

# Diagnostic et évaluation de la fertilité des sols

Présentation sur la base des résultats du programme **SolAB** en maraîchage



Jean Michel LHOTE

Station d'expérimentation légumière en Poitou-Charentes



# La prise en compte de la fertilité

Des notions diverses et souvent partielles !

- « Aptitude du sol à assurer de façon durable la croissance des plantes et l'obtention de récoltes.
- La fertilité du sol résulte de la combinaison, de l'interaction de différentes composantes :
  - physiques
  - chimiques
  - biologiques
- Et qui déterminent l'approvisionnement des plantes en éléments nutritifs, les conditions de croissance et le fonctionnement des racines ».

# De nombreux « outils » existent pour évaluer la fertilité des sols

- Différentes techniques ou méthodes :
  - des analyses en laboratoire sans lien direct avec le terrain,
  - des approches « plus globales » intégrant des interventions sur le terrain et des analyses.
- Difficulté de les mettre en œuvre simultanément :
  - question de moyens (temps, coûts...),
  - de pertinence parfois,
  - de possibilité d'exploiter utilement les données.
- D'où la volonté de mettre au point et de valider des méthodes simplifiées d'évaluation de la fertilité  
→ un des axes du programme **SolAB** (CASDAR).

La présentation qui va suivre s'appuie sur ces travaux

# Rappel des objectifs de



1. **Faisabilité** et **durabilité** des modes innovants de **gestion du sol**



2. Construction et validation **d'outils de diagnostic simplifiés de la fertilité**

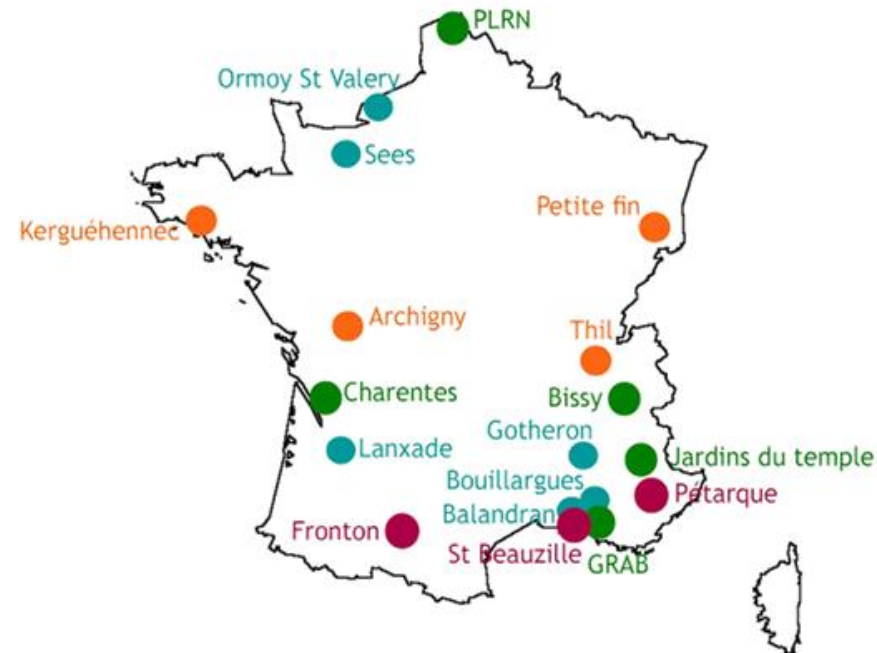


3. **Diffuser** les méthodes et techniques utilisées



# La mise en œuvre : des parcelles d'expérimentation

- Partenariat : 18 sites en réseau dans des systèmes de cultures pérennes et annuelles
- Projet **CASDAR**
- **Durée : 3 ans** (2009-2011)
- Financement **CASDAR**



**4 en Grandes cultures** (+ réseau parcelles)

**5 en Maraichage**

**6 en Arboriculture**

**3 en Viticulture** (+ réseau parcelles)

# 1. Faisabilité et durabilité des modes innovants de gestion du sol

## Une problématique commune

Etude de la **faisabilité** et la **durabilité** :  
évaluation multicritères et multi-sites

### Quels effets sur :

- les cultures,
- les performances énergétiques,
- le temps de travail,
- les adventices,
- **la fertilité des sols ?**

## Des questions spécifiques par système

### Grandes cultures

techniques culturales simplifiées  
(non labour, labour agronomique...)

