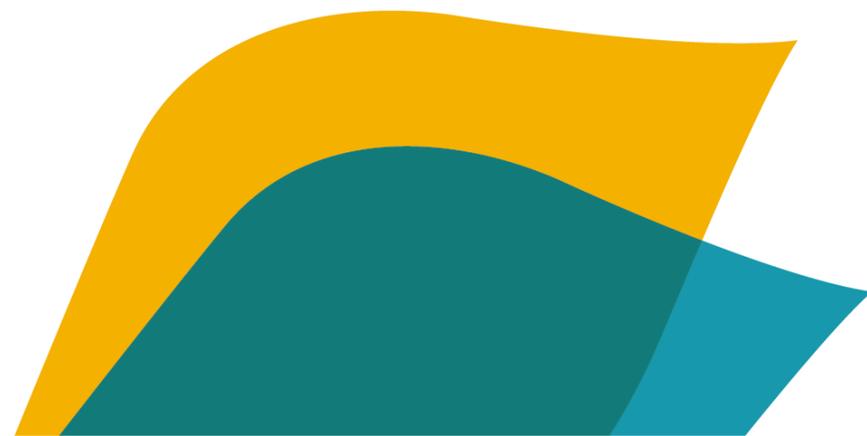


The logo for ARVALIS features a stylized leaf icon on the left, composed of overlapping yellow, teal, and blue shapes. To the right of the icon, the word "ARVALIS" is written in a bold, teal, sans-serif font. A thick teal horizontal line is positioned below the text, tapering off to the right.

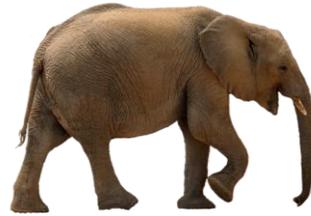
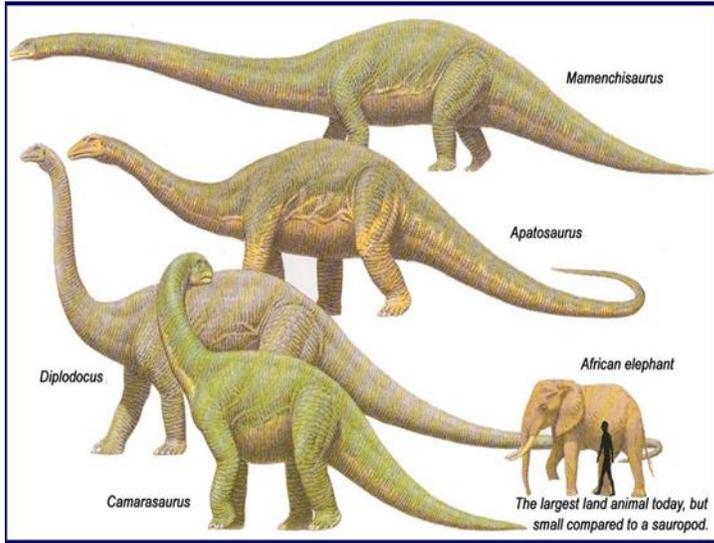
**ARVALIS**



# Préserver la structure de vos sols

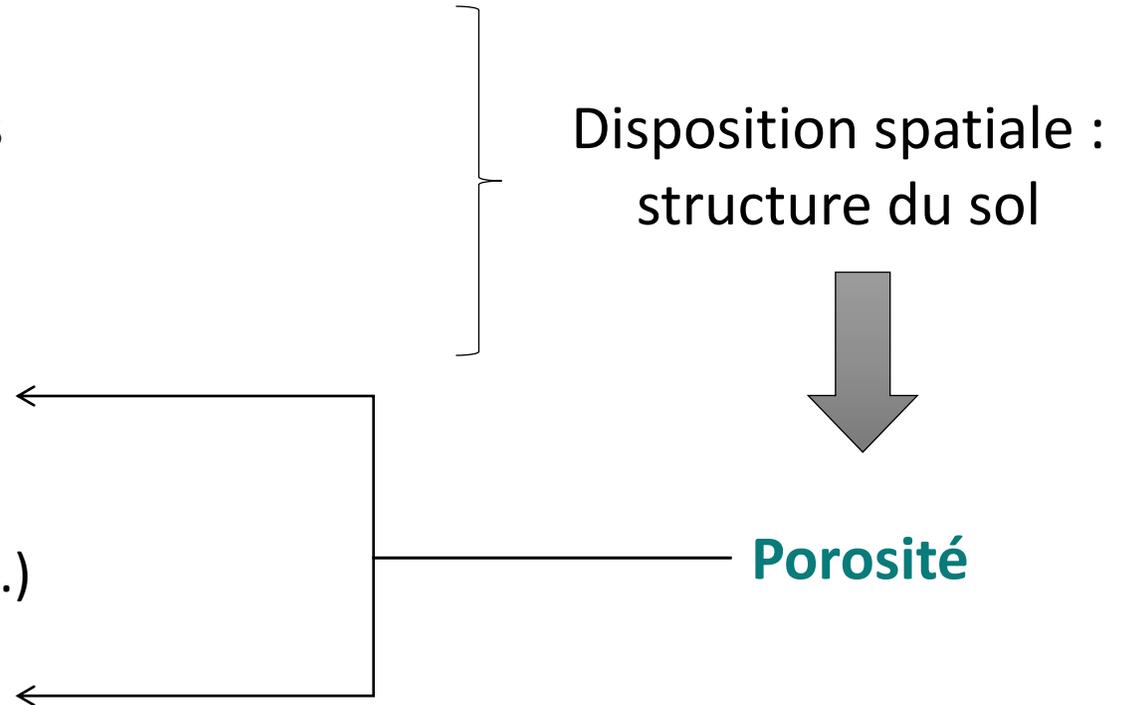


# Qui tasse le plus ?



# Constituants et structure du sol

- Phase solide:
  - Minéraux: argiles, limons et sables
  - Matière organique
  - Éléments grossiers
- Phase liquide:
  - Eau
  - Éléments dissous (N, P, K, S, MG, ...)
- Phase gazeuse:
  - Air: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, ....
- Organismes vivants



# Importance de la structure du sol :

## Structure du sol



Activité  
biologique



Fonctionnement  
hydrique du sol



## Sol type limon-argileux (sur 100 cm)

RU max	123 mm
RU sol tassé	111 mm

Exemple de modélisation à partir de fonction de pédotransfert  
ARVALIS adaptée d'après Bruand (2004), Bouthier (2014)

Les mottes et sols  
compactés ont une  
capacité de stockage  
d'eau plus faible

# Importance de la structure du sol :



Activité biologique



Fonctionnement hydrique du sol



Implantation et enracinement des cultures

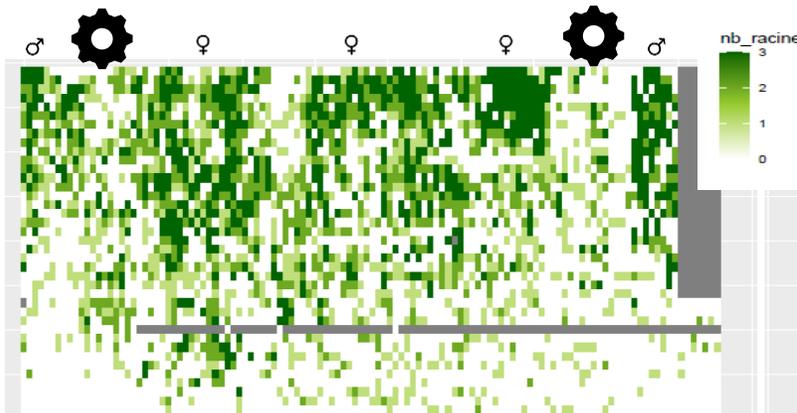


# Conséquences des tassements sur l'enracinement

- Exemple d'un maïs semence

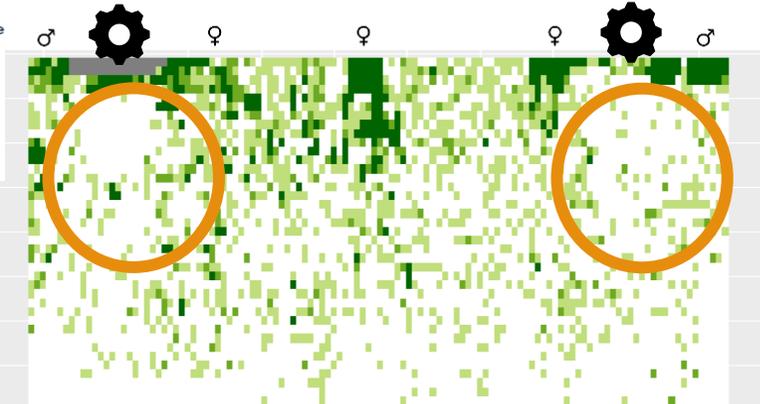
Semis en deux passages

→ faible tassement sous les roues



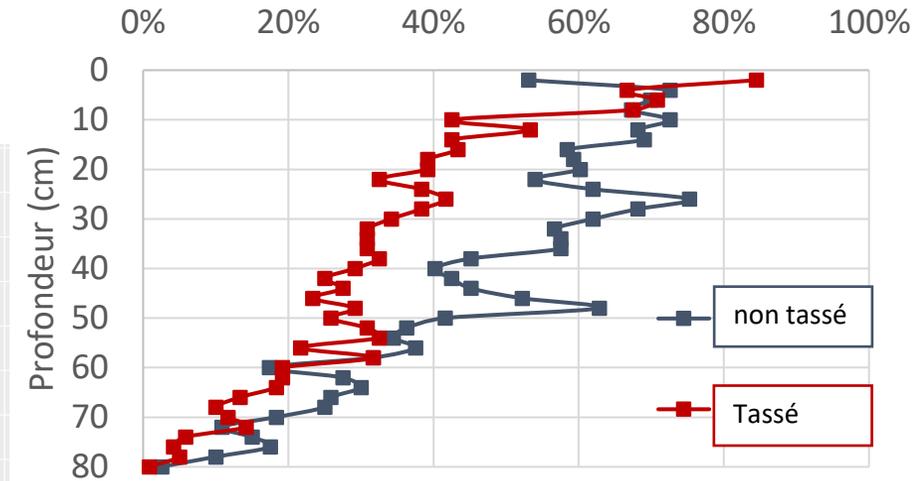
Semis en plusieurs passages et en mauvaises conditions

