



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

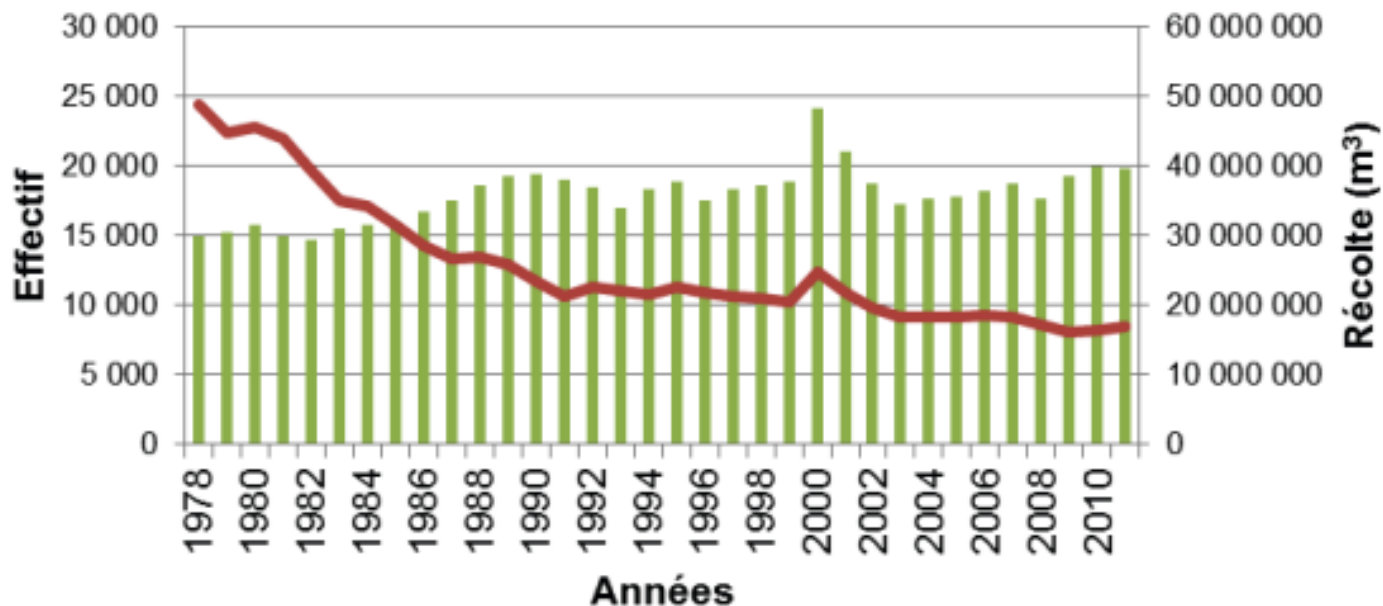


*Prise en compte du risque de
dégradation des sols par tassement
pour mieux préserver les forêts*



2024

Une équation difficile à résoudre



Évolutions du débardage :

Avant la 2^e guerre mondiale :
traction animale

Depuis : développement de la
mécanisation du débardage

Prix (k€)

skidder : 220 à 400

porteur : 300 à 400

machine de bûcheronnage : 400 à 600

■ Volume récolté annuellement (m³) — Effectif de travailleurs salariés

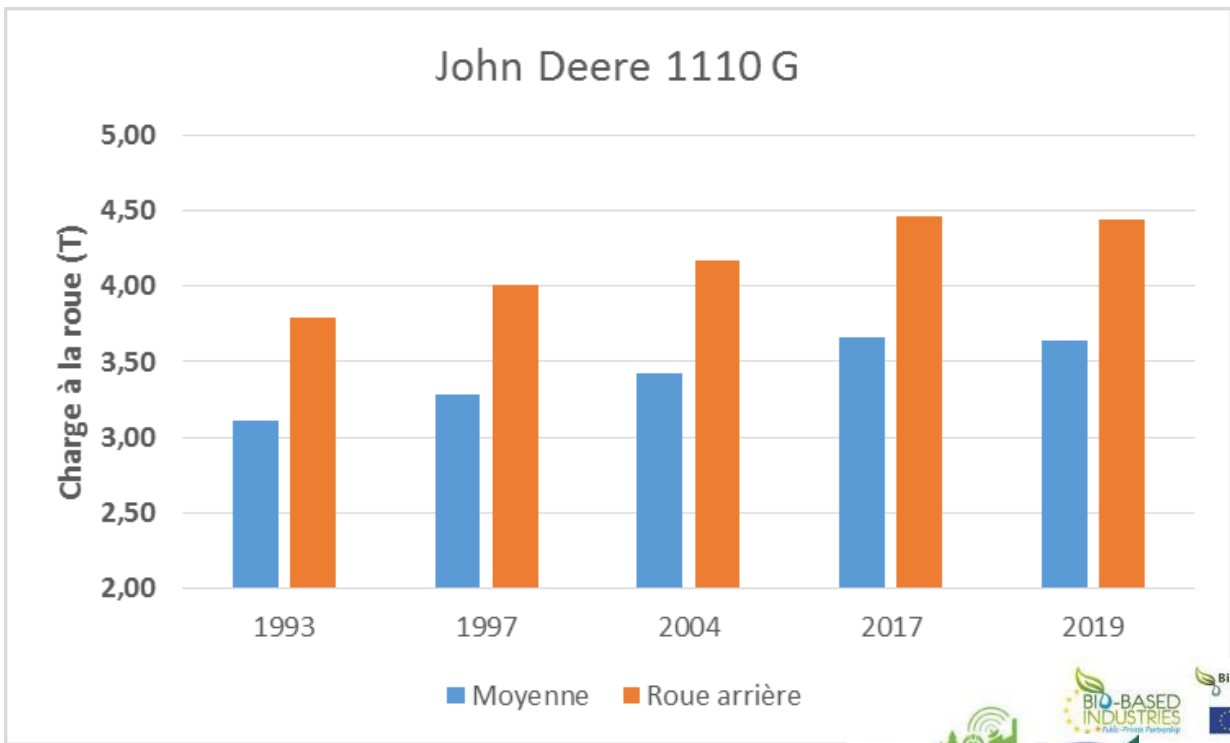
Taux de mécanisation global de la récolte : 1990 = 1% ... 2013 = 48%



Une équation difficile à résoudre



Des engins de plus en plus lourds :



Données constructeurs
Pesées réelles : + 0,5 à 3 T/selon le modèle



Une équation difficile à résoudre



Préconisations actuelles



Texture	État d'humidité*			
	Sol sec sur 50 cm de profondeur	Sol frais	Sol humide	Nappe d'eau à moins de 50 cm de la surface
Sol très caillouteux (Éléments grossiers > 50%)	Blue	Blue	Blue	Orange
Sol très sableux (sable > 70%)	Blue	Blue	Yellow	Orange
Argile dominante	Blue	Yellow	Yellow	Orange
Limon dominant et sable limoneux	Blue	Yellow	Orange	Orange

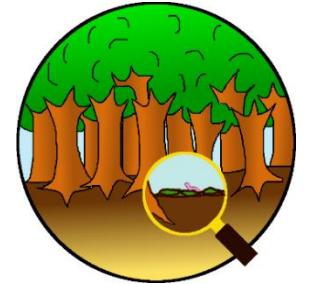
- Sol non sensible au tassement
- Sol sensible = précautions nécessaires pour le passage d'engins
- Sol très sensible et impraticable pendant une période de l'année = passage d'engins impossible



Une équation difficile à résoudre



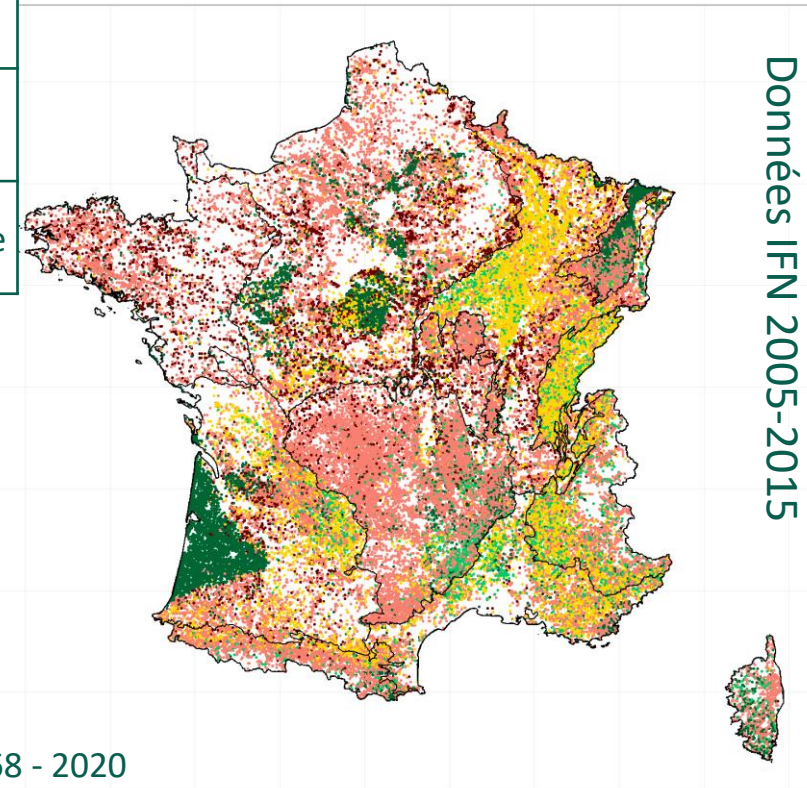
FOR-EVAL



Préconisations actuelles :

Chantiers de repli, organisation entre parcelles... selon la sensibilité potentielle

	7 %	praticables toute l'année avec peu de précautions
	14 %	praticables quasiment toute l'année avec peu de précautions
	21 %	praticables une partie de l'année
	48 %	impraticables une grande partie de l'année
	10 %	impraticables quasiment toute l'année



Données IFN 2005-2015



Texture	État d'humidité*			
	Sol sec sur 50 cm de profondeur	Sol frais	Sol humide	Nappe d'eau à moins de 50 cm de la surface
Sol très caillouteux (Eléments grossiers > 50%)				
Sol très sableux (sable > 70%)				
Argile dominante				
Limon dominant et sable limoneux				



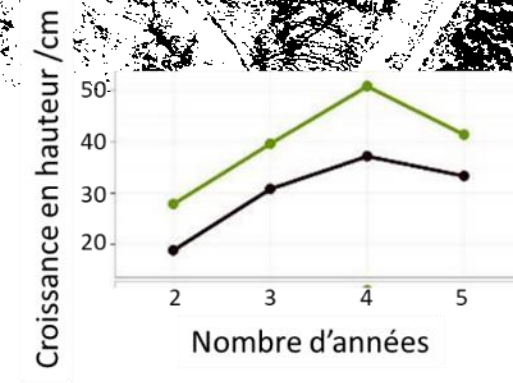
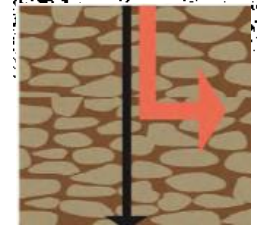
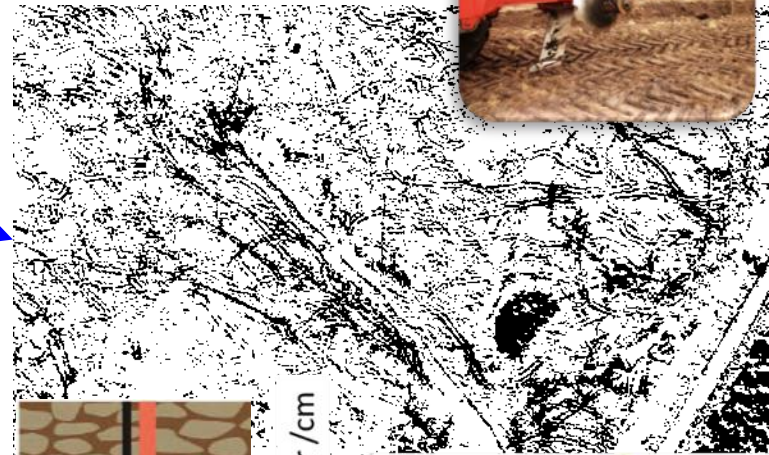
Une équation difficile à résoudre