### Maraîchage

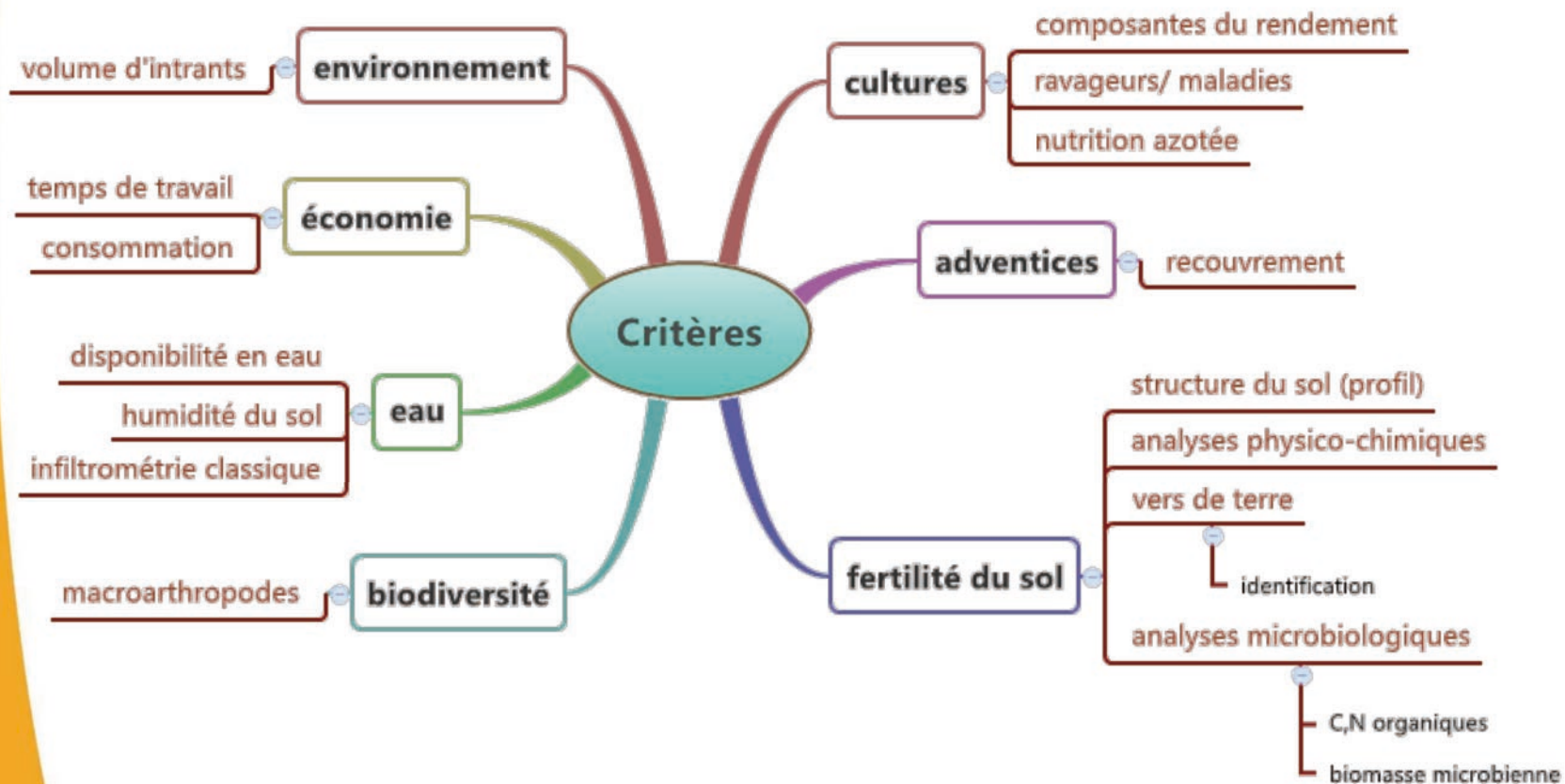
planches permanentes  
et autres techniques culturales simplifiées

### Arboriculture & Viticulture

alternatives à l'entretien mécanique  
sous le rang

# 1. Faisabilité et durabilité des modes innovants de gestion du sol

## Evaluation multicritères



## 2. Validation d'outils de diagnostic simplifiés d'appréciation de la fertilité

- **Objectifs :**

- proposer des outils de **terrain**
- test à partir du réseau d'expérimentation de SolAB
- 3 phases

- **Utilisation :**

- outils **complémentaires** à **répéter** dans le temps
- outil **technique** : comparaison de pratiques culturales
- outil **pédagogique** : approfondir la connaissance du sol

Construction  
&  
test de faisabilité



Validation



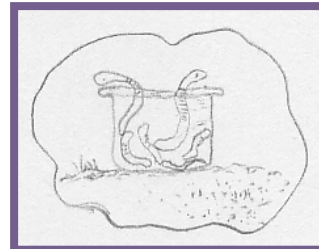
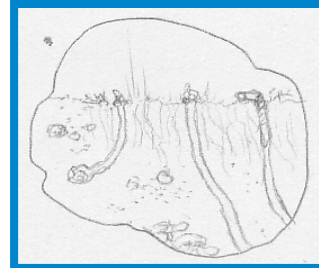
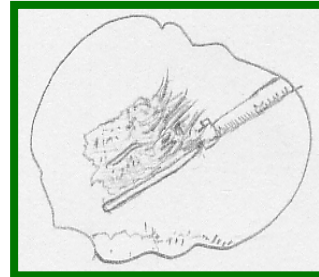
Transfert



## 2. Validation d'outils de diagnostic simplifiés

### 4 outils simplifiés :

- Diagnostic de la **structure du sol** :
  - test bêche
- Bio-indicateurs évaluant l'effet de l'**activité des macro-organismes** du sol sur la structure :
  - dénombrement de macropores
  - infiltrométrie Beer kan
- Bio-indicateur évaluant les **populations de vers de terre** :
  - prélèvement, identification simplifiés de VdT





# Les outils d'évaluation de la fertilité

1

Les outils **existants**  
ou déjà proposés

# Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique

## Analyses « classiques » :

- prélèvements d'échantillons, envoi à un laboratoire, différentes options d'analyses,
- texture, MO, pH, calcaire actif, P2O5, K2O, MgO, CEC ...