→ fort tassement sous les roues



Zones pas ou peu explorées sous les passages de roues

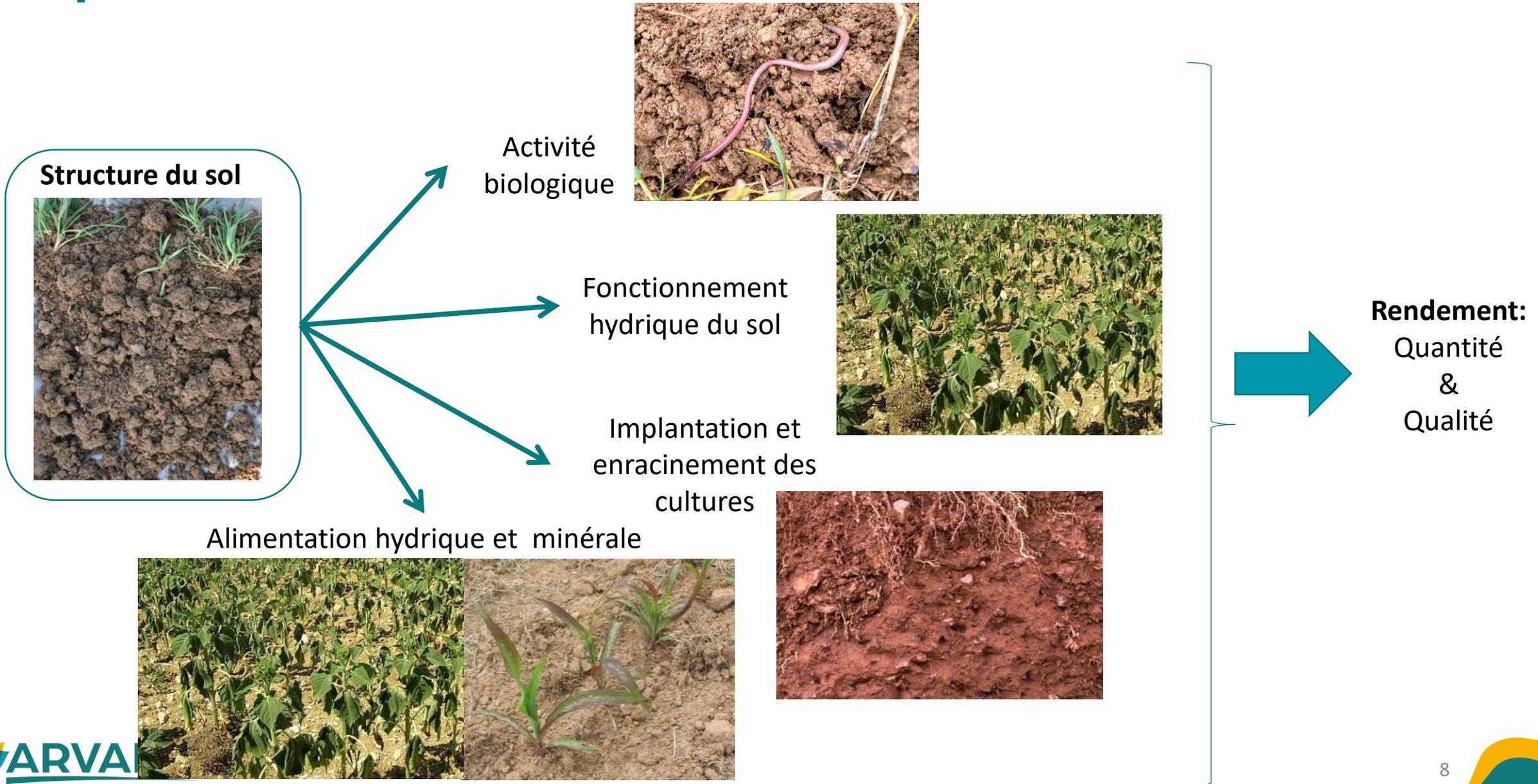
Taux de colonisation racinaire



Taux de colonisation racinaire : Profil tassé au semis << profil non tassé



# Importance de la structure du sol :



# Conséquences des tassements sur la production

Culture	Pertes de rendement indicatives
<b>Blé</b>	<b>Limitées, sauf excès d'eau ou sécheresse</b>
<b>Maïs</b>	<b>Eviter en priorité une rupture de densité entre deux horizons</b>
- <b>Ensilage</b>	<b>30 à 35%</b>
- <b>Grain&amp;Semence</b>	<b>15 à 25%</b>
<b>Luzerne</b>	<b>10 % à 30% sous les roues; 1 à 3% à l'échelle de la parcelle (selon la taille du matériel)</b>
<b>Pomme de Terre</b>	<b>30 % sous les passages de roues 5 à 15% à l'échelle de la parcelle</b>



**Plus le cycle de la culture est court, plus l'impact du tassement est important**

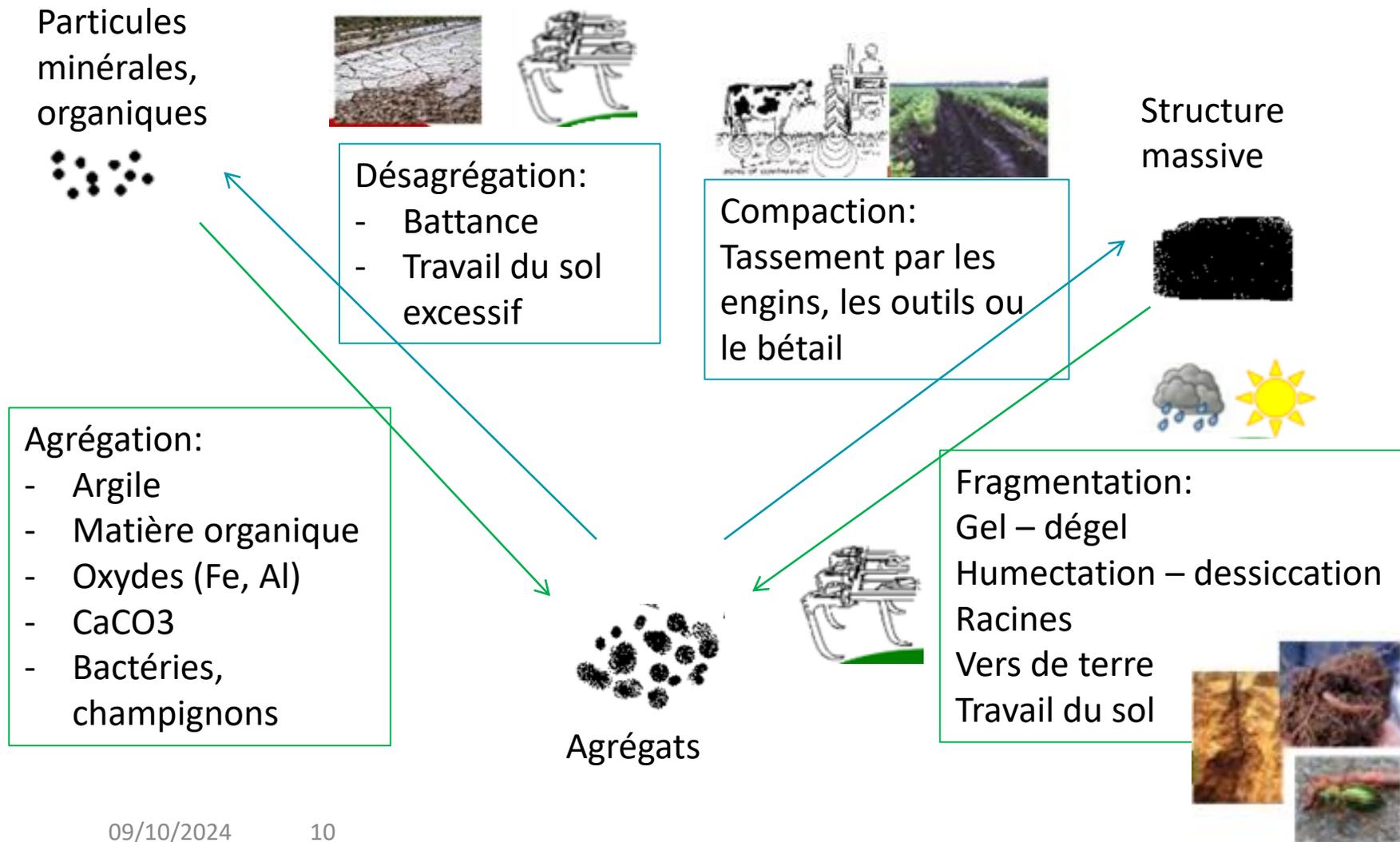
*Blé, maïs grain, maïs ensilage : Essais Arvalis à Boigneville (91), La Jaillière (44) et Montesquieu Lauragais (31).*

*Maïs semence : essais Arvalis-FNPSMS à Etoile sur Rhône.*

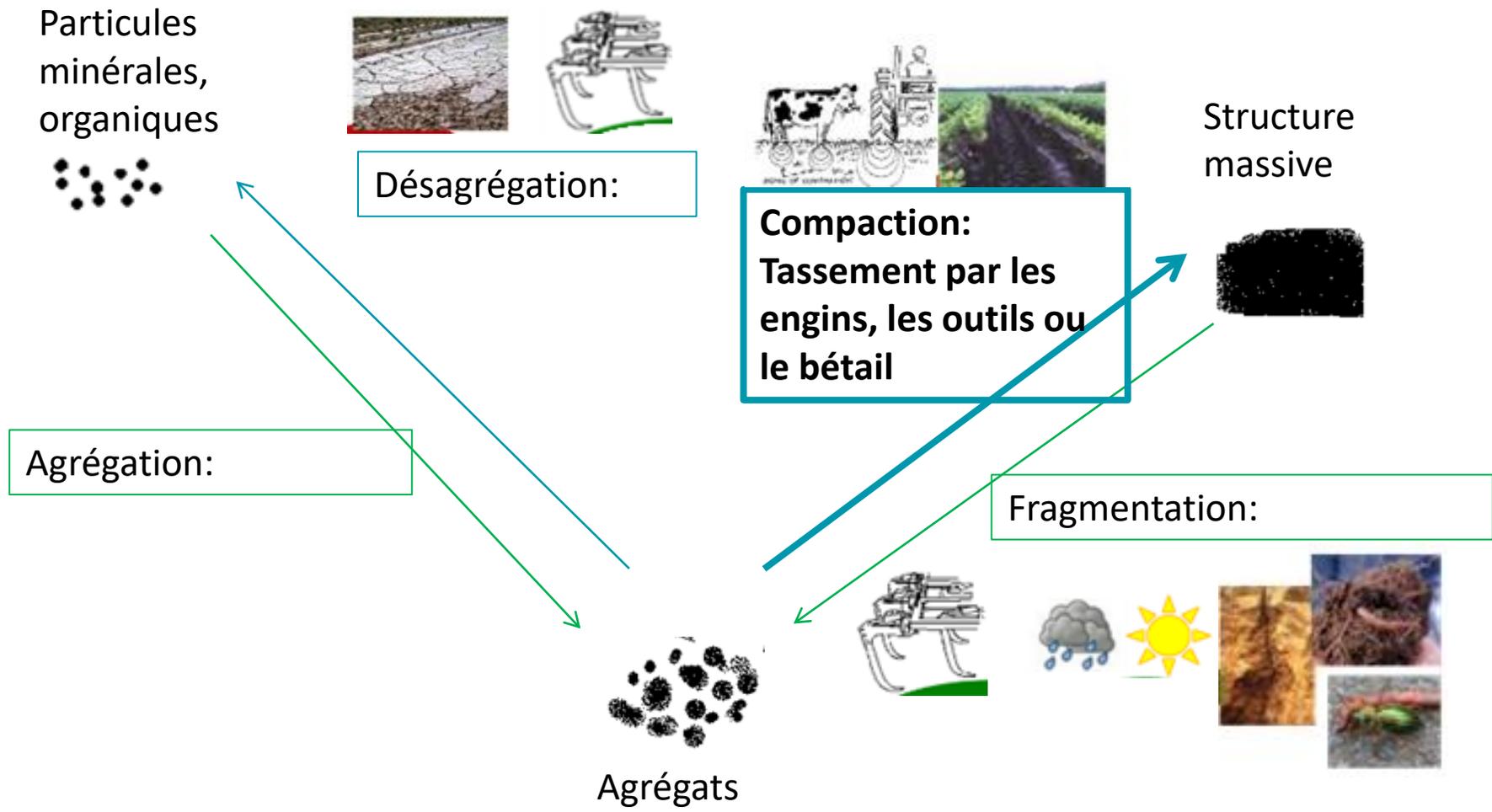
*Pomme de Terre: essai Sol-D'Phy. Luzerne: Beaudoin et Thiébaud, 2007; INRAE – Fourrages.*



