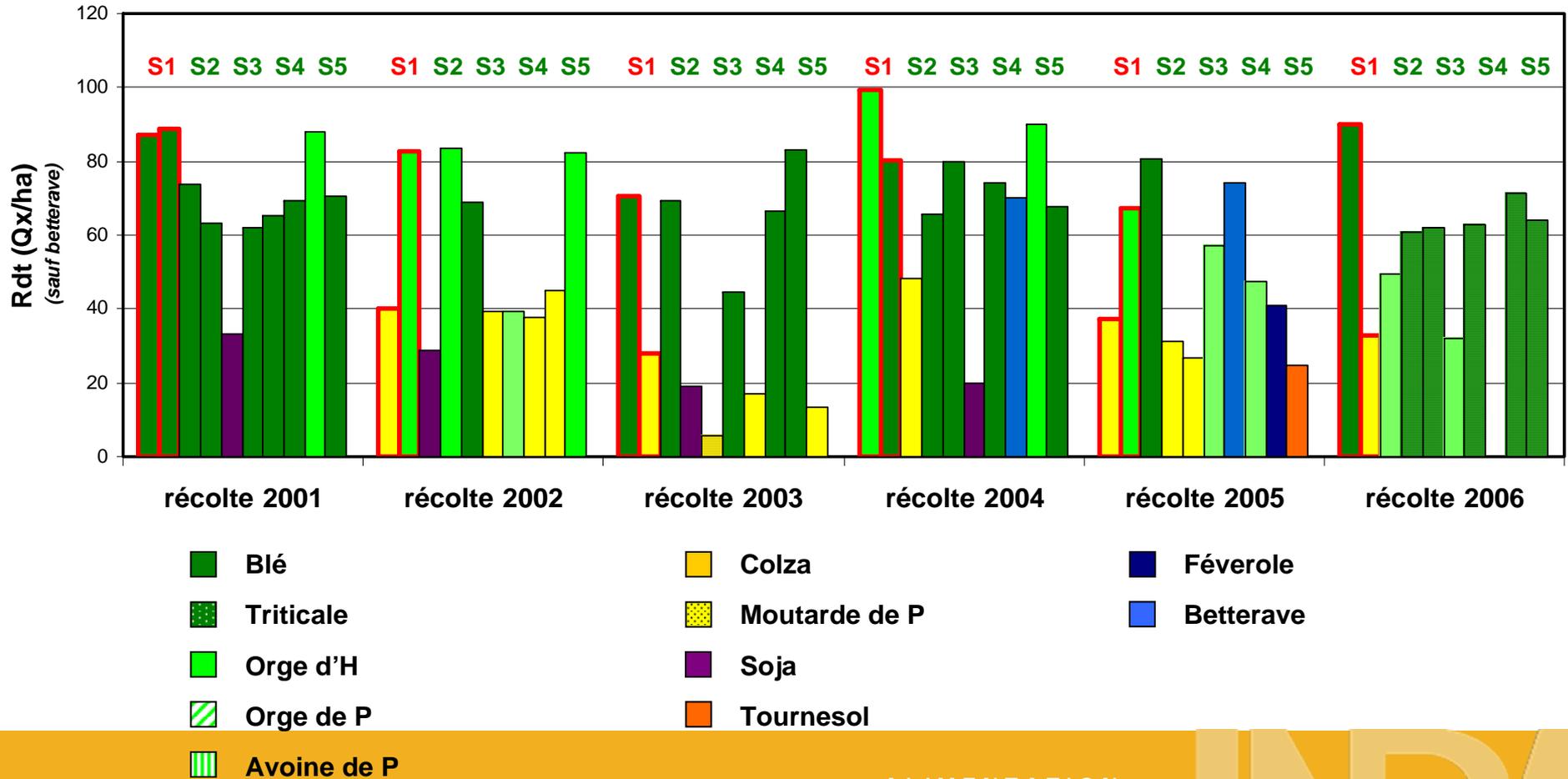
Riravololona et al., 2007

ALIMENTATION  
 AGRICULTURE  
 ENVIRONNEMENT



### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

