



Réduire les fuites de nitrate au moyen des cultures intermédiaires

Eric Justes

INRA

UMR AGIR, Toulouse-Auzeville

Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires

*Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote,
autres services écosystémiques*



Extrait du Colloque de restitution de l'étude "Cultures intermédiaires"

Jeudi 28 Juin 2012 - Maison de l'Horticulture - Paris

http://www.inra.fr/l_institut/etudes/cultures_intermediaires



Colloque "Réduire les fuites de nitrate
au moyen de cultures intermédiaires"



Le groupe d'experts



INRA : E. Justes (responsable scientifique),
N. Beaudoin, P. Bertuzzi, J. Constantin, C. Dürr, A.
Joannon, C. Le Bas, B. Mary, C. Mignolet, F. Montfort,
L. Ruiz, V. Souchère

IRSTEA : J. Tournebize

INP-ENSAT : JP. Sarthou

Université Toulouse1 Capitole : C. Hermon

Agroscope Changins (Suisse) : R. Charles

INRA DEPE (Responsable : P. Chemineau)

Chef de projet : O. Réchauchère

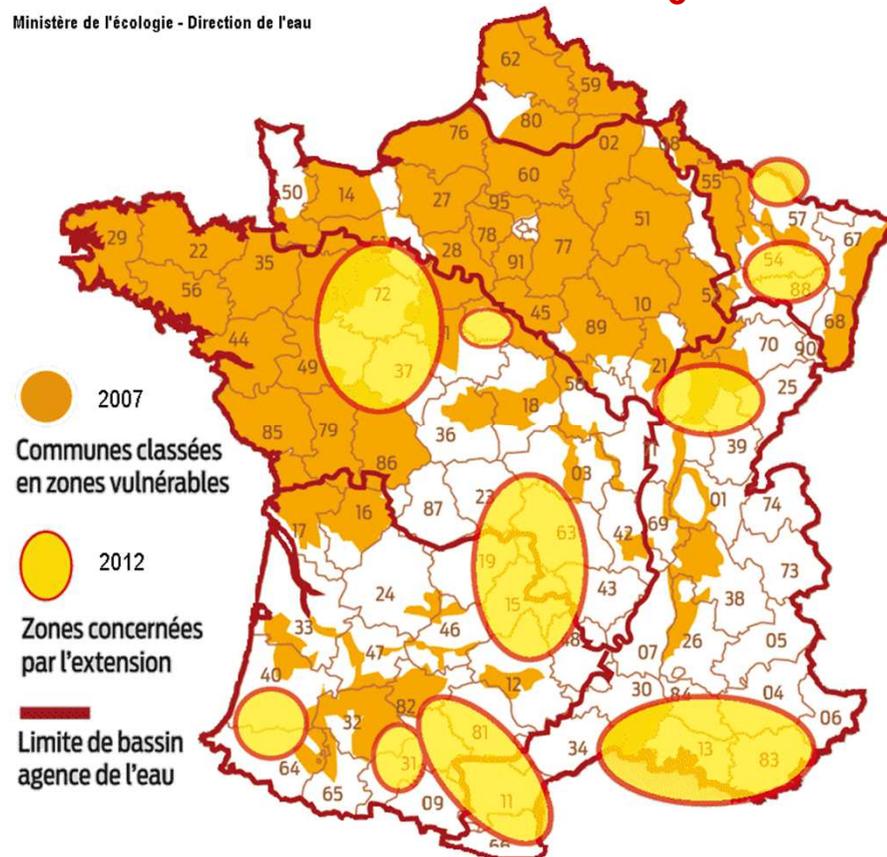
Contribution à la rédaction : I. Savini



Contexte de l'étude

- Nitrate dans les eaux : *double enjeu de santé publique et de protection de l'environnement*
- **≈ 75% SAU en grandes cultures en zone vulnérable NO₃**
- Une étude-expertise commanditée à l'INRA par les Ministères de l'Agriculture et de l'Ecologie