# L'état structural: un équilibre fragile

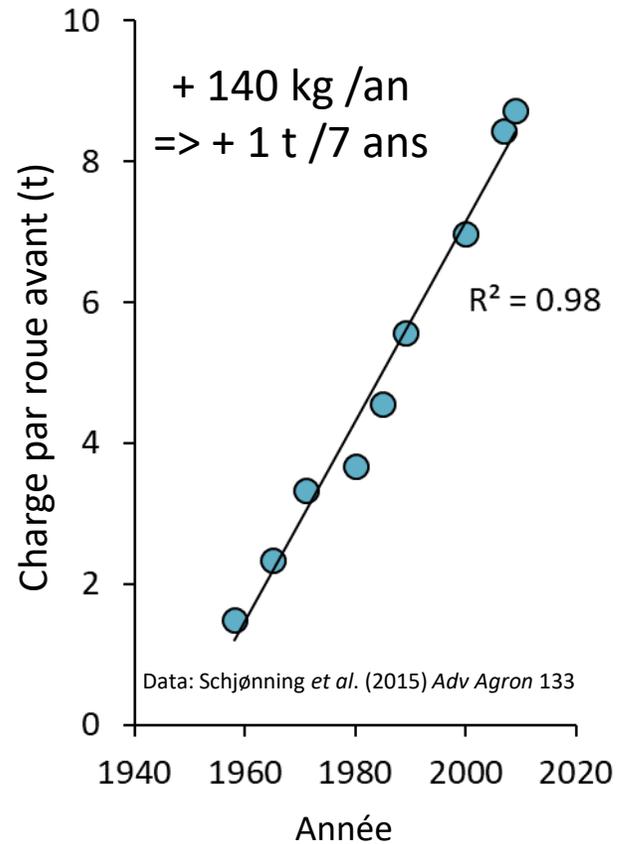


# L'état structural: un équilibre fragile

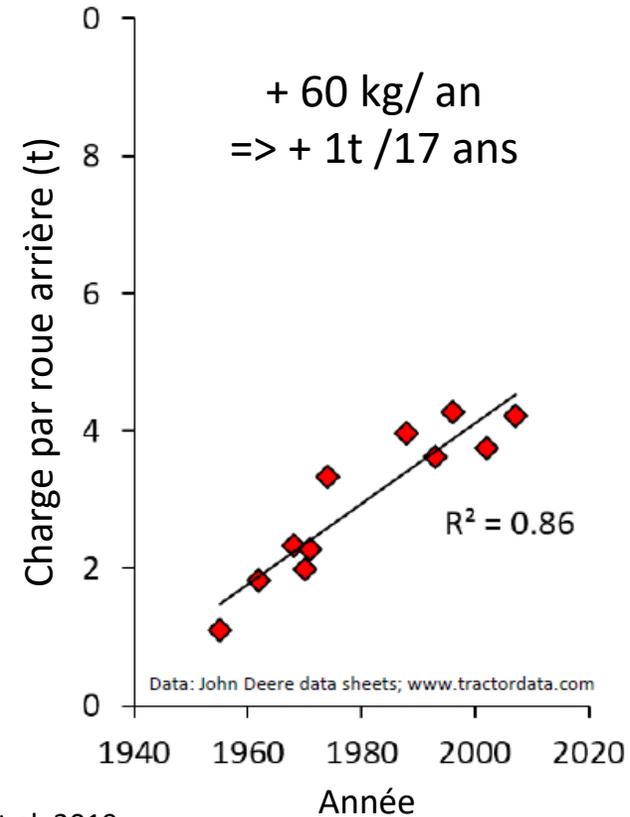


# Evolution des agroéquipements

## Moissonneuse batteuses



## Tracteurs



Keller et al, 2019

La charge à vide des machines augmente très vite

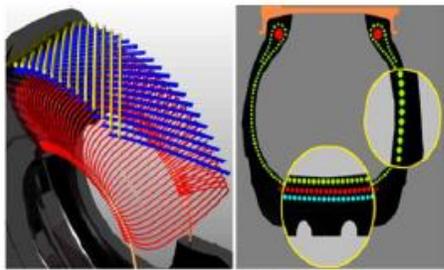


# Evolution des agroéquipements

Année 70

Aujourd'hui

Pneu radial



radial

Pneu large



Pneu basse pression



Pneu adaptatif + télégonflage

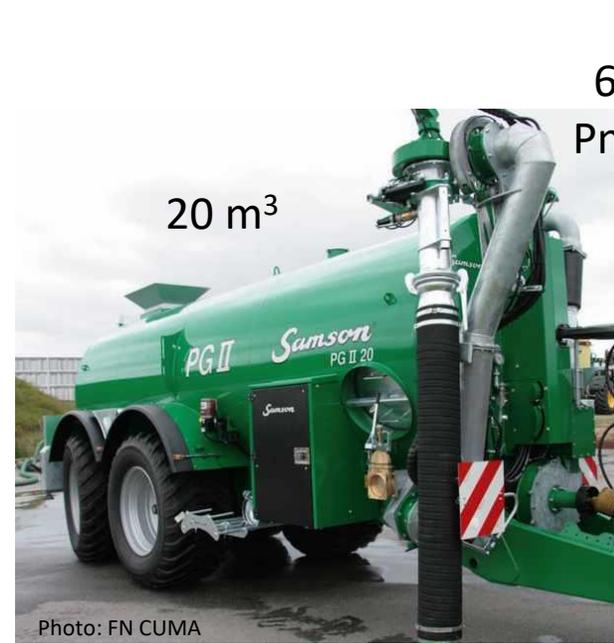
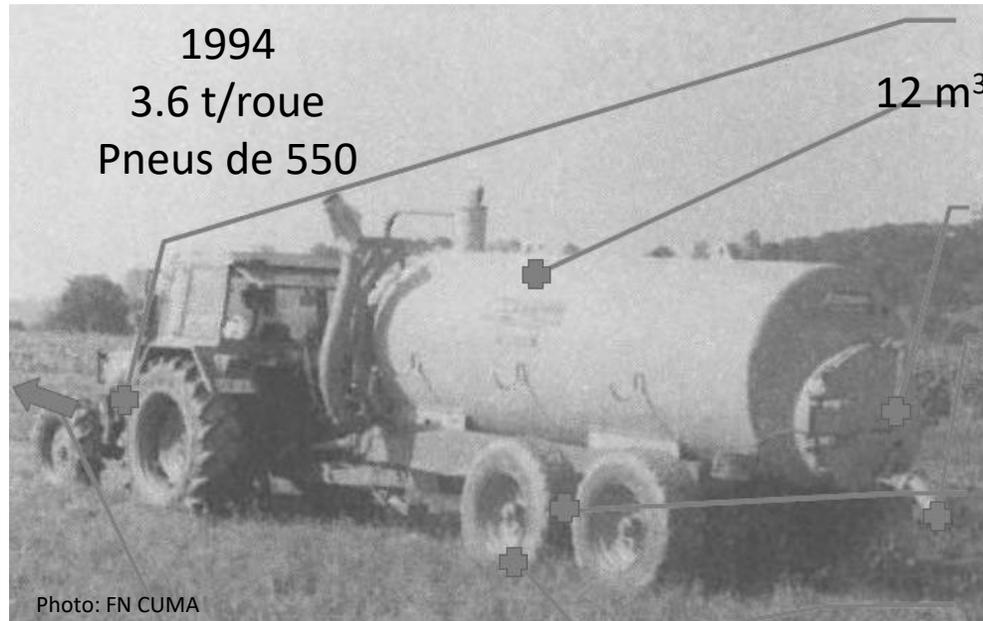


Michelin, Patrick Vervae et al., ISTRO 2018

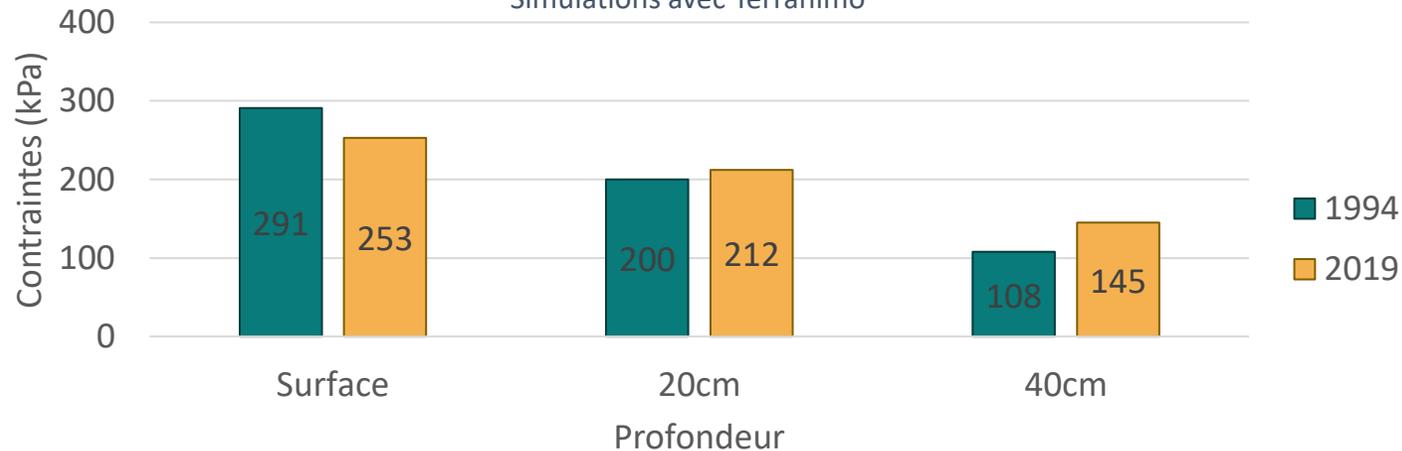
Les progrès des pneumatiques permettent de mieux répartir la pression au sol



# Conséquences de l'évolution des agroéquipements



Propagation des contraintes dans le sol  
Simulations avec Terranimo®



Les contraintes augmentent en profondeur



# Que préférez-vous voir dans un champ ?



## Tracteur 85 ch Roue étroite

835 kg sur la roue

pneu 230/95 R 32

0.10 m<sup>2</sup> de surface de contact  
au sol

830 g/cm<sup>2</sup> en moyenne au sol

## Tracteur 120 ch Roue large

1561 kg sur la roue

pneu 420/70 R 28

0.23 m<sup>2</sup> de surface de contact  
au sol

666 g/cm<sup>2</sup> en moyenne au sol



# Que préférez-vous voir dans un champ ?

Tracteur 85 ch Roue étroite  
 $835\text{kg}/0.10\text{m}^2=830\text{g}/\text{cm}^2$

Tracteur 120 ch Roue large  
 $1561\text{kg}/0.23\text{m}^2=666\text{g}/\text{cm}^2$

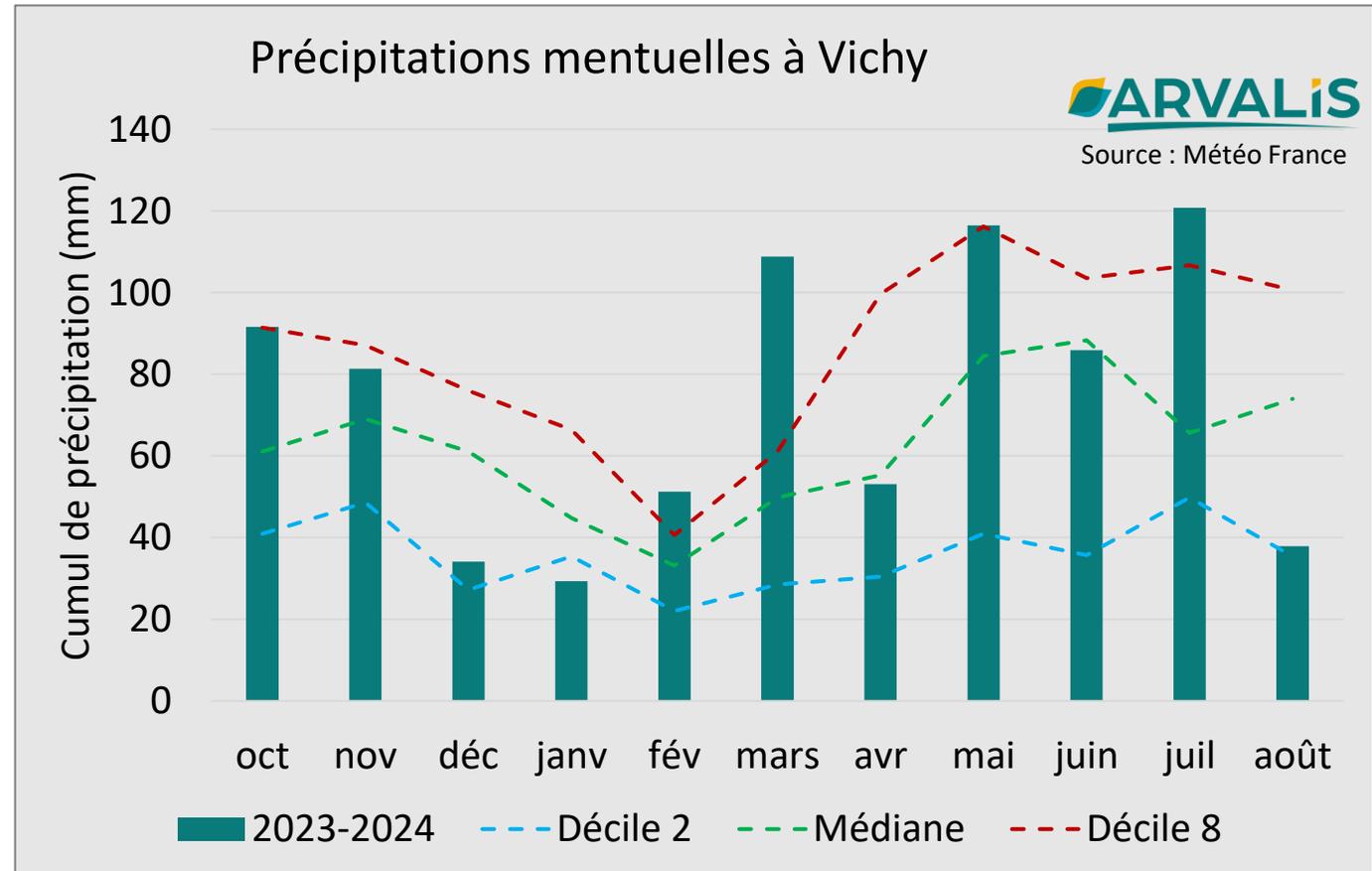


A pression de contact équivalente, un poids plus lourd induit un tassement plus profond