**Rentabilité économique**  
*Rendement, produit brut*



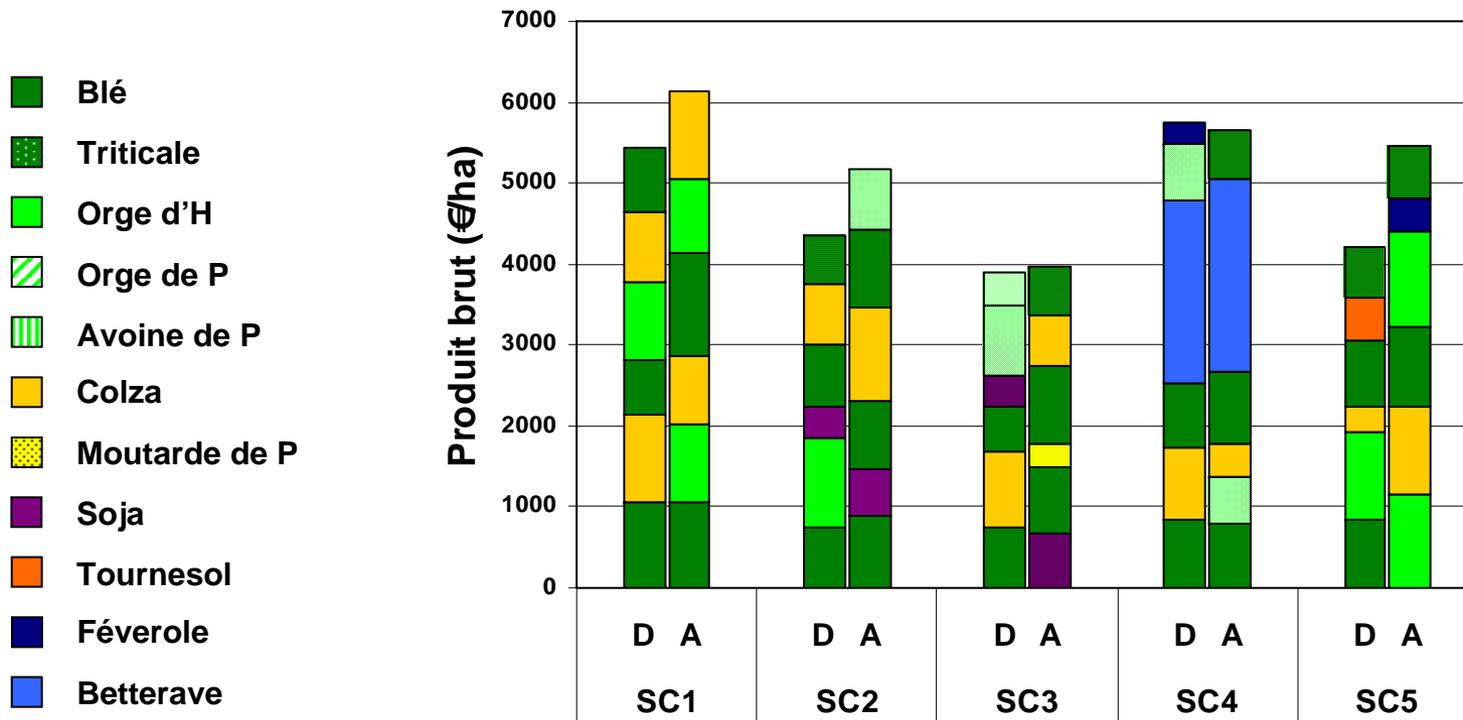
### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Rentabilité économique

