

Mécanisation des opérations sylvicoles et durabilité des sols forestiers

**Jacques RANGER, Arnaud LEGOUT, Pascal BONNAUD, Gilles NOURRISSON,
Dominique GELHAYE, Yves LEFEVRE ----- INRAE
Noémie GOUTAL, Alain BRETHES, Pascal GEORGES ----- ONF**

Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers Centre INRAE
Grand Est Nancy
54280 Champenoux
Jacques.ranger@inrae.fr

AAF séance 7 octobre 2020

Le contexte

Les sols forestiers diffèrent des sols agricoles

- sélection par défaut
- évolution sans apports
- transferts vers les sols agricoles

Les végétaux sont différents

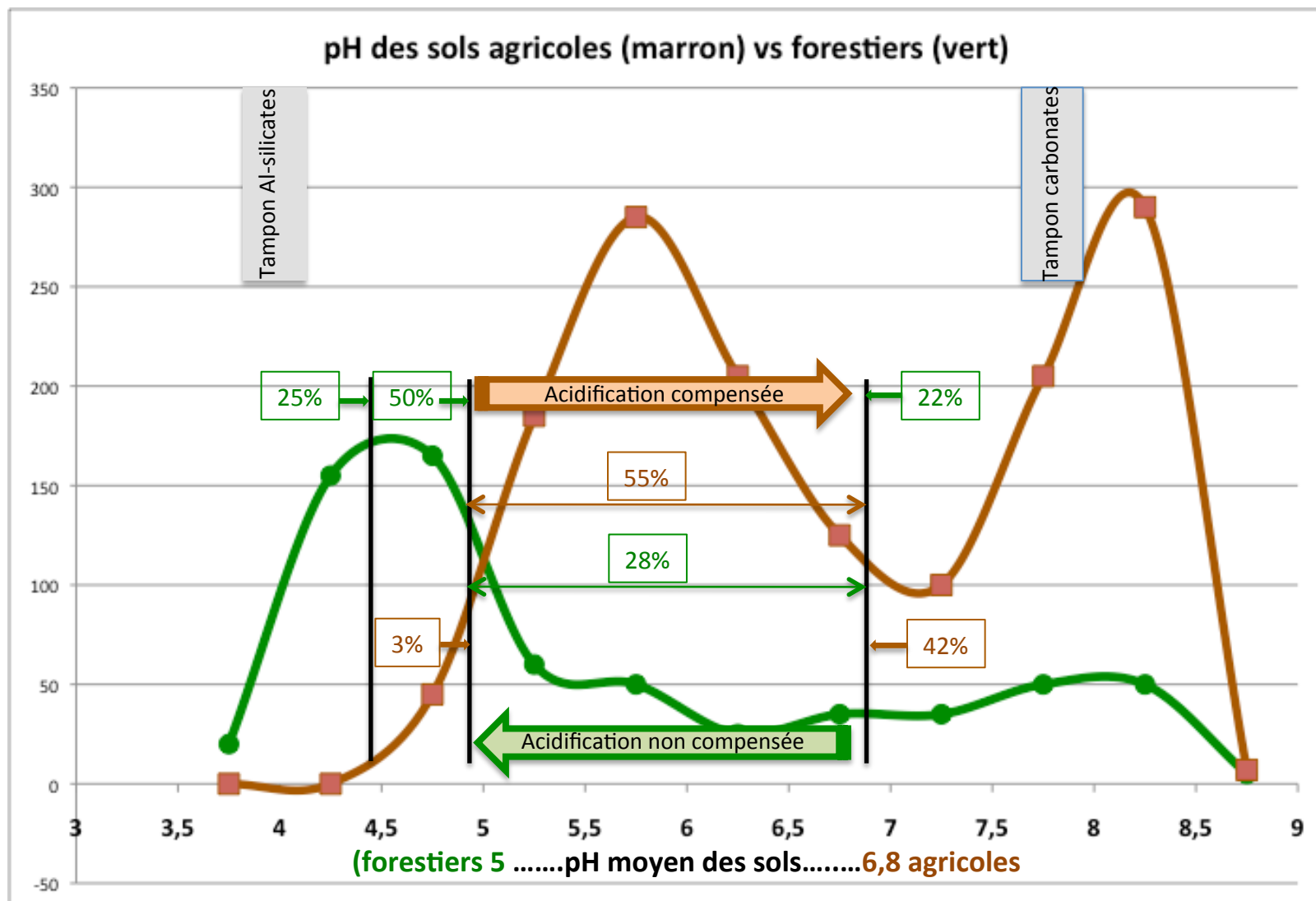
- longévifs
- peu améliorés
- rôle important de la végétation spontanée