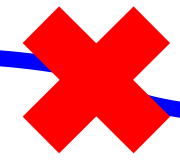
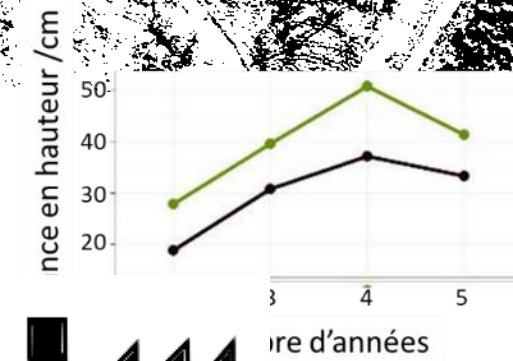
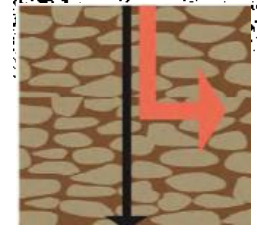
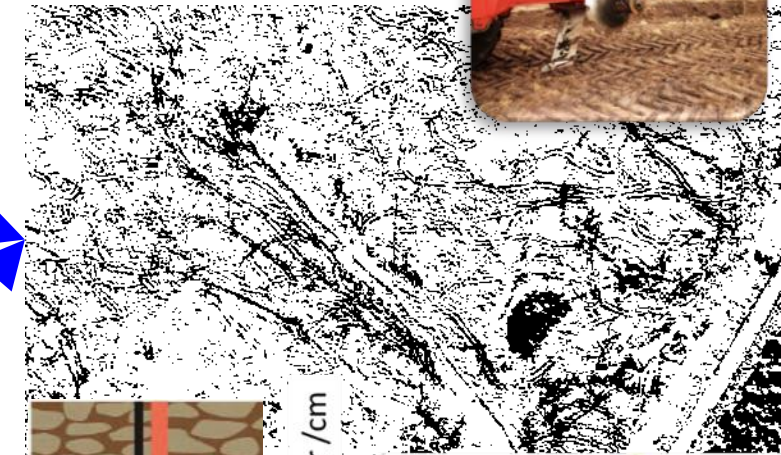
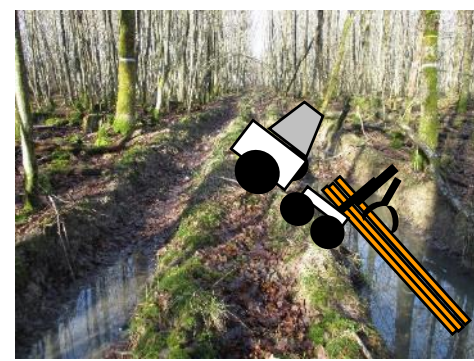
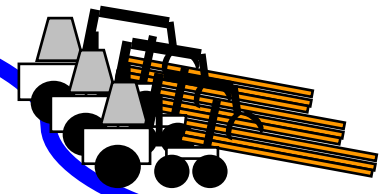
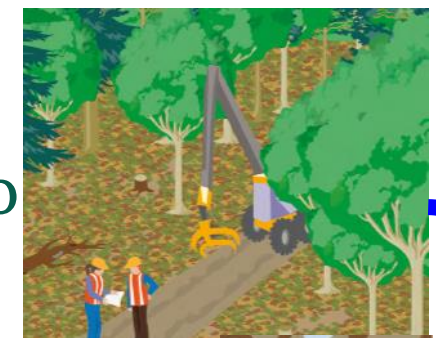
Une équation difficile à résoudre



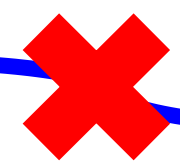
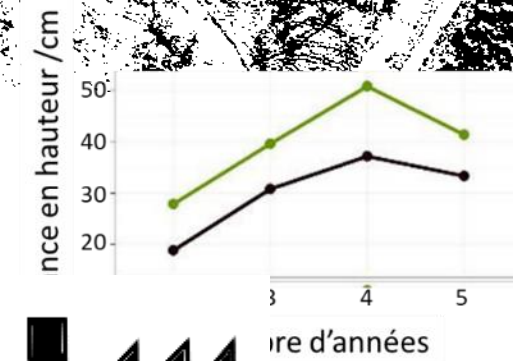
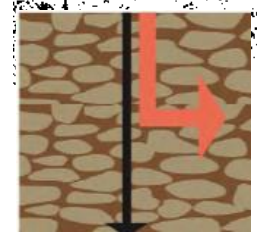
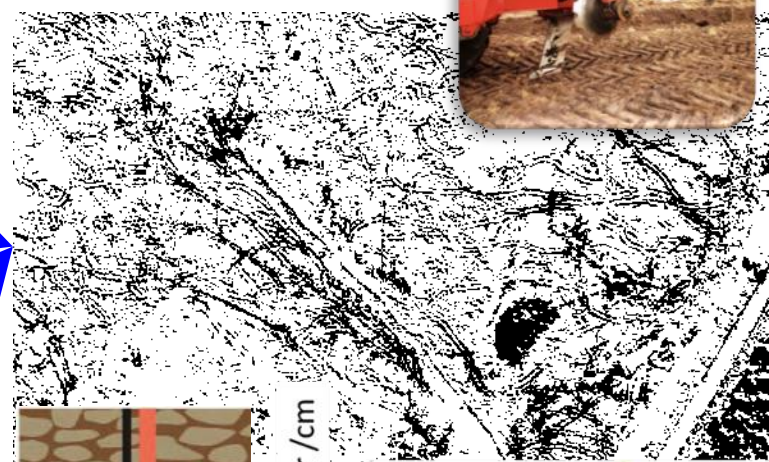
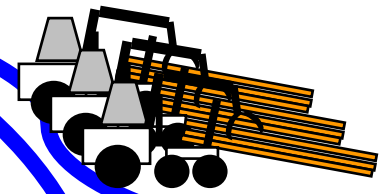
Une équation difficile à résoudre



Une équation difficile à résoudre



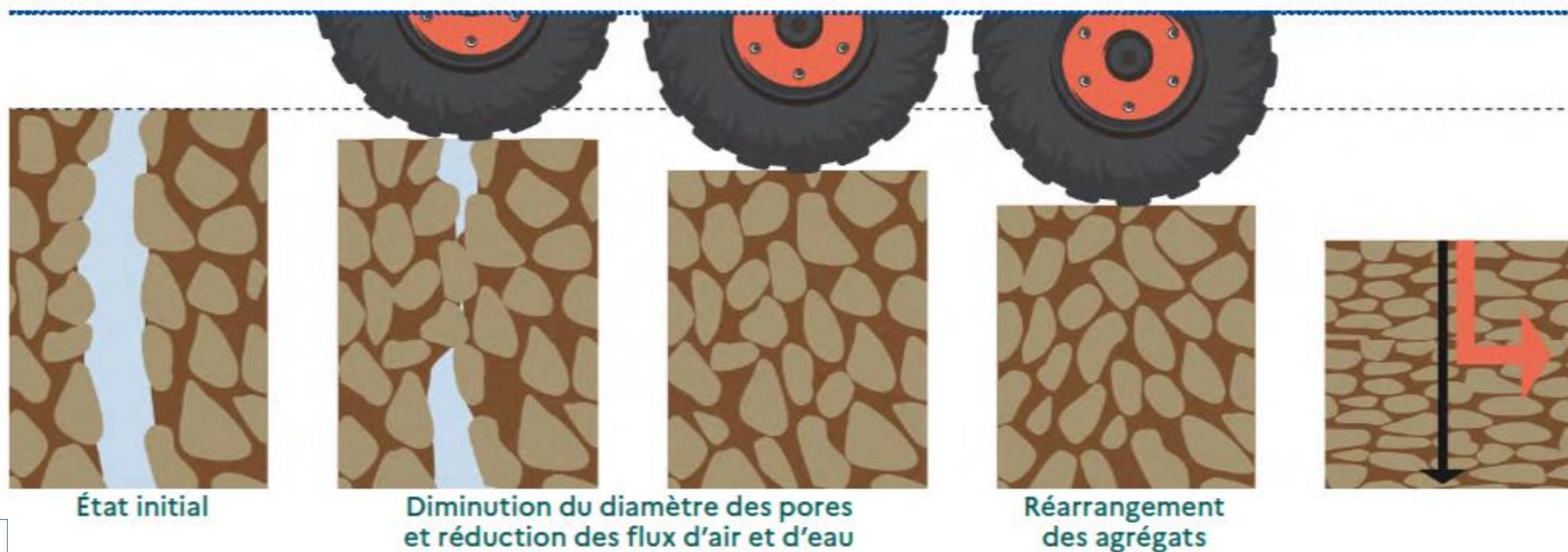
Une équation difficile à résoudre



Processus de dégradation des sols par tassement



EFFET DU TASSEMENT SUR LA POROSITÉ DU SOL

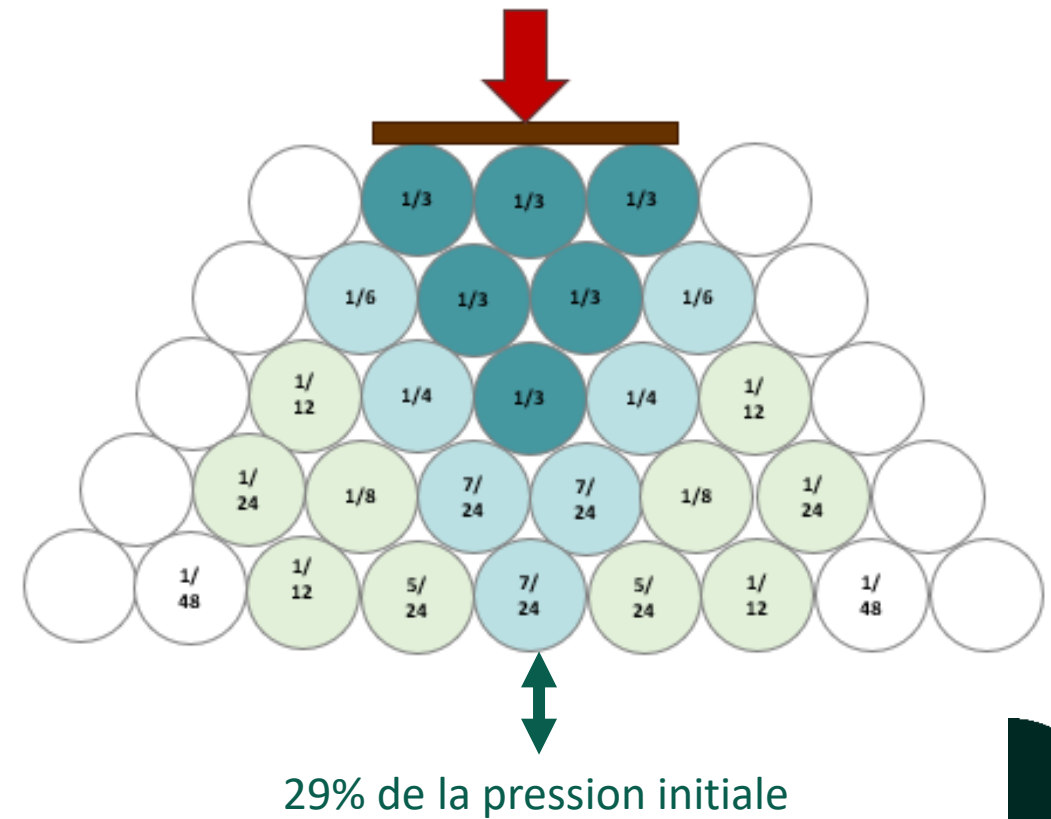
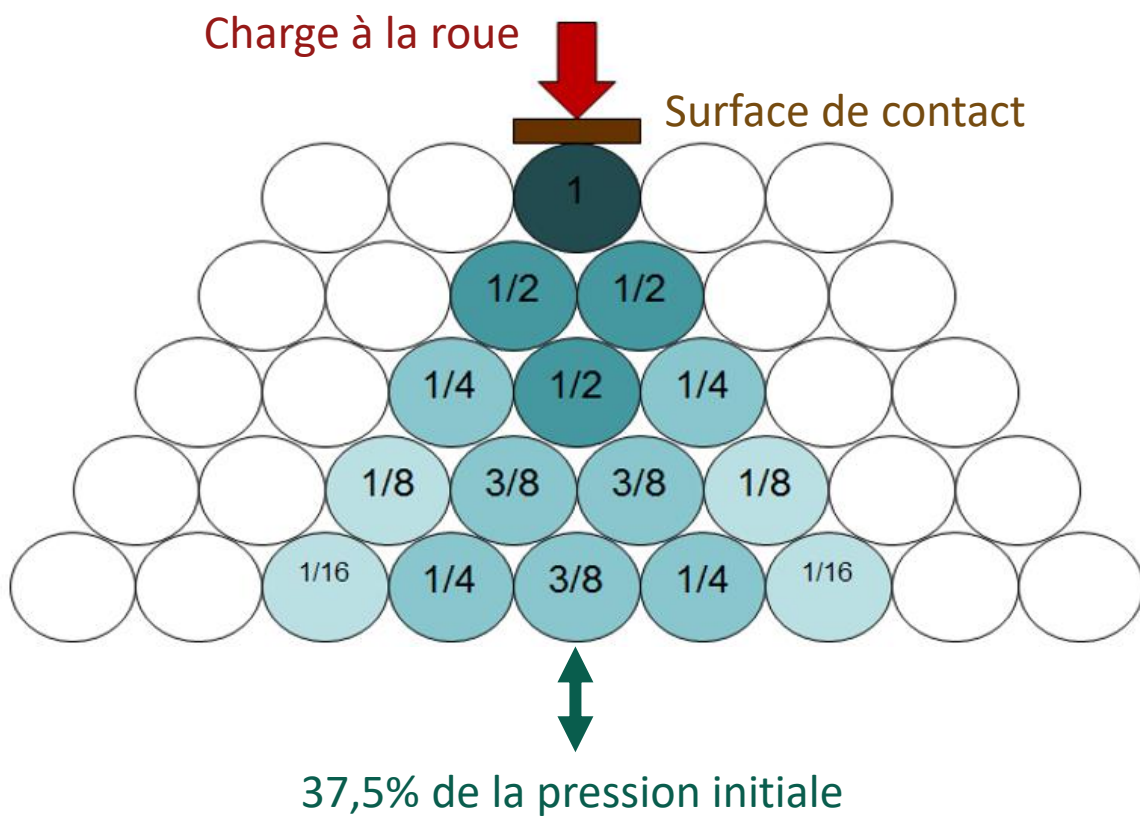