*Rendement, produit brut*

**Produit brut 2001-2006 (contexte de prix 2006)**

*moyenne : -200 € / ha.an*



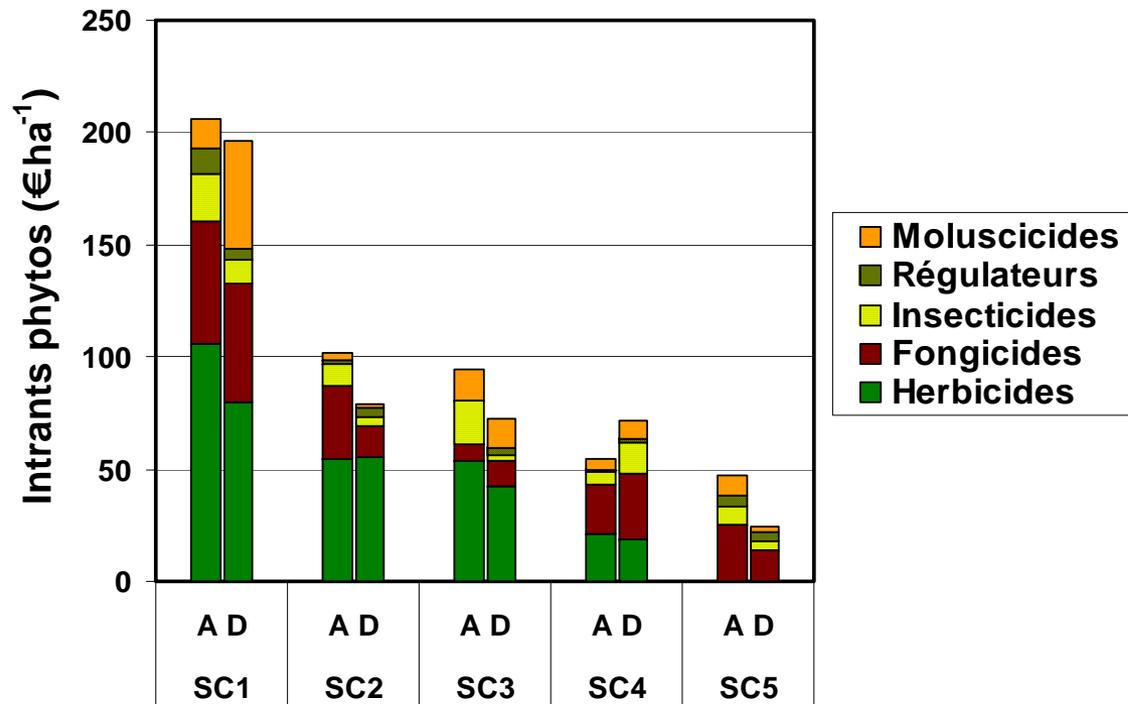
### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Rentabilité économique

### *Intrants phytosanitaires*

#### Intrants phytos

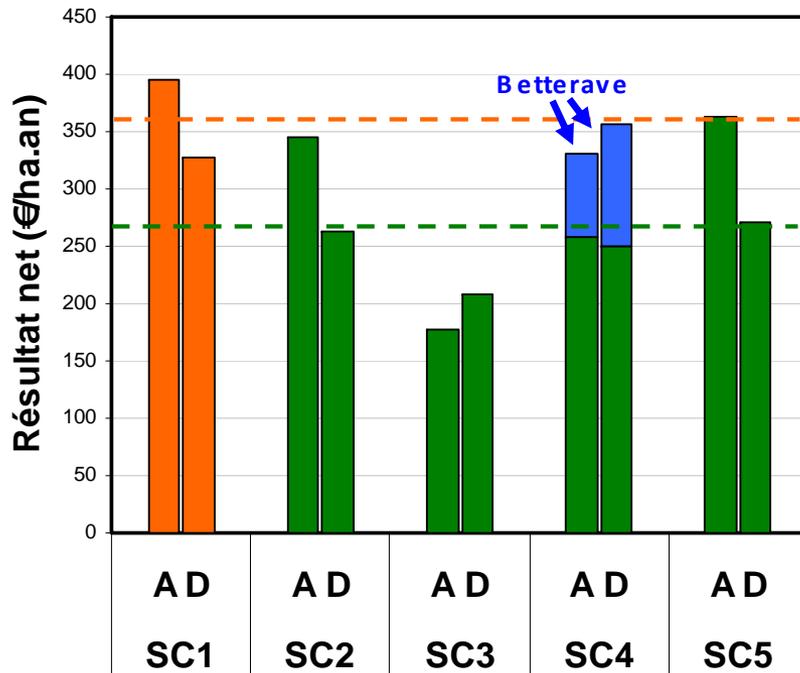
*moyenne : -150 € / ha.an*



### 3. Mise en œuvre et évaluation multi-critères résultats

## Rentabilité économique *Bilan*

Résultat net (contexte de prix 2006)  
*moyenne : -100 €/ha.an*



- *Charges de mécanisation légèrement supérieures en PI*
- *Coûts de production du blé identique (en € par tonne)*
- *Cultures de printemps de diversification pénalisantes*
- *Besoin de politiques incitatives*

# Conclusions

## Valorisation du dispositif expérimental Protection Intégrée

- Démonstration de la faisabilité technique de système PI-adventices  
*Nombreux visiteurs (agriculteurs, conseillers)*
- Généralisation à d'autres milieux : besoin d'autres sites expérimentaux  
**Réseau du RMT Systèmes de culture innovants**
  - Co-construction avec les agriculteurs  
*prise en compte des contraintes (dont économiques)*
  - Analyse conjointe des résultats
    - mise en évidence des antagonismes  
*ex : valeur environnementale / niveau de production*
    - identification des systèmes les plus performants sur une base multi-critères  
*cf projet Systerra-Advherb*

