



Avec la participation de l'



Tassement des sols agricoles et forestiers : peut-on prévoir les risques ?

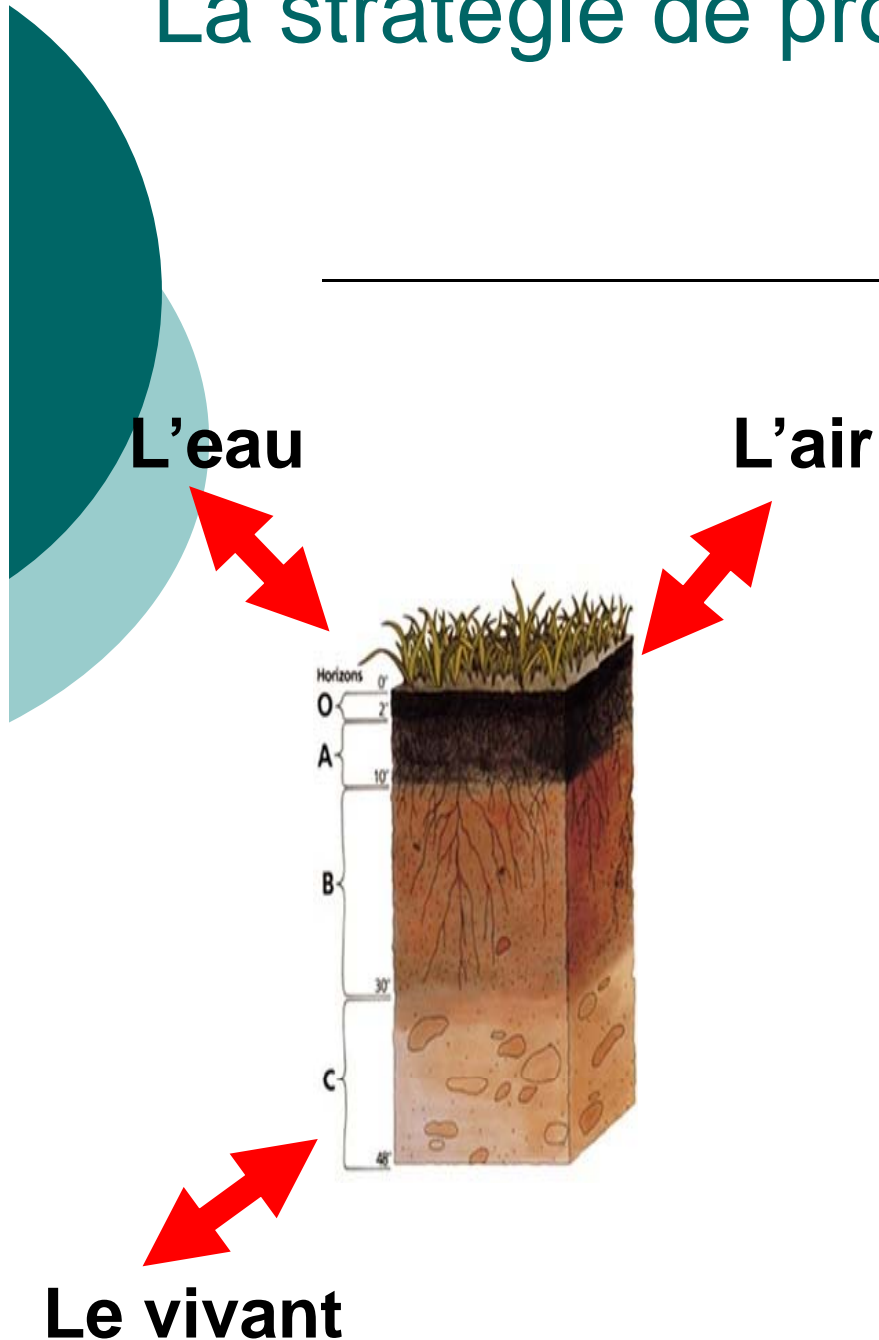
Guy RICHARD

INRA-EA Science du Sol Orléans

Coordinateur du projet DST (ADD et GESSOL)

Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009
« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

La stratégie de protection des sols dans l'UE



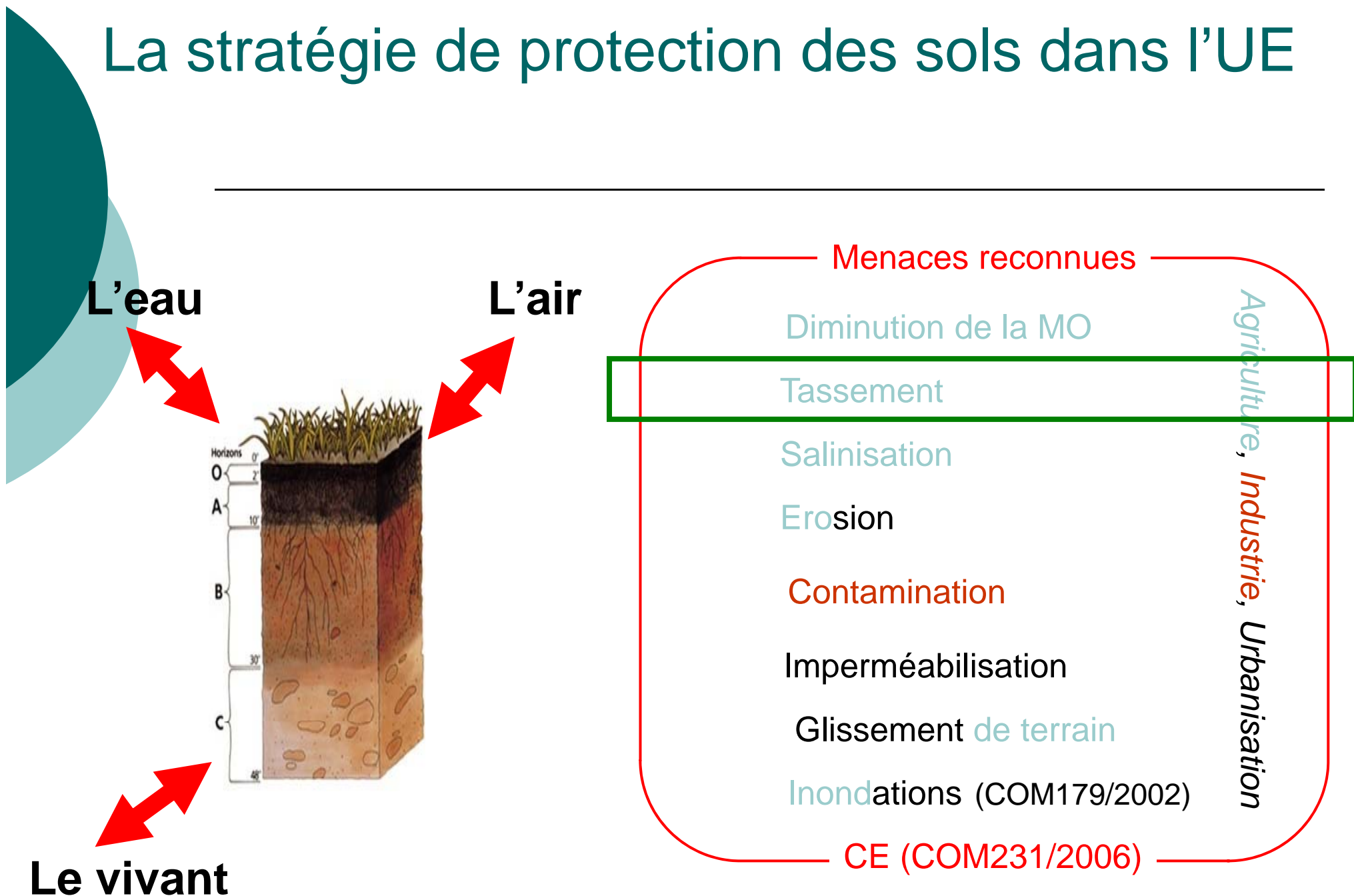
Menaces reconnues

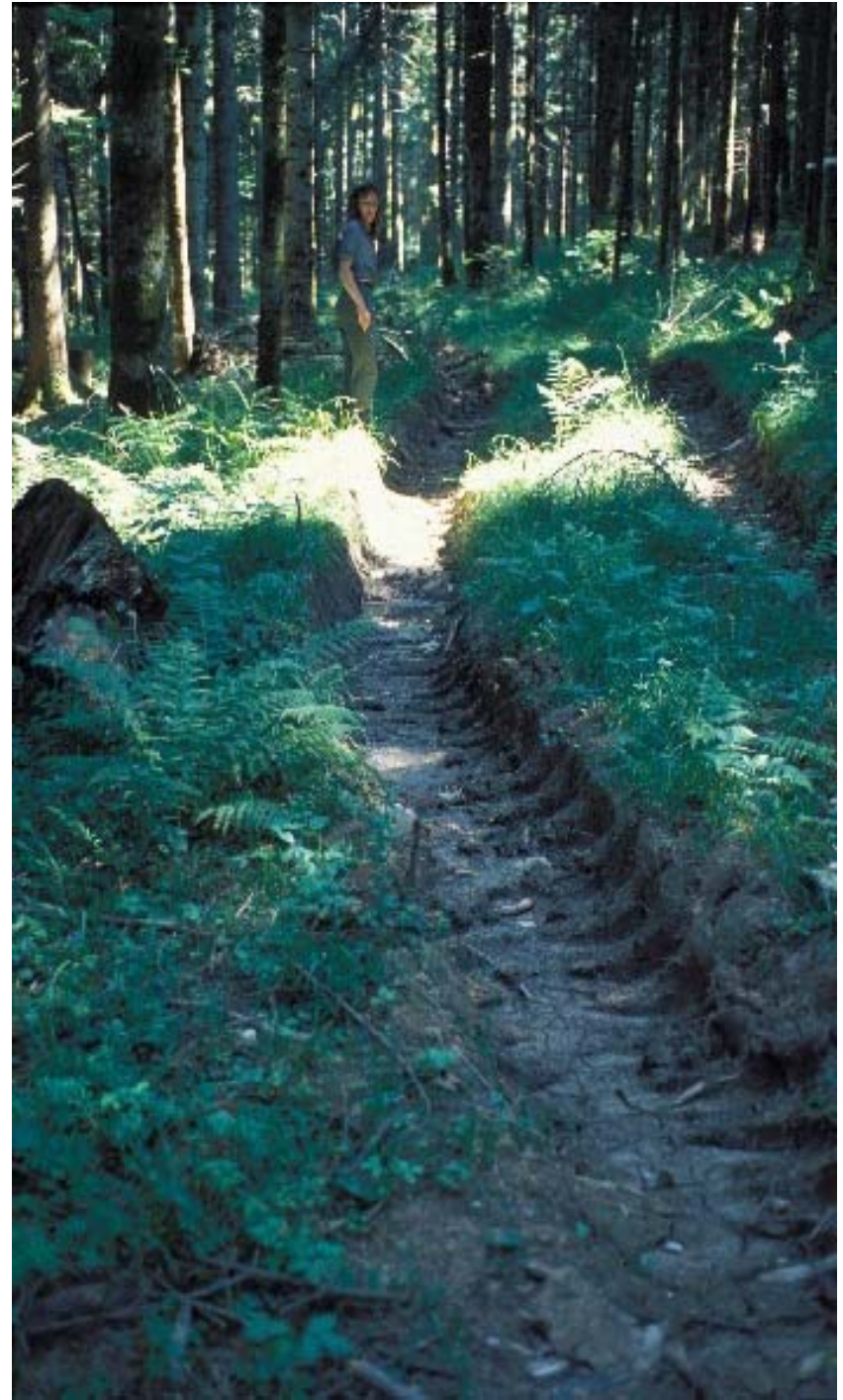
Diminution de la MO
Tassement
Salinisation
Erosion
Contamination
Imperméabilisation
Glissement de terrain
Inondations (COM179/2002)