Ministère de l'écologie - Direction de l'eau

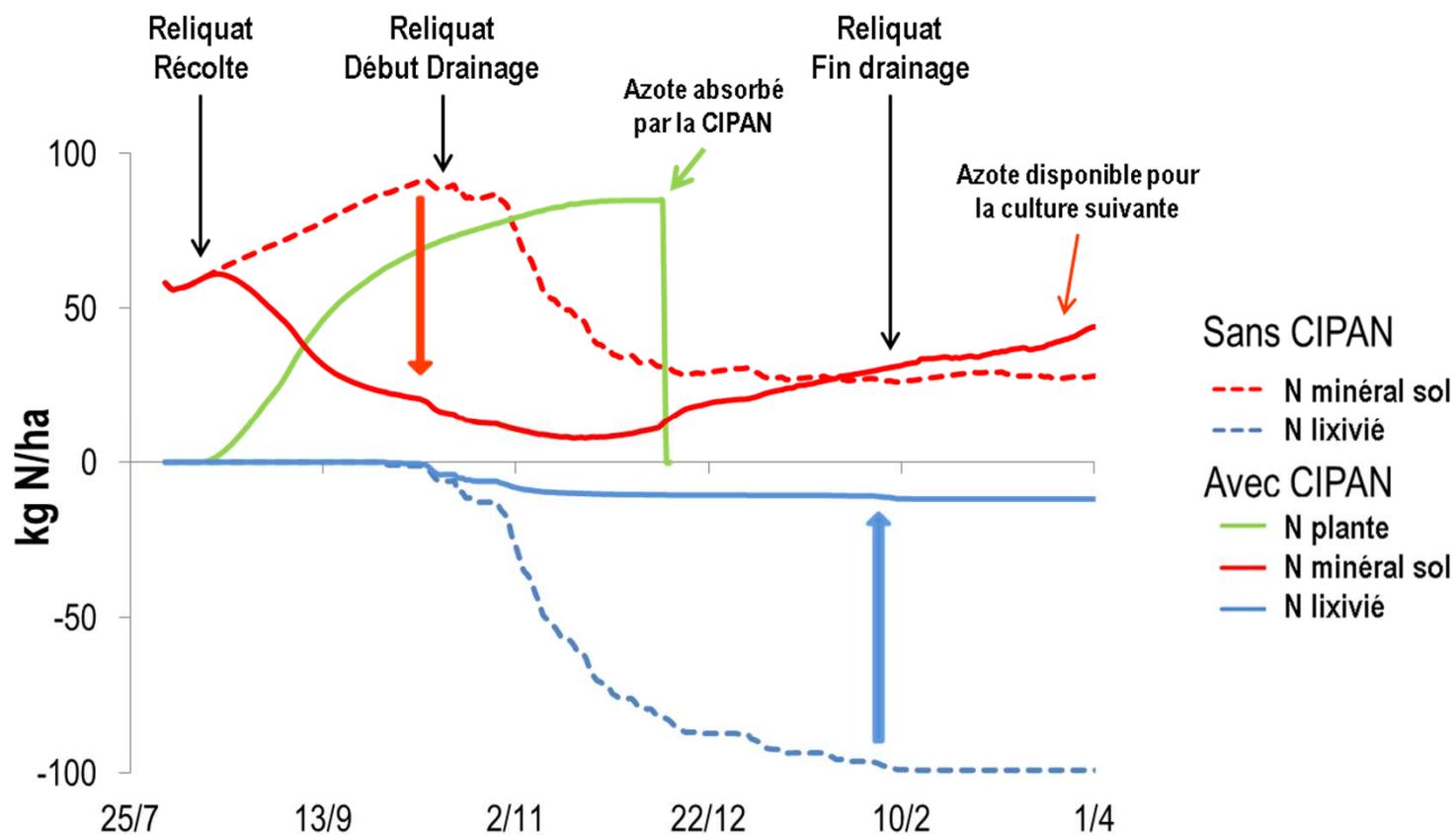


Objectifs, questions et périmètre de l'étude

1. **Objectif principal** : évaluer l'efficacité comparée de divers modes de gestion de l'interculture pour réduire les pertes de nitrate
 2. **Le périmètre de l'étude** :
L'ensemble des situations pédoclimatiques françaises des grandes cultures en « ZV nitrate » à l'échelle de la parcelle
 1. **Les questions traitées**
 - ✓ CIPAN versus repousses (colza et céréales) versus résidus récolte
 - ✓ Diversité des services écosystémiques assurés par CIPAN
 - ✓ Large gamme de systèmes de culture et pédoclimats français
 2. **Les questions non traitées (hors champ de l'étude)**
 - ☒ Pas d'analyse sur les sols argile lourde
 - ☒ Pas d'analyse économique intégrée
 - ☒ Pas d'analyse à échelle spatiale (hydrogéologique)
- **Travaux en 2 parties complémentaires** : ESCO (analyse biblio) & Etude (simulations avec 2 modèles de culture) : **Une étude-expertise ne prescrit pas des recommandations... c'est un état des connaissances scientifiques et techniques à un moment donné**



Gestion de l'azote en interculture : pourquoi les CIPAN sont nécessaires ?



Les conclusions de la partie « expertise » par analyse bibliographique



- Publications internationales (WoS) :
795 références valorisées

- Enquête « Pratiques culturelles sur grandes cultures » 2006
et données statistiques SSP (MAAPRAT)

- Bibliographie technique

ARVALIS, ITB, CETIOM, CRA et CA, office de la chasse, Nitrawal (Wallonie, B), ...



Les conclusions de l'analyse biblio en bref !

Les CI rendent divers services écosystémiques (1/2)

1. Contexte légal : des demandes de dérogation partout en France !!!
2. Des pratiques très variables entre régions françaises...
3. **L'incorporation des résidus de récolte est faiblement efficace** pour réduire les fuites de nitrate (effet d'organisation nette réduit à horizon superficiel)
4. **Une efficacité des CIPAN démontrée (même si variabilité) pour réduire les fuites de nitrate dans une large gamme de pédoclimats (EU et Amérique N)**
5. Une réduction du drainage de 30-50 mm (en fonction gestion CIPAN)
6. La minéralisation des résidus de CIPAN est rapide mais dépend du C/N, déterminant l'effet pour la culture suivante (+[20-40] kg N/ha pour non-légumineuse et +[50-100] kg N/ha pour légumineuse)
7. La compétition par préemption d'azote due aux CIPAN **peut se traduire par une disponibilité en azote diminuée pour la culture suivante**, notamment en cas de faible drainage et de destruction tardive de la CIPAN
8. L'effet de CI sur la culture suivante est généralement nul voire positif mais avec une variabilité mal expliquée, sauf l'effet légumineuse (+)

→ mais ... Très difficile d'extrapoler simplement ces résultats face à la variabilité des conditions pédoclimatiques françaises : **Choix de la modélisation**



Les conclusions de l'analyse biblio en bref !

Les CI rendent divers services écosystémiques (2/2)

9. Les CI permettent de **réduire l'érosion hydrique** si la durée de couverture du sol est suffisamment longue car elles induisent une protection du sol ... mais l'effet du travail du sol est prépondérant !
10. Les CIPAN **permettent un stockage de Carbone** (autant en proportion que les résidus matures, contrairement à ce qui est attendu)
11. Les CIPAN induisent en moyenne un petit supplément d'émission de N₂O (+0.11 ± 1.1 kg N/ha/an), qui est très inférieur à la norme GIEC
12. Les CIPAN **ont un effet positif pour réduire le bilan de gaz à effet de serre**, malgré la consommation supplémentaire de fuel !
→ réduction 1 tonne CO₂/ha/CIPAN annuelle (+0.1 t à -2.1 t)
13. A long terme, les CIPAN successives entraînent une augmentation de la minéralisation de l'azote du sol (→ **réduire la fertilisation N**)
14. Les CI permettent souvent de **réduire les adventices**, et sont compatibles, sous certaines conditions, avec le faux-semis
15. Les CI permettent **d'interrompre le cycle de certaines parasites**, mais peuvent en favoriser d'autres... problématique complexe !
16. **Les CI favorisent** certaines faunes auxiliaires... mais aussi les **limaces, larves de coléoptères ravageurs et rongeurs**...

→ **De forts besoins de recherches sur les aspects biotiques**



Les enseignements de la partie « simulation » *utilisation de modèles dynamiques*