Donnent des renseignements généraux utiles mais ne permettent pas toujours de comprendre le fonctionnement de son sol.

| sable (%) | limon (%) | argile (%) | texture | Carbone total  | Azote total | C/N      |
|-----------|-----------|------------|---------|----------------|-------------|----------|
| %         | %         | %          |         | g/kg           | g/kg        |          |
| 56,0      | 35,3      | 8,7        | SI      | 8,6            | 0,66        | 12,9     |
| 58,9      | 32,6      | 8,5        | SI      | 8,2            | 0,74        | 11,1     |
| 57,4      | 33,9      | 8,6        | SI      | 8,4            | 0,70        | 12,0     |
| P2O5      | K2O       | MgO        | Na2O    | Calcaire total | CaO         | CEC      |
| g/kg      | g/kg      | g/kg       | g/kg    | g/kg           | g/kg        | Cmol+/kg |
| 0,207     | 0,100     | 0,118      | <0,010  | 0              | 1,1         | 3,2      |
| 0,208     | 0,105     | 0,154      | 0,010   | 0              | 1,2         | 3,6      |
| 0,208     | 0,103     | 0,136      | 0,010   | 0              | 1,2         | 3,4      |


Exemple de résultats pour 2 prélèvements en Charente

# Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique

## Analyses de fractionnement de la MO :

Dans le projet, analyses réalisées par Célesta-Lab, principe de distinction des :

- MO libres (MO active / 3 à 5 ans) qui participent à :
  - La fertilité biologique : nutrition de la faune et microflore,
  - La nutrition des plante (N-P),
  - La stabilité à court terme
  - La résistance au tassement
- MO liées (MO stable / humifiée > 50 ans) qui interviennent dans :
  - Les propriétés structurantes et de stabilisation des sols,
  - Les propriétés d'échanges (CEC humiques)



# Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique

## Les analyses de la biomasse microbienne permettent théoriquement :

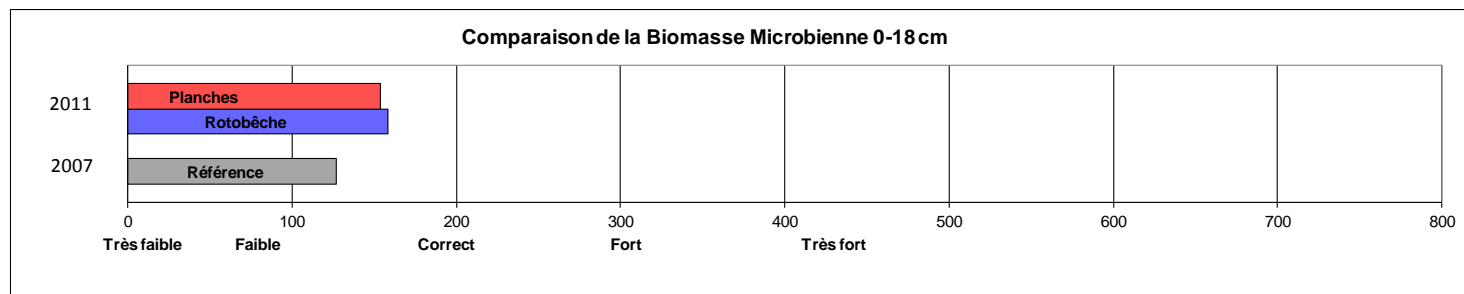
- La mesure directe de la quantité de vie du sol,
- D'apprécier les potentialités de minéralisation,
- D'apprécier la réserve en éléments fertilisants stockés dans la biomasse microbienne,
- De mesurer l'impact des pratiques culturales (exemple de différenciation de travail du sol).

**Cette analyse peut être complétée par l'indice d'activité microbienne (IAM). Mais, lien fort liées aux conditions de milieu (saison, climat, interventions sur la parcelle).**

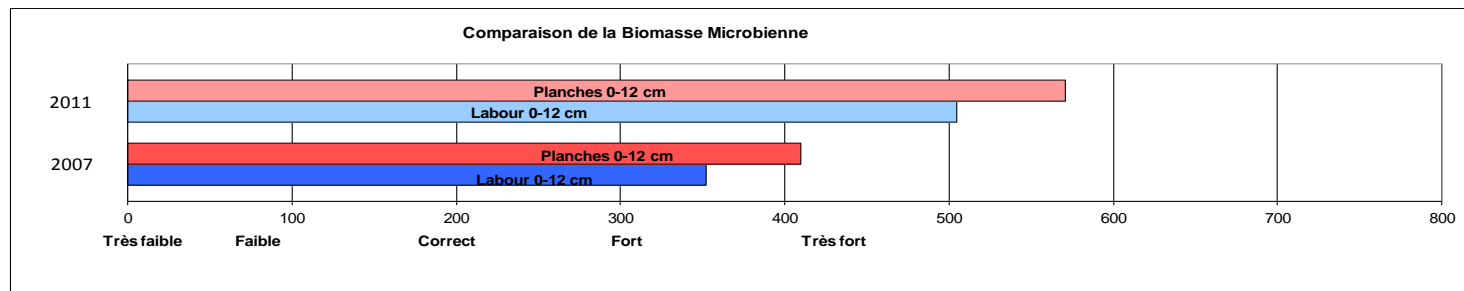
# Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique


## Les analyses de la biomasse, deux exemples (2 types de sol) :

- Sol sableux, faible teneur en MO :



- Sol argilo-calcaire, relativement riche en MO :





Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique

## La réalisation de profils culturaux :

Ne donne pas toutes les clés pour comprendre le fonctionnement du sol, mais l'observation physique du profil culturel est une étape essentielle.



# Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique

## La mise en œuvre de la méthode BRDA Hérody :

- Méthode de plus en plus utilisée en AB (approche globale) prise en compte particulière de la MO, qualité des argiles (et des liens minéraux), la présence de bases alcalino-terreuses (Ca et Mg)...
- Connaître ces paramètres pour estimer le complexe organo-minéral.