# Le changement climatique : un facteur supplémentaire de risque

- Augmentation des événements extrêmes : pluies et inondations  
→ Des risques de tassement sur des opérations habituellement sans risque
- Moins de gel hivernal  
→ Moins de restructuration des argiles
- Stress de fin de cycle plus fréquent  
→ Impact plus fort d'un défaut d'enracinement



# Comment savoir si ma parcelle est

## tassée ?



# Démarche de diagnostic au champ facile et rapide

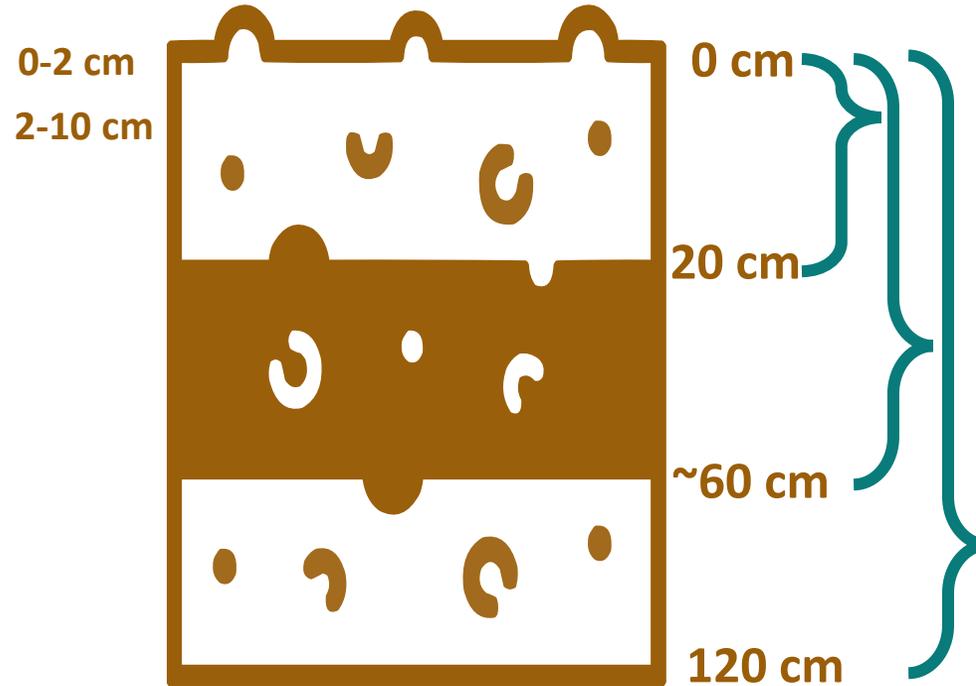
## TASSEMENT



Pénétrromètre

ETAPE Initiale :  
Pénétrromètre

Déterminer la profondeur de tassement



Test bêche

Problème de résistance au pénétrromètre  
entre 0 et 20 cm

→ Faire un Test bêche

Important à faire en non-labour



Mini profil 3 D

Problème de résistance au pénétrromètre  
au-delà de 20 cm (semelle de labour ...)

→ Faire un mini-profil 3D

Vérifier si l'activité biologique fissure ou  
non cette zone de résistance



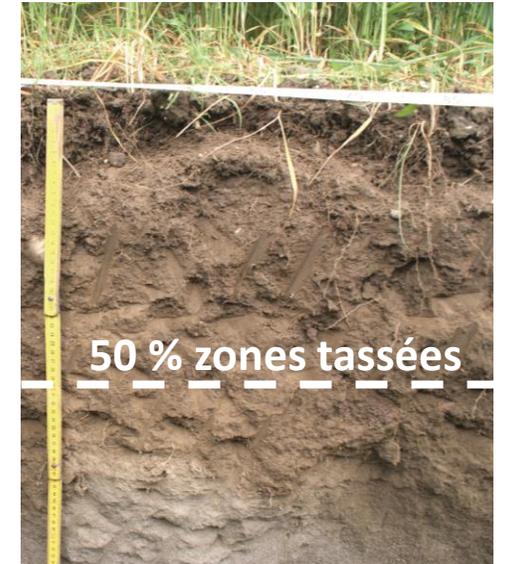
Profil cultural

→ Profil cultural

Diagnostic approfondi de la  
structure du sol en surface et  
en profondeur

# Qu'est-ce qu'on observe concrètement ?

- Agencement des mottes :
  - Continuités, fissures, espaces vides ...
- Enracinement :
  - Abondance, profondeur, état des racines
- Etat interne des mottes
  - Mottes compactes : pas de porosité visible
  - Mottes compactes avec galeries ou turricules
  - Mottes poreuses



# Ma parcelle est tassée, que faire ?



# Faut-il corriger mécaniquement un sol tassé ?



## 1/ Type de tassement et proportion de surface impactée ?



	Humidité (%) ←-----→			
Type de sol				
Argileux		45%		35%
Limono-argileux		26%		21%
Limono-sableux		20%		18%
Comportement de la terre	Elle est modelable et colle aux mains	Elle s'émiette en collant et forme des boulettes	Elle s'émiette sans coller et donne de la terre fine	Elle est difficile à briser et donne peu de terre fine
Consistance	PLASTIQUE	SEMI-PLASTIQUE	FRIABLE	DURE

## 2/ Sensibilité de la culture

Type de tassement	Culture sensible Maïs, pois, orge de printemps, lin fibre, pomme de terre	Culture peu sensible : Blé
Tassement léger ou modéré	Restructuration à prévoir	Restructuration inutile
Tassement marqué ou sévère	Restructuration à prévoir	Restructuration inutile en sol sain mais à prévoir en sol hydromorphe

**Décompacter en sol friable à la profondeur max**  
(terre s'émiette sans coller et donne de la terre fine)

**L'intervention mécanique dépend de la sensibilité de la culture et du niveau de tassement**

**En cas d'intervention de décompactage :**

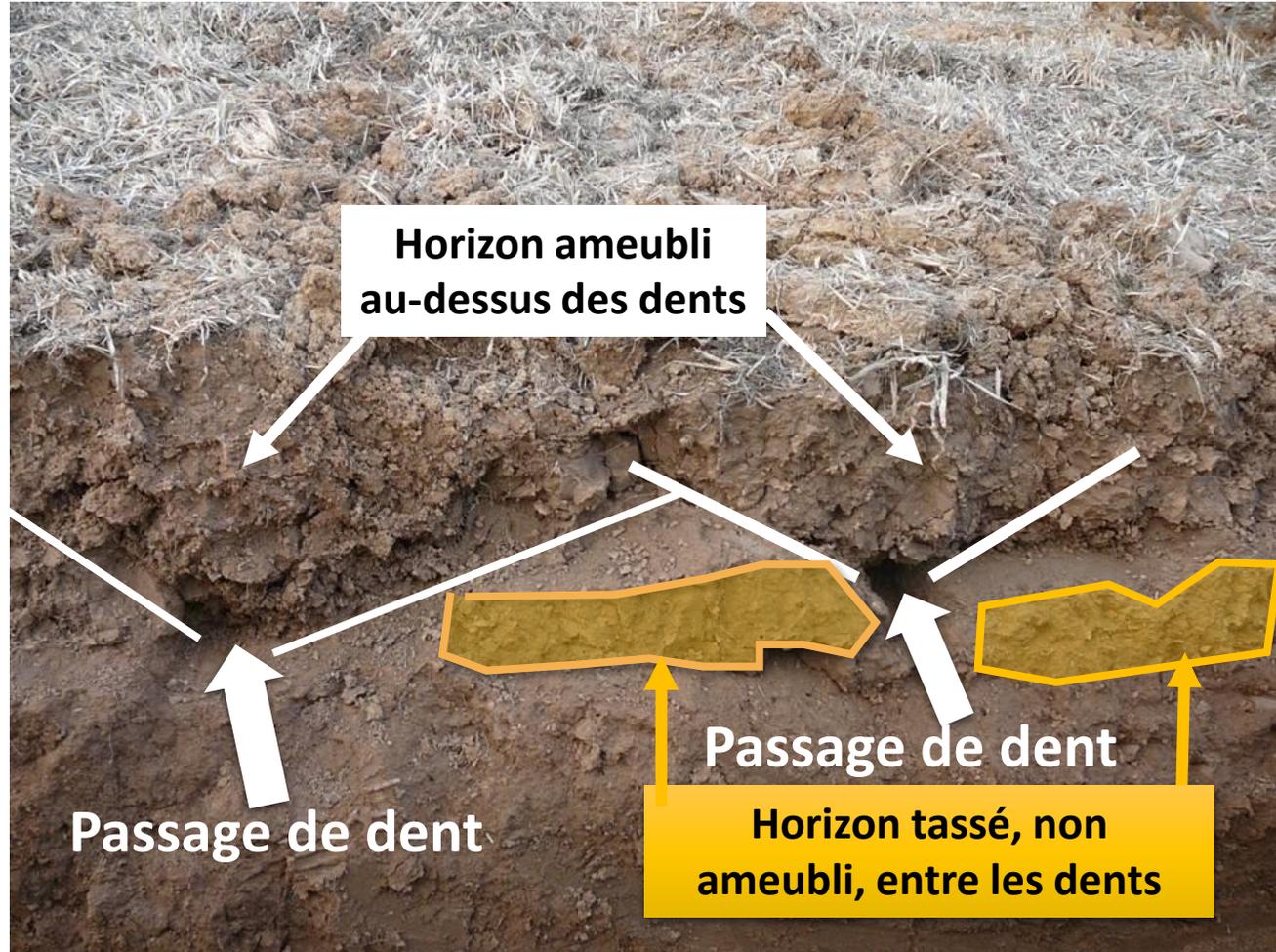
Le sol doit être friable à la profondeur d'intervention

Sinon vaut mieux rien faire :

**Risque de lissage**



# Comment dois-je restructurer mécaniquement ?



- Intervenir en sol friable

Pour une bonne **efficacité**:

- Faire passer la pointe de la dent au moins 5 cm sous la zone à décompacter

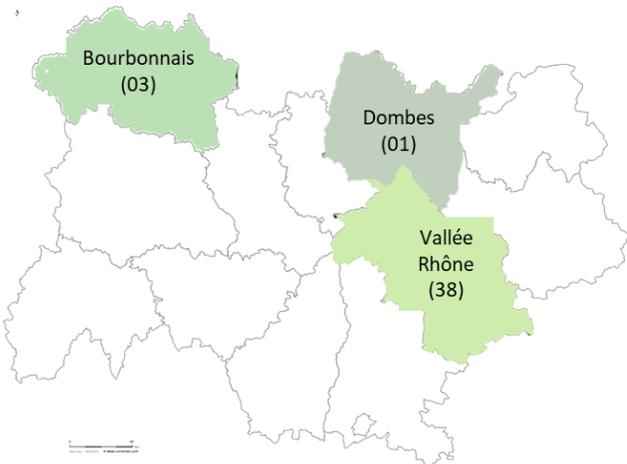
Pour **préserver la fertilité** du sol :

- **éviter de travailler un horizon qui ne l'a jamais été** pour le préserver des tassements ultérieurs



# Intérêts et limites du décompactage : derniers résultats

- **Projet E-baert : Evaluer les bénéfices de stratégies de restauration de la structure**
  - Sur la **fertilité des sols**
  - Sur la **multi-performance des systèmes de culture**



1. Mise en place d'un réseau de parcelle
2. Réalisation d'un diagnostic initial
3. Différentiation de la conduite : agriculteur vs E-baert
4. Suivi des conséquences sur la fertilité du sol et la culture
5. Analyse multicritère