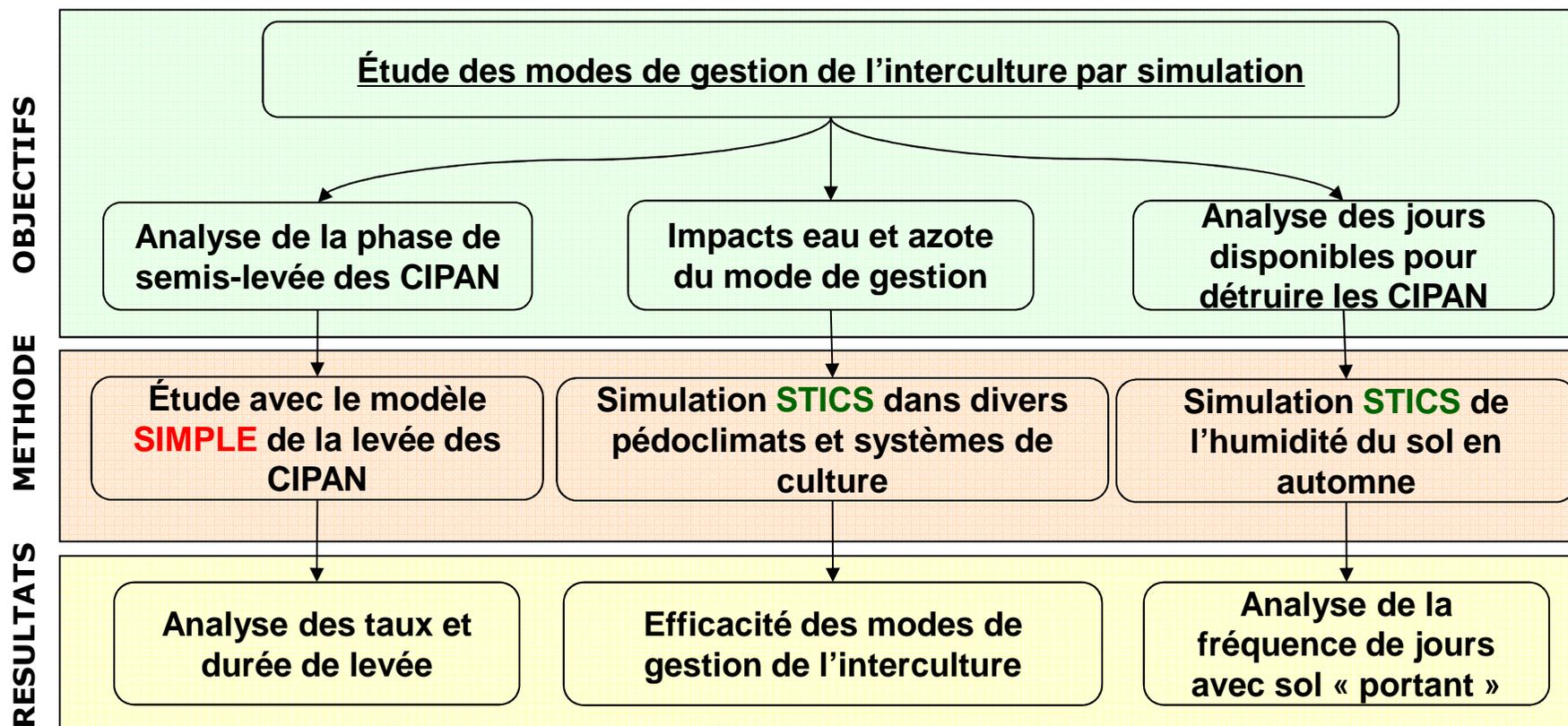


- Démarche, plans de simulations
et présentation des modèles
- de culture STICS
 - de levée SIMPLE

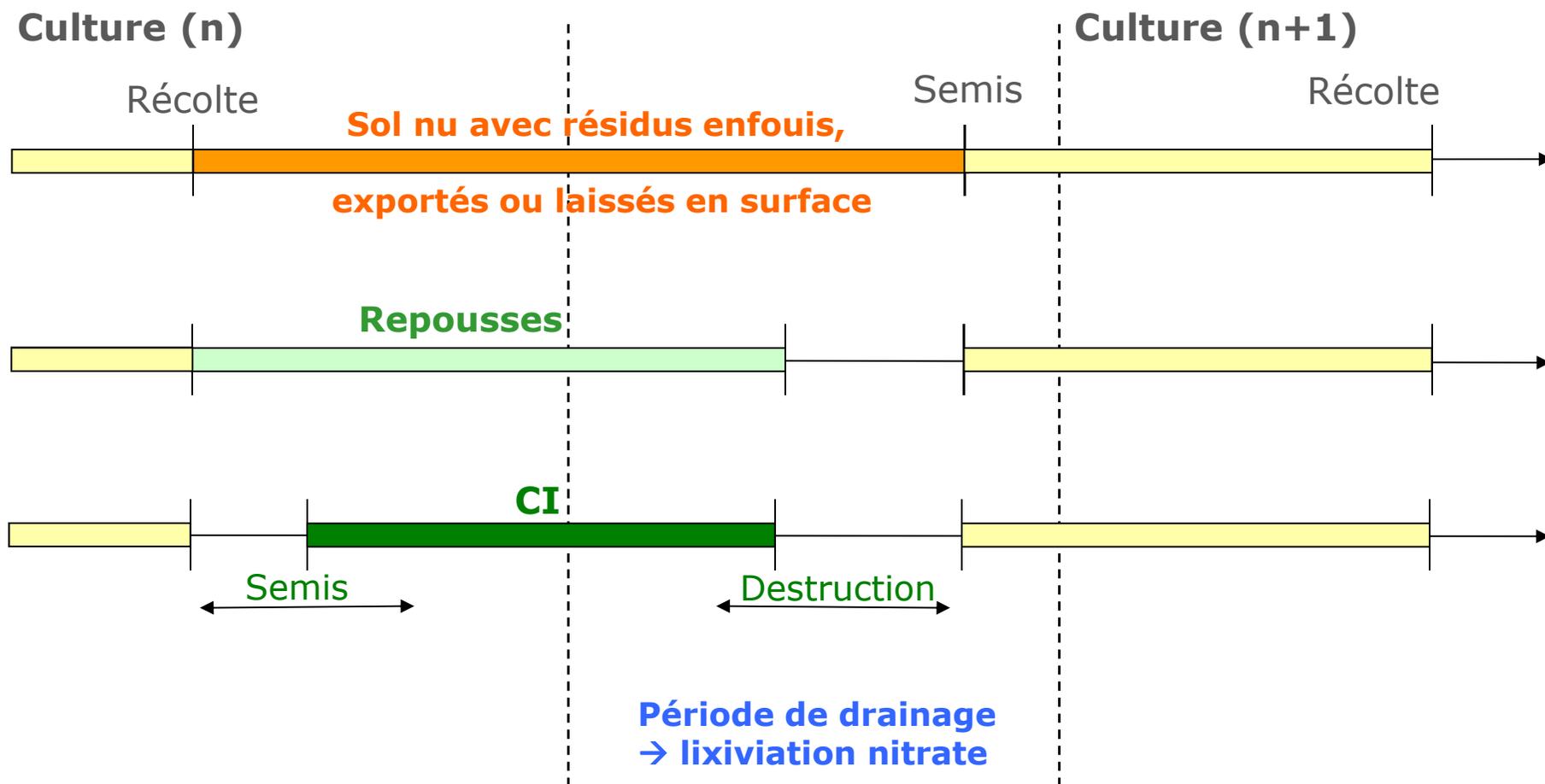


Démarche :

les trois volets de l'étude par simulations



Les modes de gestion de l'interculture simulés



Choix des pédoclimats et systèmes de culture

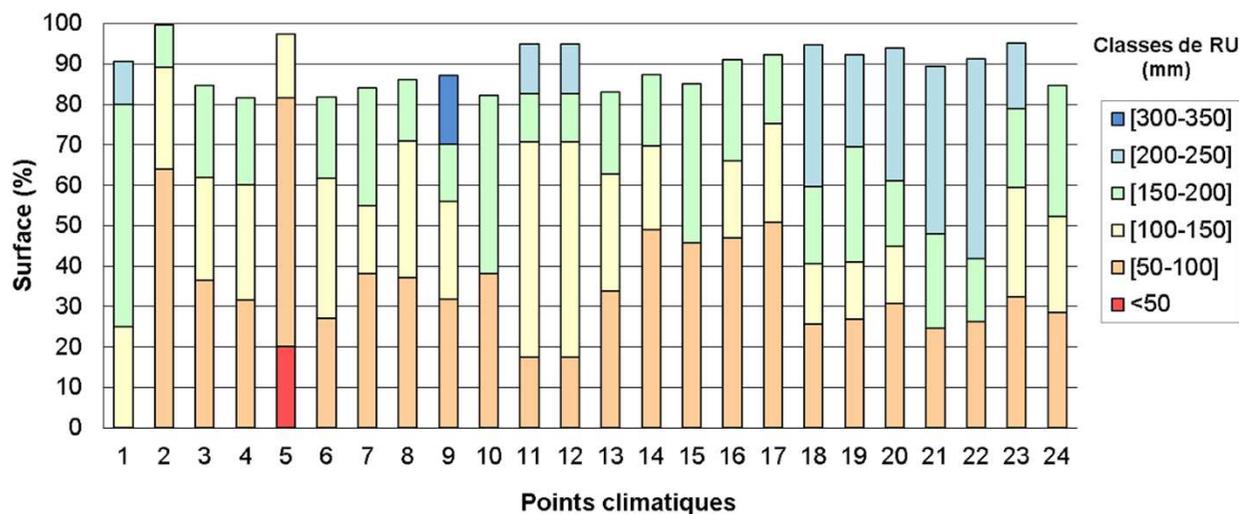
3 successions-types

1. **Blé – maïs** : une interculture longue
2. **Colza – blé** : une interculture courte
3. **Maïs – maïs** : une récolte tardive & une longue interculture