Processus de dégradation des sols par tassement



Pression (intensité de la force par unité de surface)

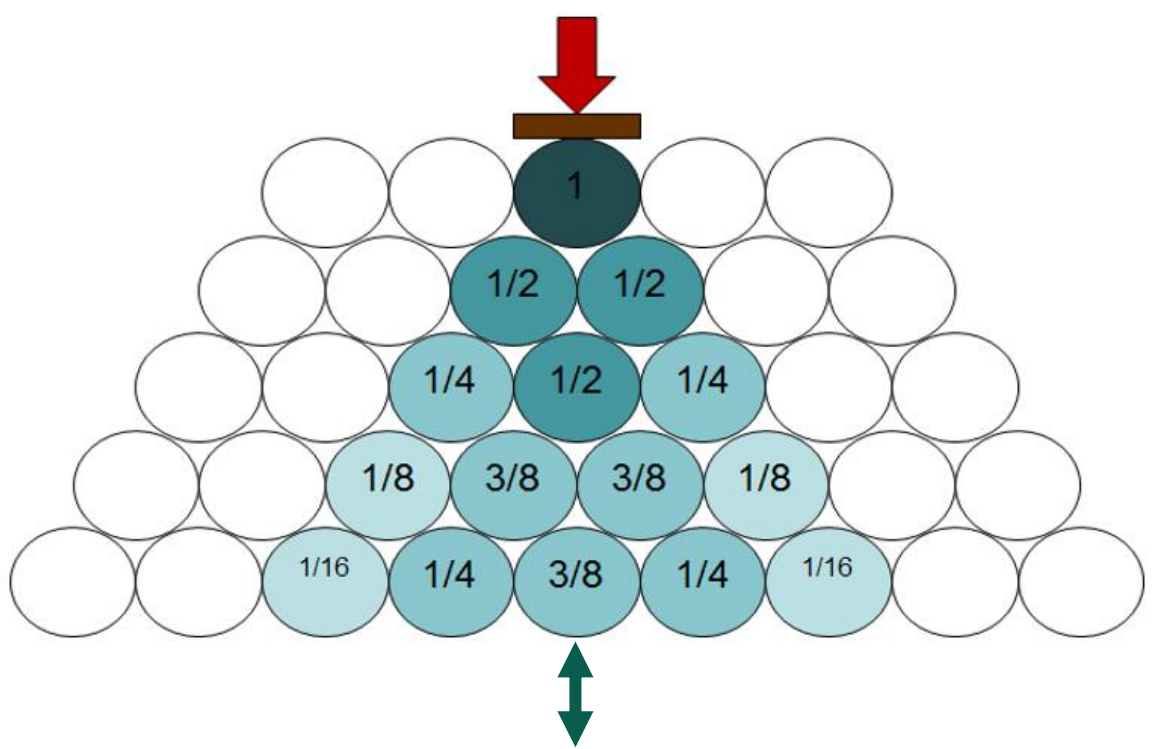




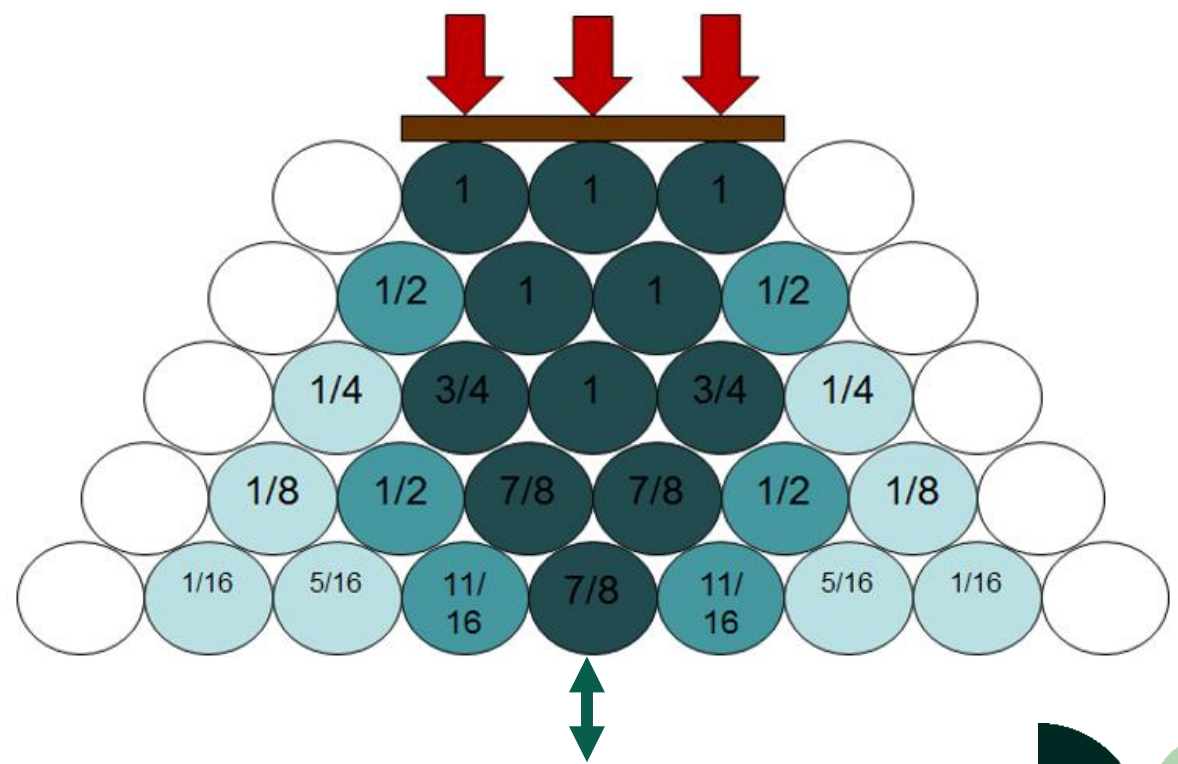
Processus de dégradation des sols par tassement



Pression (intensité de la force par unité de surface)