# Quelques cas concrets

- Exploitation P2 :

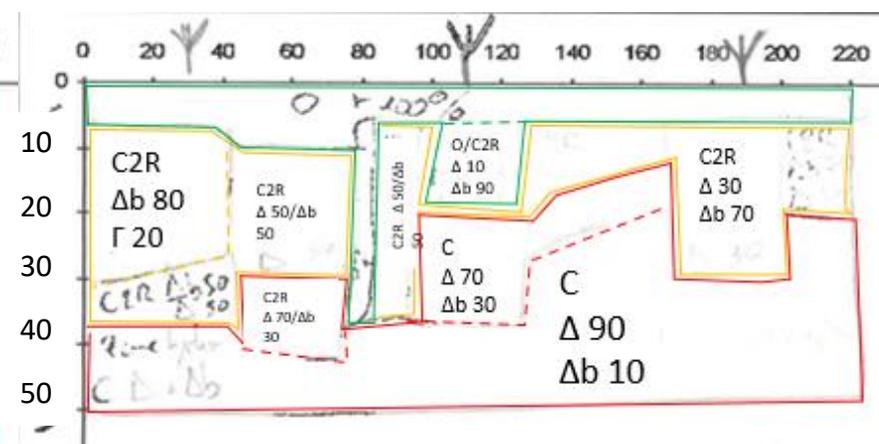
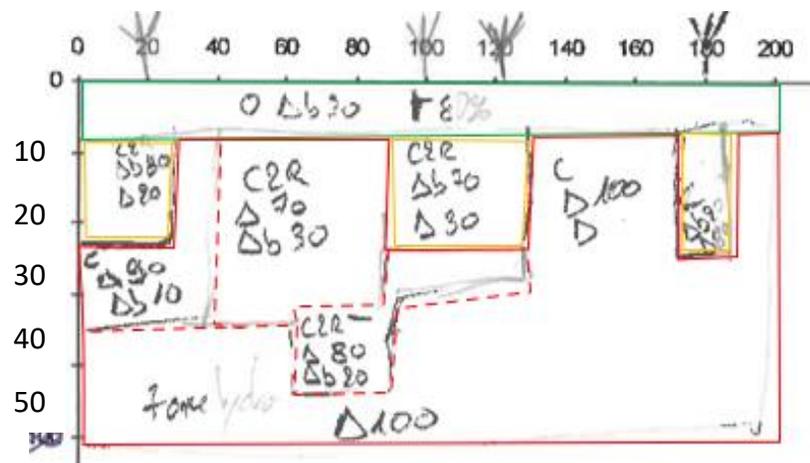
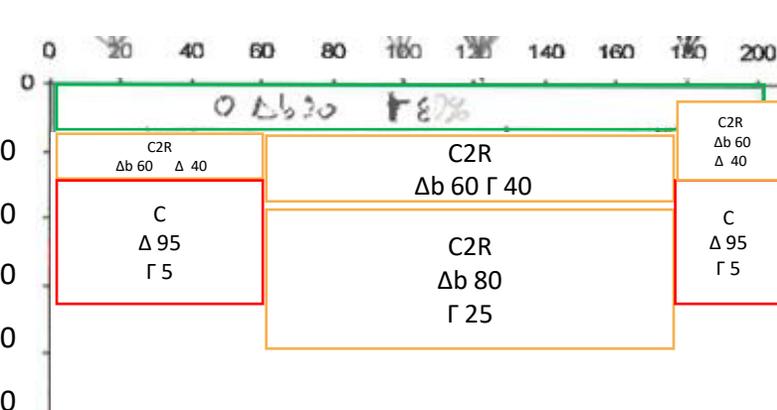
- Tassement moyen sur la parcelle  
Etat initial



Modalité Agriculteur  
Décompactage à 20 cm



Modalité E-baert  
Décompactage à 35 cm

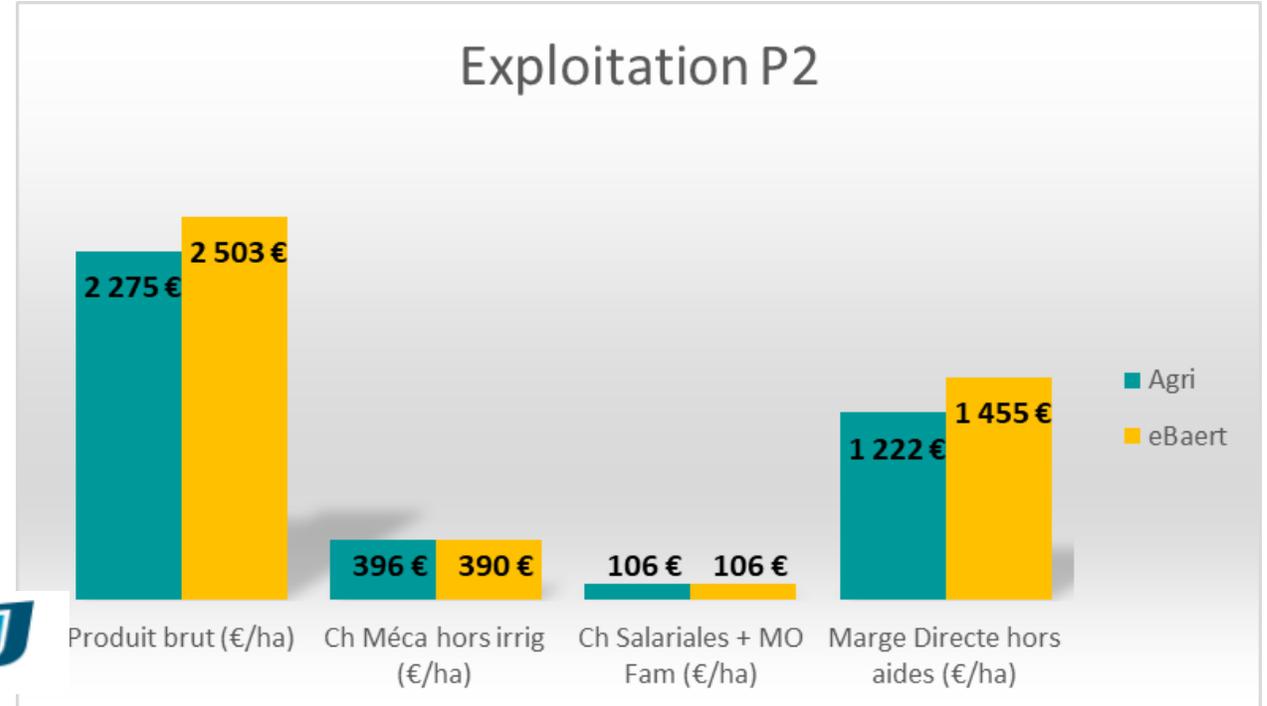


# Analyse technico-économique

- Exploitation 2

	Pratique Agri	Essai eBaert
Temps de travail (h/ha)	3.9	3.9
Nombre de passages	13.0	13.0
Consommation Carburant (L/ha)	74	83
Rendement (t/ha)	13.00	14.30
Consommation Energie Primaire (MJ/ha)	44431	44846
Emissions GES Totales (kgéqCO2/ha)	2679	2751

**SYSTERRE**



Restaurée E-Baert > pratique agriculteur  
 → Le décompactage plus profond réalisé après la récolte du blé a été positif



# Quelques cas concrets

- Exploitation P1 :

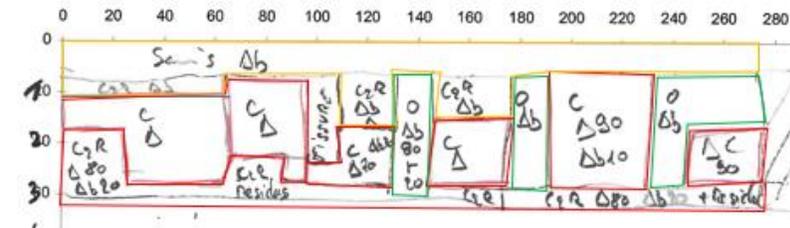
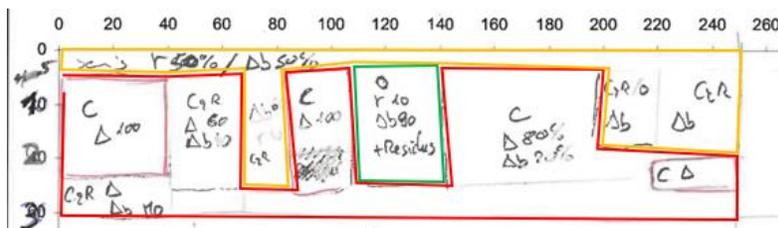
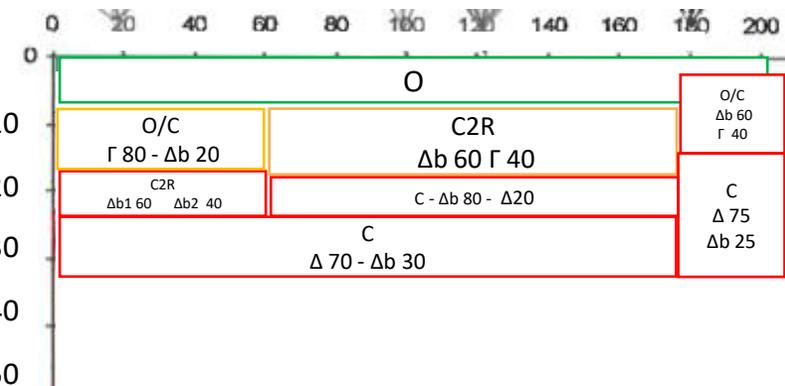
- Tassement sévère sur la parcelle
- Etat initial



Modalité Agriculteur  
Décompactage à 20 cm



Modalité E-Baert  
Décompactage à 25 cm

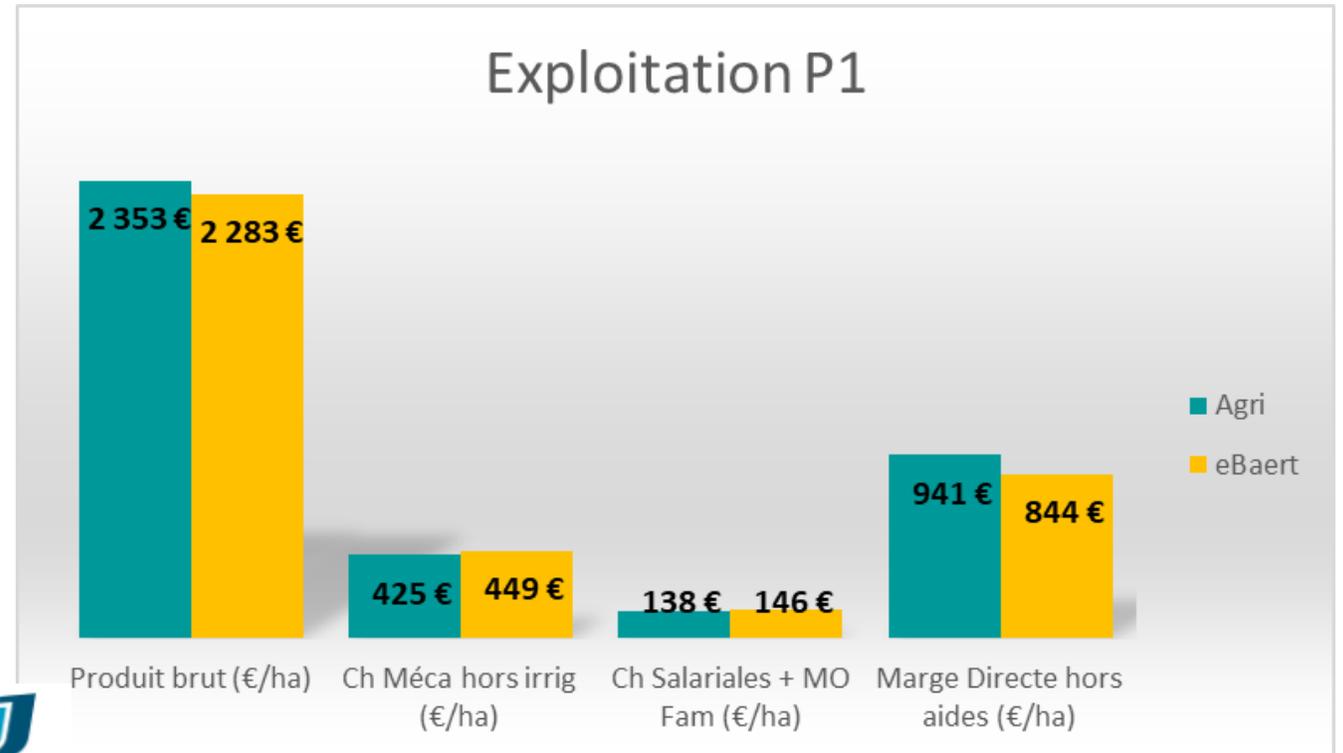


# Action 3 : Analyse Systemre

## ● Exploitation 1

	Agri	eBaert
Temps de travail Total (h/ha)	3.9	4.3
Nombre de passages Total	14	15
Consommation Carburant (L/ha)	83	93
Rendement (t/ha)	12.20	11.8
Consommation Energie Primaire Totale (MJ/ha)	41045	41527
Emissions GES Totales (kgéqCO2/ha)	2619	2637