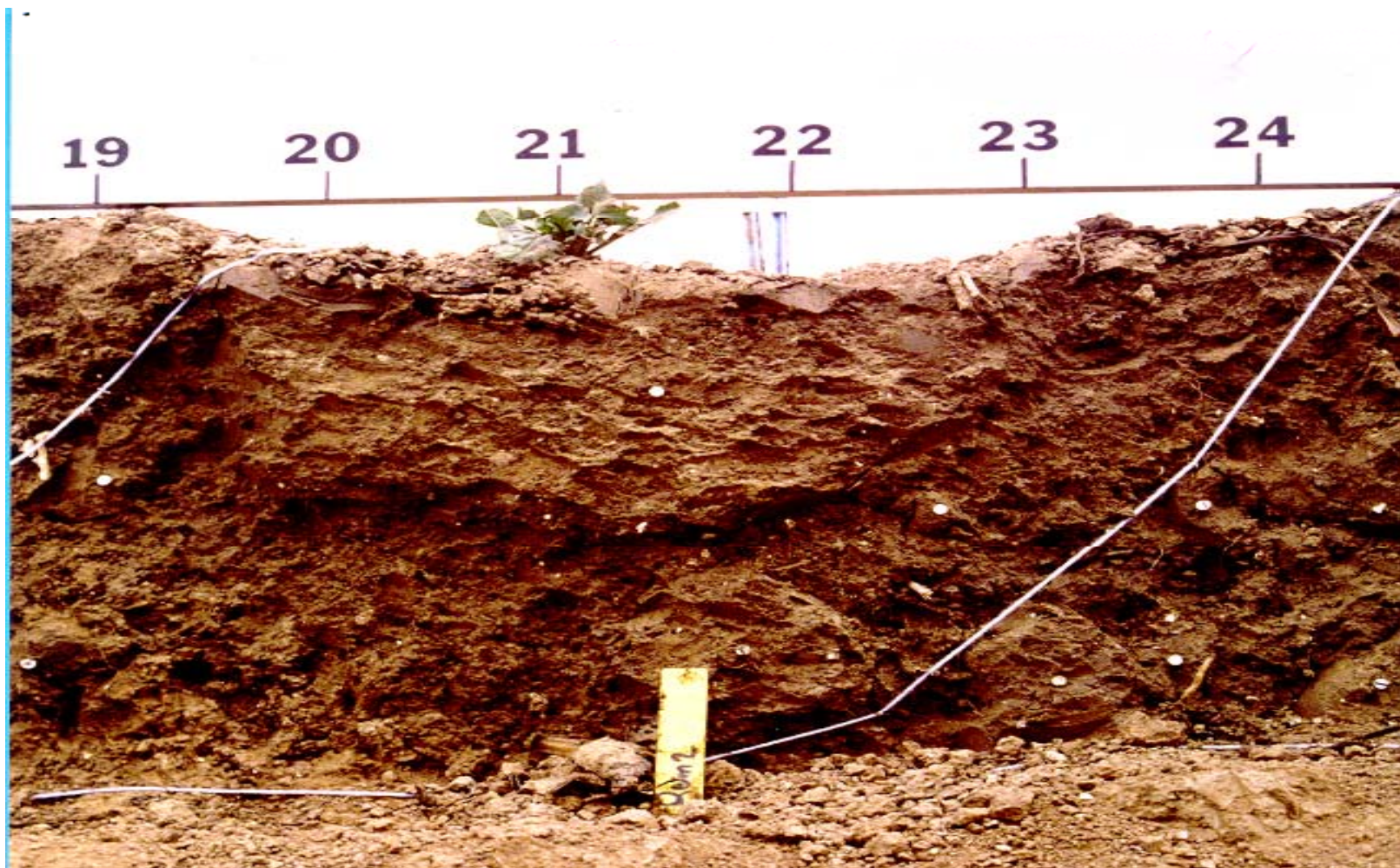
Agriculture, Industrie, Urbanisation

CE (COM231/2006)

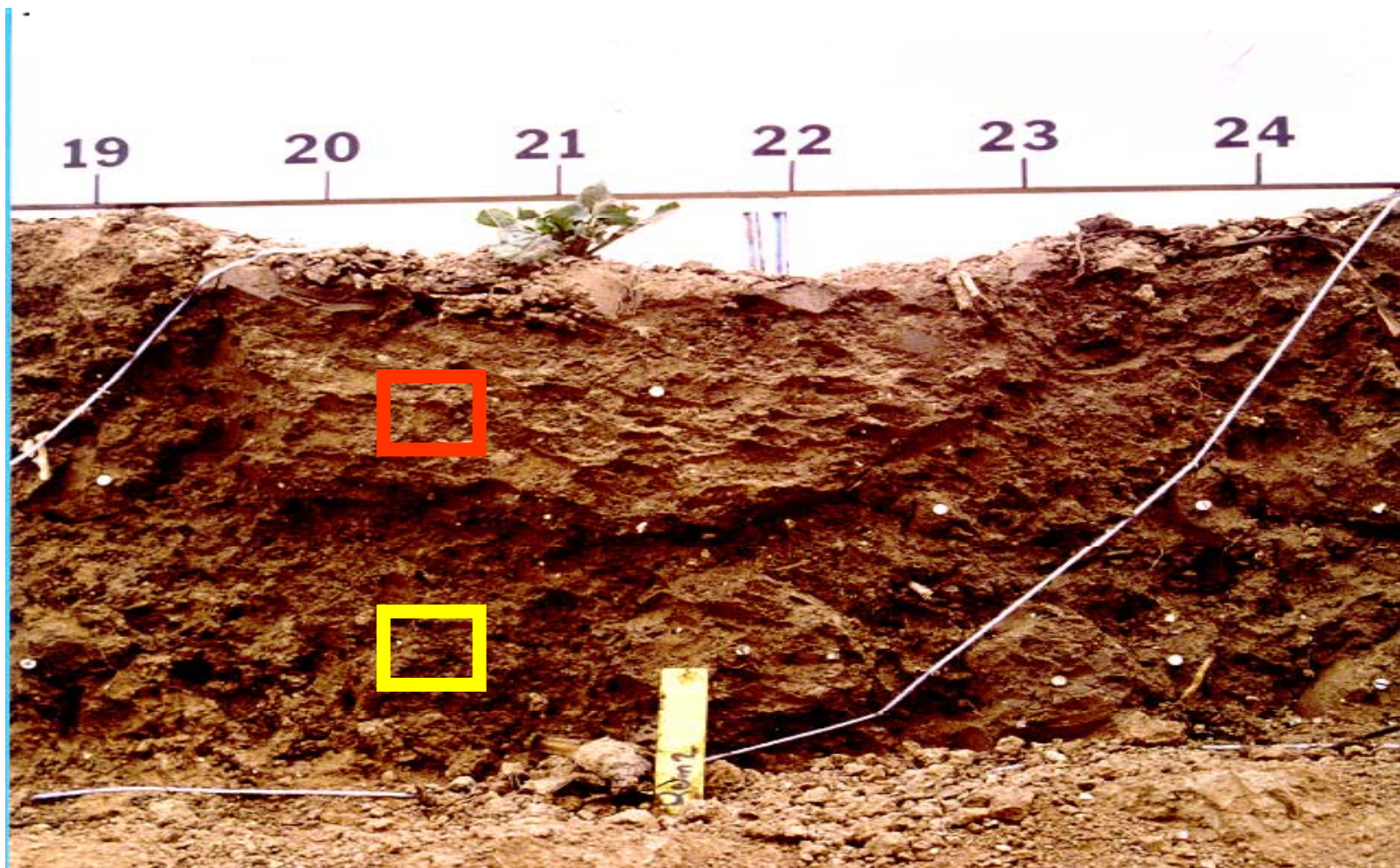
La stratégie de protection des sols dans l'UE



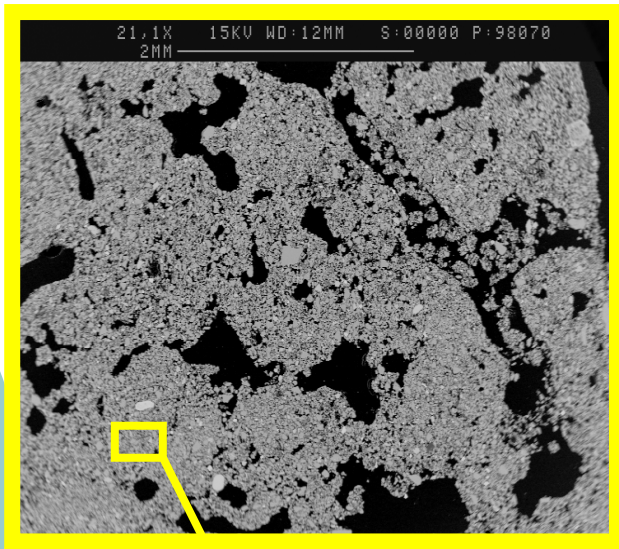




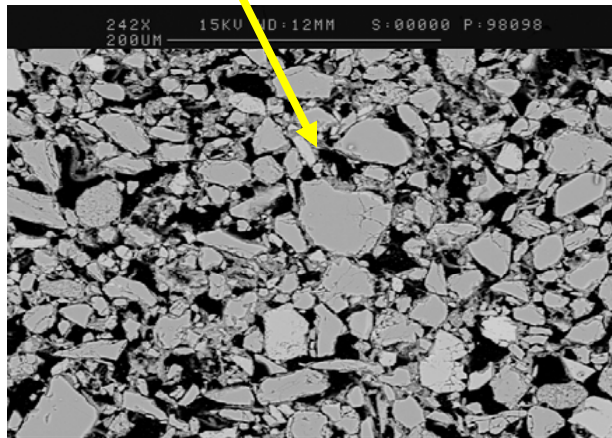
Tassement = une densification du sol, par compression et cisaillement, qui se traduit par une ornière



Tassement = une diminution de la porosité structurale

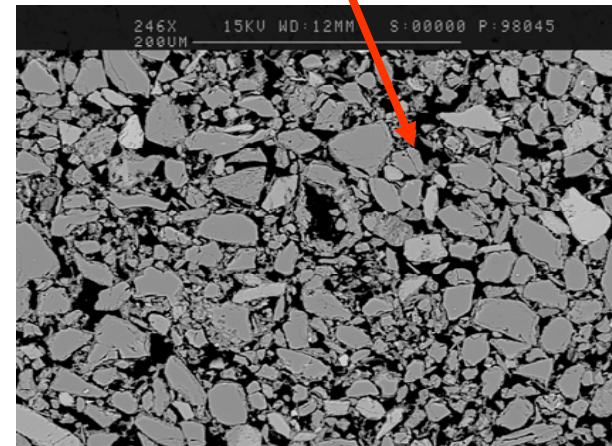


Porosité
structurale



Porosité
texturale

=



Tassement = une diminution de la porosité structurale



Conséquences du tassement sur les propriétés des sols

- **Augmentation de la résistance mécanique :**
 - **<0 Enracinement**
 - **<0 Travailleabilité**
 - **<0 Détachement, Erosion**

- **Diminution de l'infiltrabilité :**
 - **>0 Ruissellement**

- **Diminution de l'aération :**
 - **>0 Emissions de N₂O**



Conséquences du tassement sur les propriétés des sols

- **Des conséquences du tassement sur des propriétés essentielles des sols qui affectent l'ensemble des fonctions des sols**

- **Comment estimer les risques de tassement ?**



Les étapes :

1. Définir un sol tassé à partir de la relation entre le niveau de compacité et le degré d'altération des fonctions des sols
2. Définir les conditions pour atteindre ce niveau de compacité en fonction de l'état du sol (teneur en eau) au moment du passage des engins et les caractéristiques de ces engins
3. Calculer la fréquence d'atteinte des teneurs en eau critiques
4. Spatialiser l'ensemble de la démarche = paramétrer les modèles sur l'ensemble du territoire

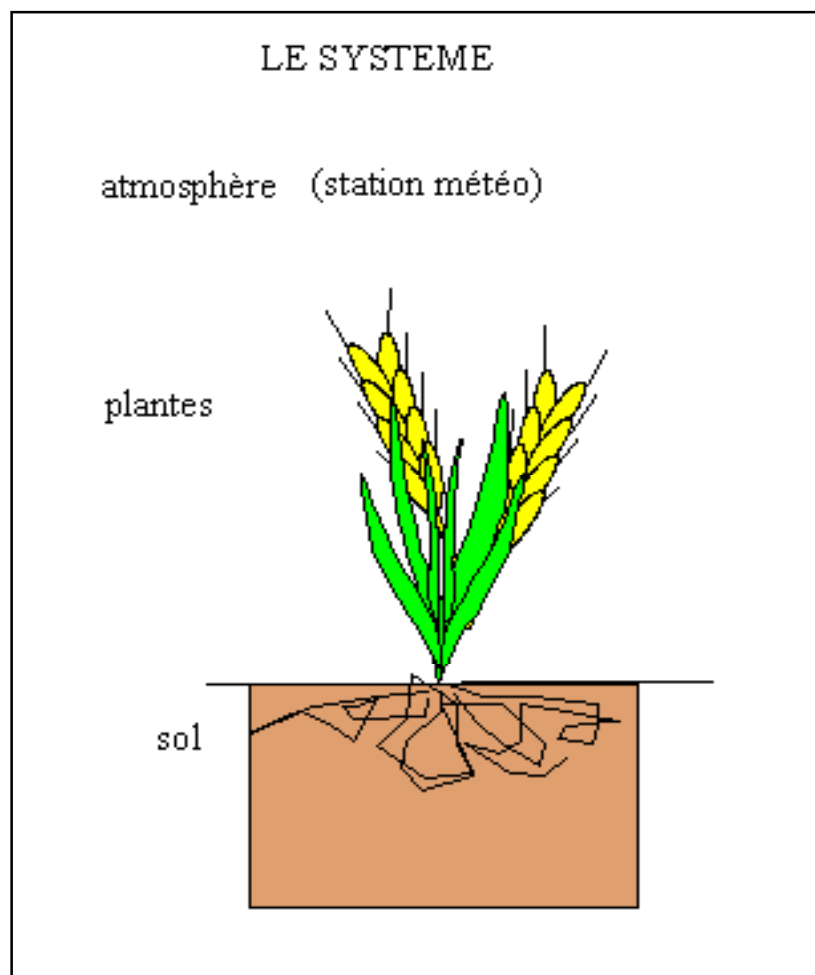


Les étapes :

1. Définir un sol tassé à partir de la relation entre le niveau de compacité et le degré d'altération des fonctions des sols
2. Définir les conditions pour atteindre ce niveau de compacité en fonction de l'état du sol (teneur en eau) au moment du passage des engins et les caractéristiques de ces engins
3. Calculer la fréquence d'atteinte des teneurs en eau critiques
4. Spatialiser l'ensemble de la démarche = paramétrer les modèles sur l'ensemble du territoire

ENTREES

- Climat
- Profil de sol
(masse volumique,
infiltrabilité...)
- Techniques culturales
(semis, fertilisation...)