37,5% de la pression initiale

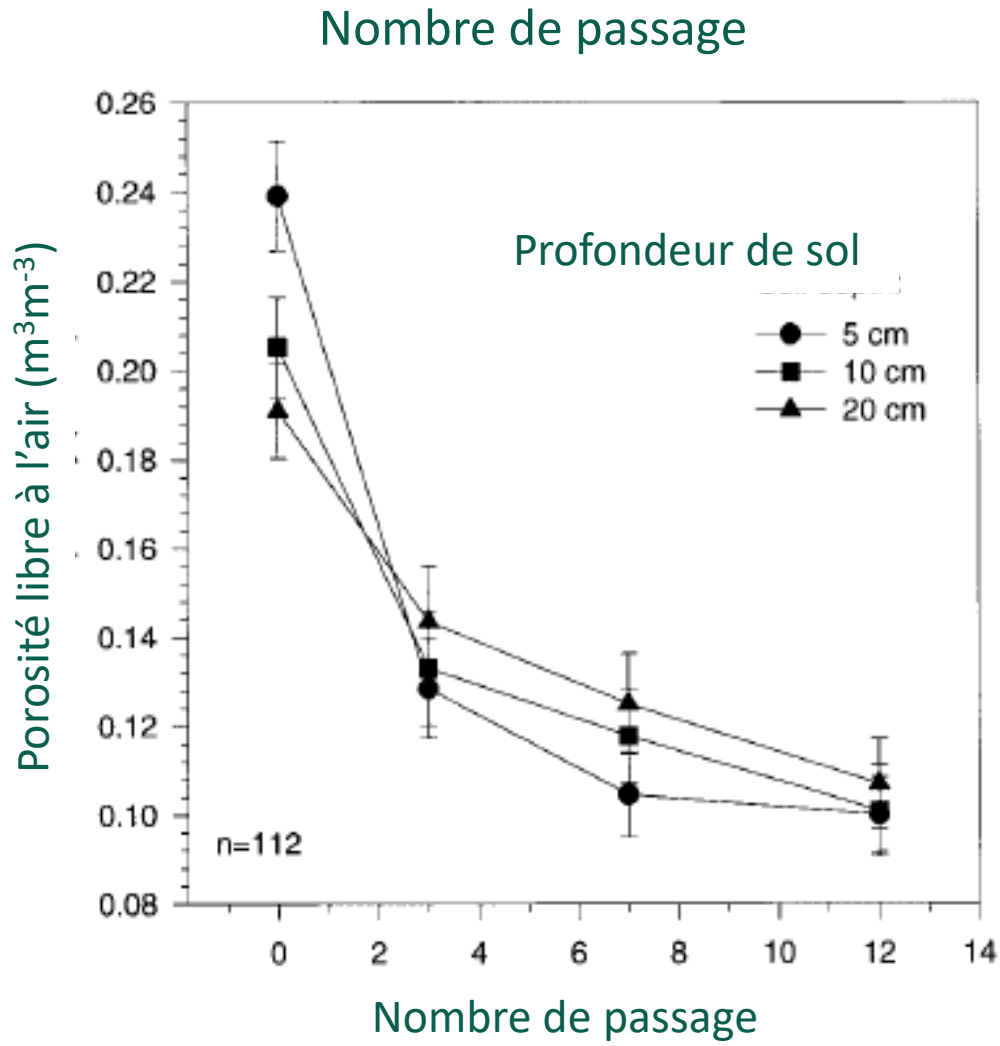


87,5% de la pression initiale





Processus de dégradation des sols par tassement



McNabb et al 2001





Processus de dégradation des sols par tassement

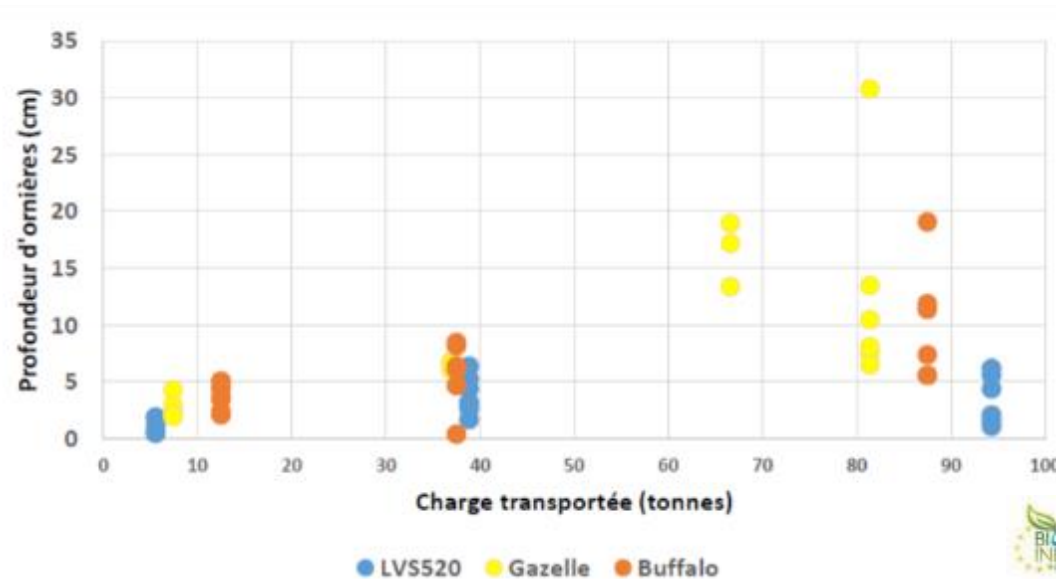
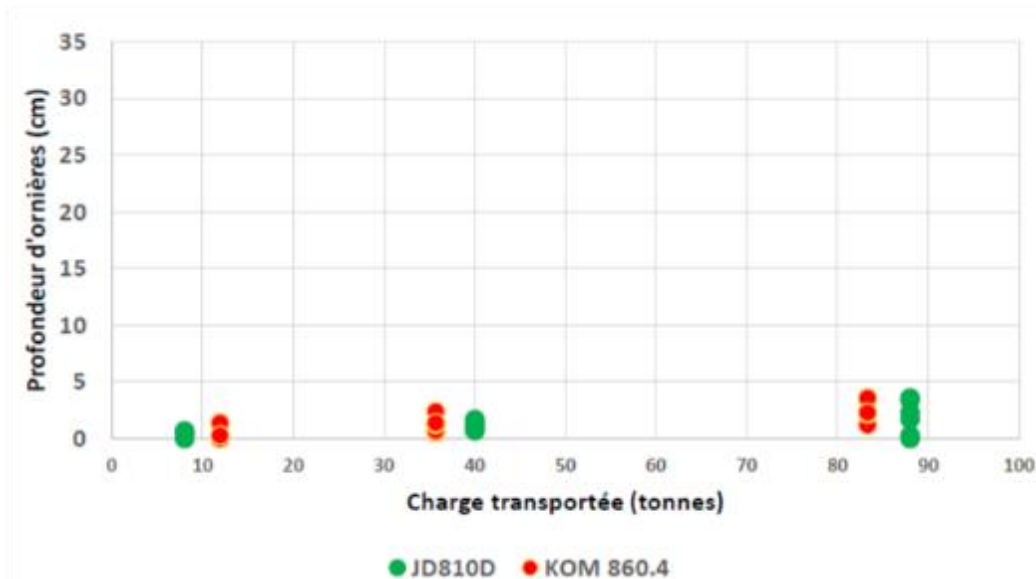


L'évolution de la masse des engins a des conséquences non négligeables sur l'ornièrage, en particulier quand les sols sont humides

Exemples sur sols à dominance limoneuse entre 0 et 50cm de profondeur

Azerailles - sol sec

Arc-et-Senans : sol frais



Poids en charge (t) :	22	31
Poids à vide (t) :	14	19
Pression maximum (kg/cm ²) :	1,2	1,6

LVS520	Gazelle	Buffalo
14	24	31
8	16	18
1	1,3	1,6





Processus de dégradation des sols par tassement



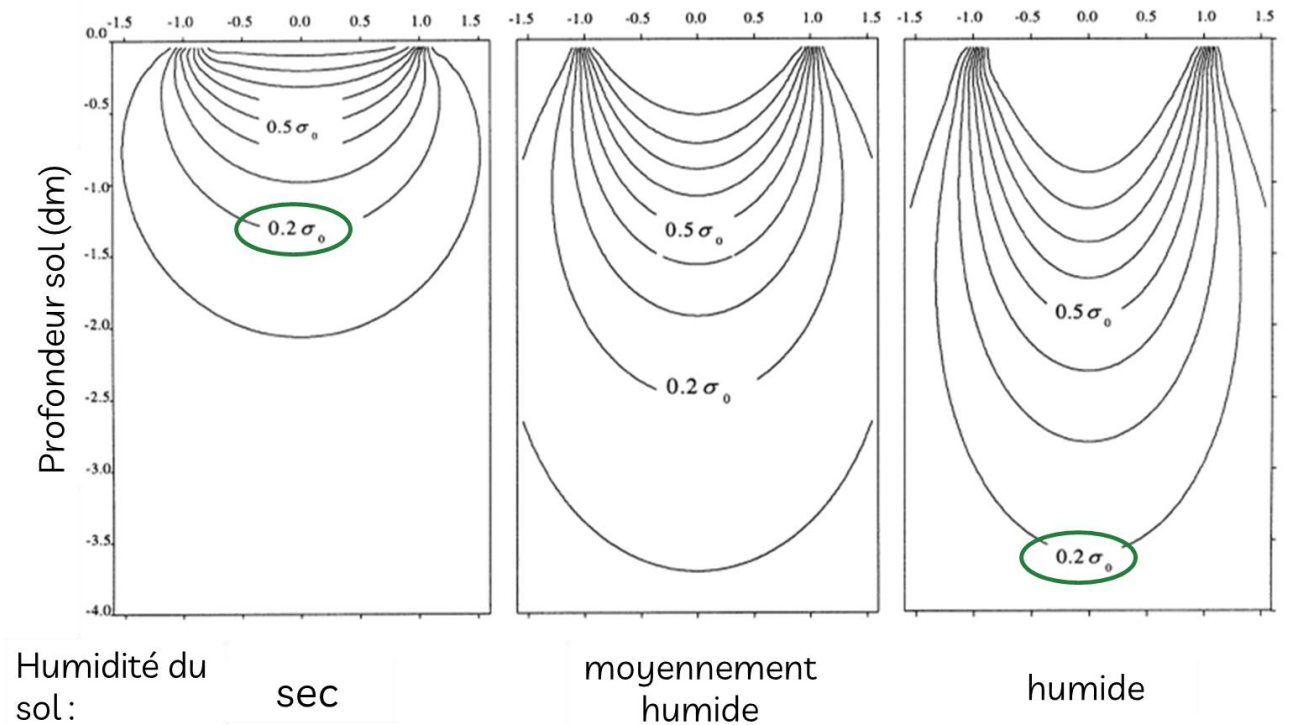
Ampoorter et al., 2012 :

Méta-analyse des facteurs expliquant l'intensité de la déformation sous le passage d'engins forestiers :

⇒ Sols sableux sont aussi sensibles que les sols argileux (toutes choses égales par ailleurs)



+ facteur n°1 de déformation : Humidité du sol



Smith et al 2000

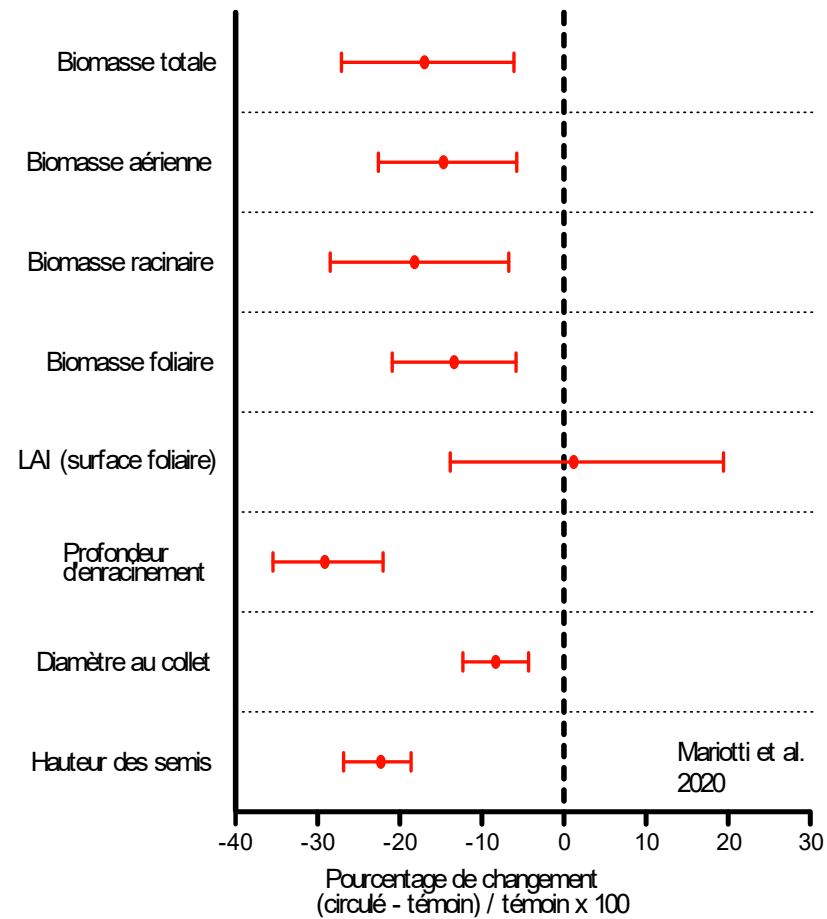




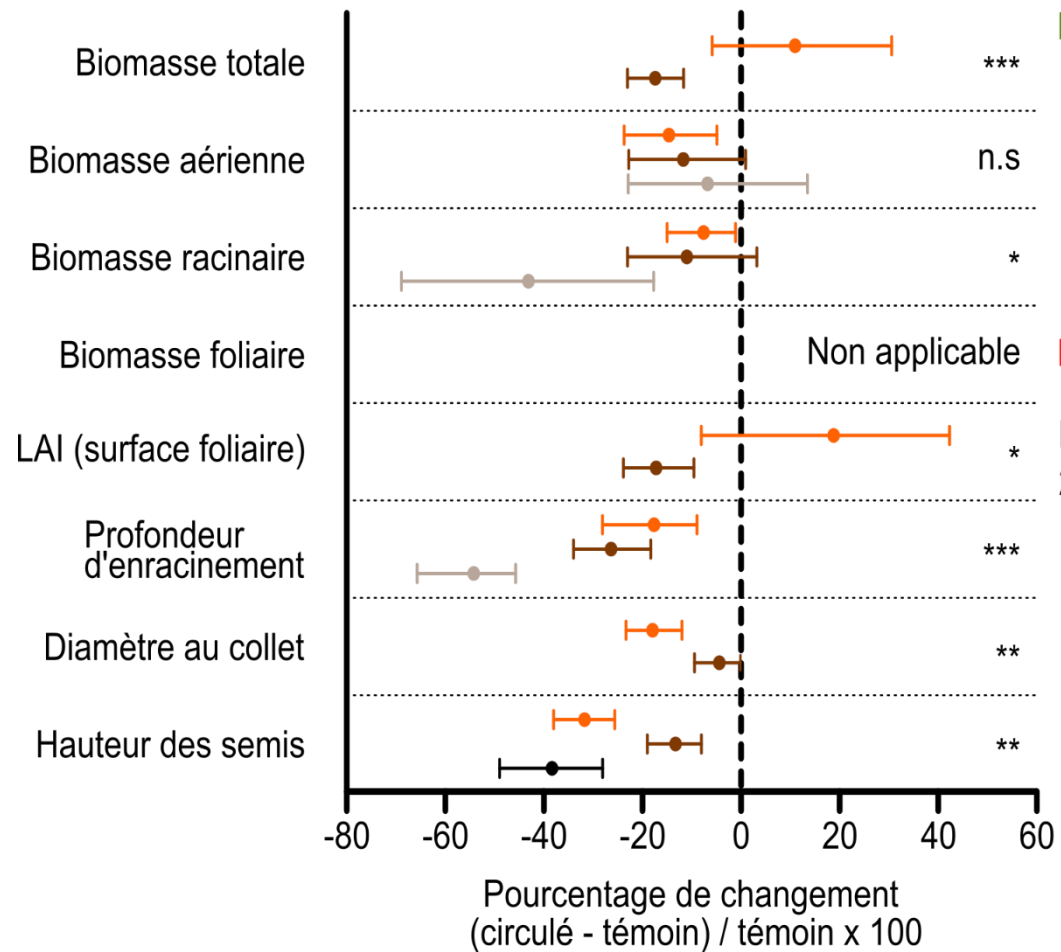
Processus de dégradation des sols par tassement