L'écosystème est parfaitement adapté à une disponibilité minérale limitée dans le processus des cycles biogéochimiques (géochimiques, biologiques, biochimiques)

- utilisation de toutes les ressources (sol, sous-sol, atmosphère..)
- forte capacité de recyclage
- rôle des symbiotes

Les pratiques sont différentes

- traitement à caractère extensif
- exportations par les récoltes non compensées
- peu voire aucun intrant
- intensification = demande accrue



Comparaison des **sols agricoles** et **forestiers** pour leur pH_{eau} ; courbes établies à partir des données du RMQS (base de données GIS sols Inrae Infosol Orléans)

Le contexte

Les sols forestiers diffèrent des sols agricoles

- sélection par défaut
- évolution sans apports
- transferts vers les sols agricoles

Les végétaux sont différents

- longévifs
- adaptés aux sols acides et pauvres
- peu améliorés
- rôle important de la végétation spontanée

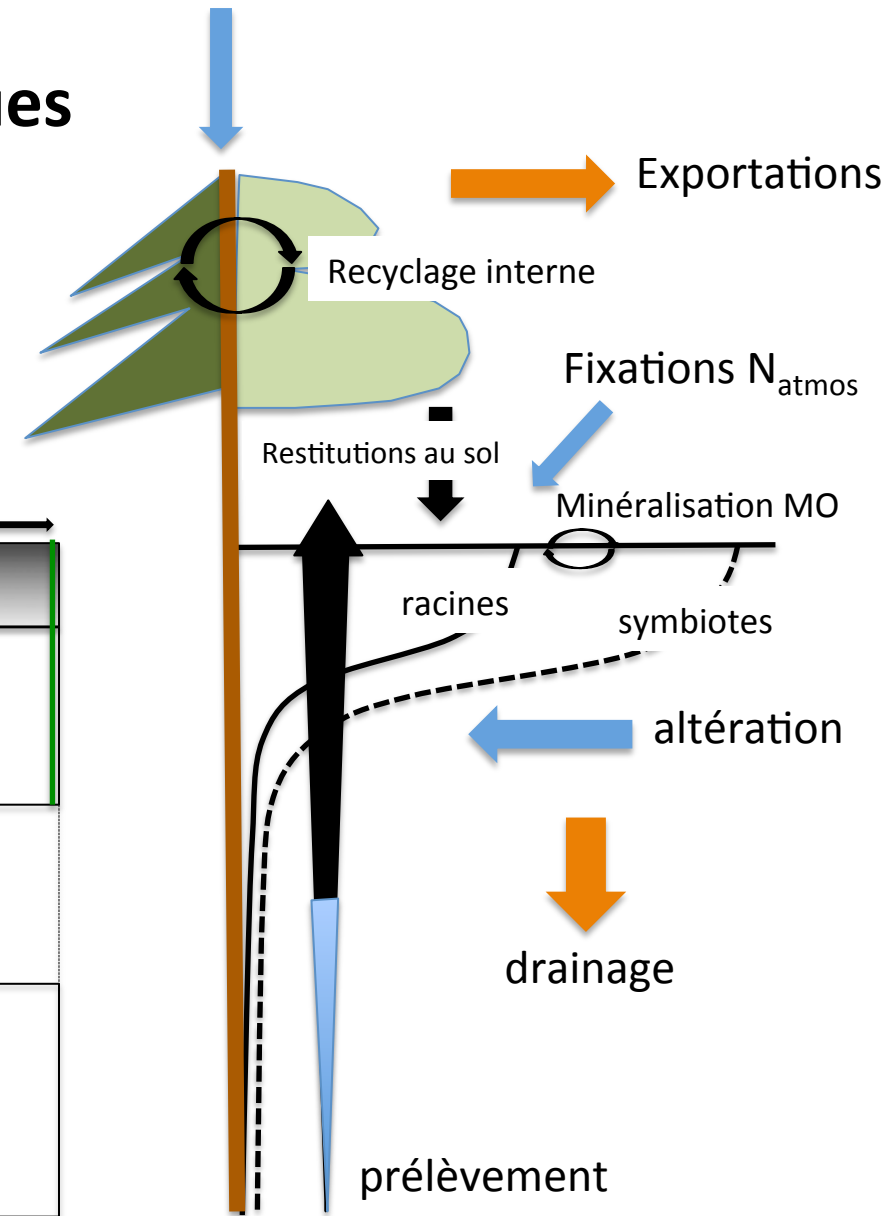
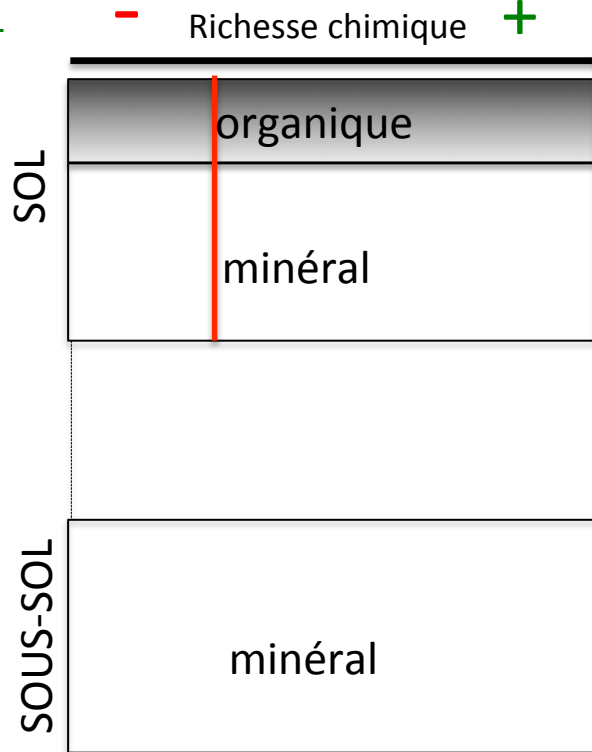
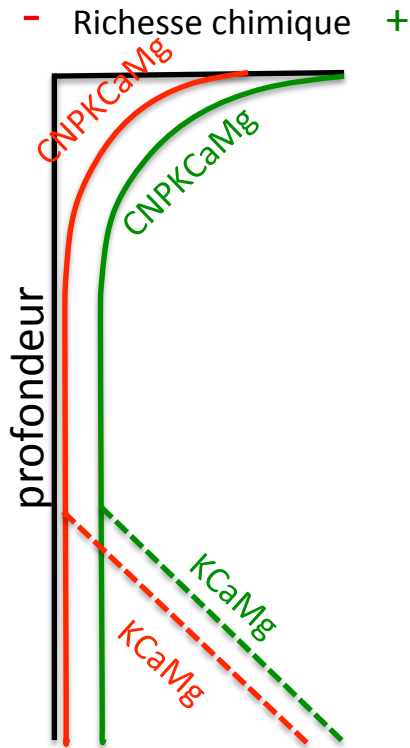
L'écosystème est parfaitement adapté à une disponibilité minérale limitée dans le processus des cycles biogéochimiques (géochimiques, biologiques, biochimiques)