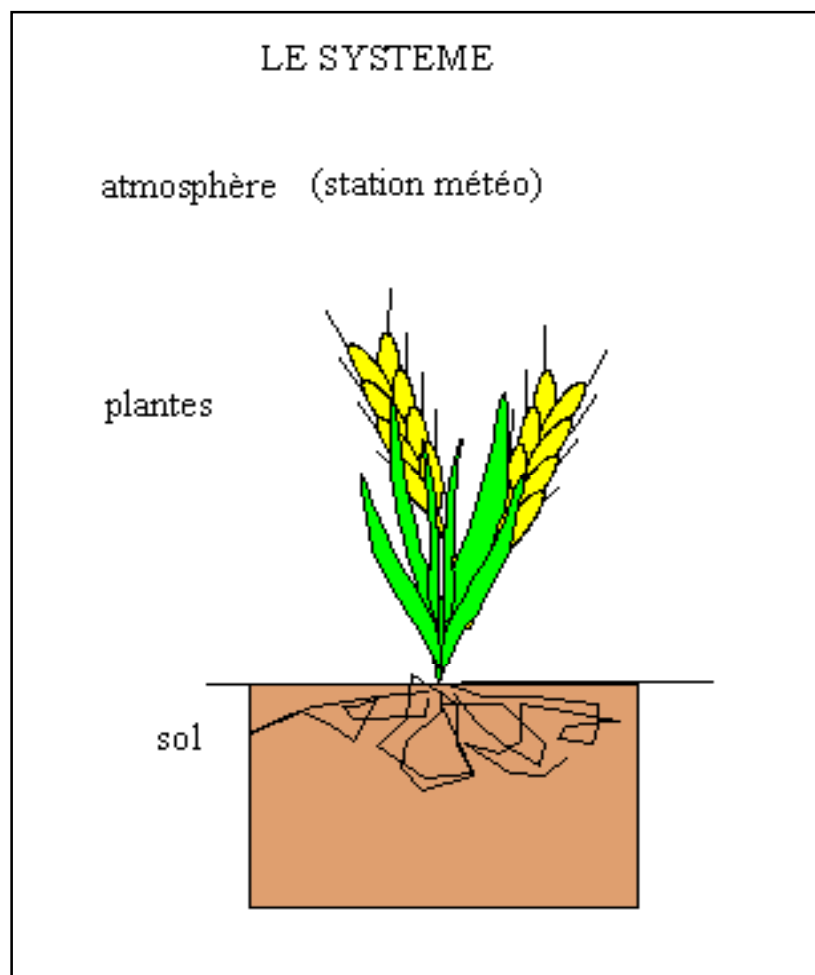


SORTIES

- Rendement
- Teneur en eau du sol
- Flux d'eau et d'azote

ENTREES

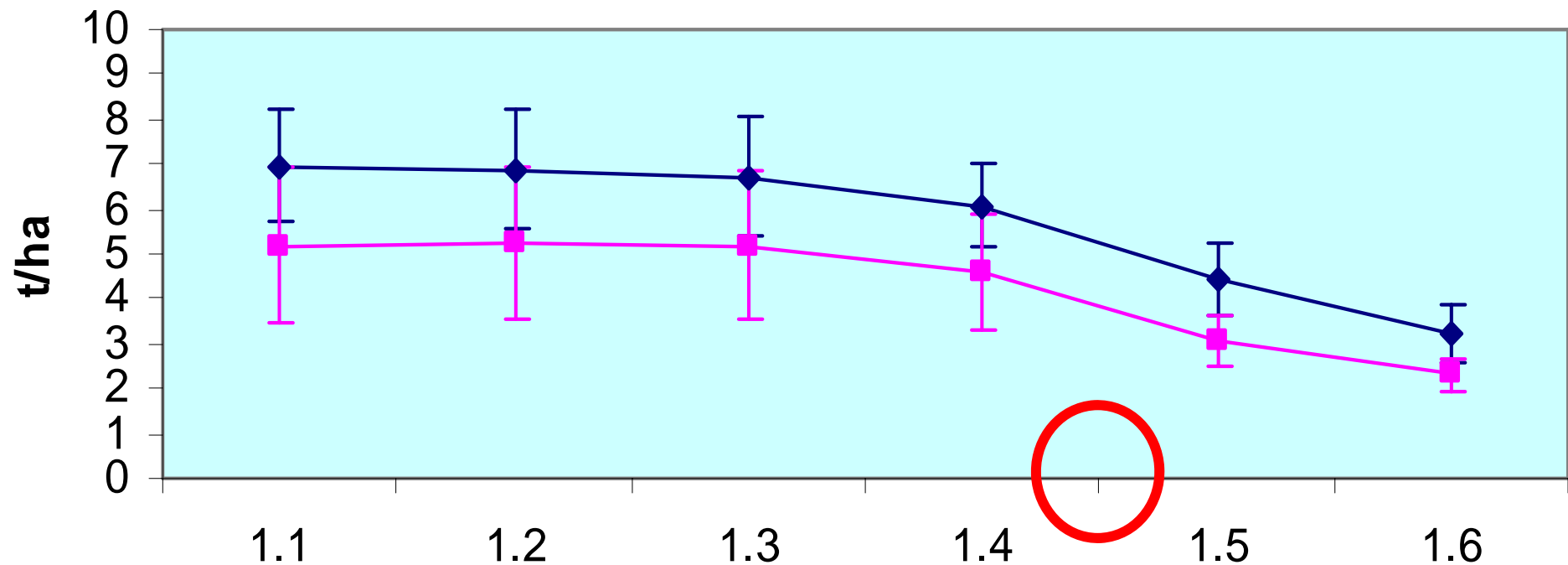
- Climat
- Profil de sol
(masse volumique,
infiltrabilité...)
- Techniques culturales
(semis, fertilisation...)



SORTIES

- Rendement
- Teneur en eau du sol
- Flux d'eau et d'azote

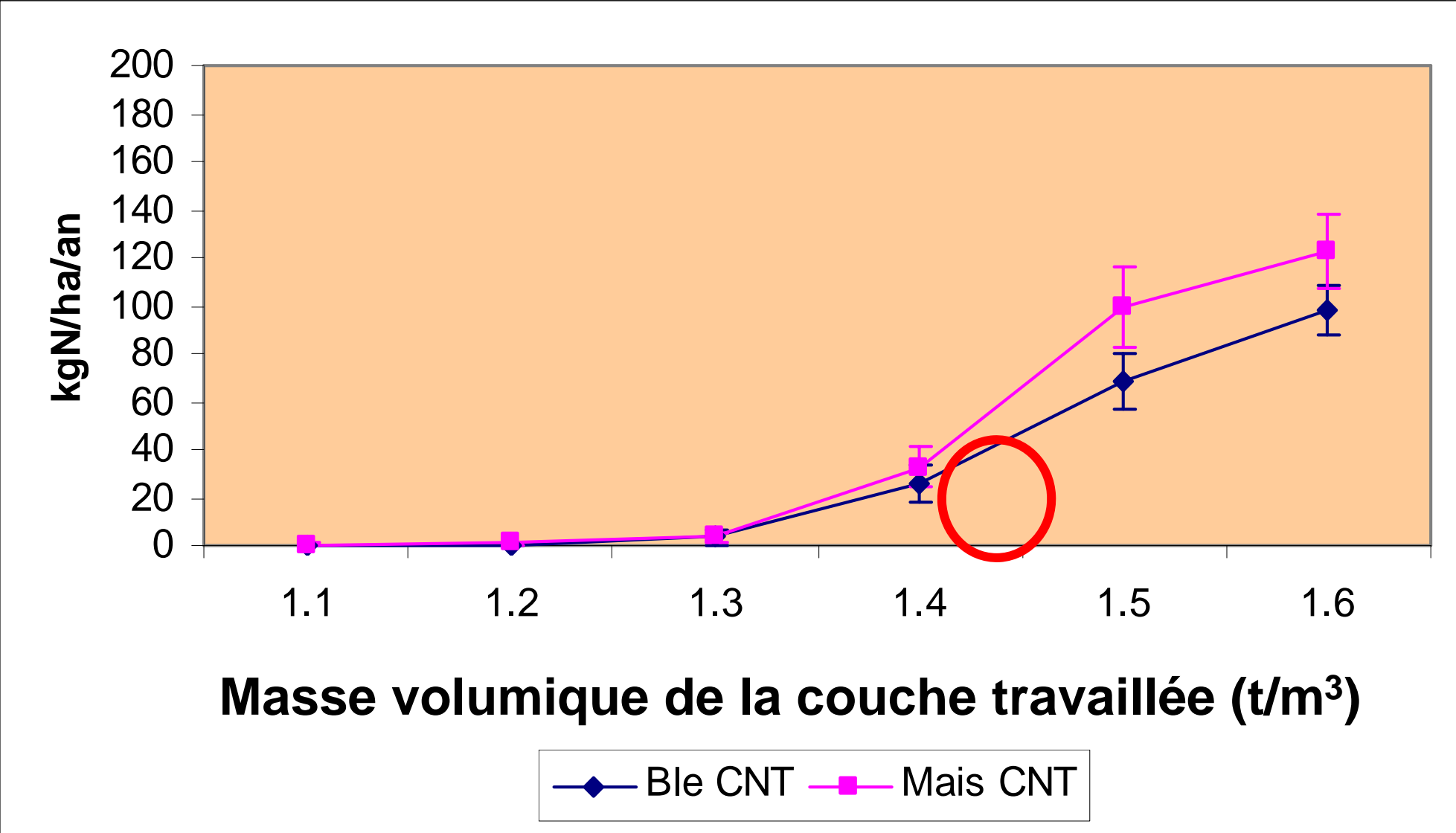
Rendement moyen sur 20 ans (t/ha)



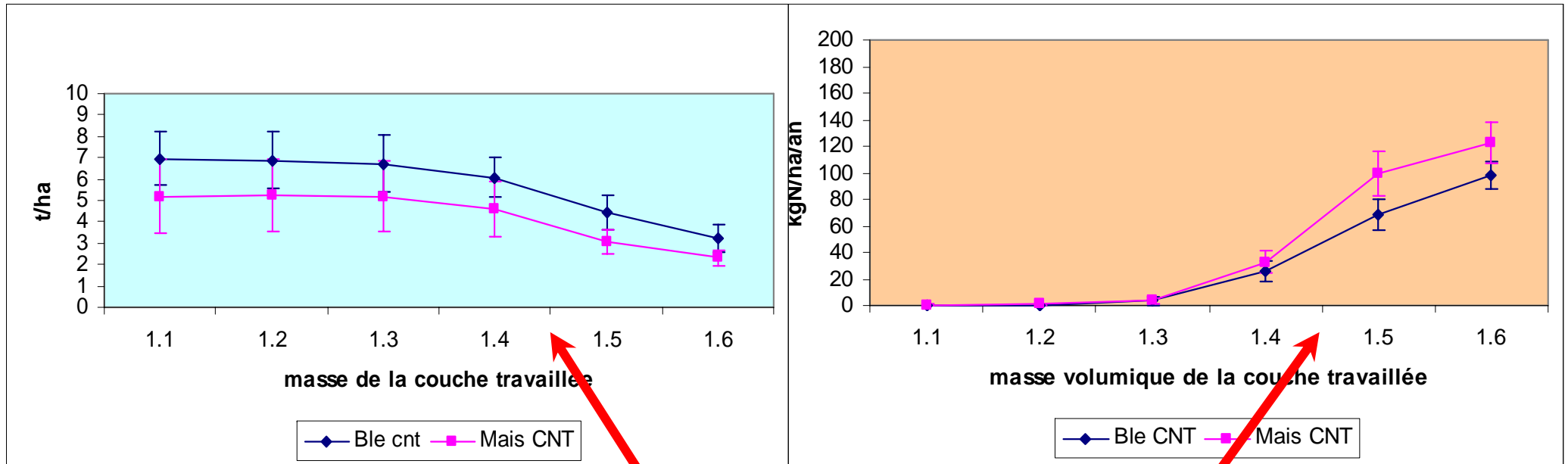
Masse volumique de la couche travaillée (t/m³)

—◆— Ble cnt —■— Mais CNT

Flux du N₂O annuel moyen sur 20 ans
(potentiel du sol : 16 kg N/ha/jour
sans réduction du N₂O en N₂)



Rendement



Tassement critique :
masse volumique > 1,45 t/m³ (sol de limon) sur 5-15 cm d'épaisseur
Indice des vides structuraux < 0,15 m³/m³