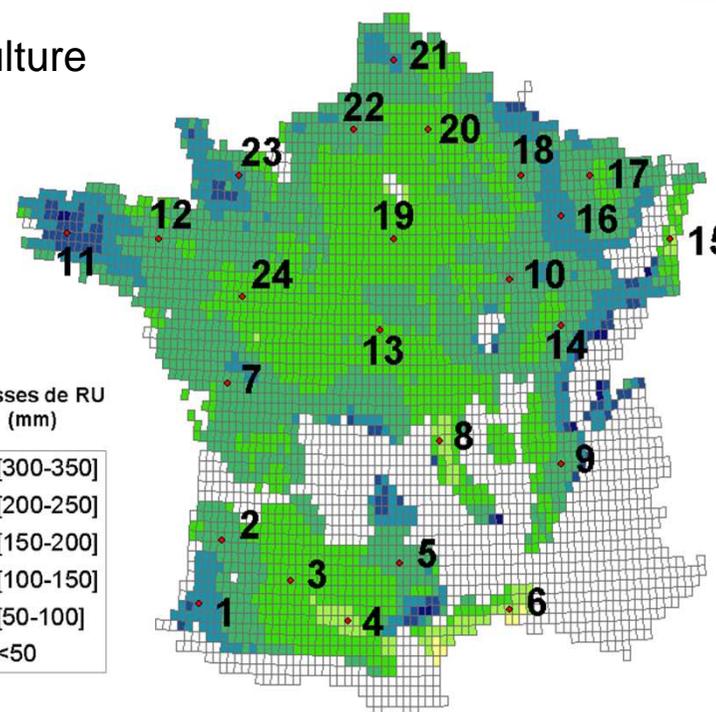
Maïs grain ou fourrage

Blé tendre ou dur selon la région

2 à 4 sols « types » par site climatique



24 sites climatiques



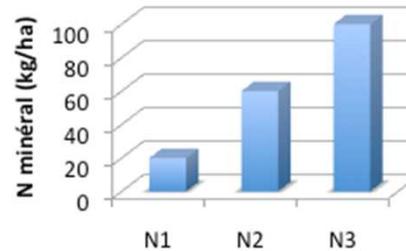
*Données climatiques
Safran (Météo-France)
1988-2008*



Plan de simulations

X 3 successions types (colza-blé / blé-maïs / maïs-maïs)

X 3 N minéral initial



X 2 à 4 sols « types »

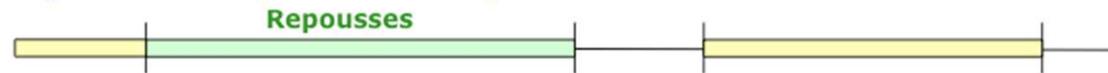
X 24 sites climatiques

X 20 ans (1988-2008)

X 3 modes de gestion des résidus de récolte



X 2 repousses (colza, blé)



X 3 espèces (moutarde, RGI, vesce)



X 6 dates de levée : 25/7 au 25/10 X 6 dates de destruction: 1/10 au 10/3

X 2 doses apport lisier porc (moutarde et RGI / blé-maïs)

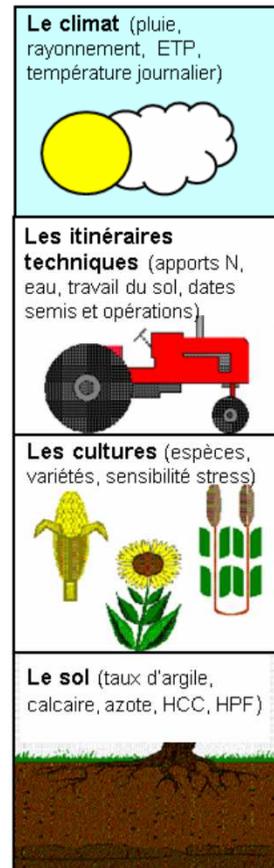
= 1.3 million de simulations réalisées



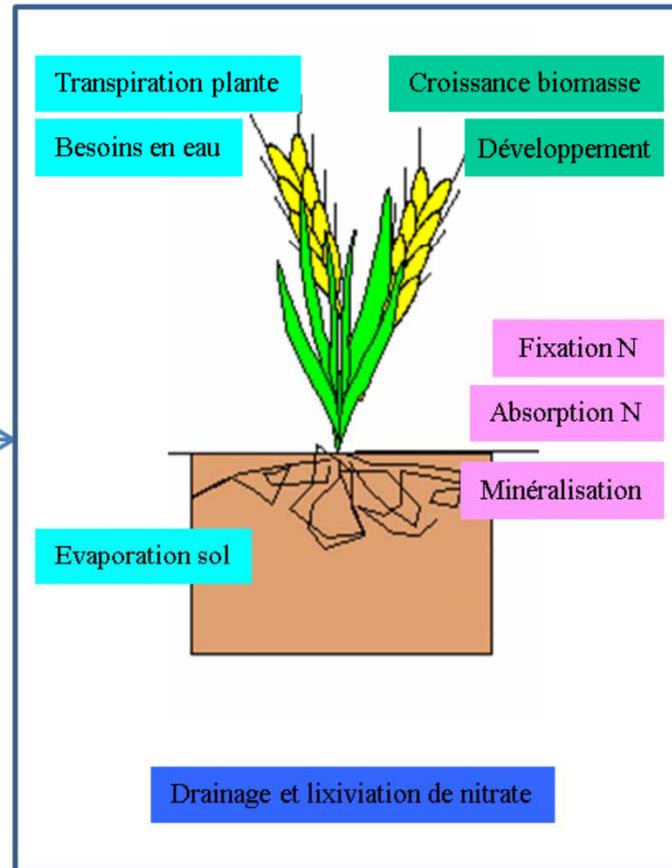
Représentation schématique du modèle STICS

(Brisson et al., 1998, 2002, 2003, 2008 ; +350 citations WoS)

Variables d'entrée



Principaux processus modélisés



Variables d'intérêt en sortie

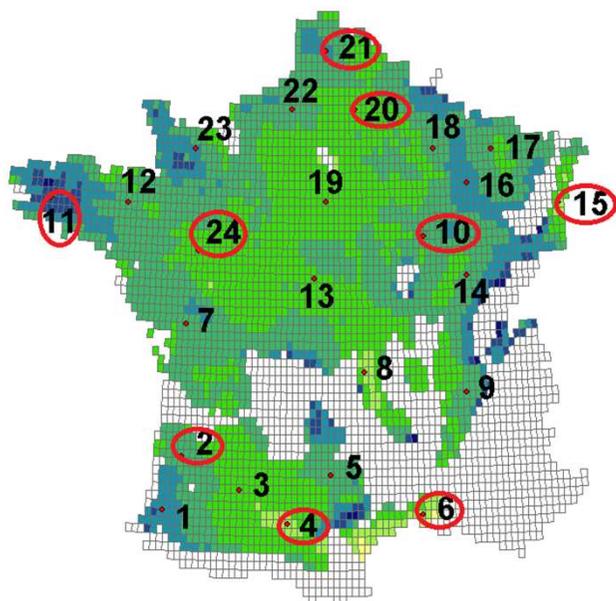
- Teneur en eau du sol
- Evaporation de l'eau du sol
- Drainage
- Azote minéral du sol
- Azote minéralisé du sol
- Azote minéralisé des résidus
- Lixiviation nitrique
- Biomasse des cultures
- Rendement grain
- Transpiration du couvert
- Azote total des cultures
- Azote fixé par le couvert
- Azote grain