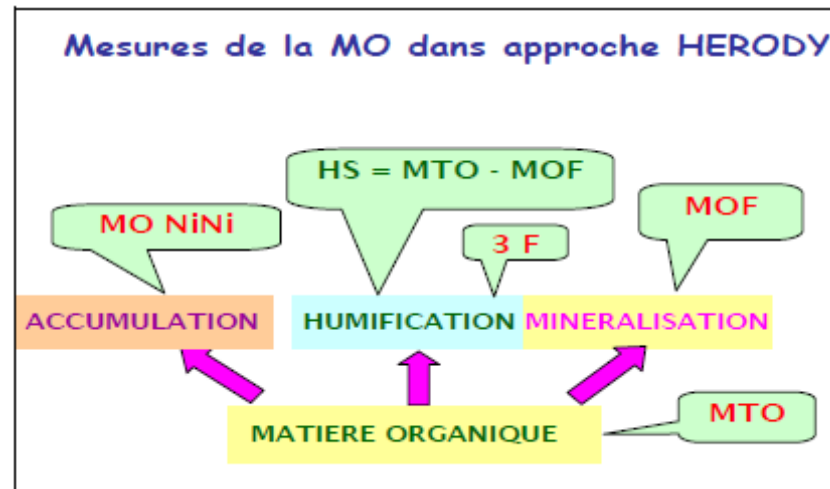
## Les étapes :

- Observer un profil,
- Déterminer la roche mère, l'origine du sol (externe ?),
- Intégrer le climat pour estimer le comportement de la MO,
- Optimiser la fertilité du sol :
  - Choix des amendements,
  - Doser l'apport (et le type) d'apport organique.



# Une approche analytique : disposer des éléments physique, chimique et biologique

## La mise en œuvre de la méthode BRDA Hérody :



|      |                    | MTO  |      | MOF  |      | HSurf |      | 3F   |      | NiNi |      |
|------|--------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
|      |                    | Surf | Prof | Surf | Prof | Surf  | Prof | Surf | Prof | Surf | Prof |
| 2007 | Référence          | 1,8  | 1,4  | 3    | 11   | 1,7   | 1,2  | 0,50 | 0,10 | 165  | 50   |
| 2011 | Labour             | 2    | 1,2  | 20   | 25   | 1,6   | 1,3  | 0,50 | 0,15 | 165  | 60   |
|      | Planche Permanente | 1,7  | 1,4  | 21   | 29   | 0,9   | 1    | 0,50 | 0,15 | 160  | 185  |

Exemple de résultats en Charente, augmentation « NiNi » dans l'horizon profond dans la modalité Planches Permanentes

# D'autres outils ou méthodes d'évaluation :

- L'appréciation de la minéralisation du sol (suivi régulier avec des tests azote « Nitracheck »).
- Les comptages et l'identification de macroorganismes (vers de terre, carabes ...).
- D'autres approches globales comme la « méthode Bourguignon »,\*
- ....

Beaucoup de ces méthodes sont lourdes, exigeantes en temps et en moyens, c'est pourquoi un des objectifs du programme **SolAB** était de concevoir et d'évaluer des **méthodes simplifiées d'évaluation de la fertilité** utilisables en production (par le producteur ou le technicien).



# Les outils d'évaluation de la fertilité

2

Les **nouveaux outils** travaillés  
dans le programme

# Construction et validation d'outils de diagnostic simplifiés

## Le test bêche

- Evaluer la **structure du sol** en lien avec l'élaboration du rendement
- Principe: prélever un volume de sol, observer la **terre fine**, les **mottes**, les **cailloux** sur la bêche et sur la bâche