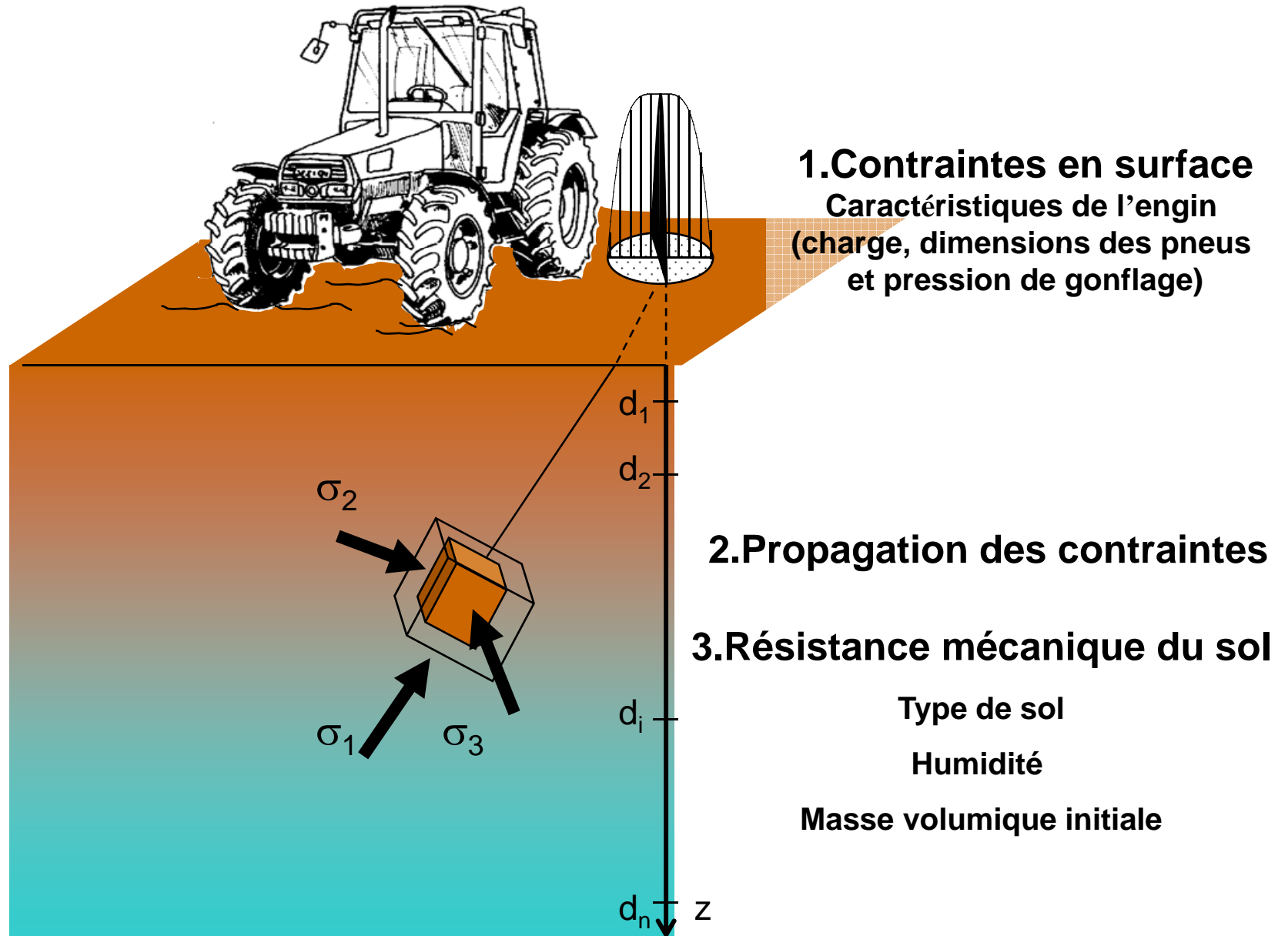


Les étapes :

1. Définir un sol tassé à partir de la relation entre le niveau de compacité et le degré d'altération des fonctions des sols
2. Définir les conditions pour atteindre ce niveau de compacité en fonction de l'état du sol (teneur en eau) au moment du passage des engins et les caractéristiques de ces engins
3. Calculer la fréquence d'atteinte des teneurs en eau critiques
4. Spatialiser l'ensemble de la démarche = paramétrer les modèles sur l'ensemble du territoire

Modèle de déformation : COMPSOIL

Profil de masse volumique
Profondeur de l'ornièrè



| Chantiers | Charge (t) | Diamètre (mm) | Largeur (mm) | Pi (bar) | Aire de contact (m ²) | Contrainte (kPa) |
|-------------|------------|---------------|--------------|----------|-----------------------------------|------------------|
| Préparation | 1.1 | 1426 | 520 | 0.8 | 0.2685 | 40 |
| Epandage | 2 | 1672 | 244 | 2.6 | 0.1753 | 100 |
| Récolte | 7.3 | 1864 | 608 | 3.6 | 0.5083 | 140 |

| Chantiers | Charge (t) | Diamètre (mm) | Largeur (mm) | Pi (bar) | Aire de contact (m ²) | Contrainte (kPa) |
|-------------|------------|---------------|--------------|----------|-----------------------------------|------------------|
| Préparation | 1.1 | 1426 | 520 | 0.8 | 0.2685 | 40 |
| Epandage | 2 | 1672 | 244 | 2.6 | 0.1753 | 100 |
| Récolte | 7.3 | 1864 | 608 | 3.6 | 0.5083 | 140 |

form_sensib_hum : Formulaire

Sensibilite du modèle à l'humidite initiale

Site: **Mons_40** C:\lefebvre

Choix des contrainte:

Profil de densité: **L**, **SD**, **TS**

Fonctions pour le calcul des param Lambda et I

Corrélation établie par sol

Fonction pour Lambda: $=0.539-0.000226*di-0.0039*$

Fonction pour N: $=5.258-0.001468*di-0.0340*$

Calcul densité critique en fonction teneur en e:

$=0.2225*hi+154$ de ≥ 0 à ≤ 7.52

$=-4.2054*hi+158$ de ≥ 7.52 à ≤ 22.4

$=-20.455*hi+194$ > 22.4

Création de profils d'humidité initiaux virtuels

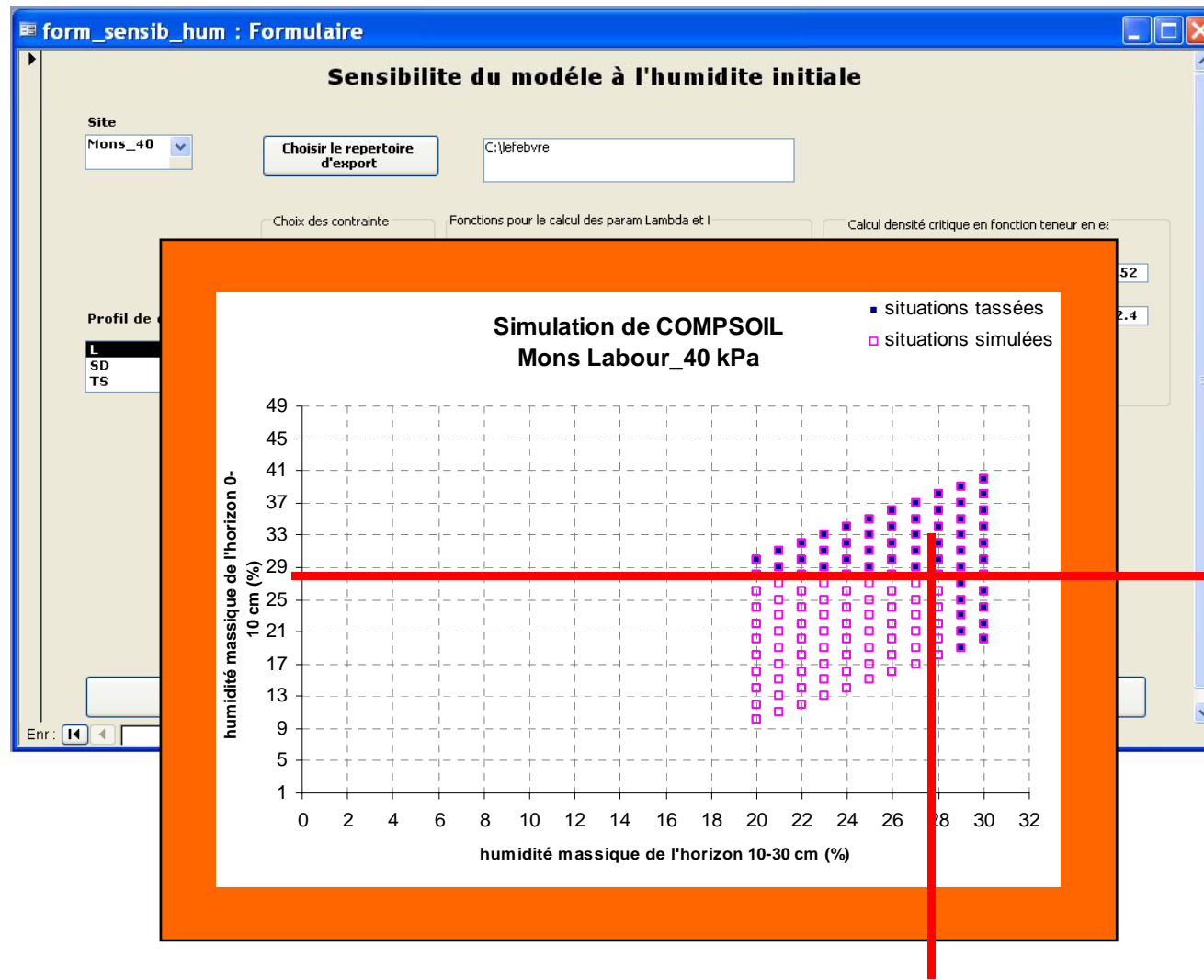
Couche 1 De à au pas de

Couche 2 Lim 1 : Lim 2 : au pas de

Couche 3 De à au pas de

Enr: sur 1

| Chantiers | Charge (t) | Diamètre (mm) | Largeur (mm) | Pi (bar) | Aire de contact (m ²) | Contrainte (kPa) |
|-------------|------------|---------------|--------------|----------|-----------------------------------|------------------|
| Préparation | 1.1 | 1426 | 520 | 0.8 | 0.2685 | 40 |
| Epandage | 2 | 1672 | 244 | 2.6 | 0.1753 | 100 |
| Récolte | 7.3 | 1864 | 608 | 3.6 | 0.5083 | 140 |





Les étapes :

1. Définir un sol tassé à partir de la relation entre le niveau de compacité et le degré d'altération des fonctions des sols
2. Définir les conditions pour atteindre ce niveau de compacité en fonction de l'état du sol (teneur en eau) au moment du passage des engins et les caractéristiques de ces engins
3. Calculer la fréquence d'atteinte des teneurs en eau critiques
4. Spatialiser l'ensemble de la démarche = paramétrer les modèles sur l'ensemble du territoire

Risque de tassement :

Critère de « risque » pour un passage

Il y a risque si plus de 2 jours sur 3 présentent une teneur en eau > teneur en eau critique (fonction de l'organisation du travail de chaque exploitation)

Critère de « risque » pour une année

Il y a risque si au moins un passage (préparation ou épandage ou récolte) présente un risque

Critère de « risque » pour une série d'année

Calcul du pourcentage d'années présentant un risque annuel

Représentation par classes de risque: 0 à 25, 25 à 50, 50 à 75 et 75 à 100%

Critère spatial

Le risque représenté est celui qui occupe la plus importante superficie dans l'UCS (carte des sols au 1/1 000 000^e).

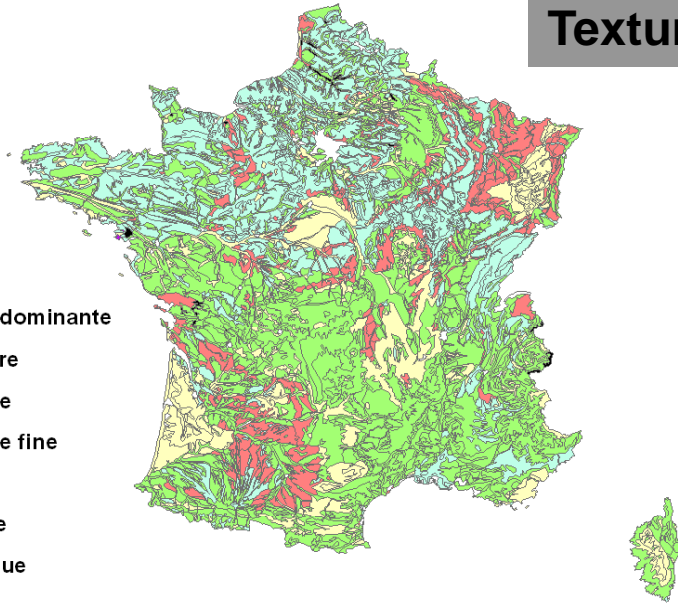


Les étapes :

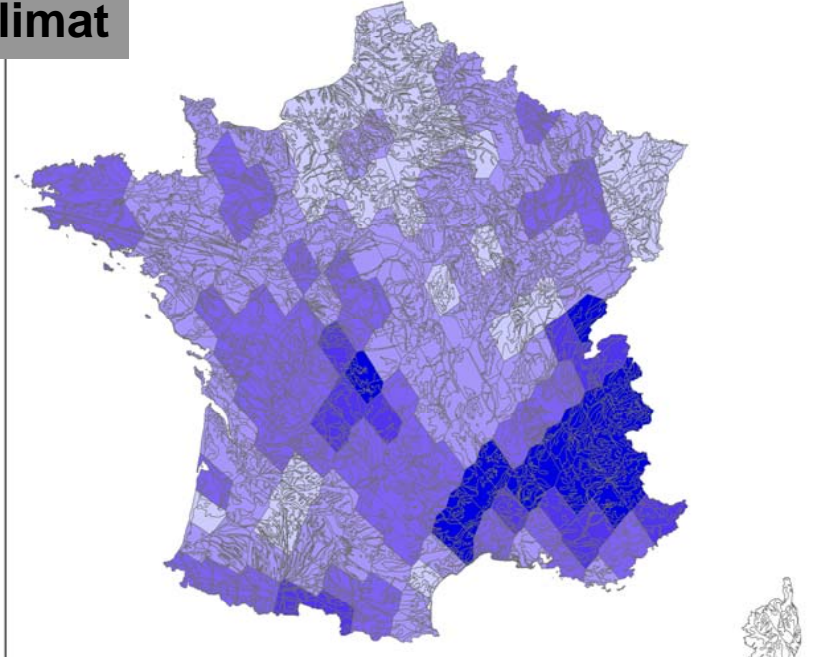
1. Définir un sol tassé à partir de la relation entre le niveau de compacité et le degré d'altération des fonctions des sols
2. Définir les conditions pour atteindre ce niveau de compacité en fonction de l'état du sol (teneur en eau) au moment du passage des engins et les caractéristiques de ces engins
3. Calculer la fréquence d'atteinte des teneurs en eau critiques
4. Spatialiser l'ensemble de la démarche = paramétrer les modèles sur l'ensemble du territoire