Effet général :



Par classe de texture :



Moins sensible au tassement

- Sableux (>70% de sable)
- Argile lourde (>45% d'argile)
- Limoneux (>60% de limon)
- Equilibré (combinaison d'argiles, limons et sables)

Plus sensible au tassement

Mariotti et al. 2020





Processus de dégradation des sols par tassement

Exemple d'impacts : site de suivi à long terme des effets du tassement d'Azerailles (54)
2 passages d'un porteur (Valmet 840) de **20t en charge** en mai 2007 (sols frais), **ornières de 5cm en moyenne**

1. Coupe rase et débardage par câble mât

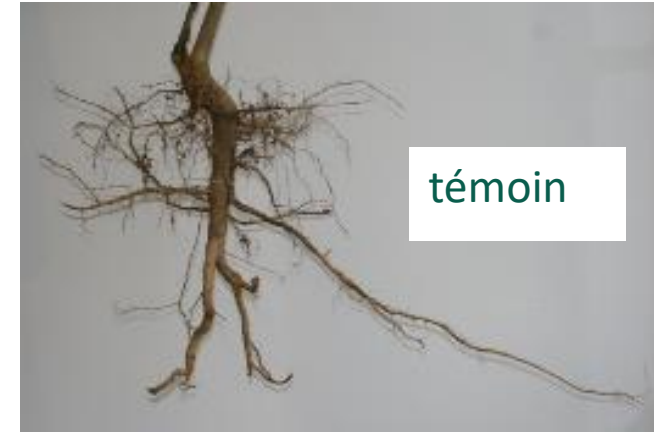


2. compaction





Processus de dégradation des sols par tassement



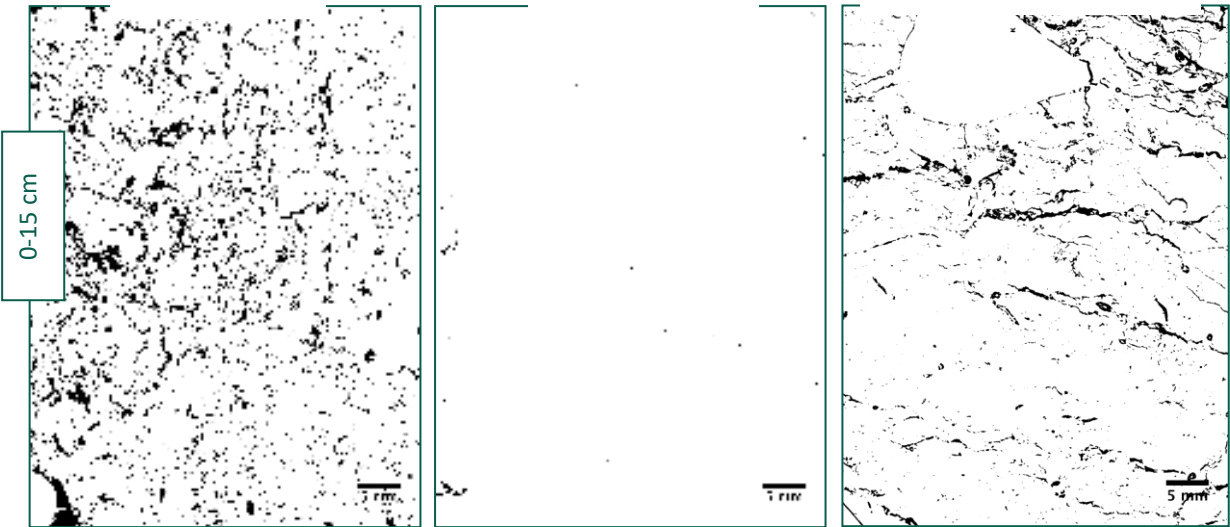
N. Bottinelli et B. Fatré (2011)

Analyse d'image sur lames minces de sol :
espaces vides en noir

témoin

tassé t0

tassé t+2ans



N. Bottinelli (2012)





Processus de dégradation des sols par tasse

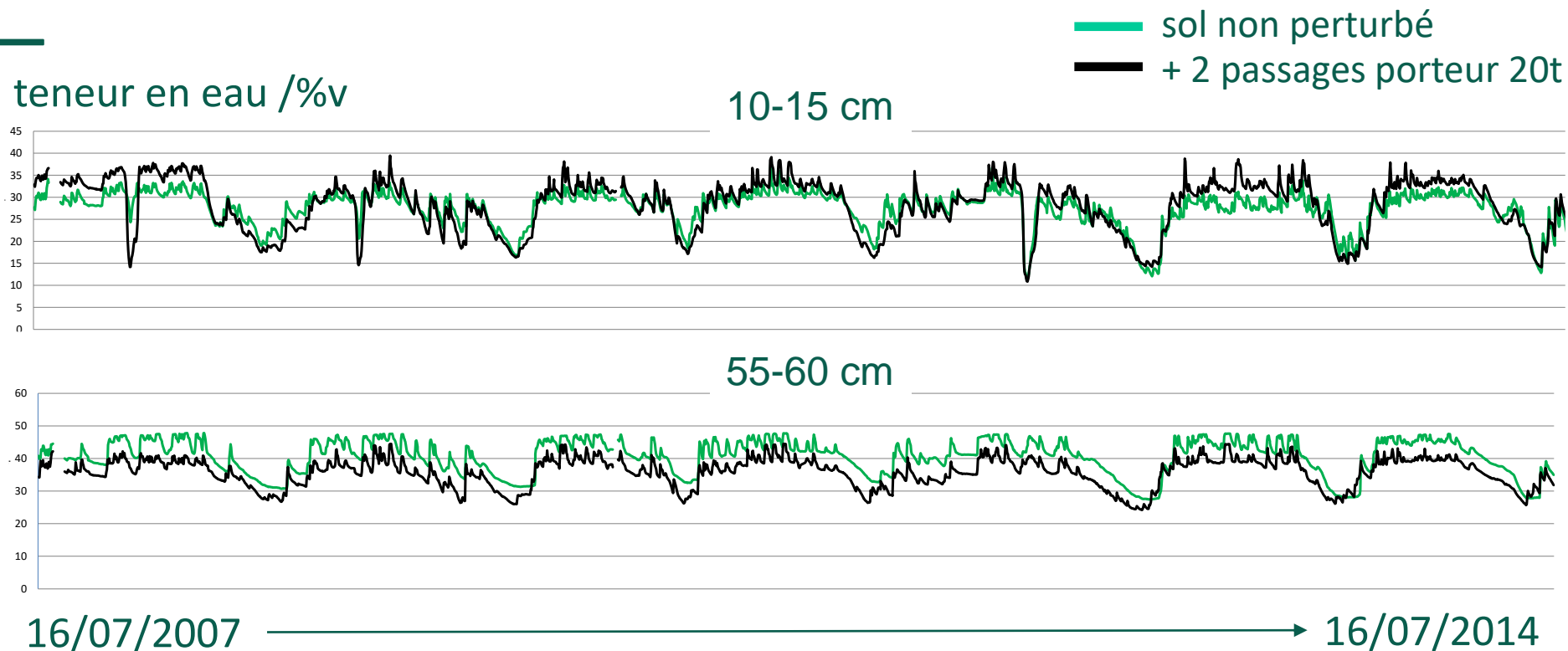


tassé	témoin	tassé	témoin
-------	--------	-------	--------



Azerailles, 27/03/2019 (11 saisons de végétation après tassement), Bloc 3

Processus de dégradation des sols par tassement



Augmentation du risque d'engorgement en surface (zone plane) ou du risque d'érosion (pente)

Augmentation du risque de sécheresse (moins d'eau en profondeur)

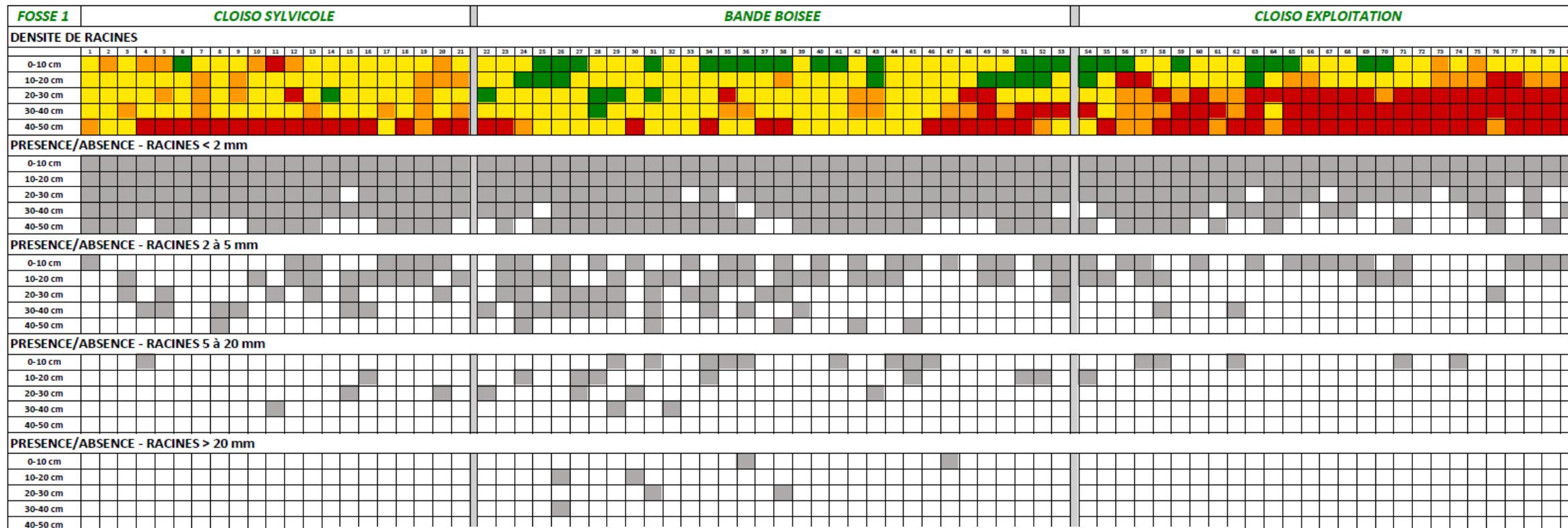




Processus de dégradation des sols par tassement



Résultats similaires pour des cloisonnements :



Densité de racines : ■ 1 ou 2 / dm² ■ 2 à 3 / dm² ■ 4 à 10 / dm² ■ 11 à 50 / dm²
Présence/absence de racines de la grosseur considérée : ■ Présence Absence



Augmentation du risque de sécheresse (moins de racines en profondeur)