Plan de simulation pour la phase semis-levée

Modèle SIMPLE (Dürr et al., 2001; 33 citations WoS)

Sélection de 9 points climatiques contrastés



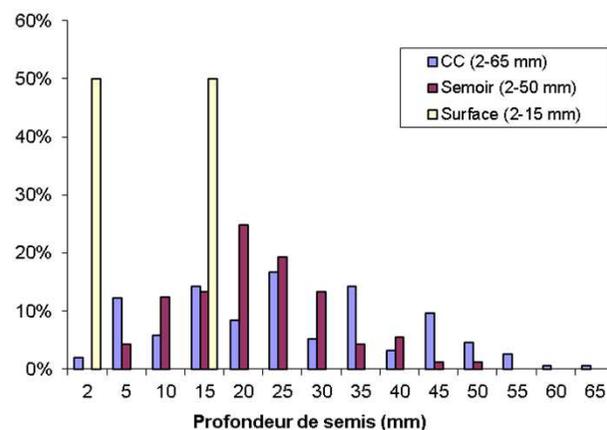
Simulation avec SIMPLE sur 20 ans :

X 3 espèces : moutarde, RGI et vesce

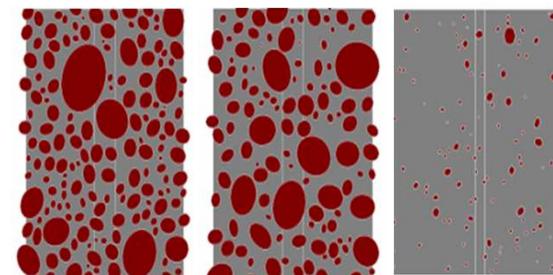
X 3 dates de semis : 15/7, 15/8, 15/9

X 3 profils de répartition de graines

répartition des graines dans le profil de sol



X 3 états structuraux du lit de semence



Les enseignements de la partie « simulation » utilisation de modèles dynamiques

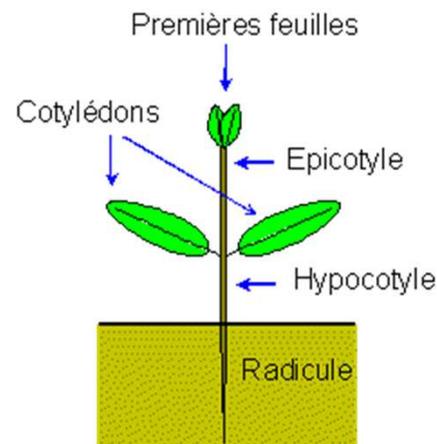


Synthèse en 12 points

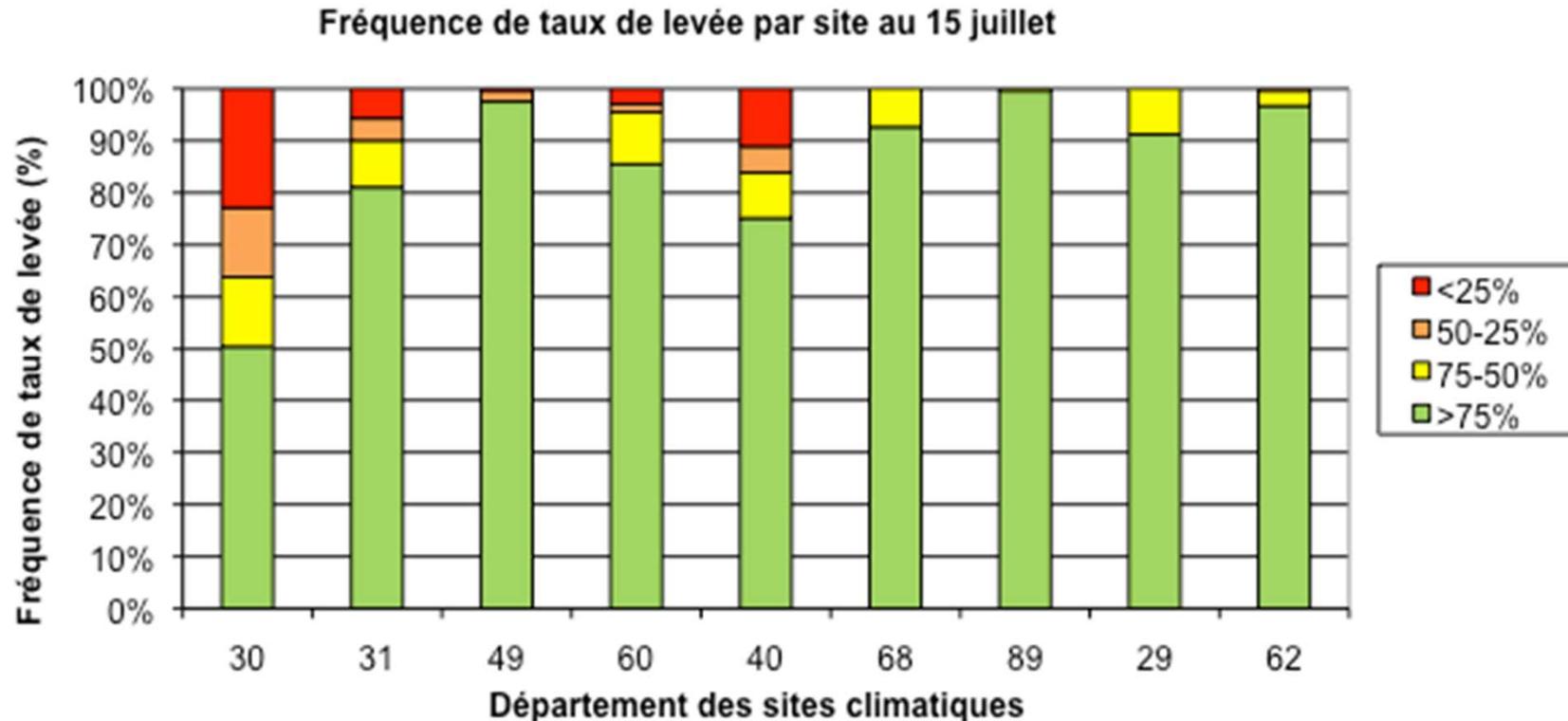


1. La réussite de l'implantation de la CIPAN nécessite d'adapter la date de semis pour réduire les situations d'échec en semis d'été sous certains pédoclimats

Analyse de simulations réalisées avec le modèle SIMPLE (Durr et al., 2001)
Effets : climat (9 sites x 20 ans) x type de sol (4) x mode semis (3) x état structural (3) x espèces CIPAN (3) x dates de semis (3)