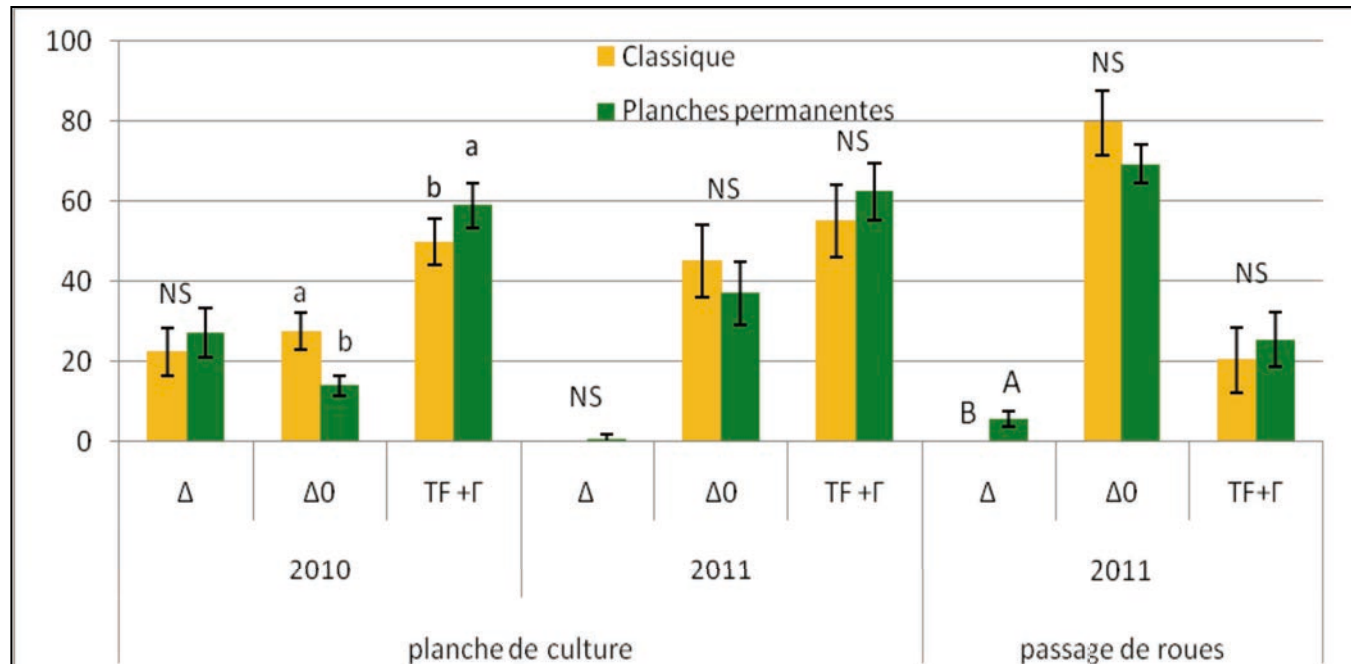
Prélèvement à la bêche



Le volume de sol, sur la bêche puis sur la bâche

Observation de la terre fine, des mottes, des cailloux...

# Le test bêche :



Exemple des travaux du GRAB : « Globalement, les observations issues des tests bêche sont cohérentes avec celles des profils culturaux. La limite est apparue en 2010, où le test bêche ne permettait pas de retranscrire l'hétérogénéité latérale observée sur le profil sur la modalité « PP », en raison d'une largeur d'observation trop réduite avec le test bêche ».

# Construction et validation d'outils de diagnostic simplifiés

## L'infiltrométrie Beer kan simplifiée

- Évaluer la macroporosité et en particulier celle due à l'activité des vers de terre
- Principe : mesurer le temps d'infiltration de l'eau dans le sol



**Chronométrer le temps d'infiltration**



**Une surface plane**



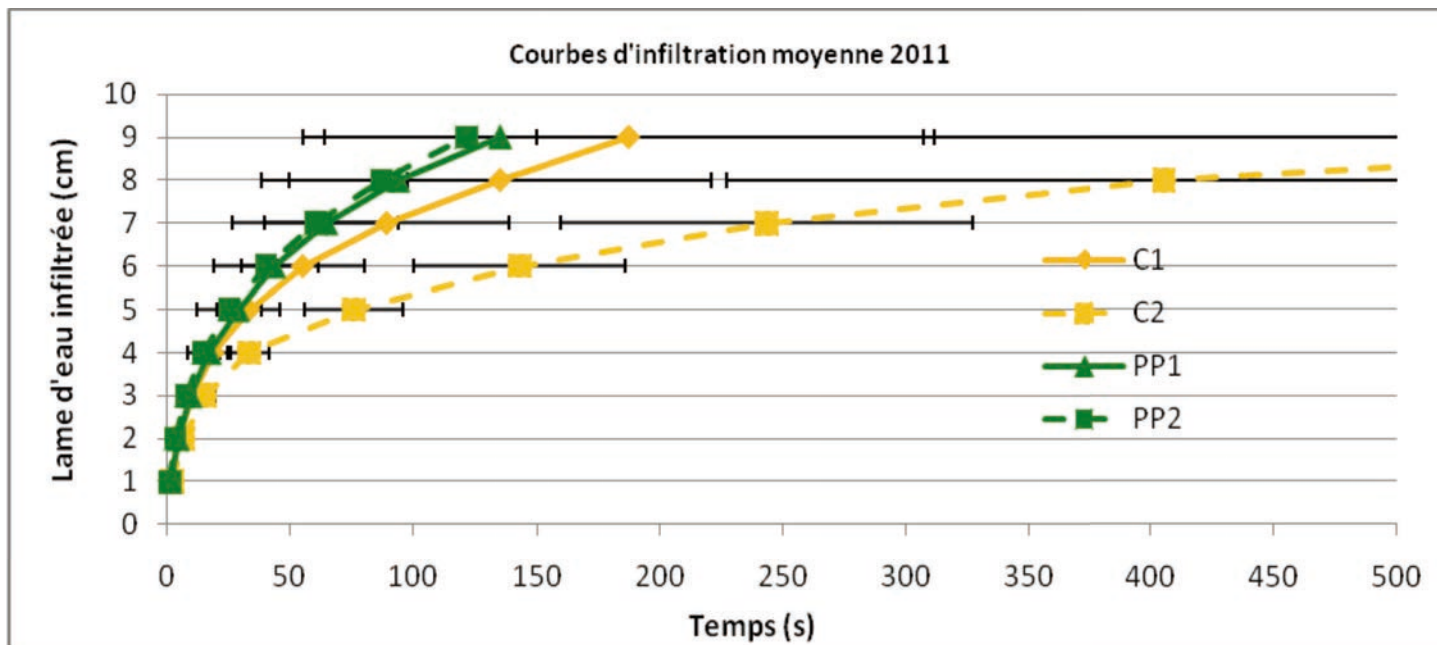
**Enfoncer le cylindre**



**Verser de l'eau...jusqu'à mesurer un temps d'infiltration constant**



# L'infiltrométrie Beerkan simplifiée



Exemple des travaux du GRAB : « La variabilité des mesures persiste au sein de la modalité classique ».  
« L'infiltration est en tendance plus rapide en planche permanente, la différence est statistiquement significative au seuil de 5% à partir de 4cm d'eau infiltrés. Cependant, le volume versé n'est pas suffisant et la saturation du sol n'est pas atteinte, ce qui rend délicate toute conclusion ».