Texture

Texture de surface dominante

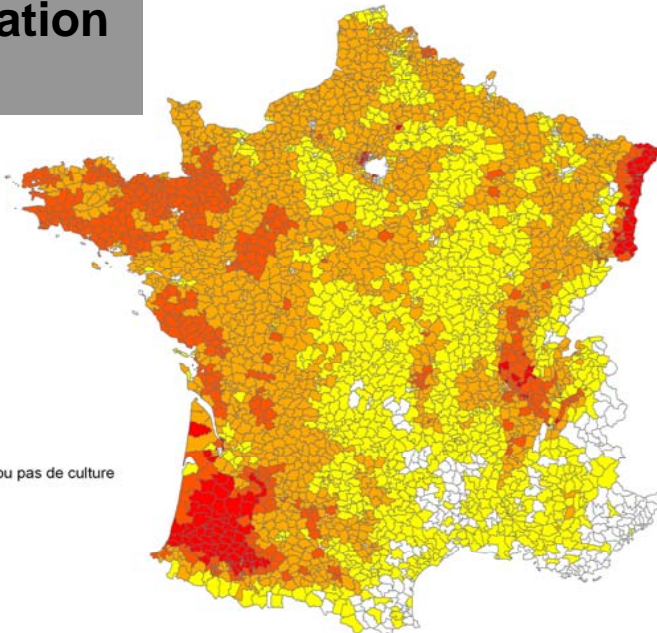
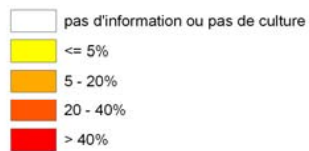


Climat



Pourcentage de surface en maïs par rapport à la SAU par canton et Contraintes pour les céréales d'hiver

Occupation du sol



0 35 70 140 Kilomètres

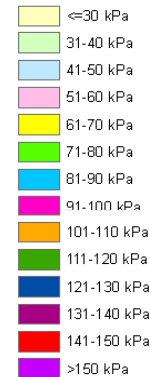
Christine Le Bas - INRA - InfoSol
24 février 2009

sources: RA2000

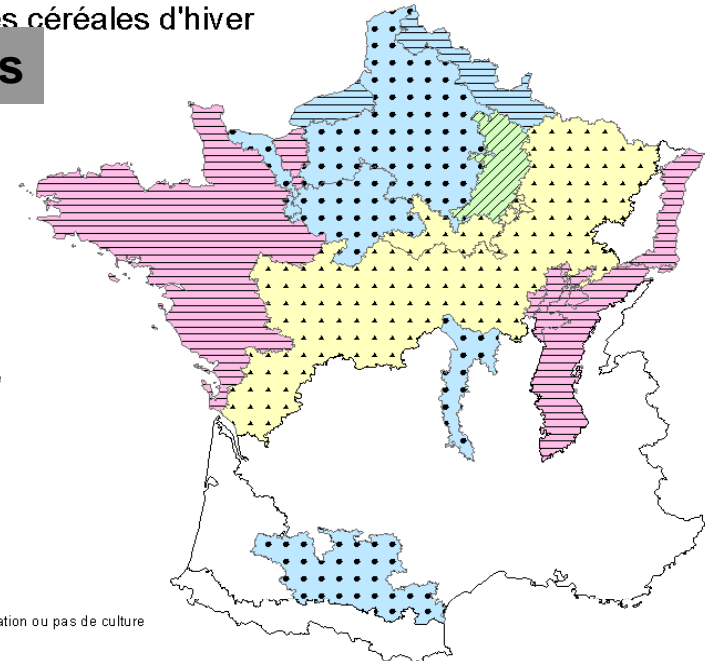
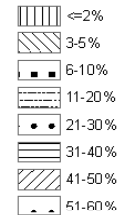
Pratiques

Légende

contrainte



surface affectée



0 40 80 160 Kilomètres

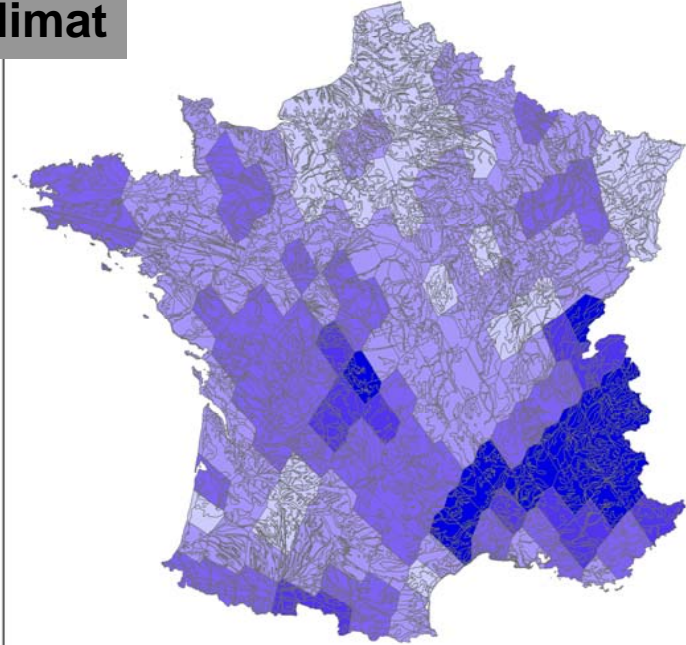
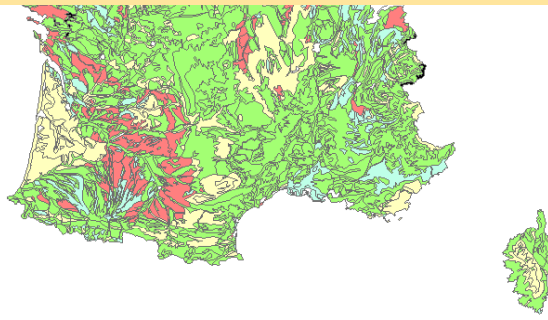
Christine Le Bas - INRA - InfoSol

Texture

Climat

917 Unités Typologique de Sol au 1/1 000 000e
Propriétés hydriques (STICS) : méthode numérique
Propriétés mécaniques (COMPSOIL) : mesures

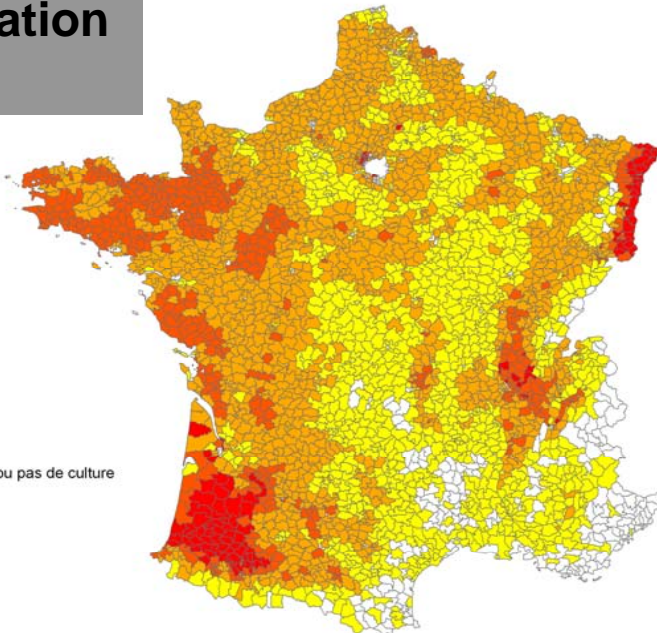
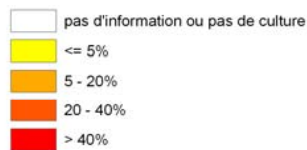
Texture de surface dominante



Pourcentage de surface en maïs par rapport à la SAU par canton (Occupation du sol) / Contraintes pour les céréales d'hiver (Pratiques)

Occupation du sol

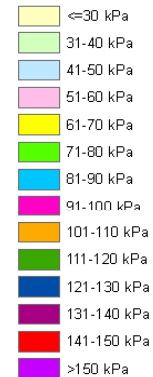
Pratiques



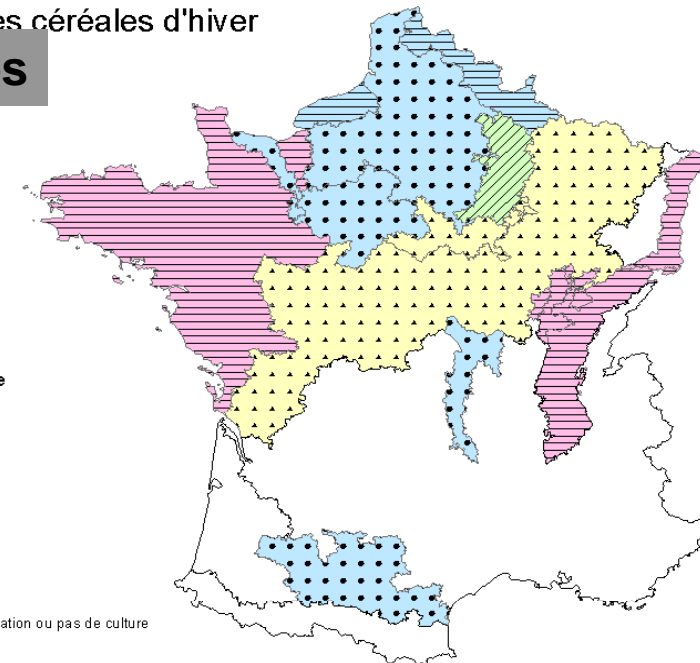
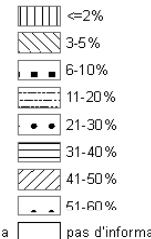
0 35 70 140 Kilomètres

Légende

contrainte



surface affectée



0 40 80 160 Kilomètres



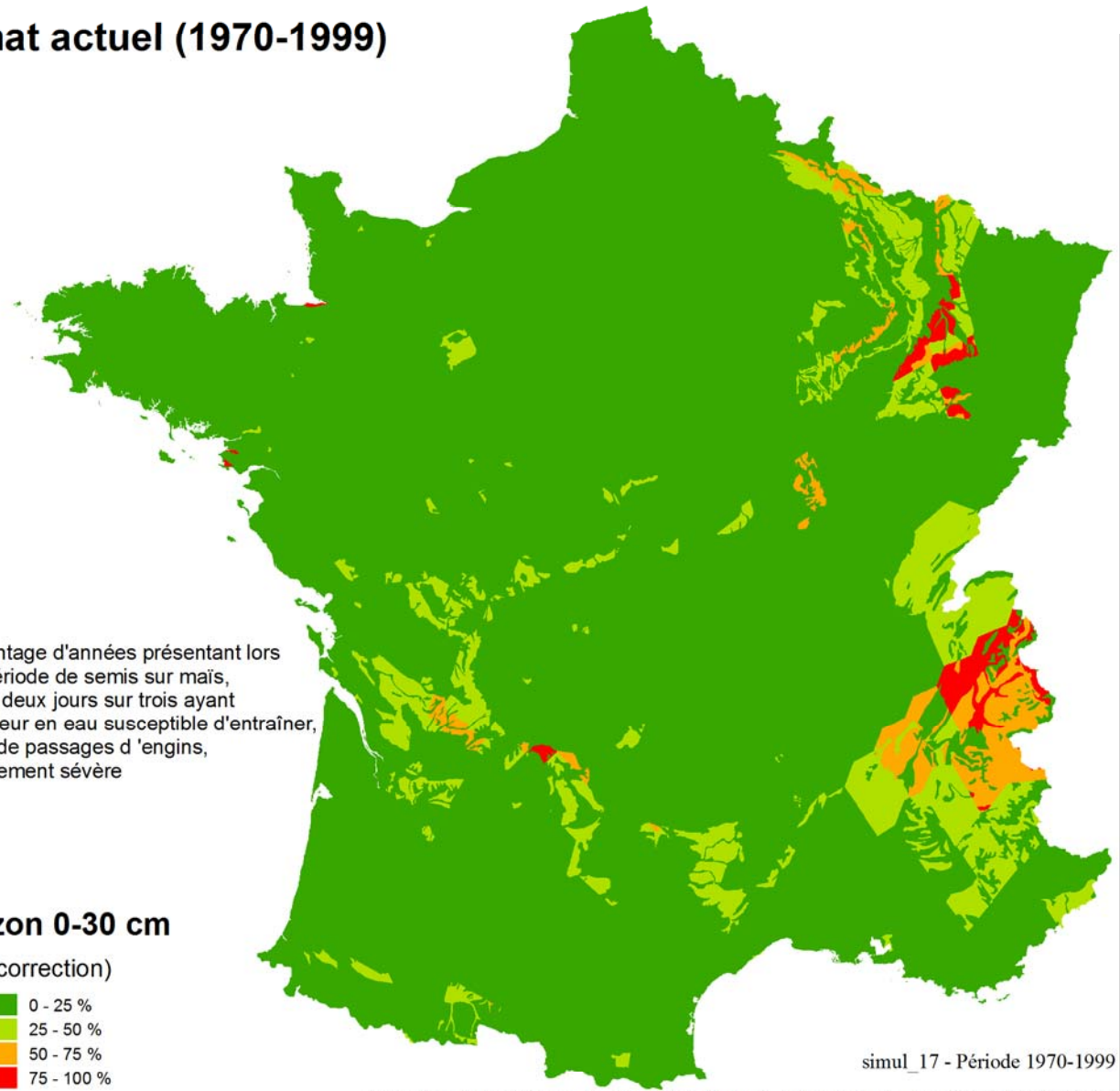
Semis

Climat actuel (1970-1999)