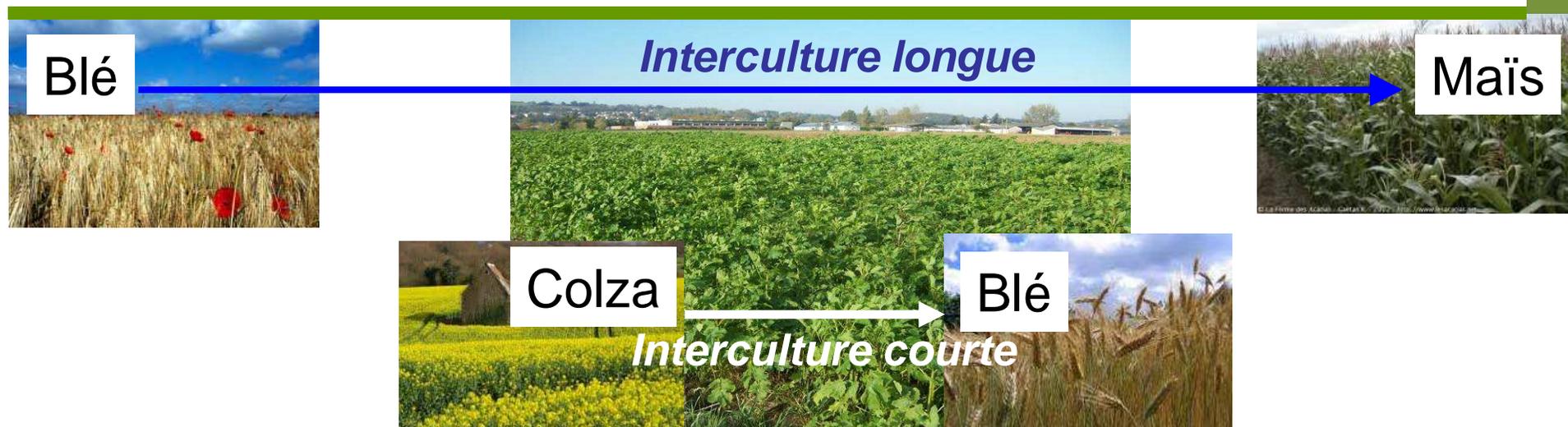
Fréquence du taux de levée simulé (20 ans)



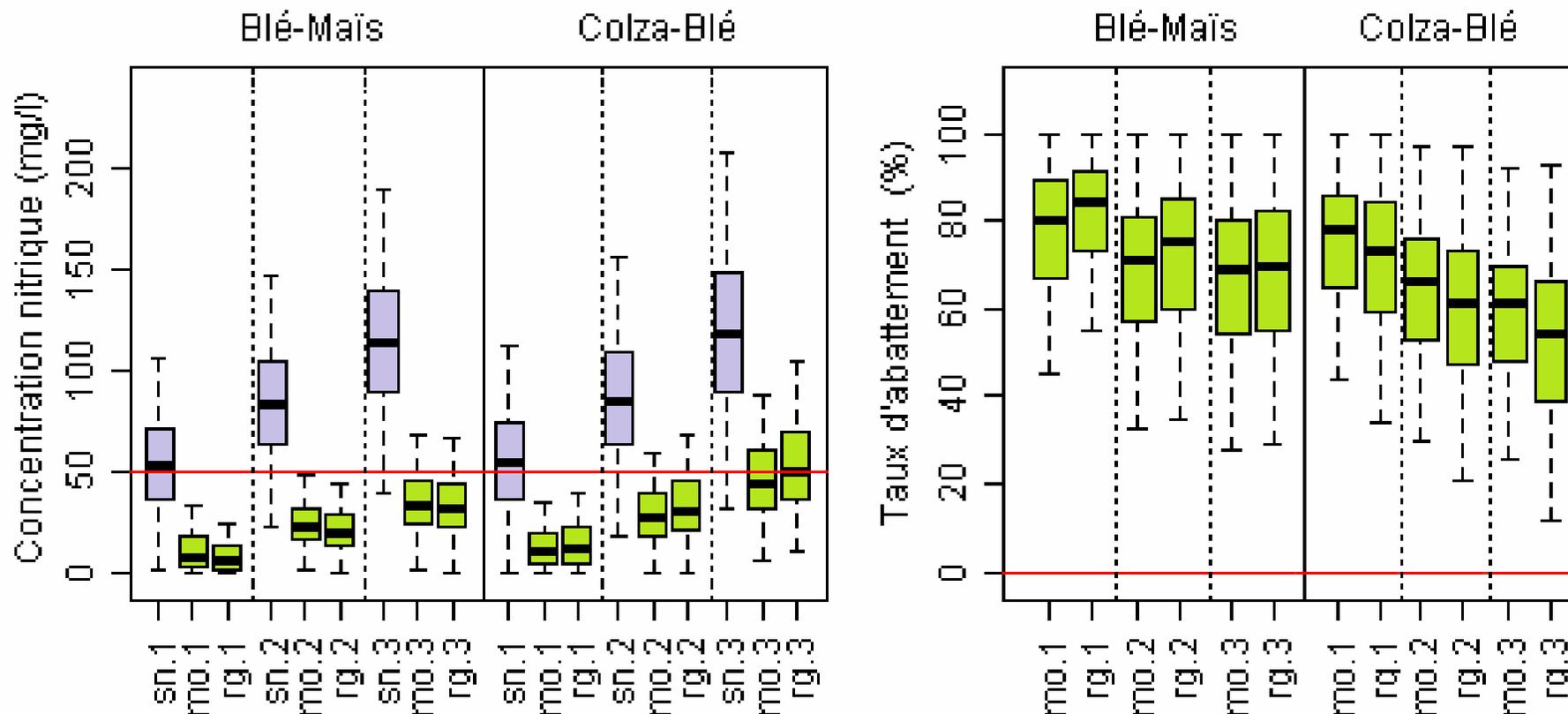
- 1) Levée potentiellement suffisante pour 3 dates de semis :
taux d'échec moyen < 1 sur 10 : **dans le Sud, ne pas semer trop tôt**
- 2) Sauf en climat méditerranéen : semis 15/9 + efficace
- 3) **Bioagresseurs non pris en compte ...**



2. Les cultures intermédiaires sont efficaces, aussi bien en interculture courte qu'en interculture longue, pour réduire la concentration en nitrate de l'eau de drainage



Effet des CIPAN sur la teneur en nitrate



- 1) Une efficacité des CIPAN non-légum. incontestable pour réduire la lixiviation
- 2) Mais efficacité plus faible si fort reliquat d’N : pas possible de corriger totalement de forts reliquats d’N !
- 3) Efficacité en interculture longue ET courte (efficacité > interculture longue).



Et l'efficacité des autres couverts ?

3. Même si leur efficacité est 2 fois plus faible que celle des non légumineuses (crucifères et graminées), les légumineuses peuvent être utiles pour réduire les fuites de nitrate et la concentration nitrique
4. Les repousses de colza et de blé sont efficaces pour réduire la concentration en nitrate de l'eau de drainage, si elles sont denses et homogènes spatialement



Et l'efficacité après maïs ?