# L'infiltrométrie Beerkan simplifiée

Evaluation de cette technique :  
Exemple des conclusions en  
Poitou-Charentes

## ☺ Atouts

- matériel simple, facilement disponible
- mise en œuvre accessible, améliorations toujours possibles
- compréhension et acceptabilité par les producteurs

## ☹ Contraintes

- effet intervenant (nécessité d'une personne dédiée),
- à réaliser sur une journée (pas de report possible),
- temps nécessaire important, car nécessité de nombreux points de mesure,
- contraintes d'avoir les bonnes conditions de terrain (trop sec/trop humide)
- effet marqué des conditions de terrain (sol non récemment travaillé).



# Construction et validation d'outils de diagnostic simplifiés

## Le comptage de macropores

- Évaluer l'activité des vers de terre sur la structure du sol
- Principe: à partir d'un profil ou d'une mini fosse, compter les macropores ( $\text{Ø} > 3\text{mm}$ ) à mi profondeur ou en profondeur



Dégagement sur profil cultural



Comptage sur mini fosse

# Construction et validation d'outils de diagnostic simplifiés

## Le prélèvement et la détermination simplifiée de vers de terre

- Évaluer les populations de vers de terre
- Principe : trier manuellement les vers de terre d'un volume de sol et déterminer leur groupe fonctionnel



Trier manuellement les vers de terre

Épigés



Anéciques

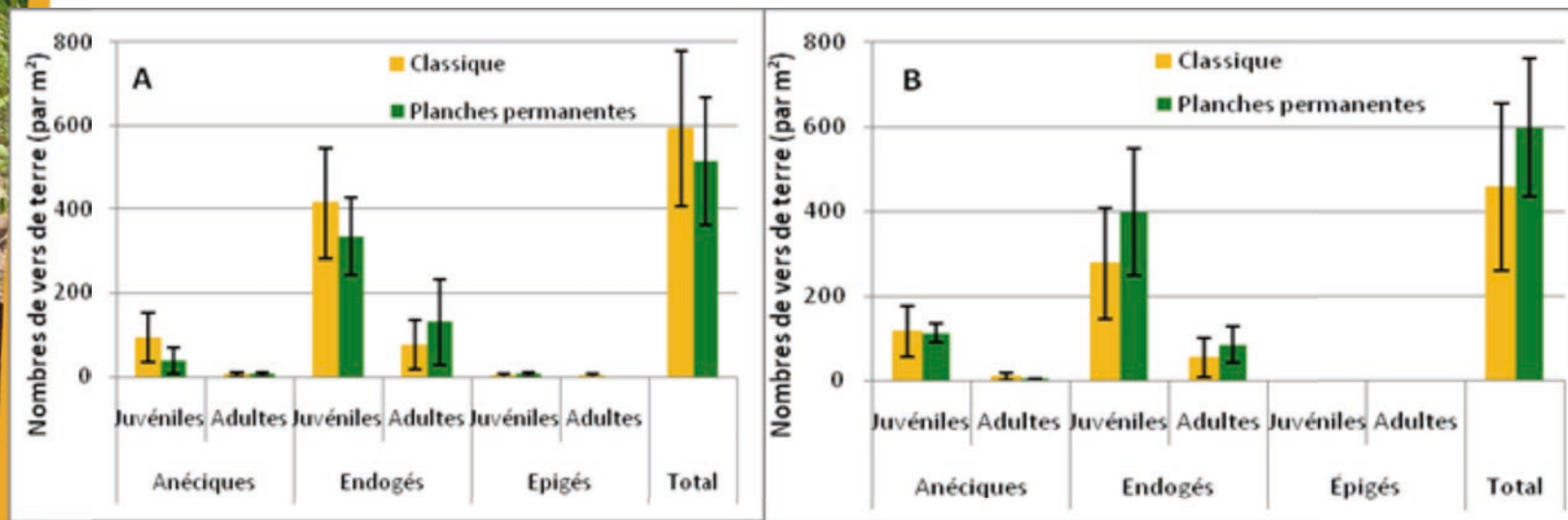


Endogés



Déterminer les groupes écologiques en fonction de la couleur, de la taille, du comportement