Pourcentage d'années présentant lors de la période de semis sur maïs, plus de deux jours sur trois ayant une teneur en eau susceptible d'entraîner, en cas de passages d'engins, un tassement sévère

horizon 0-30 cm

(avec correction)



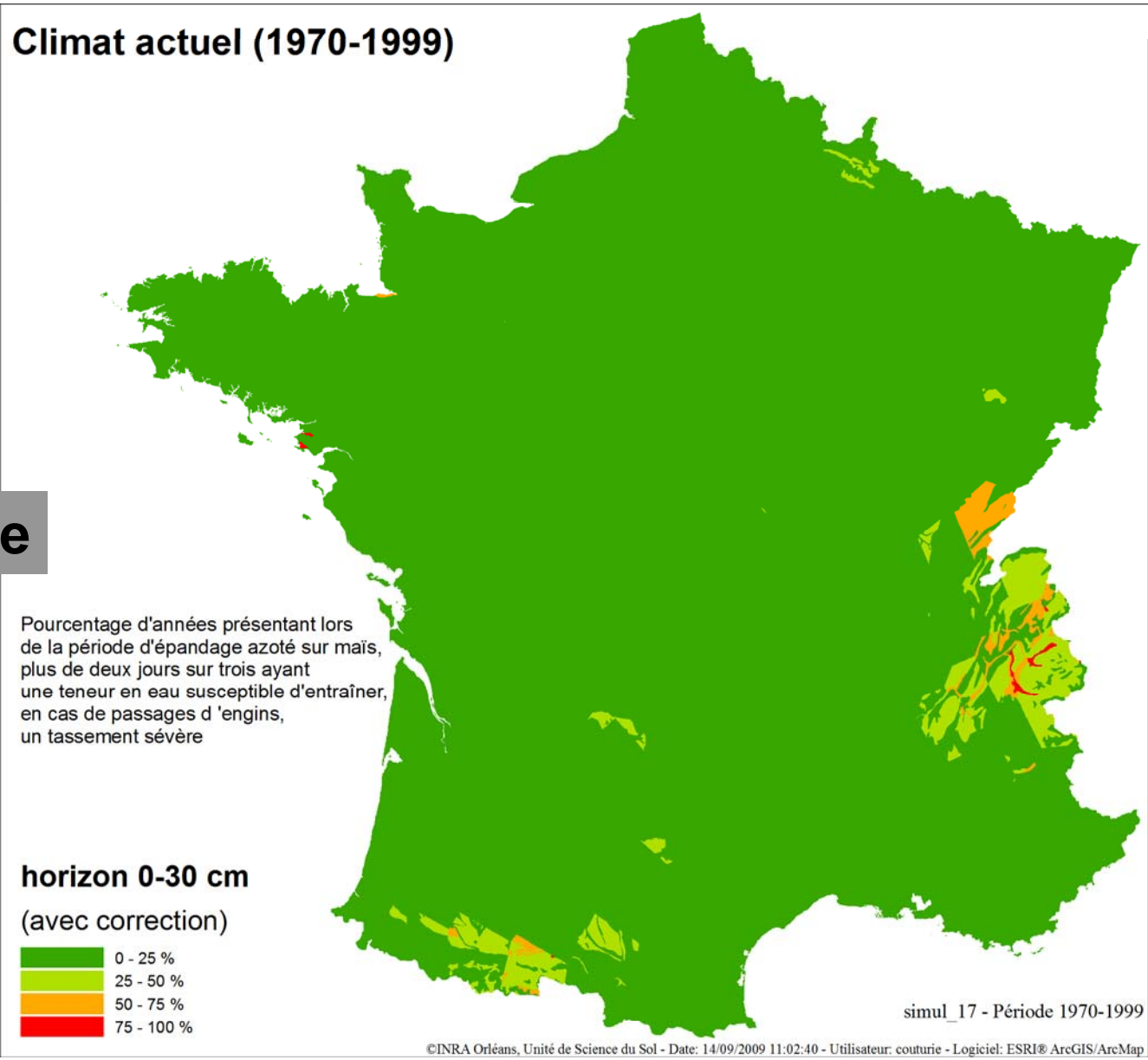
simul_17 - Période 1970-1999

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 14/09/2009 11:01:43 - Utilisateur: couture - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap



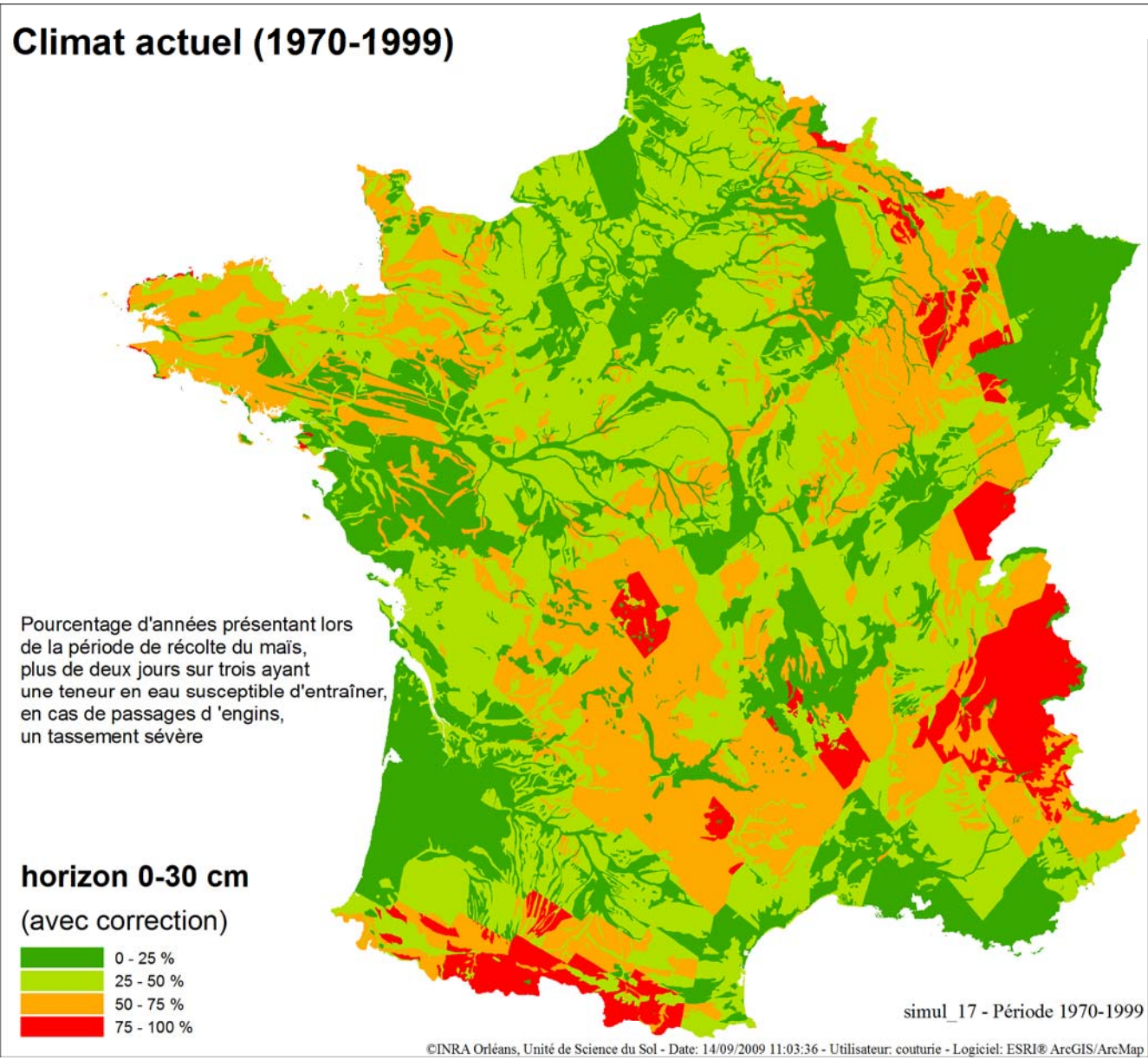
Epandage

Climat actuel (1970-1999)





Récolte



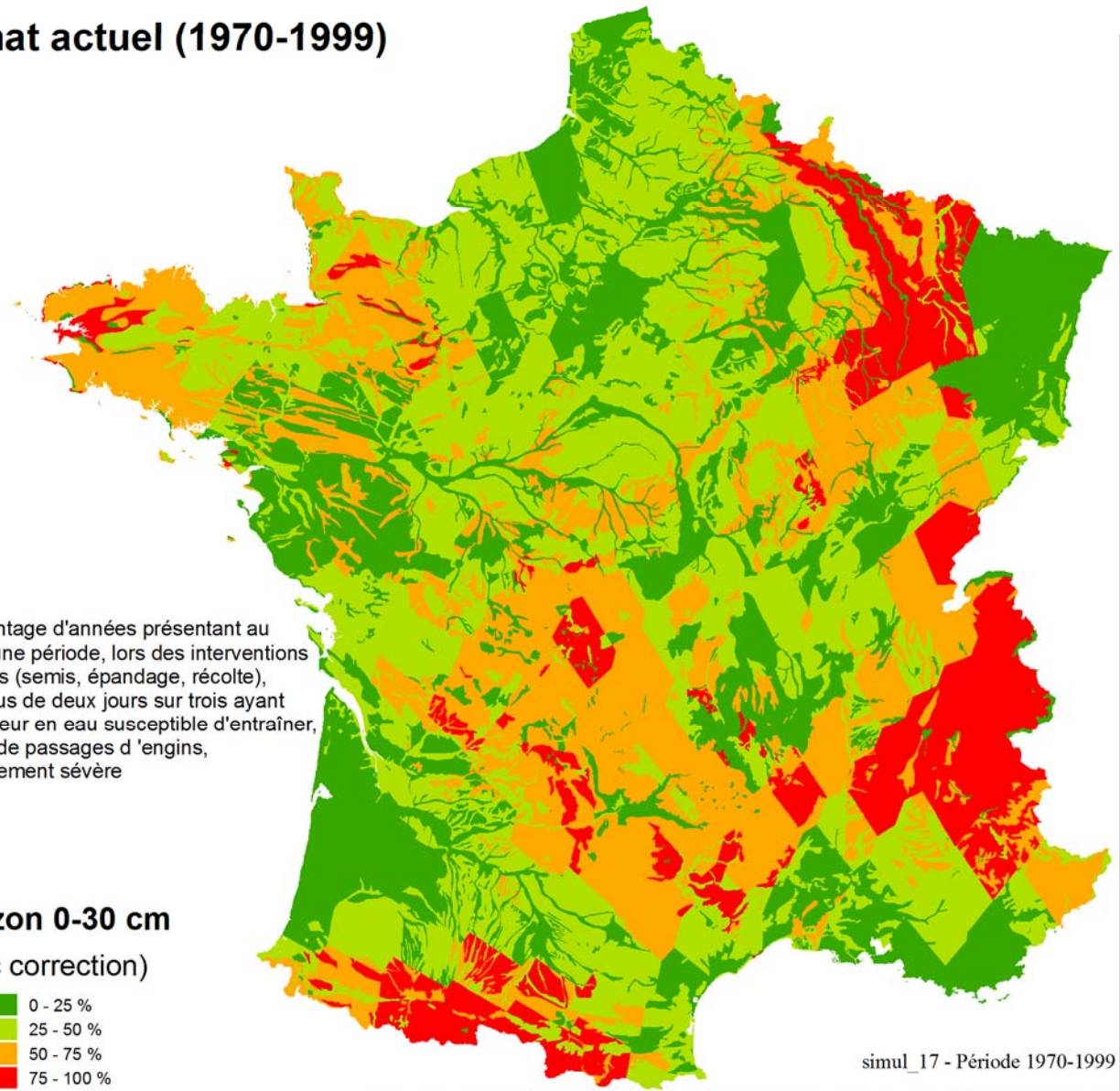


Année

Climat actuel (1970-1999)

Pourcentage d'années présentant au moins une période, lors des interventions sur maïs (semis, épandage, récolte), avec plus de deux jours sur trois ayant une teneur en eau susceptible d'entraîner, en cas de passages d'engins, un tassement sévère

horizon 0-30 cm
(avec correction)