- utilisation de toutes les ressources (sol, sous-sol, atmosphère..)
- forte capacité de recyclage
- rôle des symbiotes

Les pratiques sont différentes

- traitement à caractère extensif
- exportations par les récoltes non compensées
- peu voire aucun intrant
- intensification = demande accrue

Sols et cycles biogéochimiques



Le contexte

Les sols forestiers diffèrent des sols agricoles

- sélection par défaut
- évolution sans apports
- transferts vers les sols agricoles

Les végétaux sont différents

- longévifs
- peu améliorés
- rôle important de la végétation spontanée

L'écosystème est parfaitement adapté à une disponibilité minérale limitée dans le processus des cycles biogéochimiques (géochimiques, biologiques, biochimiques)

- utilisation de toutes les ressources (sol, sous-sol, atmosphère..)
- forte capacité de recyclage
- rôle des symbiotes

Les pratiques sont différentes

- traitement à caractère extensif
- exportations par les récoltes non compensées
- peu voire aucun intrant
- intensification = demande accrue

Les conséquences

L'écosystème forestier est adapté :

- les sources d'éléments sont diversifiées et complémentaires
- les flux sont faibles
- la fertilité minérale d'un écosystème forestier repose non pas sur un réservoir, mais sur un ensemble de flux de faible dimensions mis en œuvre en fonction de l'état hydrique du sol et des besoins