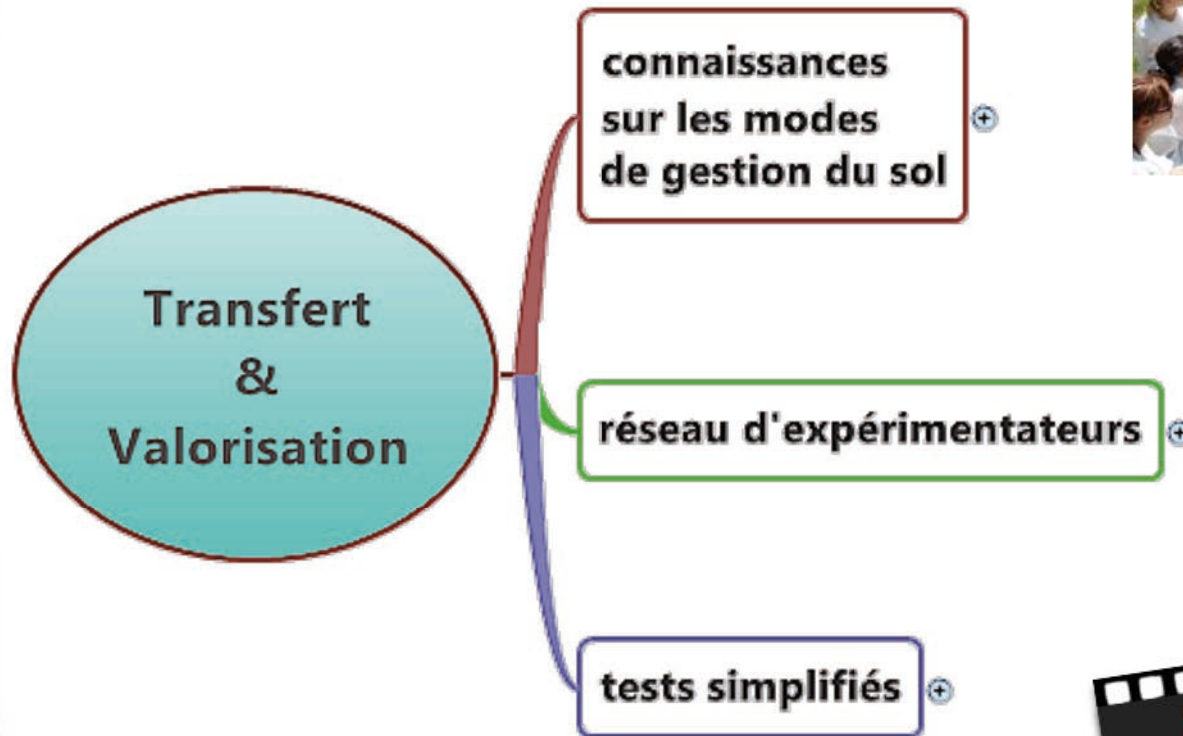
## Le prélèvement et la détermination simplifiée de vers de terre



**Graphique 13** : Nombres de vers de terre par catégorie écologique A) en 2010 et B) en 2011

Exemple des travaux du GRAB : « En 2010 et 2011, il n’y a pas de différence significative de nombre de vers de terre, ni par catégorie écologique, ni en nombre total, à cause de la très forte variabilité des mesures. La tendance observée est différente en 2010 et 2011, où le nombre de vers de terre est respectivement plus élevé en C puis en PP, la différence étant due aux endogés. »

# 3. Diffuser les méthodes et techniques utilisées



# Publication de fiches techniques sur ces méthodes simplifiées



## Observer la structure du sol

La structure du sol est une composante clé de la fertilité. Elle joue un rôle sur la circulation de l'eau, de l'air et de la chaleur et aussi un rôle de support des cultures via le développement racinaire des plantes. La structure du sol est en perpétuelle évolution sous l'influence du climat, de la faune et de la flore du sol ainsi que de l'activité agricole (pneumatiques d'engins et outils de travail agricole). Il est important de la connaître et de la décrire afin de diagnostiquer son état et ainsi orienter les choix et les pratiques culturales (travail du sol, apport de matière organique...). Etude dans le cadre du projet SolAB, le test bêche permet de suivre la structure du sol.

### Contenu de la fiche outil :

- Principe du test
- Intérêts du test
- Protocole détaillé
- Test en images
- Test en pratique

### Le principe du test

Il s'agit de diagnostiquer l'état de la structure du sol à partir d'une bêche de sol, c'est-à-dire un volume de sol prélevé à la bêche. La réalisation de ce test est simple et peu destructive. À l'aide d'une bêche, le test consiste à prélever une bêche à observer. Il s'agit d'examiner d'abord la tenue du bloc de terre prélevé puis, en fractionnant progressivement le bloc, d'observer les racines, les cailloux, la terre fine, les mottes et leur mode d'assemblage. Au préalable, il est possible de réaliser une observation de la surface du sol.

Le test bêche est un outil simplifié inspiré du Profil Cultural. Le profil peut être effectué pour compléter le diagnostic du test bêche. En suivant les étapes du protocole (Gautronneau et Manichon, 1987), le repérage dans l'espace des observations permet d'évaluer avec précision l'impact du passage de pneumatiques et d'outils de travail du sol sur la structure en lien avec les caractéristiques pédologiques du sol. Le profil cultural est un outil de terrain riche en informations mais qui nécessite généralement l'intervention d'un expert pour obtenir des observations détaillées et pointues. De plus, c'est une méthode plus destructive (taille de la fosse) et gourmande en temps (creuser, observer, reboucher). En alternative au profil, le test bêche permet de suivre régulièrement et plus facilement l'évolution de la structure du sol sur les premiers horizons travaillés.

### Intérêts du test

La structure du sol résulte de la façon dont sont associés les constituants élémentaires d'un sol. Selon les associations, on peut définir le mode d'assemblage des mottes (Figure 3 et 4), c'est-à-dire de caractériser la structure. En suivant les étapes du diagramme ci-contre, évaluer l'état de fragmentation du volume de sol. Pour compléter les observations sur la fragmentation, compter le nombre de blocs se formant à la fragmentation, directement ou après une légère pression. (Figure 5)

Le test bêche permet de diagnostiquer la structure du sol à travers ses différents constituants élémentaires (racines, cailloux, terre fine, mottes...). Connaître la structure du sol constitue un facteur explicatif du développement des cultures et de l'élaboration du rendement. Le test bêche est donc un outil contribuant à l'évaluation des pratiques culturales par l'agriculteur. La force du test bêche réside dans sa simplicité. C'est un test très visuel et pédagogique permettant d'acquérir des informations qualitatives sur le sol. Les résultats du test bêche forment une première étape dans l'évaluation du fonctionnement d'un sol. Chacun peut s'approprier l'outil et créer ses propres références dans un contexte pédoclimatique donné. La réflexion peut ensuite être complétée par un diagnostic plus approfondi avec le profil cultural.