**SYSTEMRE**



La partie restaurée E-Baert a de moins bons résultats que la partie témoin.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette différence:

- Épisode pluvieux suivant le passage de dent -> accumulation d'eau dans le profil qui n'a pas ressuyé correctement avant la reprise des terres au printemps
- Pb de levée et manque de pieds dans la partie restaurée

# Etude de l'effet des couverts végétaux sur la fertilité physique

Synthèse de 12 essais ARVALIS (2021-2023)

- **Objectifs** : Evaluer l'effet des couverts sur la fertilité physique

- **Modalités** :



*Des variations selon les sites (sol nu travaillé ou non, espèces et mélanges différents, voire un seul couvert, modalités d'implantation)*

- **Mesures effectuées**



Biomasse  
microbienne



Beerkan  
(infiltration)



Slake test  
(stabilité)



Test bêche  
(structure)



Pénétrromètre



Biomasse  
du couvert



Profil racinaire

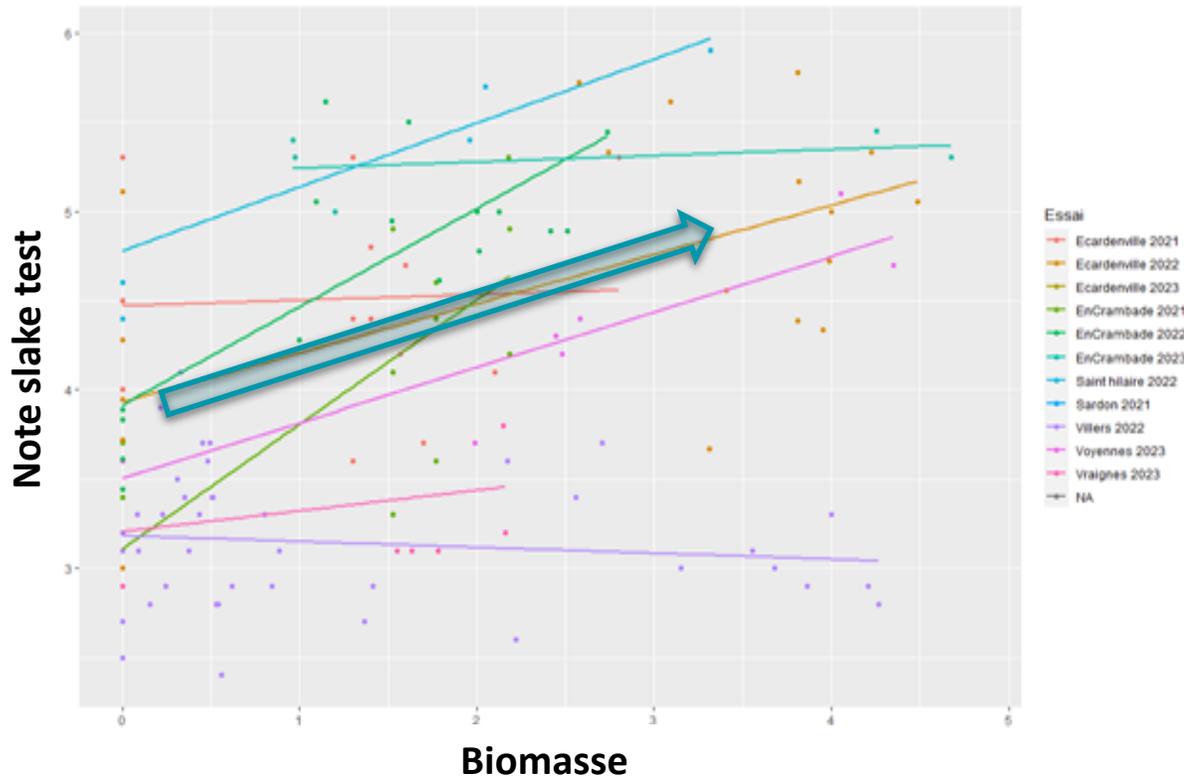


# Etude de l'effet des couverts végétaux sur la fertilité physique

Synthèse de 12 essais ARVALIS (2021-2023)



Relation entre biomasse (tMS/ha) et stabilité structurale



## Conclusions de ces 3 années :

- L'effet des couverts sur le sol est variable selon les années et les sites ;
- La **stabilité structurale** est l'indicateur sol le plus **impacté** (+ 0,1 à + 0,2 points (slake test) par tonne de biomasse produite)
- La **durée de présence** du couvert et la **biomasse produite** sont plus importantes que l'espèce ;

**Effet bénéfique** des couverts sur la stabilité structurale  
(moins de risque de battance et d'érosion)



# Les conditions d'implantation des couverts sont déterminantes

Exemple : En Crambade, 2021, sol argileux, semis des couverts en mauvaises conditions (sol humide)

Test bêche : Evaluer la structure de son sol (0-20 cm)

Niveau de tassement ↑



mottes Δ (delta)



Motte Δb



mottes Γ (gamma):



Un semis en mauvaises conditions dégrade la structure du sol  
La présence de couvert, si bien développé, ne compense que partiellement cette dégradation

# Leviers Curatifs : Synthèse

- Activité biologique : le temps long
- Couvert : effet préventif plus que curatif
- Travail du sol : attention aux conditions de réalisation

→ Miser sur la prévention

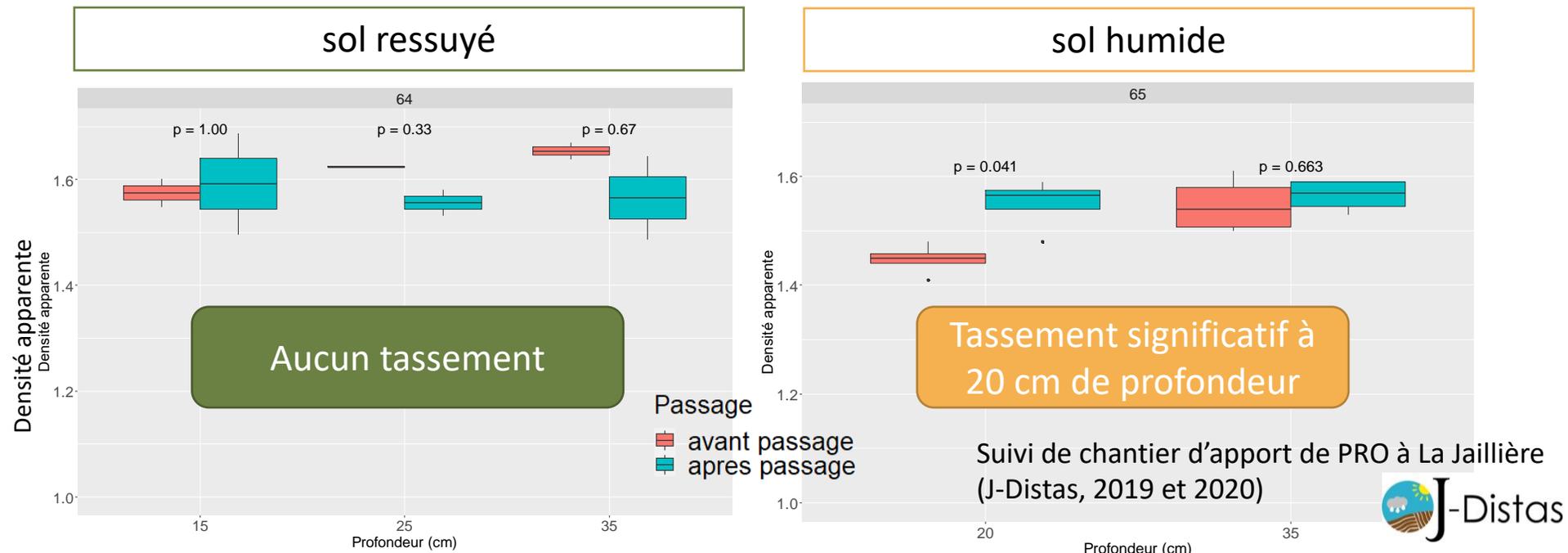


# Quelques pistes pour limiter les tassements



# Choisir ses conditions d'intervention : l'humidité du sol

- Mesure du tassement généré par un chantier d'apport de PRO :
  - même machine, même parcelle,
  - deux dates différentes => deux humidités de sol différentes



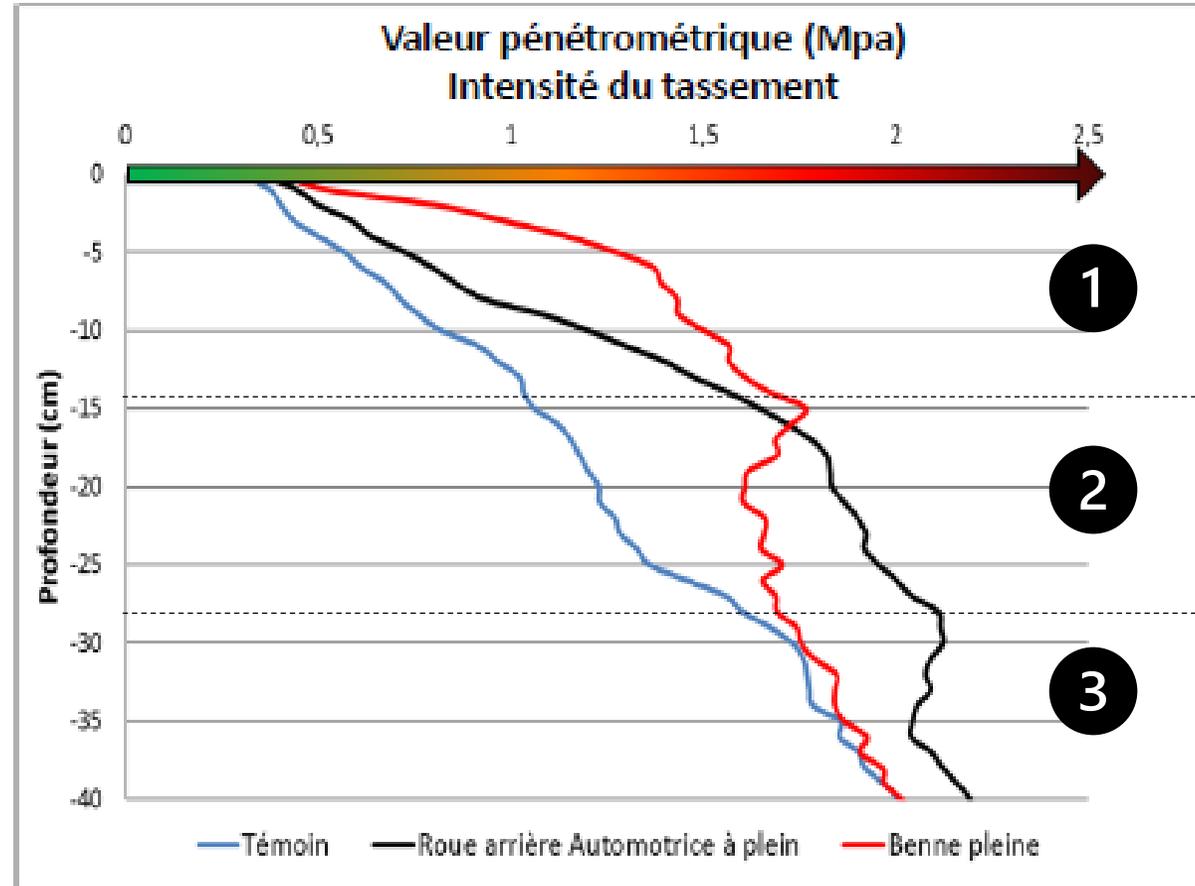
# Réduire le poids /essieu limite la profondeur tassée