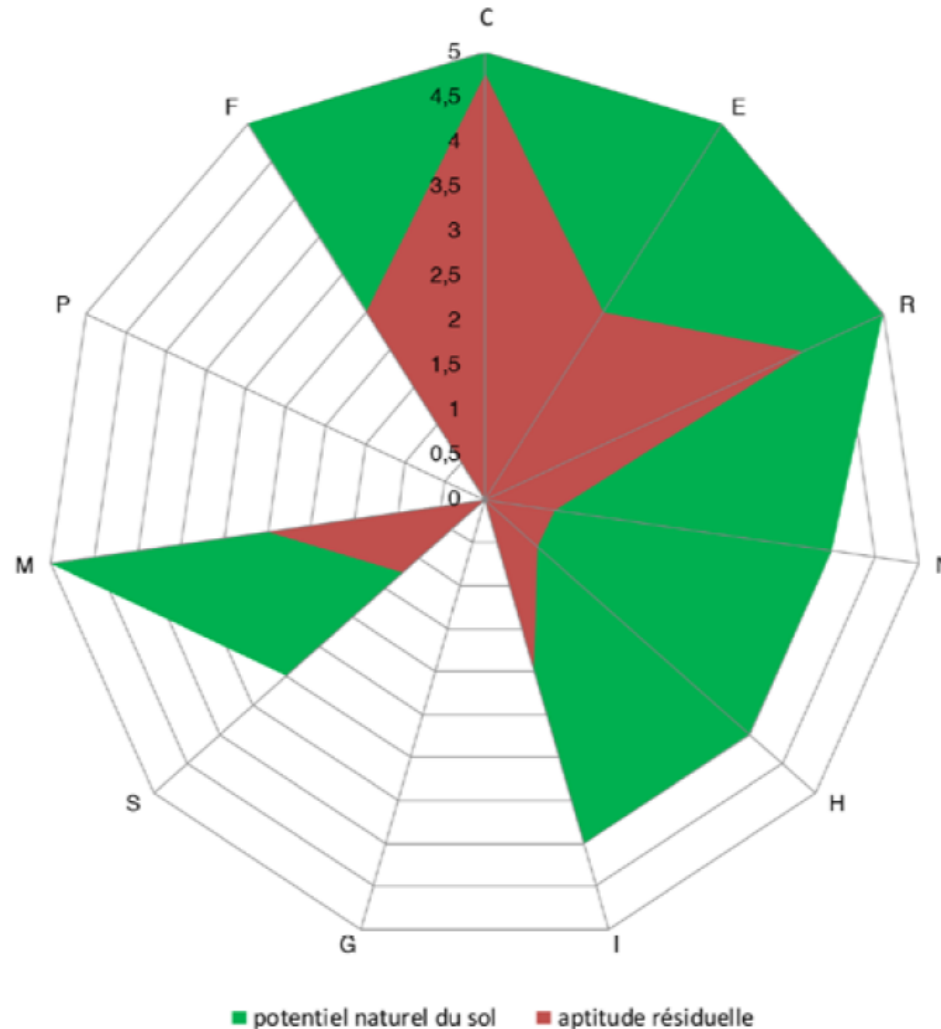




Processus de dégradation des sols par tassement



 Sol non perturbé
 Sol tassé

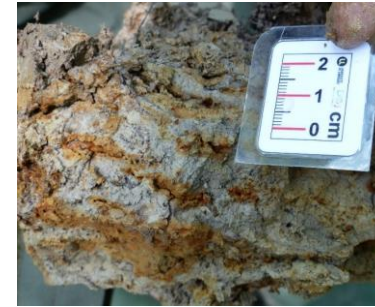


- C : Séquestration du Carbone
- E : Purification Eau et réduction contaminants
- R : Régulation du climat
- N : Cycles des éléments Nutritifs
- H : Habitat pour organismes
- I : Inondation et régulation des crues
- G : Source de composant et Génétique
- S : Support pour infrastructures
- M : Fourniture Matériaux
- P : Patrimoine culturel
- F : Fourniture d'aliments, de fibres et de combustibles

Cas d'étude "sites tassement" (Ay et al., 2020).



Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables



- Impact **maximal** après les **1-3 premiers passages pour toutes les situations**
- Durée nécessaire à la restauration de la porosité sans intervention humaine = **plusieurs décennies**
- Impact fort sur le fonctionnement sol + peuplement forestier **même dans le cas d'impact visuel de faible intensité**

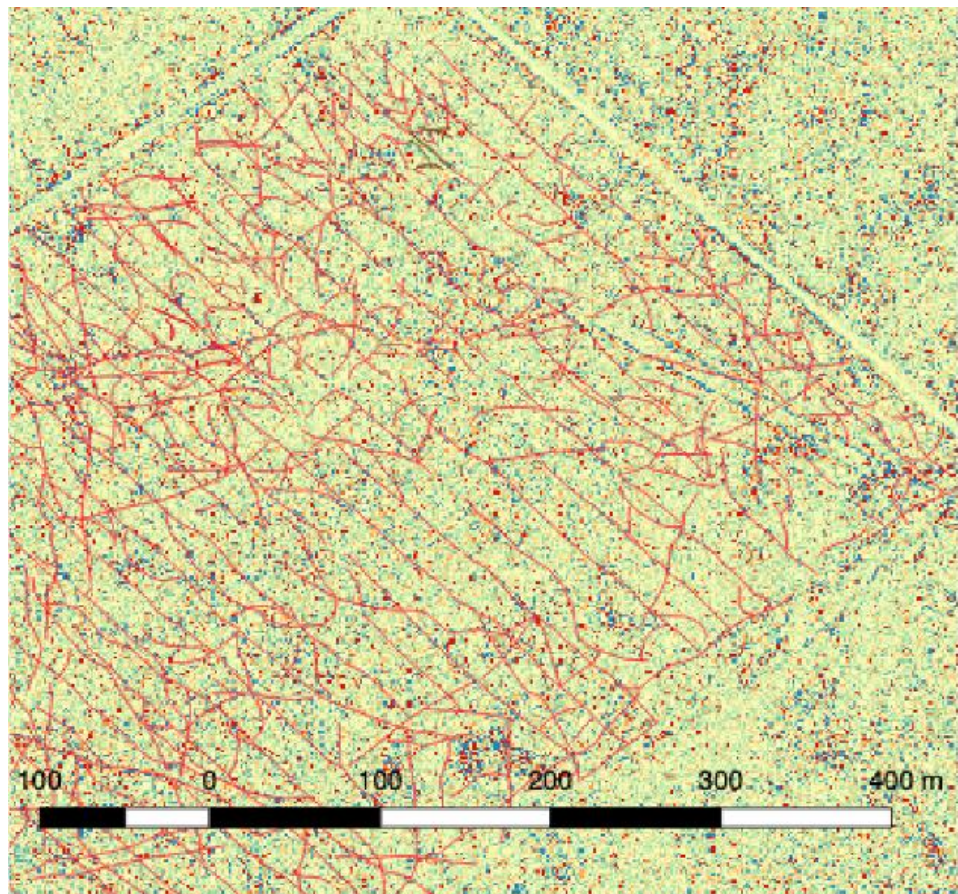
➔ Prévention indispensable et **circulation limitée** à des voies de circulation permanentes (= cloisonnements) qui doivent **rester praticables** (circulation sur sol sec, limiter la charge à la roue, limiter le nombre de passage...)



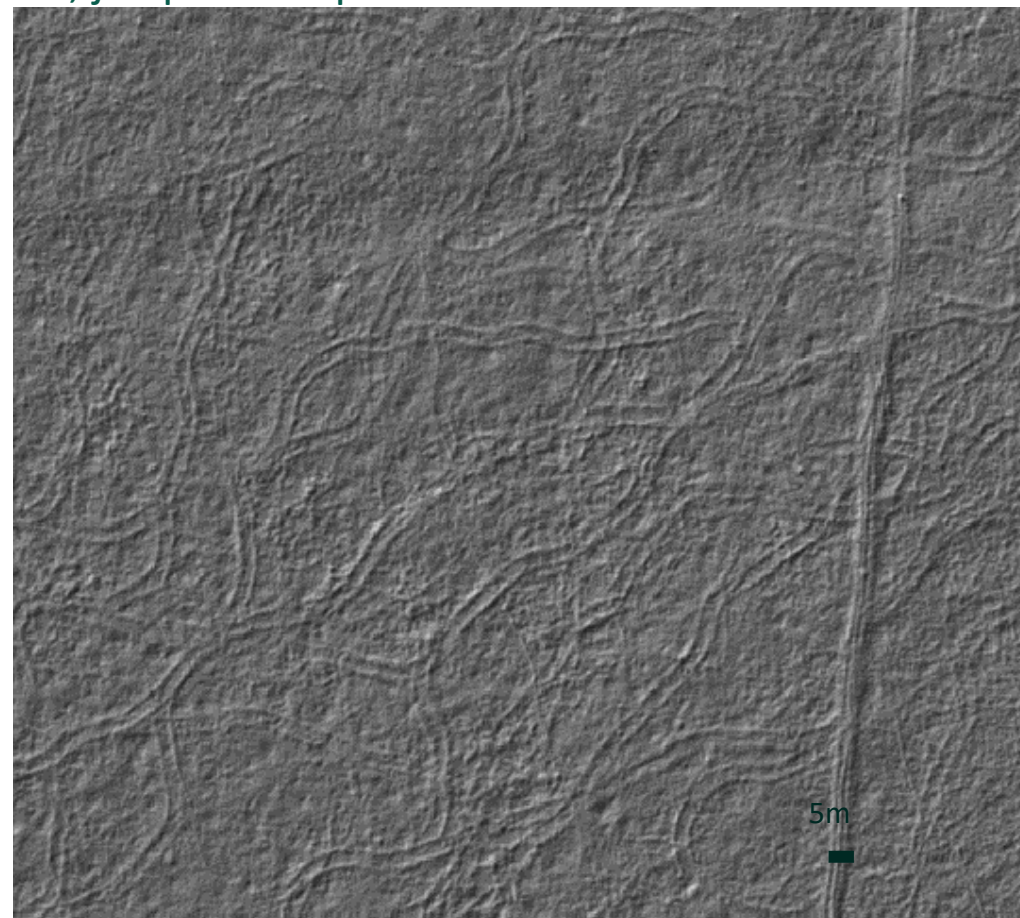
Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables



% circulé avec cloisonnements : en théorie 20%
(4m tous les 20m)



% circulé sans cloisonnements : moyenne par chantier = 34%, jusqu'à 60% pour certains chantiers + CUMUL