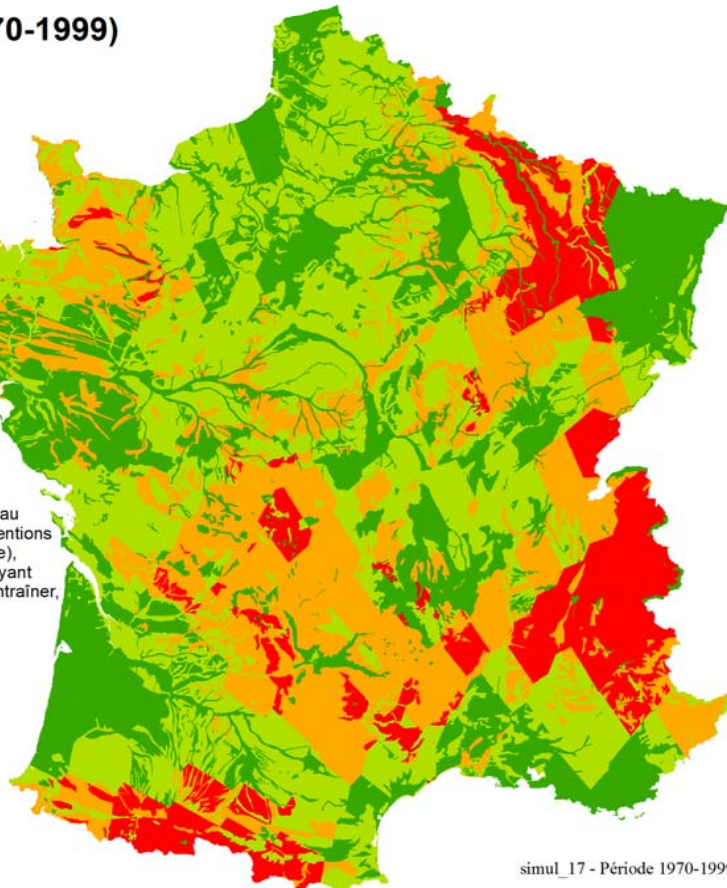
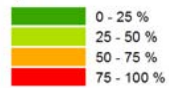
simul_17 - Période 1970-1999

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 14/09/2009 11:04:25 - Utilisateur: couture - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

Climat actuel (1970-1999)

Pourcentage d'années présentant au moins une période, lors des interventions sur maïs (semis, épandage, récolte), avec plus de deux jours sur trois ayant une teneur en eau susceptible d'entraîner, en cas de passages d'engins, un tassement sévère

horizon 0-30 cm
(avec correction)



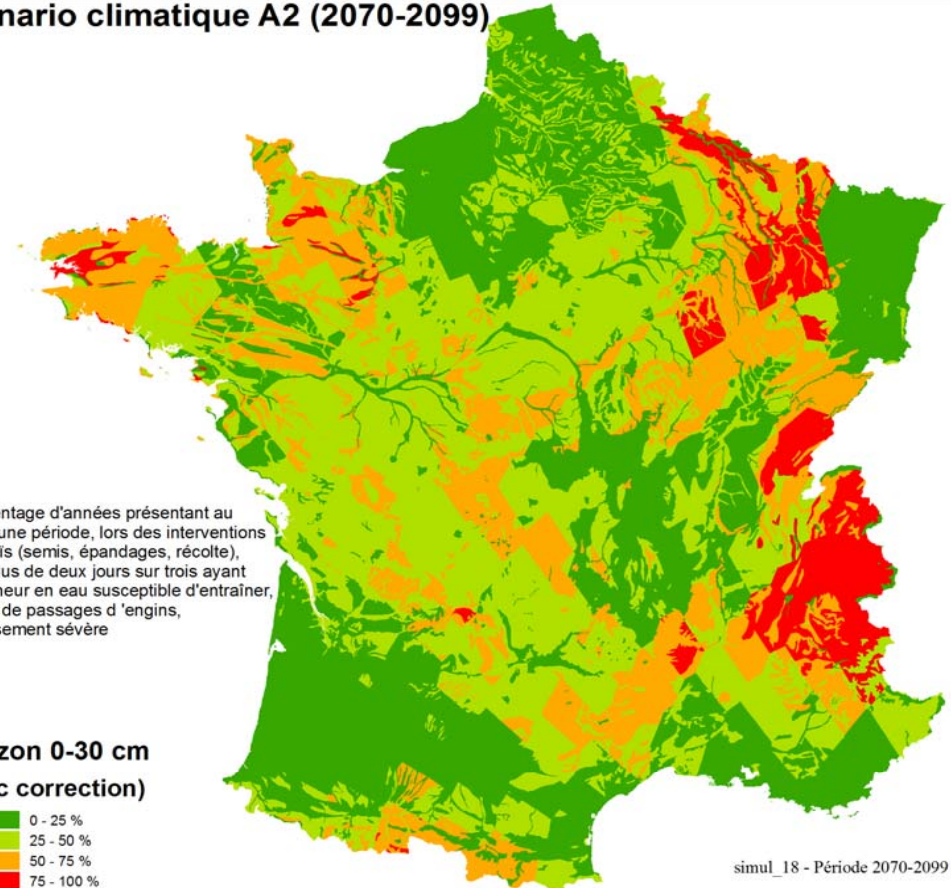
simul_17 - Période 1970-1999

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 14/09/2009 11:04:25 - Utilisateur: couturie - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

Scénario climatique A2 (2070-2099)

Pourcentage d'années présentant au moins une période, lors des interventions sur maïs (semis, épandages, récolte), avec plus de deux jours sur trois ayant une teneur en eau susceptible d'entraîner, en cas de passages d'engins, un tassement sévère

horizon 0-30 cm
(avec correction)



simul_18 - Période 2070-2099

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 14/09/2009 10:02:38 - Utilisateur: couturie - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

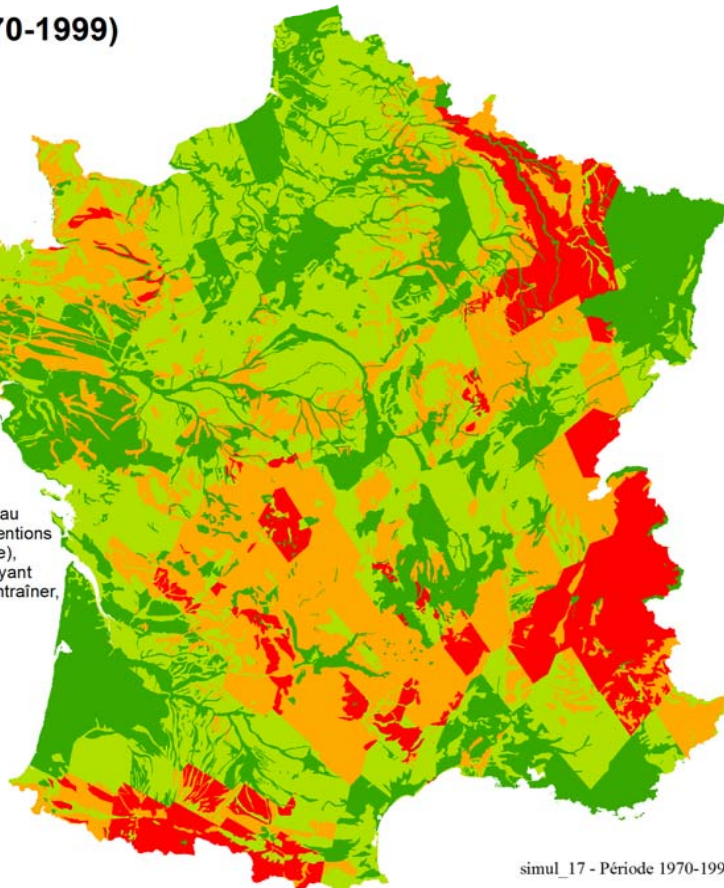
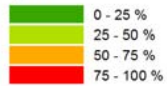
Climat actuel

Climat futur (B2)

Climat actuel (1970-1999)

Pourcentage d'années présentant au moins une période, lors des interventions sur maïs (semis, épandage, récolte), avec plus de deux jours sur trois ayant une teneur en eau susceptible d'entraîner, en cas de passages d'engins, un tassement sévère

horizon 0-30 cm
(avec correction)



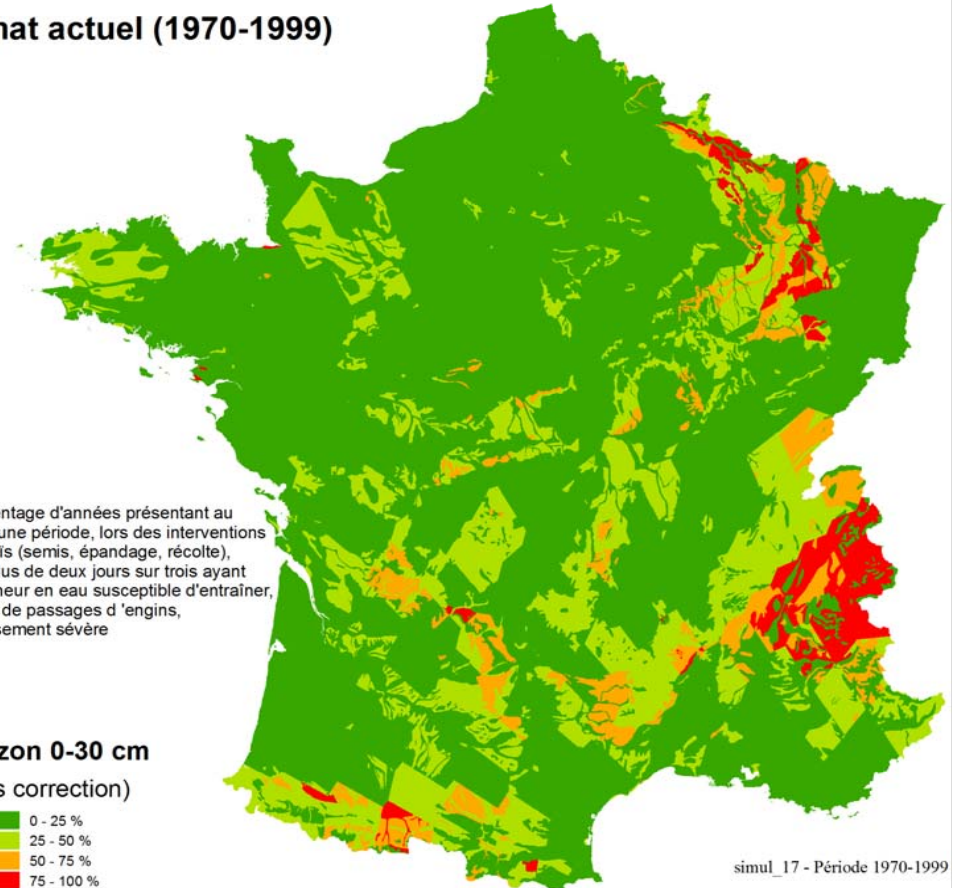
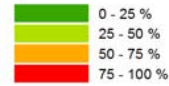
simul_17 - Période 1970-1999

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 14/09/2009 11:04:25 - Utilisateur: couture - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

Climat actuel (1970-1999)

Pourcentage d'années présentant au moins une période, lors des interventions sur maïs (semis, épandage, récolte), avec plus de deux jours sur trois ayant une teneur en eau susceptible d'entraîner, en cas de passages d'engins, un tassement sévère

horizon 0-30 cm
(sans correction)



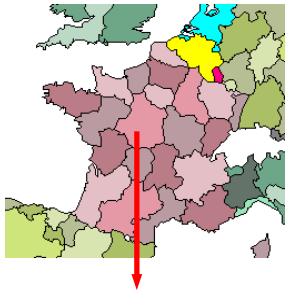
simul_17 - Période 1970-1999

©INRA Orléans, Unité de Science du Sol - Date: 14/09/2009 11:04:25 - Utilisateur: couture - Logiciel: ESRI® ArcGIS/ArcMap

Tri-axial + Oedomètre

Oedomètre

Le modèle économique AROPAj



**GROUPES-TYPES
d'exploitation:**
altitude, orientation
technico-économique

| Artix | | |
|--|--|--|
| Base de donnée | | Application |
| <u>Economiques</u> | <u>Agronomiques :</u> | <u>Simulations STICS</u> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Rendement - Marge Brute | <ul style="list-style-type: none"> - Sols / Climat - Cultures / Variétés | <ul style="list-style-type: none"> - Création fichiers d'entrées - Récupération des résultats dans la BD |

Cas 1 : 100% non tassé
Cas 2 : 100% tassé
Cas 3 : % tassé et % non-tassé :
 marge brute et allocation des terres

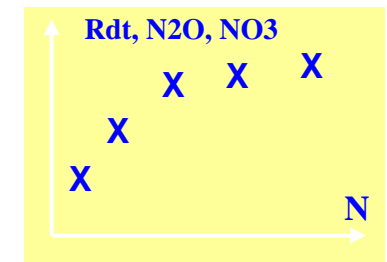
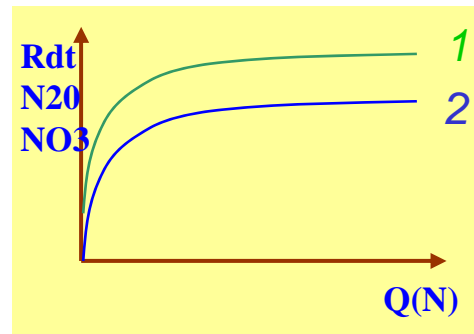
1 culture → 2 courbes
 Sols non-tassé (1) et tassé (2)