Automotrice: 1 passage de roue à 24 t/essieu



Benne: 5 passages de roue à 9 t/essieu



1: effet répétition :  
tracteur + benne >  
automotrice

2: effet charge à l'essieu  
automotrice > tracteur  
+ benne

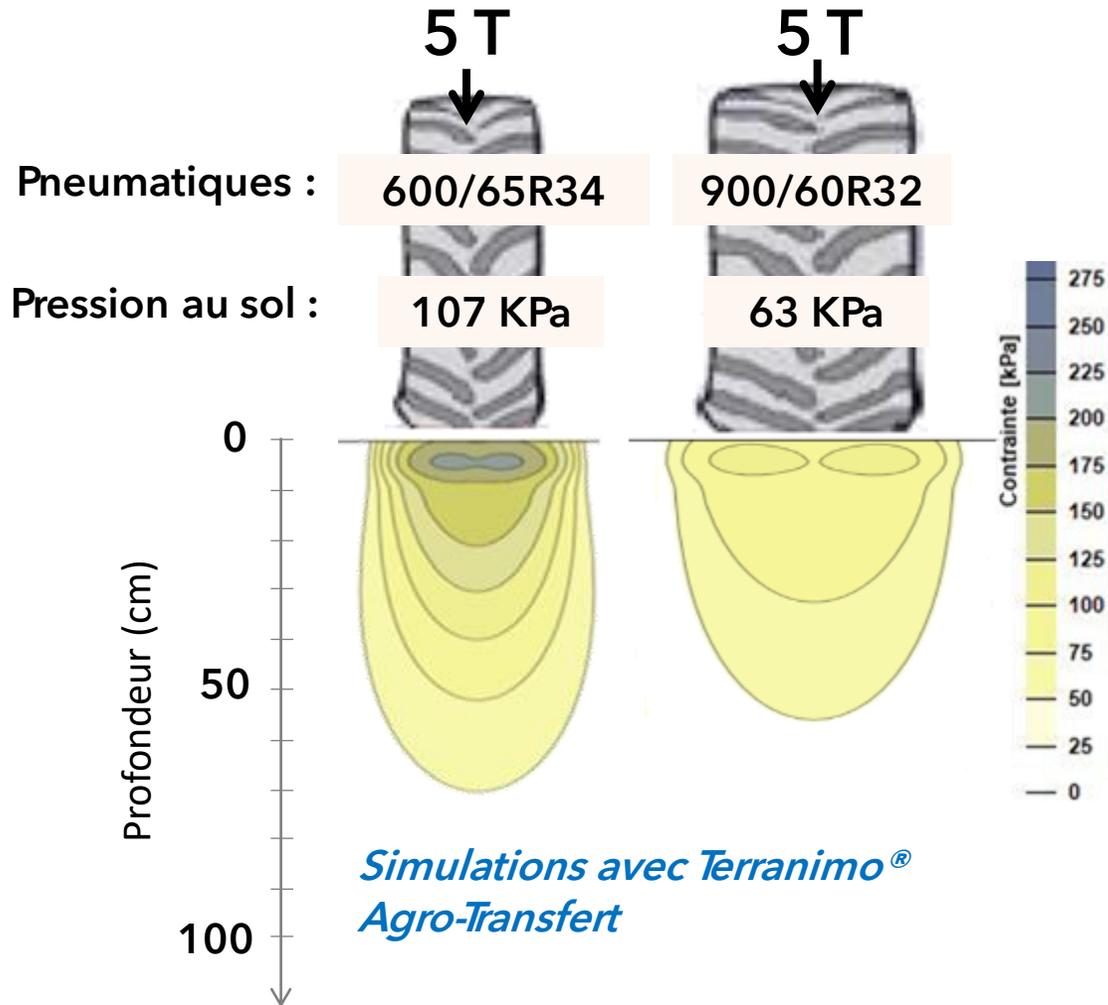
3: effet charge à l'essieu  
très élevée de  
l'automotrice

Plus de tassement en surface avec la benne (plus d'essieux), mais tassement plus profond avec l'automotrice (plus de poids/essieu)



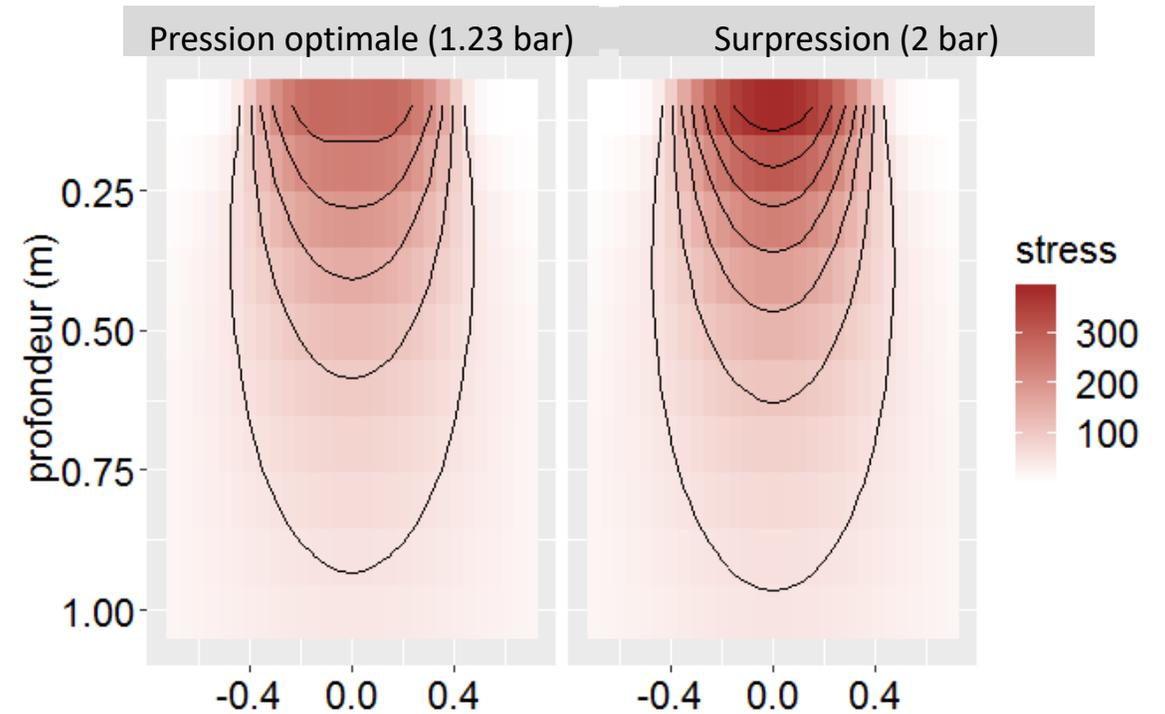
# Elargir la surface d'empreinte

## Choix des pneumatiques

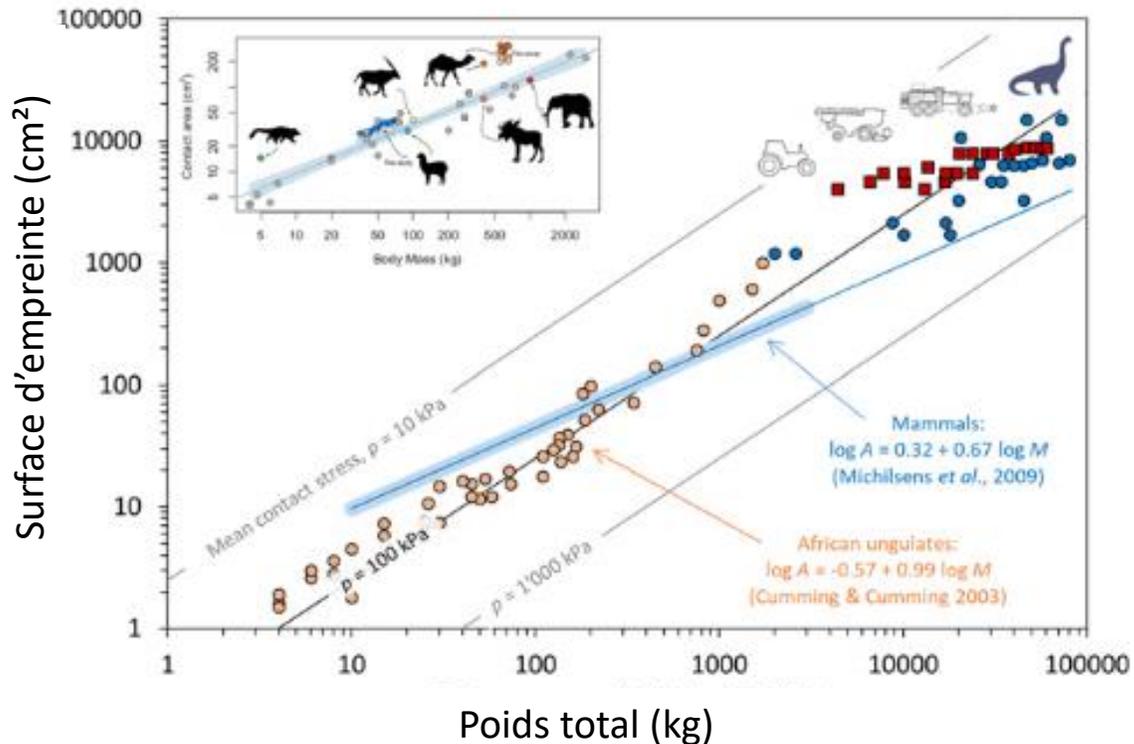


*Simulations avec Terranimo®  
Agro-Transfert*

## Pression de gonflage

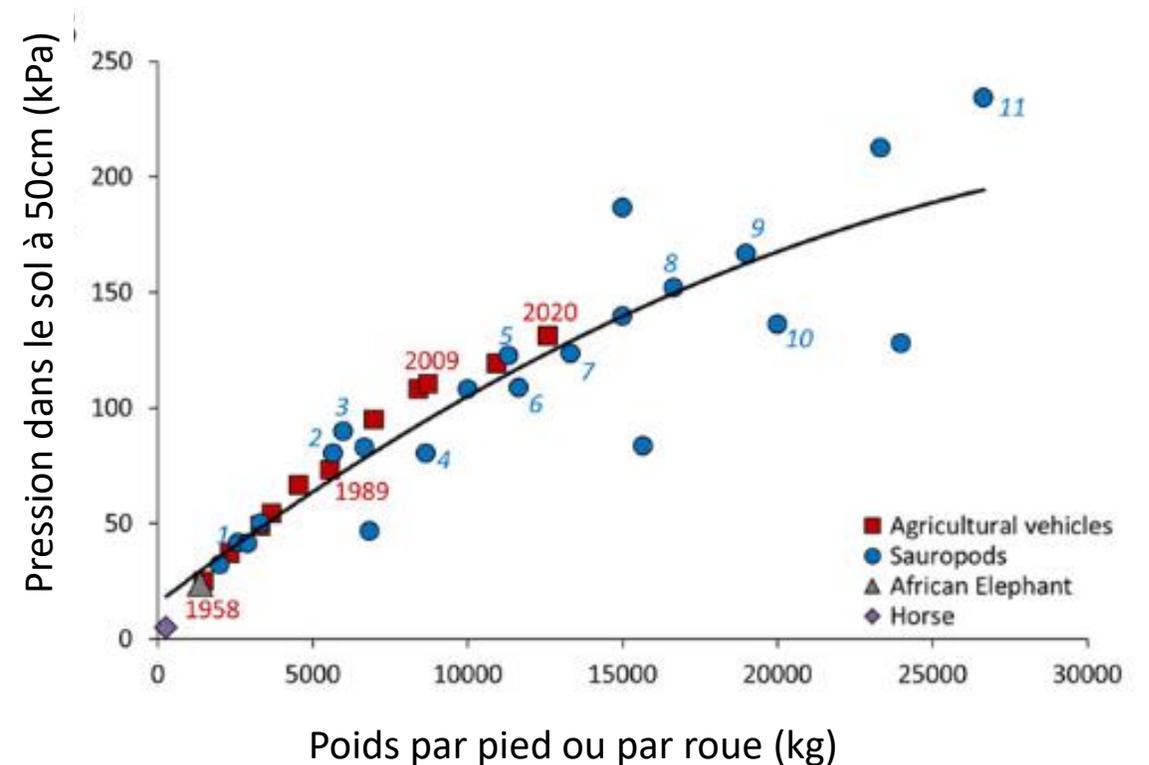


# Retour à nos dinosaures ...



La surface d'empreinte des animaux est proportionnelle à leur masse. Les machines agricoles s'inscrivent dans ces mêmes proportions

Les dinosaures et machines agricoles sont nettement plus lourds donc génèrent une pression à 50 cm de profondeur bien supérieure à celle induite par un cheval ou un éléphant.