Dans une approche globale du sol, les résultats de ce test, indiquant seulement une caractéristique propre au sol, sont à croiser avec ceux d'autres indicateurs de la fertilité du sol (physique, chimique, biologique). La compréhension du sol dans son ensemble est la clé pour prendre des décisions techniques adaptées.

### Etape 2 : prélever le volume de sol

#### 1. Evaluer le tassement global du sol sur la parcelle

Cette étape, facultative, vise à évaluer le tassement du sol d'une parcelle, permettant ensuite de conforter les observations visuelles faites sur le bloc. Avant de prélever le sol, on peut déjà repérer des couches plus tassées. Dans l'idéal, utiliser un pénétromètre : il s'agit d'une tige rigide liée à un manomètre qui mesure la pression nécessaire pour enfoncer manuellement la tige et passer au travers des différentes couches de sol. Comme dans ce cas il est plus important de sentir plutôt que de mesurer précisément le tassement, le pénétromètre peut être remplacé par une simple tige métallique. En enfonçant la tige dans le sol, mesurer à quel(s) profondeur(s) il est plus difficile à pénétrer. On peut aussi ressentir la pression manuelle de labour.

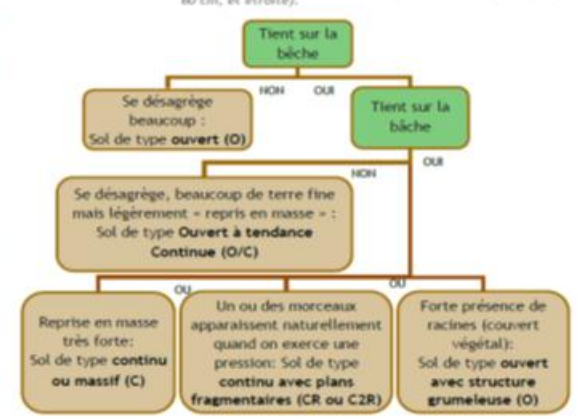
#### 2. Un prélèvement simple et rapide

À l'aide d'une bêche, prélever un volume de sol formant une surface carrée d'une bêche (côté environ 20x20 cm<sup>2</sup>) et aussi profonde que possible (20 à 40 cm). Il est conseillé de réaliser, au préalable, une prétranchée d'une largeur d'une bêche (soit un volume de 20x20x30 cm<sup>3</sup>), qui facilite ensuite le dégagement du bloc à analyser. Prélever le volume de sol à partir d'un des côtés de la prétranchée (Figure 1 et 2). Pour récupérer le bloc par effet levier, prédecouper les côtés du bloc avec la bêche.

Dans les sols trop caillouteux, l'extraction d'un bloc est plus difficile (voire impossible). Il est alors possible de remplacer la bêche par une fourche bêche. Dans les autres cas, la bêche reste l'outil idéal afin de ne pas perdre de sol entre les dents de l'outil. Afin d'aller vraiment en profondeur (sous la semelle de labour par exemple), il peut être judicieux d'utiliser une bêche de drainage (bêche longue, jusqu'à 60 cm, et étroite).

Extrait d'une fiche

### Diagramme de l'état de fragmentation du volume de sol



### Test en images (suite) :



Figure 4 : Observer la tenue de la bêche sur la bêche puis sur la bêche. Figure 5 : Observer la fragmentation des blocs. Figure 6 : Observer l'état interne des mottes. Figure 7 : Estimer la proportion de cailloux, de terre fine et de chaque type de motte.

Le projet SolAB porte sur la gestion des sols et son impact sur la fertilité dans les systèmes de Grandes Cultures, Maraîchage, Arboriculture et Viticulture. Ce projet s'appuie sur un réseau de 24 partenaires et 18 sites expérimentaux en France.



Différents modes innovants de gestion des sols sont étudiés : les techniques culturales simplifiées (TCS) en Grandes Cultures, les planches permanentes et autres TCS en Maraîchage et les alternatives à l'entretien mécanique sous le rang en Arboriculture et Viticulture. La faisabilité et la durabilité de ces modes de gestion innovants du sol sont évaluées par le suivi de différents critères.

Pour évaluer la fertilité des sols, plusieurs outils de diagnostic simplifiés utilisables en Grandes Cultures, Maraîchage, Arboriculture et Viticulture sont proposés : le test bêche pour évaluer la structure du sol et trois bio-indicateurs liés aux populations ou à l'activité des vers de terre.

Les acquis du projet sont partagés à travers des démonstrations et des manifestations sur les sites ou bien grâce aux divers supports techniques (vidéos, guides et protocoles techniques) produits par les partenaires du projet SolAB.



# Quelques éléments de discussion

Cette présentation ne pouvait pas être exhaustive des méthodes d'évaluation de la fertilité d'un sol : nombreuses et souvent complémentaires.

La réalisation d'analyses permet de disposer de données qu'il est nécessaire de compléter par des observations de terrain (approche plus globale).

Les méthodes « simplifiées » sont des outils complémentaires, souvent pédagogiques et plus facilement accessibles, mais encore imparfaits et qui ne peuvent pas remplacer les outils « classiques ».

Une meilleure connaissance du fonctionnement de « ses sols » permet d'adapter les conduites (apports de MO, le travail du sol...) et de **nourrir durablement son sol pour nourrir la plante.**



**Merci de votre attention**