5. L'inefficacité des CIPAN après maïs grain et leur efficacité relative après maïs fourrage

imposent une gestion très stricte de la fertilisation azotée pour limiter des pertes de nitrate

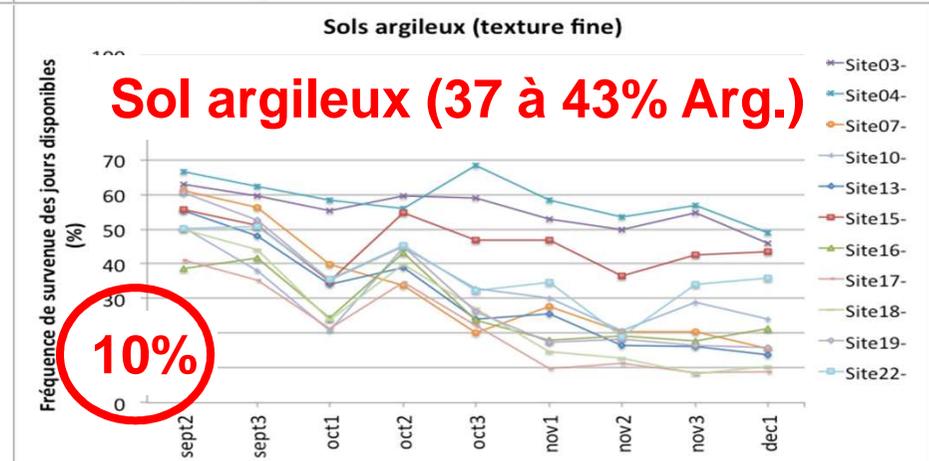
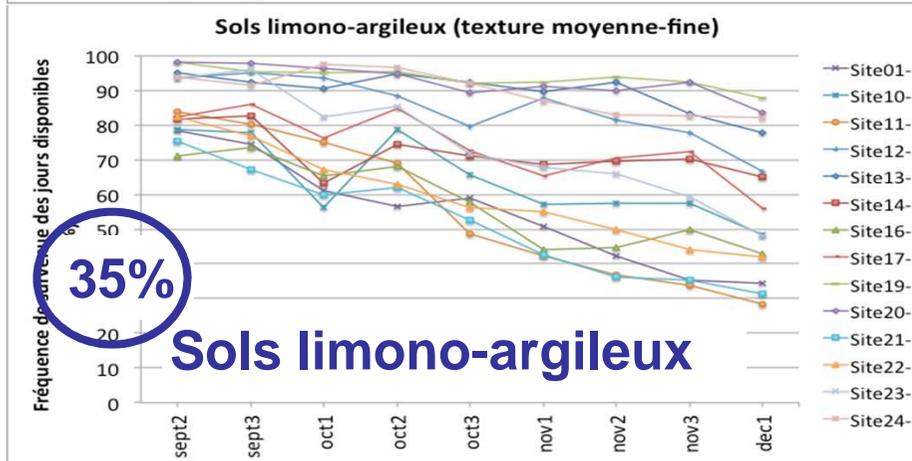
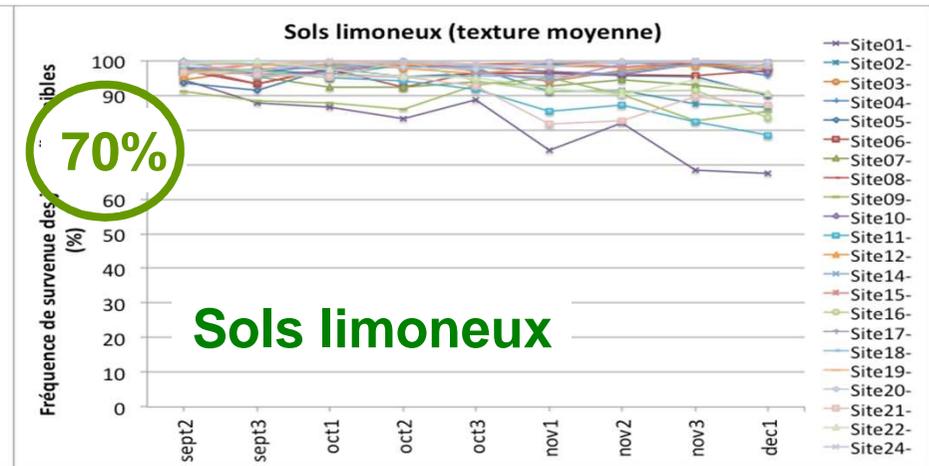
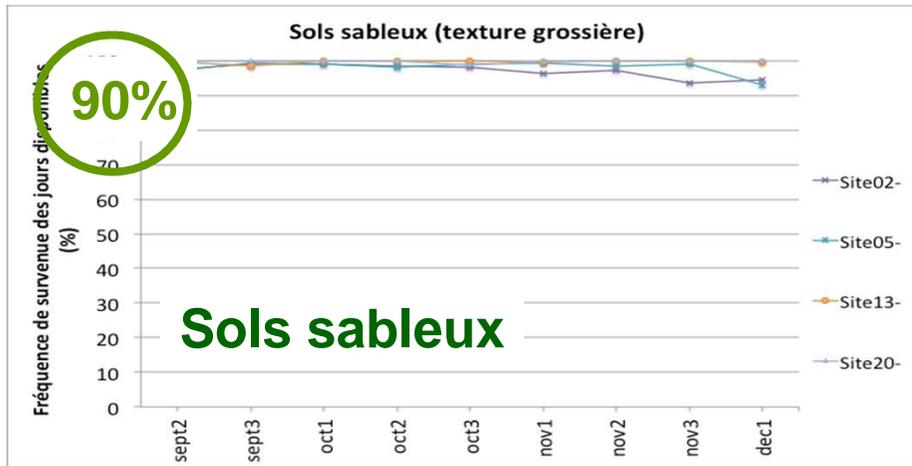
6. Le broyage des cannes en mulch à la surface ne permet pas de réduire les fuites de nitrate après maïs grain : l'enfouissement des cannes est préférable bien que l'effet soit modeste



7. Les jours potentiellement disponibles pour détruire les couverts intermédiaires à l'automne ne sont pas un facteur limitant pour réaliser l'intervention, sauf en sol argileux (teneur en argile > 37%)



Fréquence de jours disponibles par décade



- 1) Pas ou peu de limitation en sols sableux et limoneux
- 2) Réduction des jours disponibles avec le calendrier (limoneux à argileux)
- 3) Peu de jours disponibles en sol argileux au-delà de fin octobre ...



**8. En situation de sols argileux (37 à 45% Arg.)
nécessitant un travail du sol à l'automne,
les cultures intermédiaires
sont toujours utiles et généralement efficaces
*pour réduire les fuites de nitrate
même si elles sont détruites précocement***



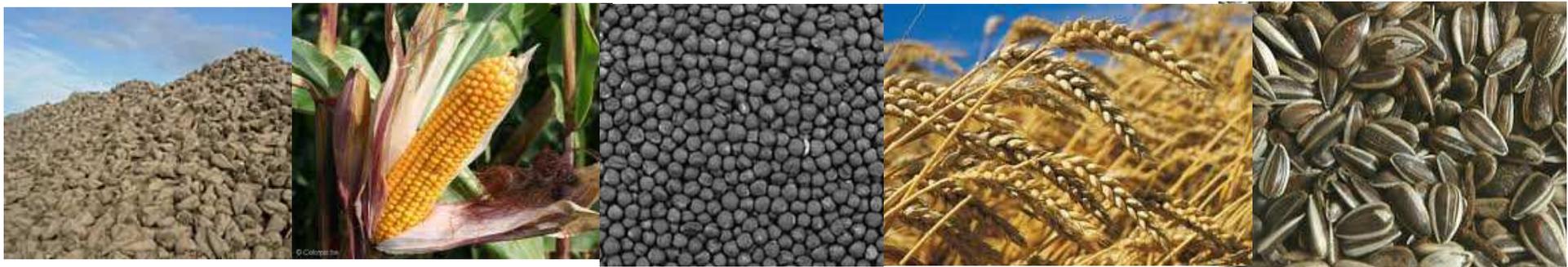
**9. Les cultures intermédiaires
réduisent le drainage (eau transférée vers nappe)
mais n'ont pas d'impact
sur l'alimentation hydrique de la culture
suivante,
si la date de destruction est adaptée
(pas trop tardive = pas trop proche semis culture suivante)**