# Eviter les situations à risque : jours disponibles

## Facteurs de risque



Sol trop humide

## Comment les éviter

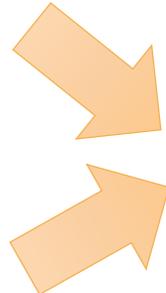
Anticiper les fenêtres disponibles pour:

- dimensionner ses moyens (matériel et main d'œuvre) en conséquence
- adapter son système de culture



Matériel trop lourd

Ne pas sur-dimensionner le matériel



Connaitre les jours disponibles

# J-DISTAS : un outil de calcul des jours disponibles

## Choix

- de l'opération (DC, Wsol, Semis, DM, Récolte)
- de la période

## Sélection des critères

### Calcul des niveaux d'aptitude

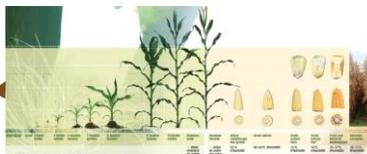
Dessication



sec

hum.

Phénologie



Etat hydrique

Modèle CHN  
ARVALIS - Institut du végétal

Travailleabilité du sol

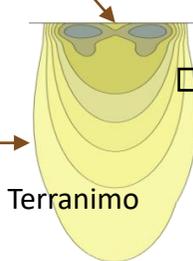


plastique

friable

dur

Tassement



fort

faible

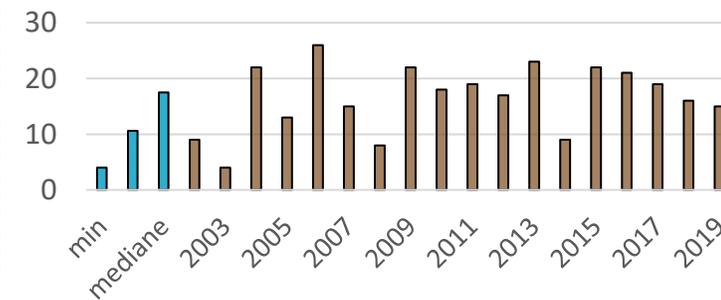
### Disponibilité du jour



Règles de décision

Calcul quotidien sur 20 ans

Nombre de jours disponibles par année, minimum, déciles ...



Données d'entrée

Climat



Sol



ITK



Machine

Terranimo



# Choix du matériel adapté aux jours disponibles

Quels déchaumeurs tracteurs choisir pour détruire mes couverts ?

- 40 ha de couvert à détruire en 10 jours sur une période donnée
- 5h de traction par jour
- 3 combinaisons outils de déchaumage - tracteurs possibles :



Déchaumeur	Largeur (m)	Tracteur : Puissance requis	Débit de chantier (ha/h)	Vitesse (km/h)
1-Rubin	5	190	4.8	12
2-Karat	4	190	2.6	8
3-Koralin	6	245	7.2	15

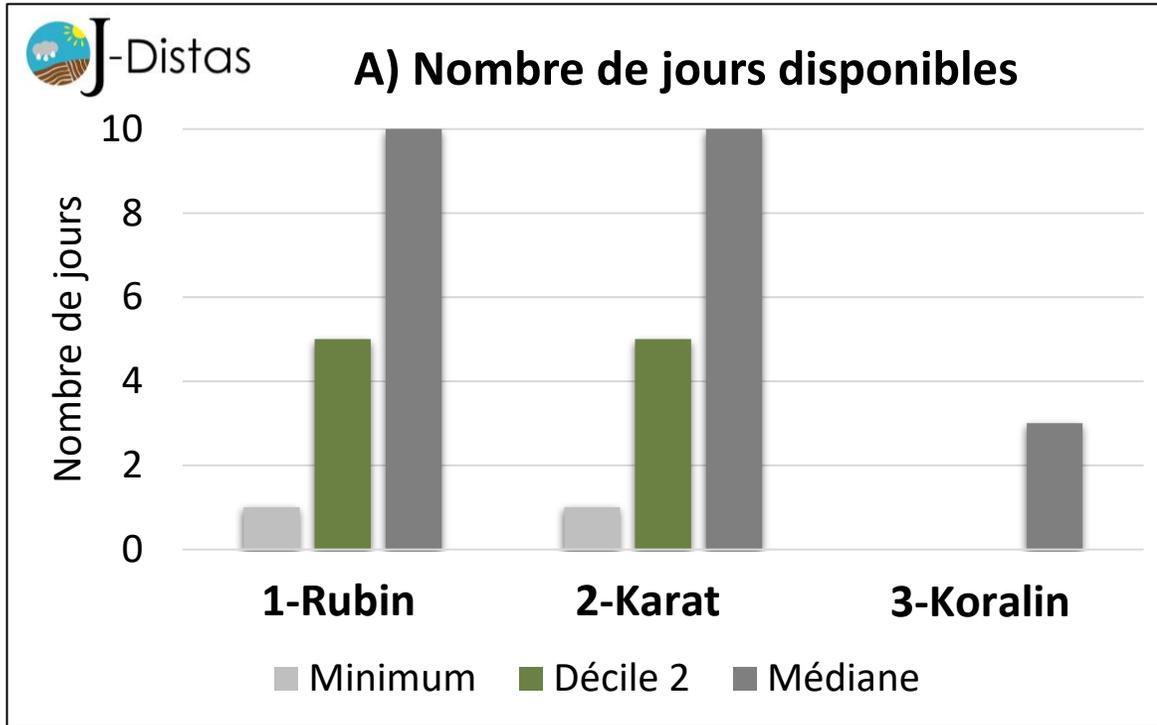
Si on regarde uniquement le débit de chantier :

Le Koralin avec un tracteur de 245ch semble approprié

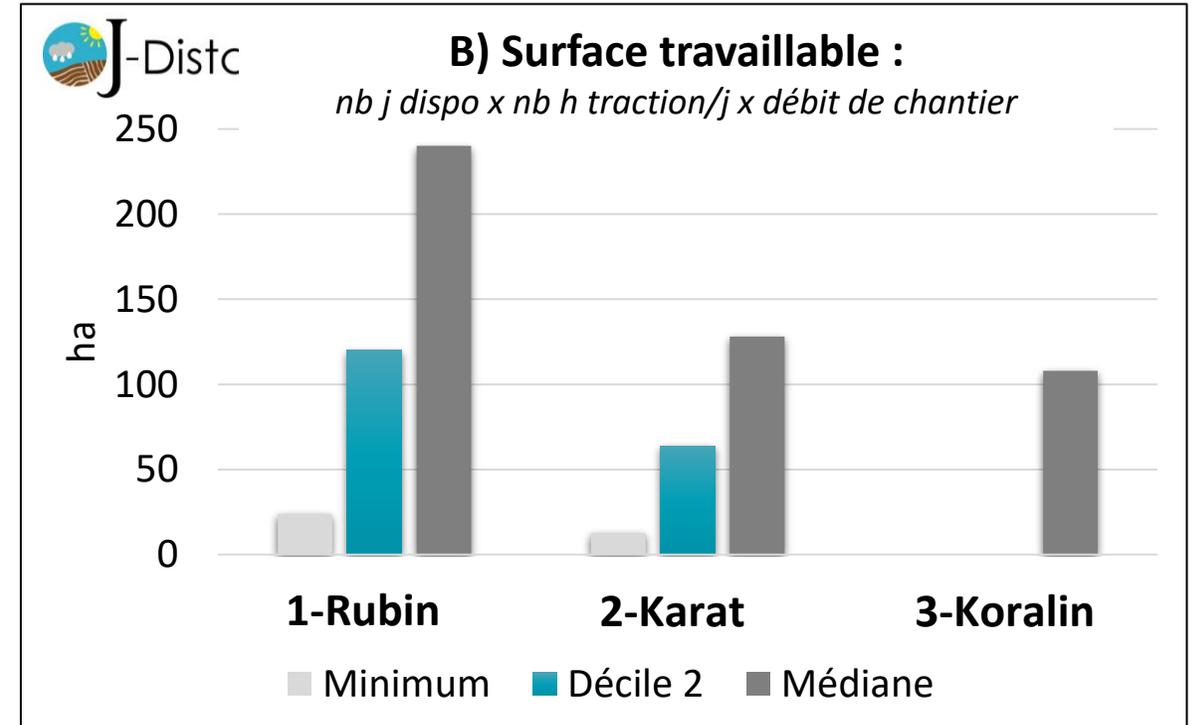
Mais si on considère le risque vis-à-vis de la fertilité physique (risque de tassement) : les résultats diffèrent ...



# Choix du matériel adapté aux jours disponibles



Rubin et Karat permettent d'avoir le plus de jours disponibles : au moins 4 jours 80% des années



Le modèle Rubin avec un tracteur de 190 ch optimise la surface travaillable : au moins 120 ha 80% des années

Les outils nécessitant le plus de puissance, donc de poids, conduisent à un nombre de jours plus limité (plus de risque de tassement).

Leur meilleur débit de chantier ne permet pas de compenser le manque de jours disponibles.



# Améliorer la portance du sol : effet du travail du sol

Photos du 4/11/2019, 4 jours après la récolte



Tassement généré par la récolte de betterave (2019)

Intensité de travail du sol avant la betterave et le blé précédent

2019 (betterave)	TCS 10 cm	TCS 10 cm	TCS 5 cm
2018 (blé)	Labour 20 cm	Labour 12 cm	TCS 4 cm

*Essai Travail du sol de Boigneville (91), depuis 1971*

# En résumer, pour limiter le tassement :

- A court terme :
  - Priorité 1 : sol suffisamment ressuyé
  - En cas de risque avéré sans possibilité de différer le chantier :
    - limiter le poids pas essieu
    - raisonner le trafic dans la parcelle pour réduire la surface concernée
  - En complément:
    - bien choisir ses pneumatiques ou jumelages
    - ajuster la pression
- A long terme :
  - adéquation entre parc matériel et jours disponibles
  - augmenter la portance du sol : réduire le travail du sol, augmenter la MO, ...

# Conclusion



# En conclusion

- La structure du sol fait partie de votre capital



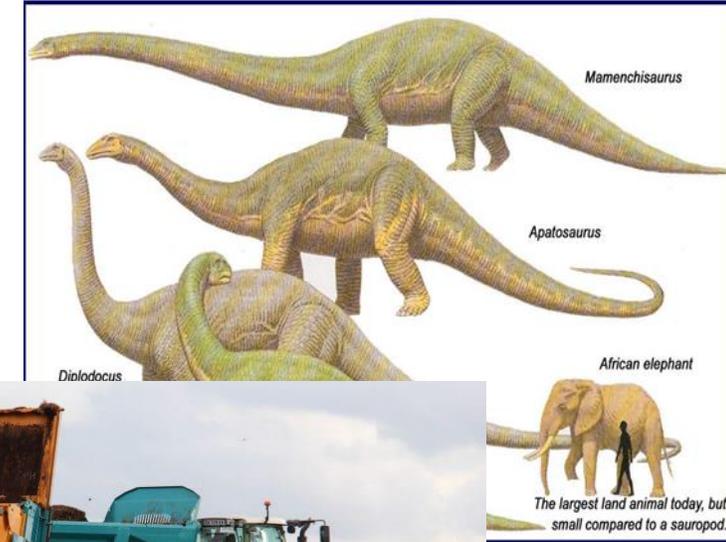
- Attention au poids par essieu et à l'humidité du sol !

- Observez le sol pour décider (pas seulement la surface)



# Merci pour votre attention

## Place aux questions



Poids => Profondeur du tassement



titre de l'intervention