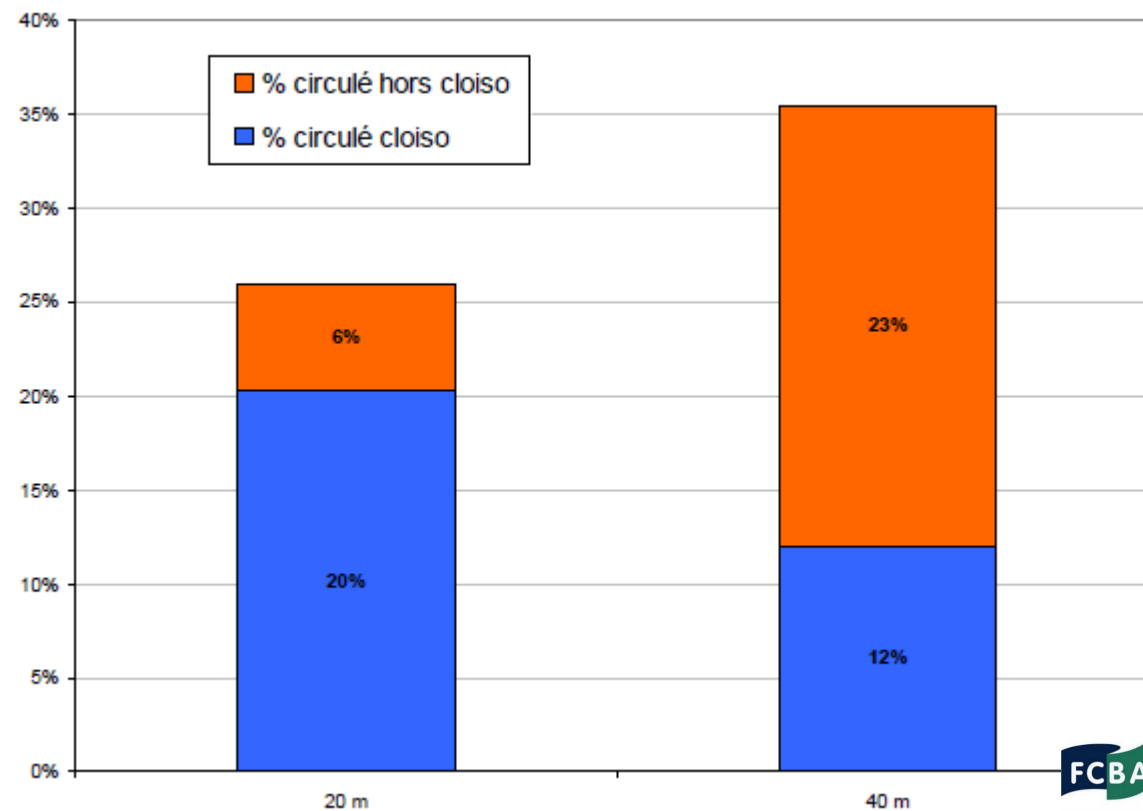
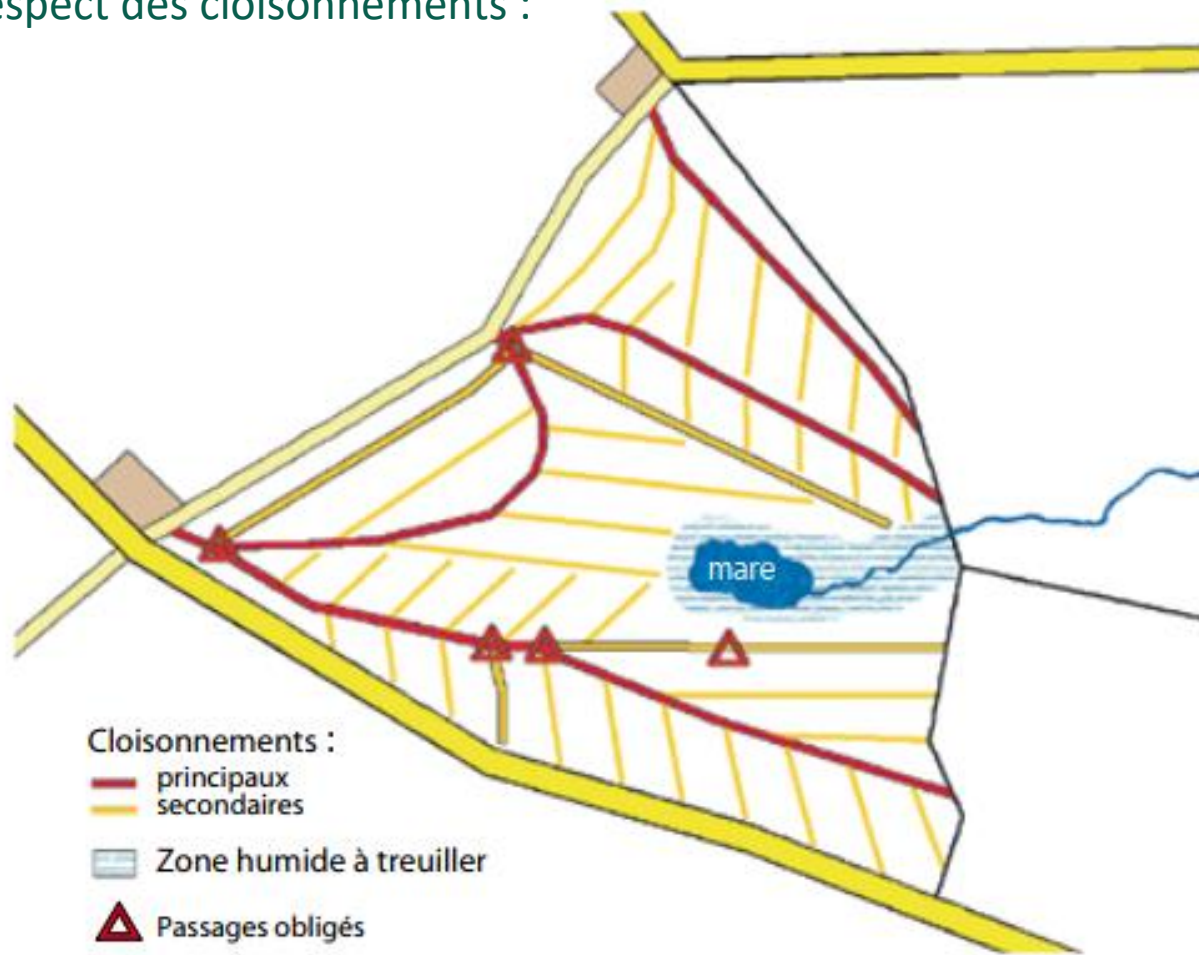
FD Compiègne, traitement images LIDAR : Mohieddine, 2019

FD Chantilly, traitement images LIDAR : Bock, 2022

Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables



Respect des cloisonnements :





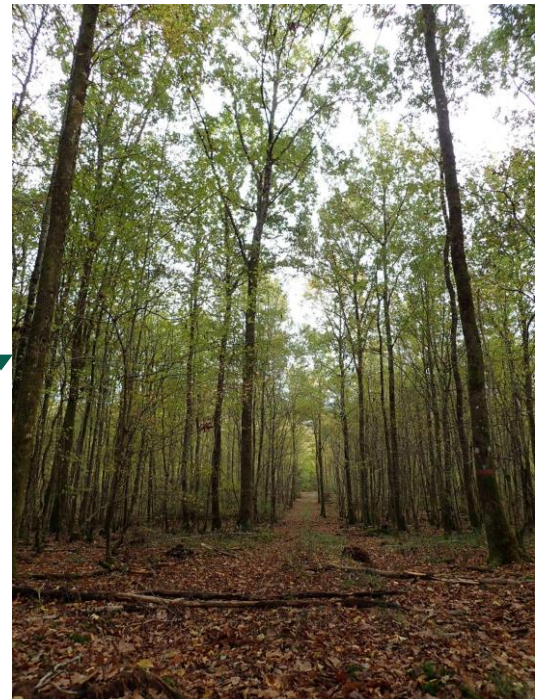
Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables



Respect des cloisonnements :



Cloisonnement sec



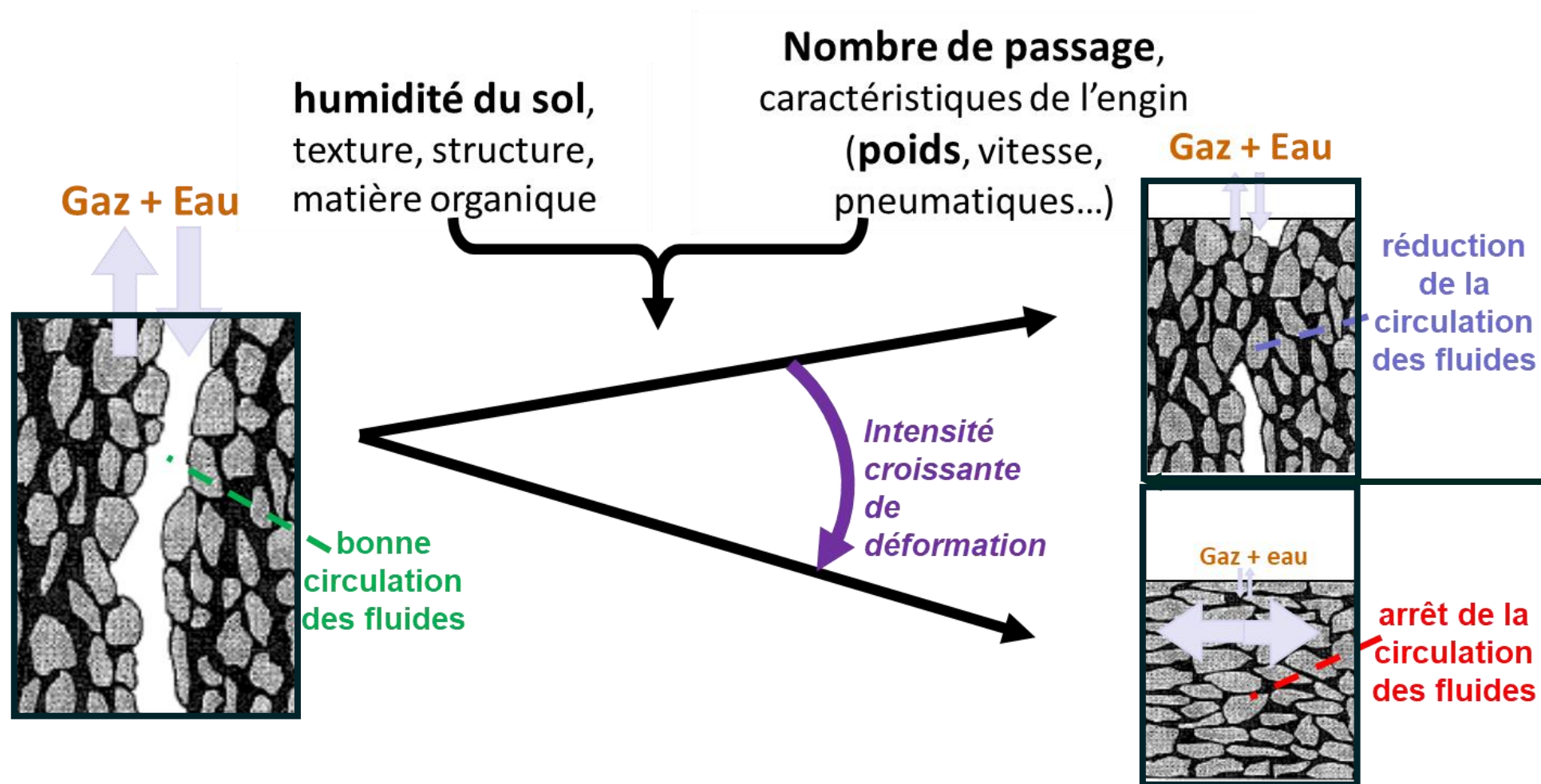
Au moment du chantier : estimation de l'humidité du cloisonnement

Cloisonnement humide



Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables

Respect des cloisonnements :



Guide Pratic'Sols

Apparition d'ornières atteignant 20 ou 30 cm : définir les mesures à adopter.



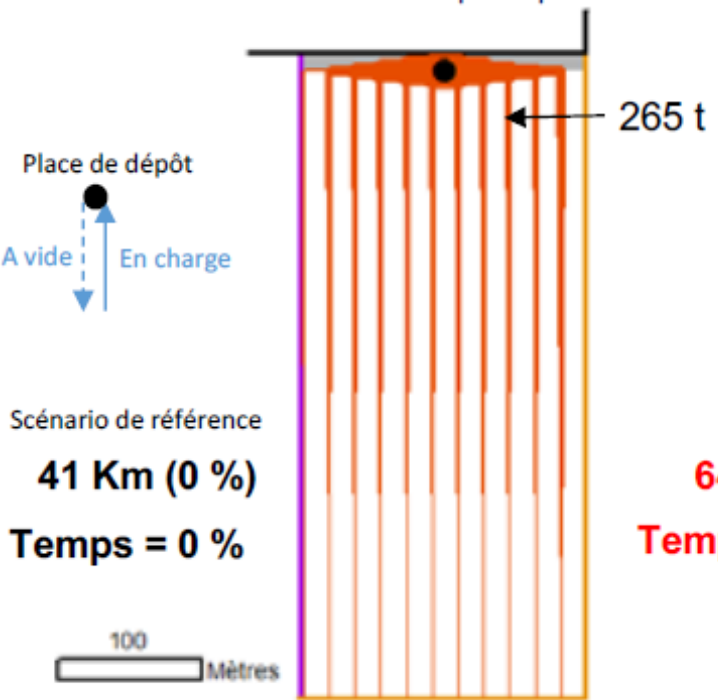
Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables



Les cloisonnements = infrastructure à optimiser (depuis l'implantation jusqu'à la place de dépôt en passant par l'exploitation) ... Exemple en fonction du nombre, de la position des places de dépôts et du sens des cloisonnements