AROPAj

A1, B1, t1

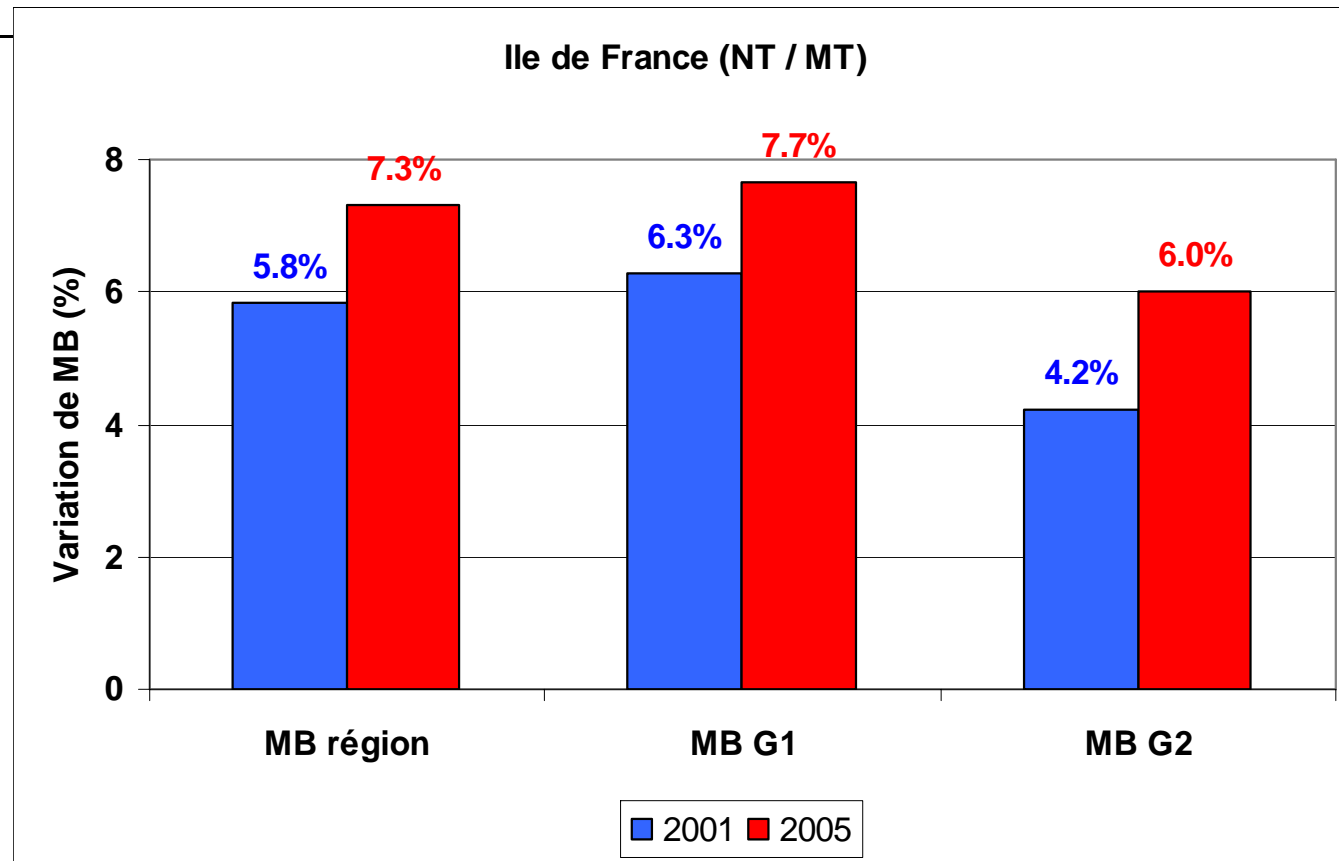
A2, B2, t2



Ajustement (SAS)
 d'une courbe
 exponentielle : A, B, t

Régulation publique

Effets du tassement sur les marges brutes (toutes cultures) au niveau régional

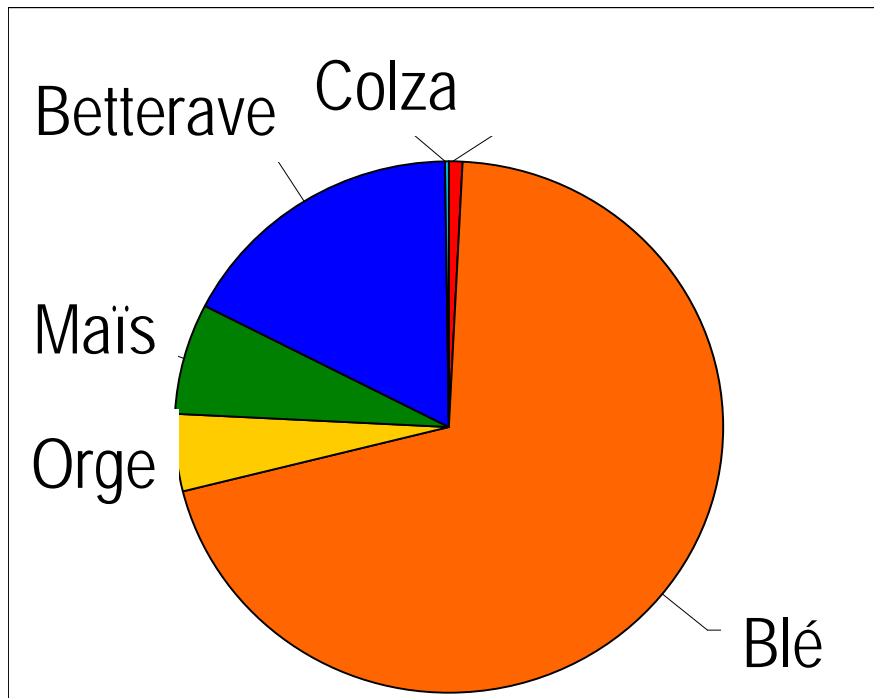


G1: Grandes cultures

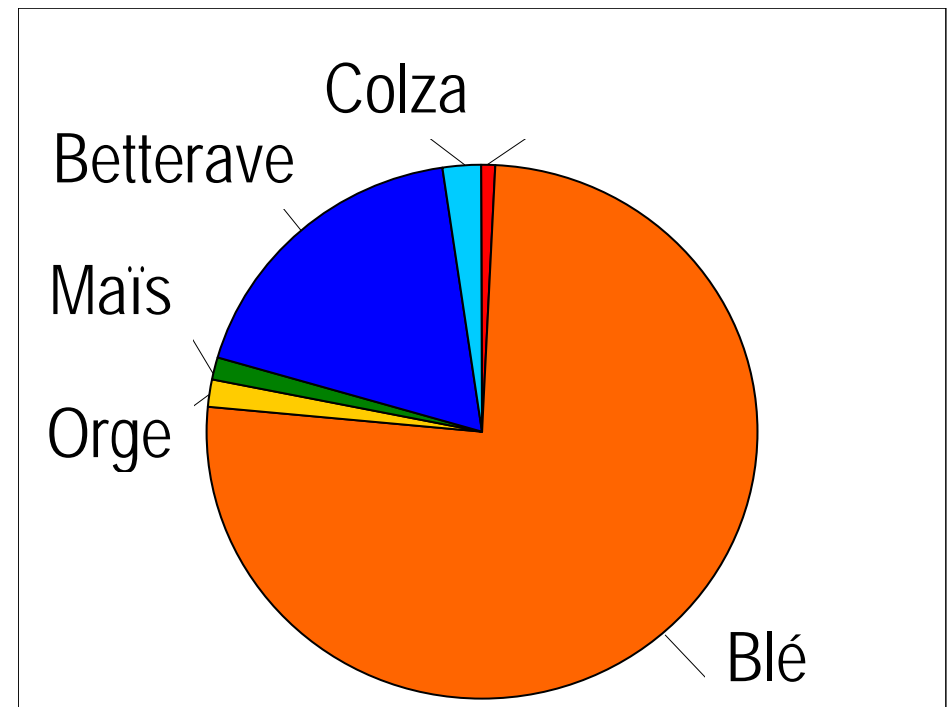
G2 : Polycultures-élevage

Evolution de l'affectation des cultures à l'échelle d'une région (Ile de France)

✓ Sol non tassé



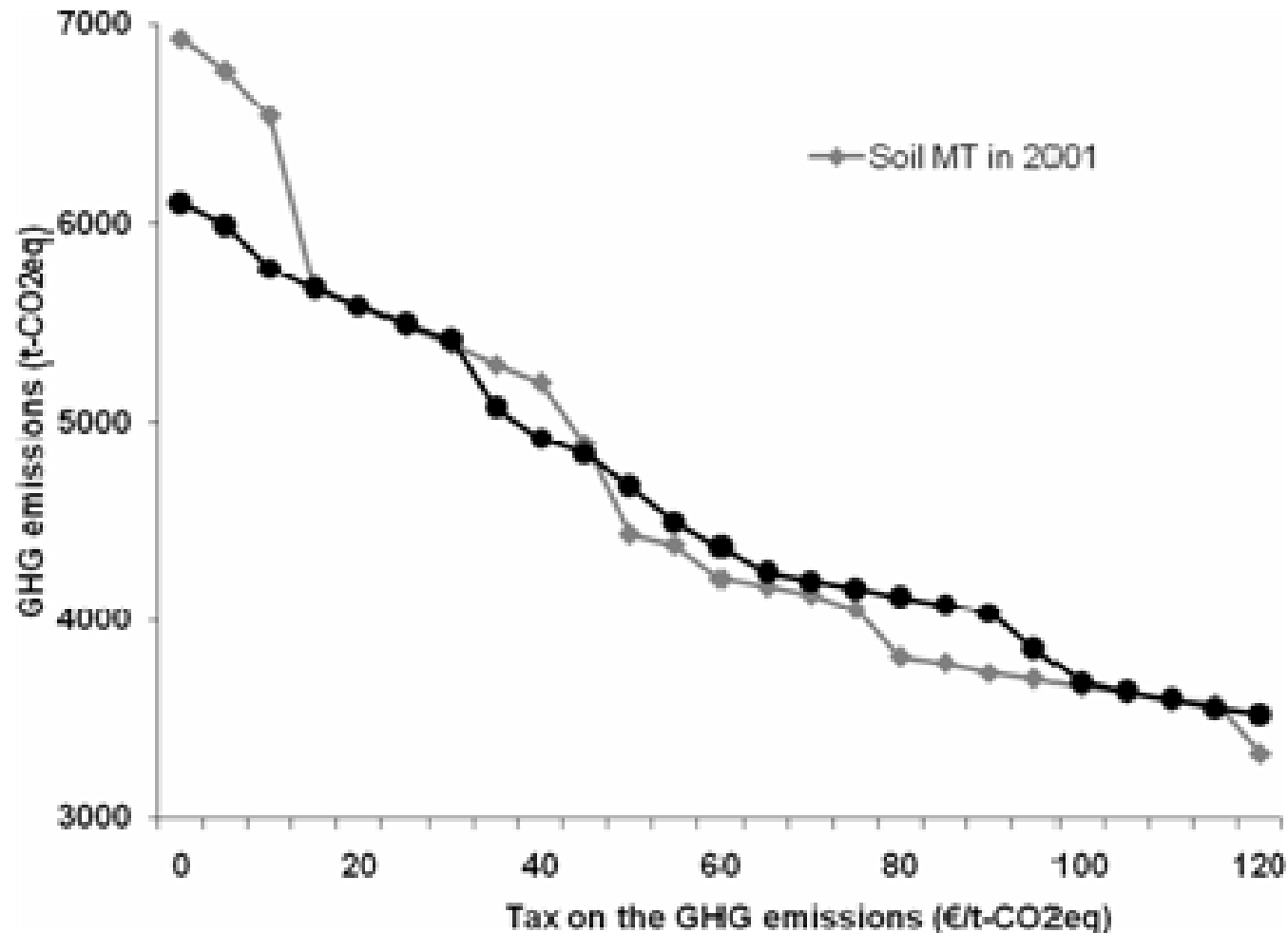
✓ Sol tassé



Quantité de N₂O émis en fonction du niveau de tassement des sols (Région Ile de France)

| | | Non tassé | Très tassé |
|------|--------------|-----------|------------|
| Blé | Année sèche | 0.6 | 21.0 |
| | Année humide | 3.6 | 25.6 |
| Maïs | Année sèche | 0.6 | 24.2 |
| | Année humide | 4.2 | 30.8 |

Quantité de N₂O émis (équivalent CO₂) en fonction d'éventuelles taxes



Rencontres de Blois: les 25 et 26 novembre 2009

« Fertilisation raisonnée et analyse de terre: Quoi de neuf en 2009? »

Conclusion

○ **Le tassement, c'est :**

- Une diminution de la marge brute de l'ordre de 5% avec des conséquences négatives sur l'environnement

- Un risque directement lié à la combinaison « pluie » + « sol » (plutôt texture fine et moyenne/fine)

Conclusion (2/2)

- **Trois directions à poursuivre :**
 - **Systematiser pour toutes les cultures**
 - **Intégrer les risques dans le temps à l'échelle parcellaire**
 - **Mettre en place une démarche de « validation » à partir de mesures de l'état des sols (programme RMQS du GIS SOL) et des propriétés fonctionnelles (projet PePSOL de l'INRA)**



Merci de votre attention.

**Merci à tous les participants au projet DST
Inra, AgroParisTech, ENPC, Université Paris 6,
Université La Rochelle, Arvalis, ITB, CIVC, ONF**

**Merci aux programmes ADD et DST, à l'INRA et
à l'ONF, aux Régions Centre et Picardie**