**10. L'impact des cultures intermédiaires
sur le rendement de la culture suivante
est généralement neutre ou positif,
sauf en situation de destruction trop tardive juste
avant la culture suivante**

(cas en interculture courte ou destruction au printemps)

Une solution est de semer un **mélange avec des légumineuses** : permet de limiter l'effet de compétition par préemption grâce à une restitution $>$ d'N après incorporation des résidus (N acquis plus élevé & C/N plus faible)



**11. En climat méditerranéen,
des problèmes de développement se produisent
certaines années
mais cela ne remet pas en cause l'intérêt des cultures
intermédiaires pour réduire les fuites de nitrate les
années "drainantes"
(pas prévision météo suffisamment fiable à 3 ou 6 mois)**



12. L'épandage d'effluent d'élevage au semis des cultures intermédiaires n'est compatible avec la réduction des fuites de nitrate, que sous certaines conditions à respecter impérativement

- 1) Reliquat N minéral récolte faible (20-40 kg N/ha),
- 2) Préférer une crucifère, 3) Couvert intermédiaire homogène, et
- 4) Limiter la dose de lisier (≤ 75 kg N-total/ha)





Conclusions & Perspectives



Conclusion (1/2)

Une efficacité des CIPAN confirmée et des conditions de mise en œuvre précisées

1. **Les CIPAN sont nécessaires**, en complément de la maîtrise de la fertilisation azotée, même si elles sont peu efficaces certaines années.
2. **Les CI non-légumineuses sont incontestablement efficaces en tant que CIPAN**, aussi bien en interculture courte que longue
Mais efficacité insuffisante après maïs grain, où la maîtrise de la fertilisation azotée est fondamentale
3. **CIPAN & Recharge en eau des nappes :**
Amélioration de la qualité de l'eau *versus* réduction de la recharge des nappes : **des compromis en fonction de la situation hydrologique**
4. **Les itinéraires techniques doivent être adaptés** aux conditions pédoclimatiques locales et au système de culture



Ex. Dates « optimales » spatialisées en France

Date “optimale” définie ici :

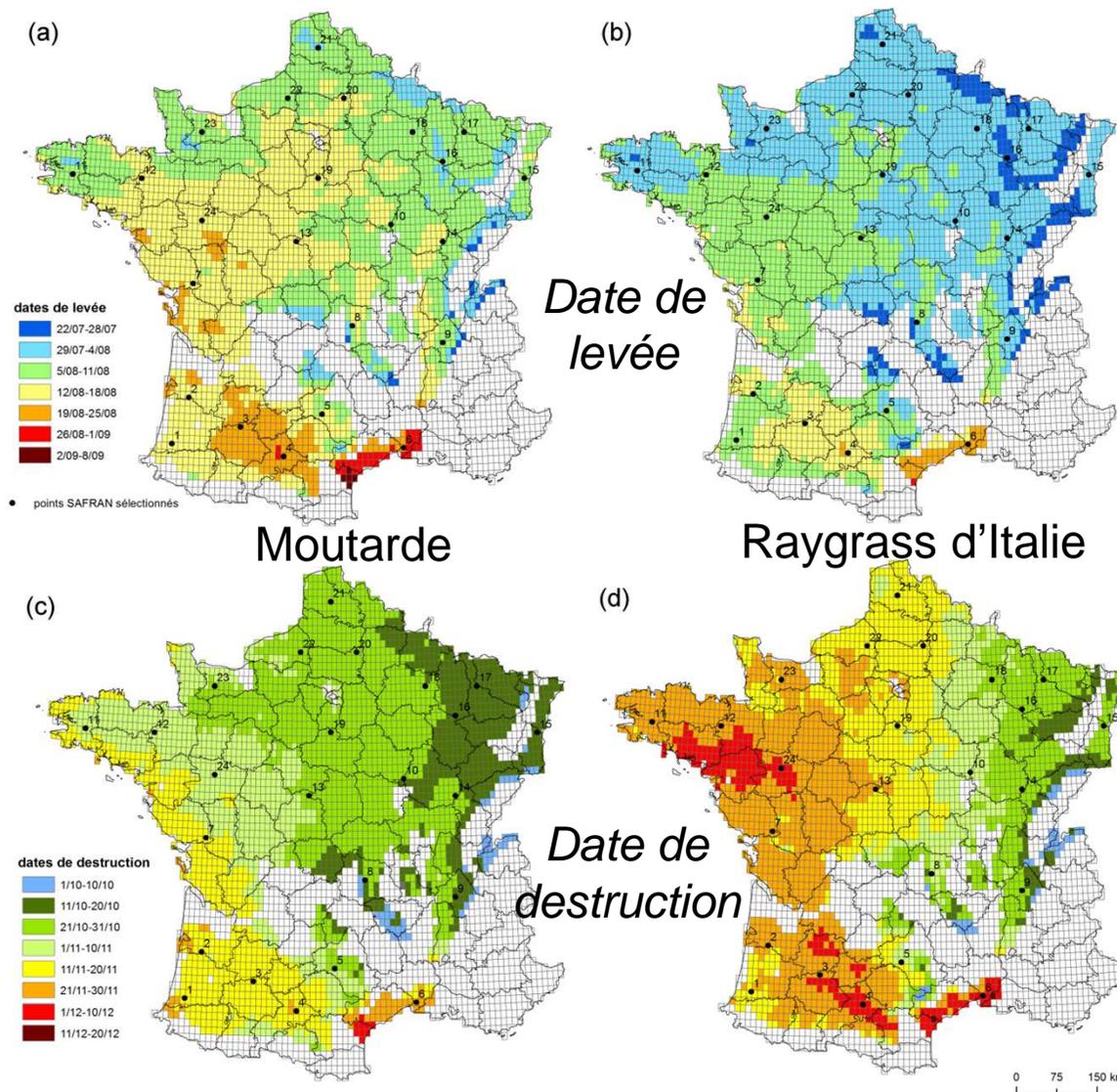
- Réduction [NO₃] d'au moins 85% du maximum annuel
- Teneur < 50 mg NO₃/L
- Moyenne 20 ans de simulation avec STICS

En moyenne pour :

- Tous types de sols
- 3 états initiaux

→ À décliner plus finement si état initial connu

Dates de destruction plus précoces qu'admis généralement ...



Conclusion (2/2) & Perspectives

- Des jours disponibles réduits à l'automne en sols argileux uniquement mais des destruction précoces des CI possibles et **suffisamment efficaces pour réduire les fuites de NO_3 et stocker du C**
- CIPAN et services écosystémiques : une source de fonctions agro-écologiques pour **ne pas accroître l'usage des pesticides** voir les réduire (Ecophyto 2018).
- **Long terme** : effet de l'introduction des CIPAN dans les systèmes de culture sur « les fertilités » du sol.
- **Lixiviation de NO_3 = forte quantité d'énergie perdue** (≈ 1 kg eq. Pétrole pour 1 kg engrais N de synthèse)
→ **ne pas oublier cet aspect ...**

Les CI(PAN) : une clé de la re-conception des systèmes de culture pour réduire les intrants de synthèse ??





*Nous dédions ces travaux à la mémoire de
deux personnes qui nous ont quittés
beaucoup trop tôt :*



***Nadine Cohen-Brisson (INRA)
Fruck Dorsainvil (Fac. Agronomie Haïti)***





Merci de votre attention