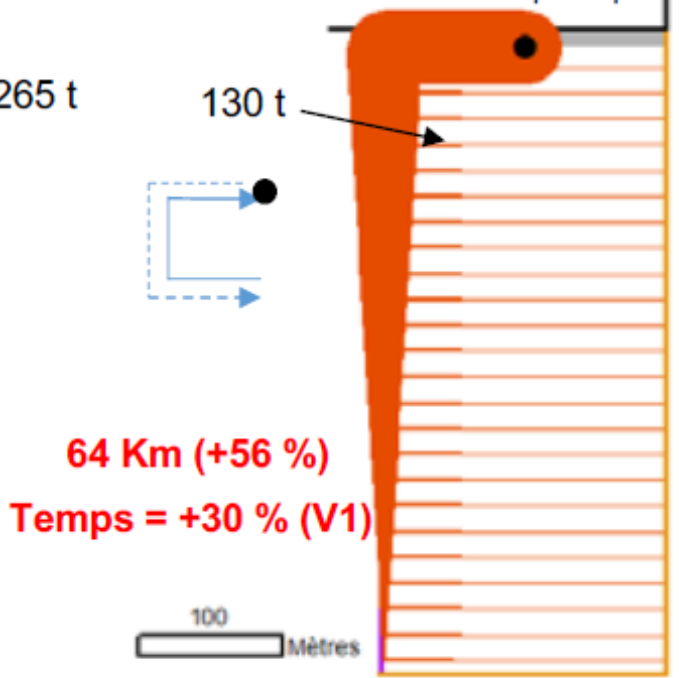
① Longitudinal aller / retour

Pas de cloisonnement principal



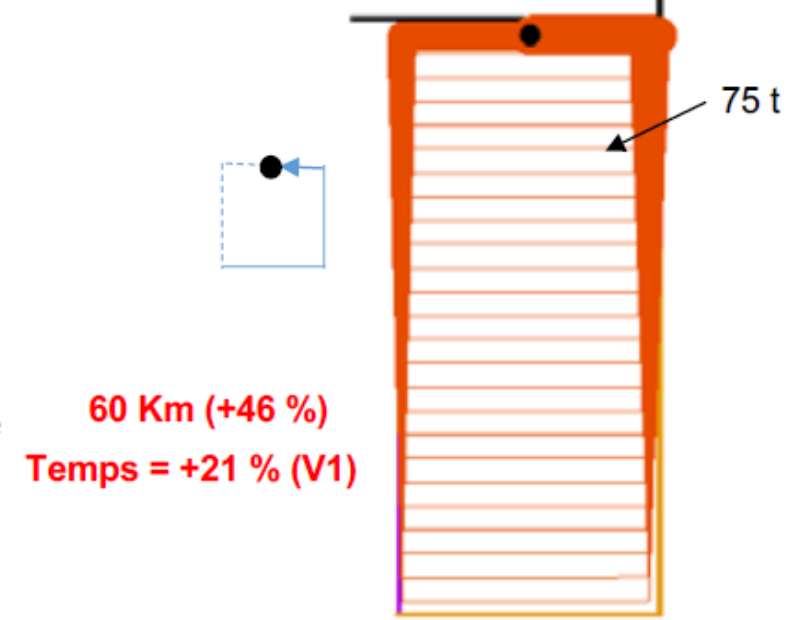
② Transversal aller / retour

La ligne de parcelle est utilisée comme cloisonnement principal



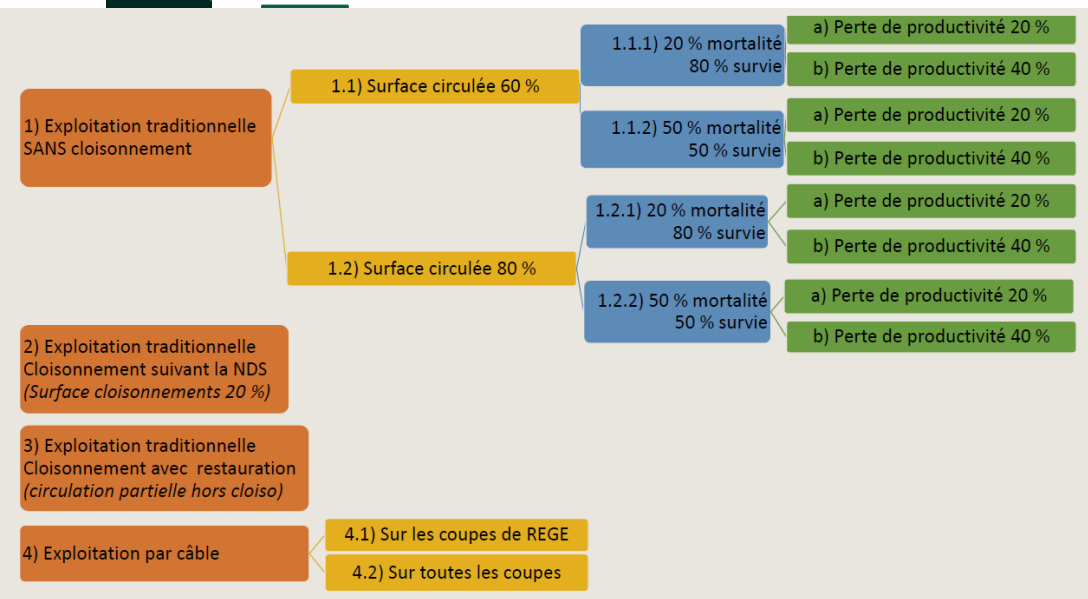
③ Transversal boucle et derniers retours incomplets

Deux lignes de parcelle utilisées comme cloisonnements principaux



- Centre place de dépôt
- 100 t
- 1 000 t

Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables



Delphine Schmittlin / ONF

↑ FD de Chaux, février 2022

Scénarios évalués avec un taux d'actualisation de 2 % Sans risque économique ou climatique	BASI (euros/ha)	Ecart par rapport au scénario 4.1 par câble (%)
1) Exploitation traditionnelle SANS cloisonnement		
1.1) Surface circulée 60 %		
1.1.1) 20 % mortalité – 80 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	16 384	- 3 %
b) Perte de productivité 40 %	13 438	- 21 %
1.1.2) 50 % mortalité - 50 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	13 542	-20%
b) Perte de productivité 40 %	11 701	-31%
1.2) Surface circulée 80 %		
1.2.1) 20 % mortalité – 80 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	14 508	-14%
b) Perte de productivité 40 %	10 579	-38%
1.2.2) 50 % mortalité - 50 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	12 487	-26%
b) Perte de productivité 40 %	9 344	-45%
2) Exploitation traditionnelle cloisonnement suivant la NDS	17 610	4%
3) Exploitation traditionnelle cloisonnement avec restauration	15 610	-8%
4) Exploitation par câble		
4.1) Sur les coupes de REGE	16 967	0%
4.2) Sur toutes les coupes	18 084	7%

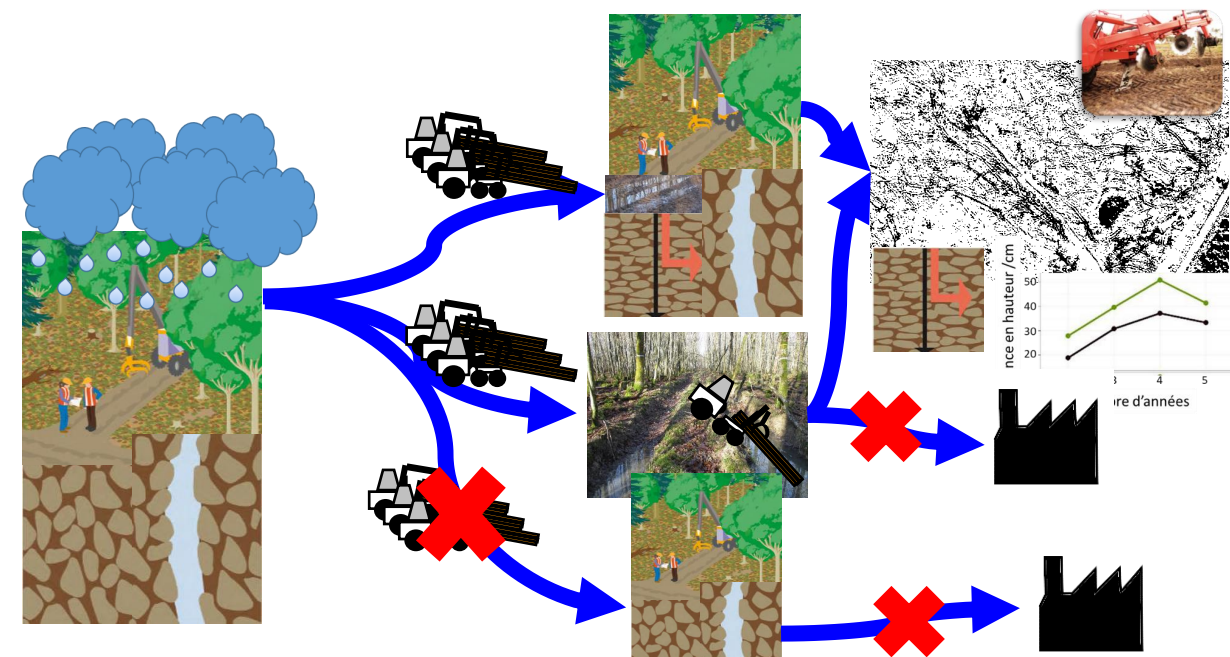


Mise en place et du maintien à long terme d'un réseau cohérent de cloisonnements praticables

Dans cette première analyse économique, ne sont pas pris en compte :

-coût des arrêts de chantier en fonction de la météo (rupture d'approvisionnement, déplacement des machines...)

-perte de leviers sylvicoles pour l'adaptation en climat changeant (recru ligneux, état sanitaire des semenciers, enracinement, dynamique de l'eau...)

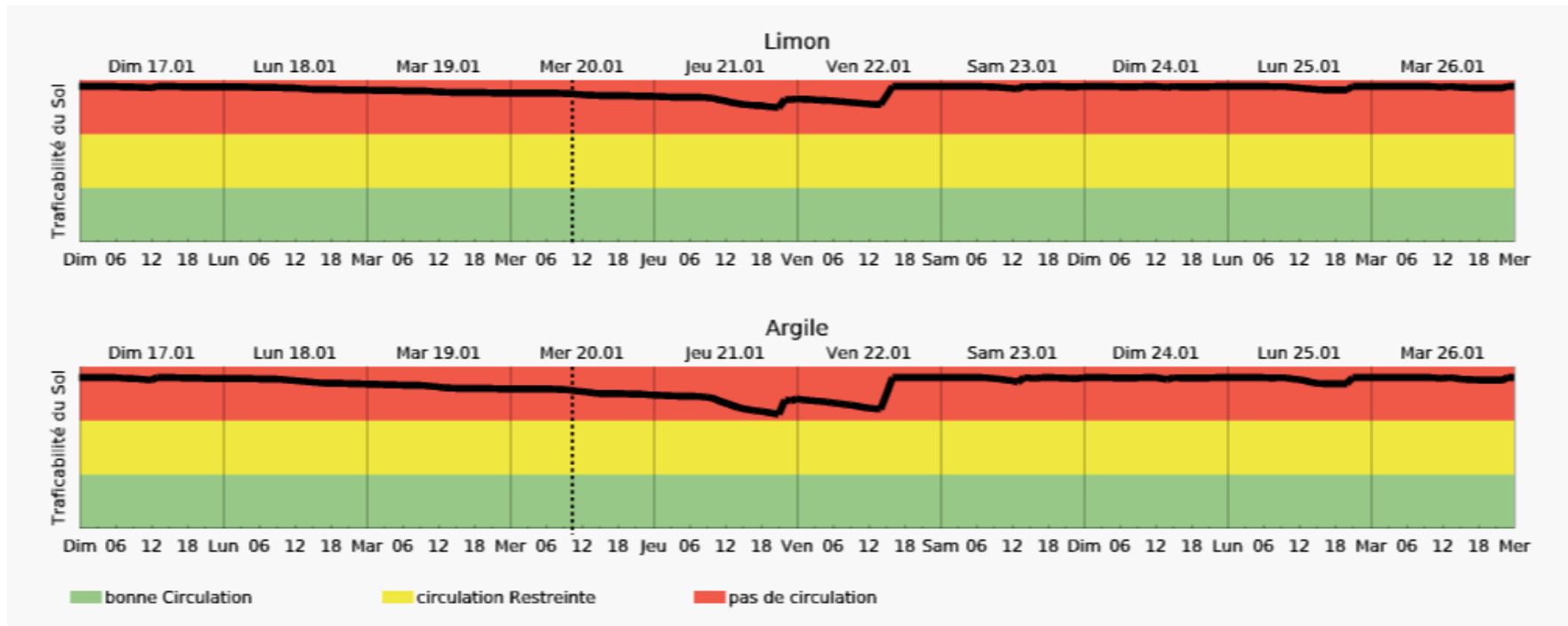




Perspectives



Service climatique de la praticabilité des cloisonnements : projet VSoilForOAD



Service climatique Meteoblue / Agriculture / viabilité du sol





Perspectives



Transfert des connaissances et sensibilisation : SOLOSCOPE AURA





Office National des Forêts

Merci pour votre attention.