L'écosystème forestier est vulnérable

Gérer durablement un tel système implique d'en connaître les limites

La mécanisation

1- le sol est organisé à toutes les échelles spatiales

- horizons dont la stratification résulte d'un fonctionnement sur le long terme
- agrégation déterminant le transfert et le stockage des fluides, et les niches biologiques ; la stabilité structurale dépend des sols et de leur état

2- la mécanisation perturbe cette organisation fonctionnelle

- représente en France 85% des opérations en résineux contre 15% en feuillus
- scalpage, mélange, orniérage, fluage, tassement
- dépend des sols et de leur état

3- les conséquences concernent

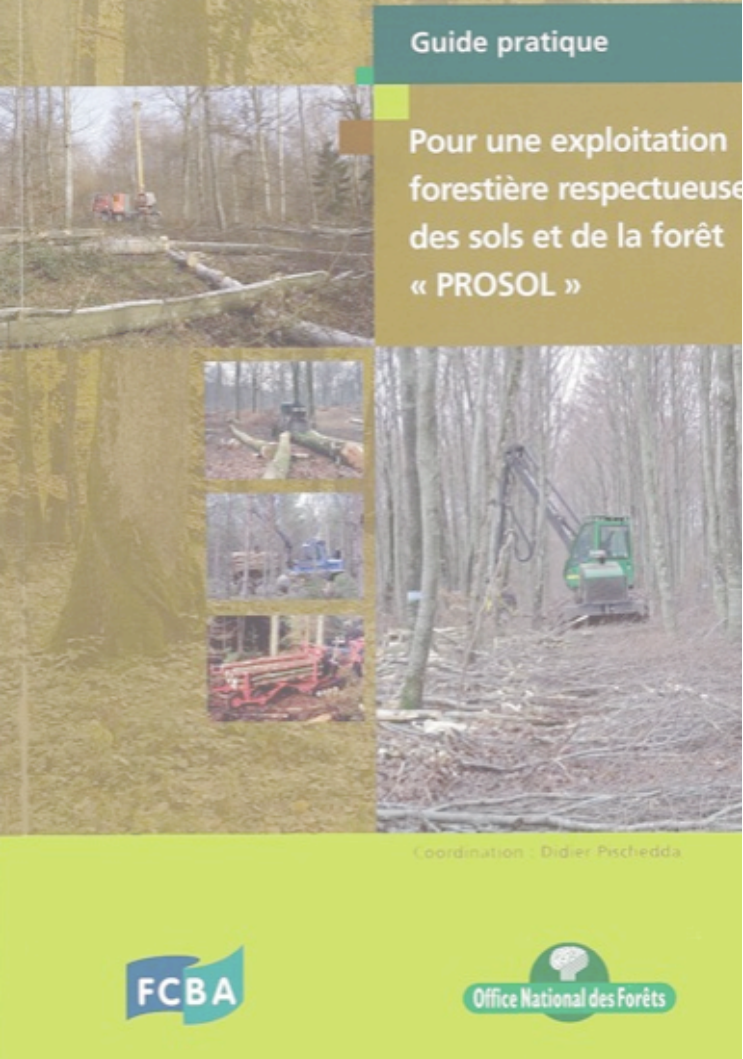
- la pénétrabilité du matériau densifié : limite l'enracinement
- le transfert des fluides par baisse de la porosité : anoxie, hydromorphie..
- modification du fonctionnement géochimique
 - atmosphère du sol, apparition d'éléments réduits...
- modification du fonctionnement biologique
 - minéralisation/consommation/émission GES
 - faune du sol
 - flore (apparition d'invasives ? ; mise en difficulté des ligneux)

Les conséquences

- **La dégradation du sol peut être très rapide modifiant la dimension et le contenu du réservoir** (eau, éléments nutritifs)
 - Récoltes trop intenses (bois énergie, rémanents, souches...)
 - Mécanisation mal contrôlée (sols humides et/ou sensibles) se traduisant par le tassement des horizons, modifiant le fonctionnement du sol et limitant l'accès racinaire
- **La restauration est toujours lente....réversible ?**
 - dominée par des processus naturels,
 - le plus souvent liée à des phénomènes physiques (quand le sol est acide),
 - concerne la partie superficielle du sol
 - probablement jamais totalement réversible (aspect mécanique, durée incompatible avec le pas de gestion)

Prise en compte de ce phénomène

« nouveau »



Prise de conscience de la profession aboutissant au guide **PROSOL (ONF-FCBA Didier Pischedda 2009)**

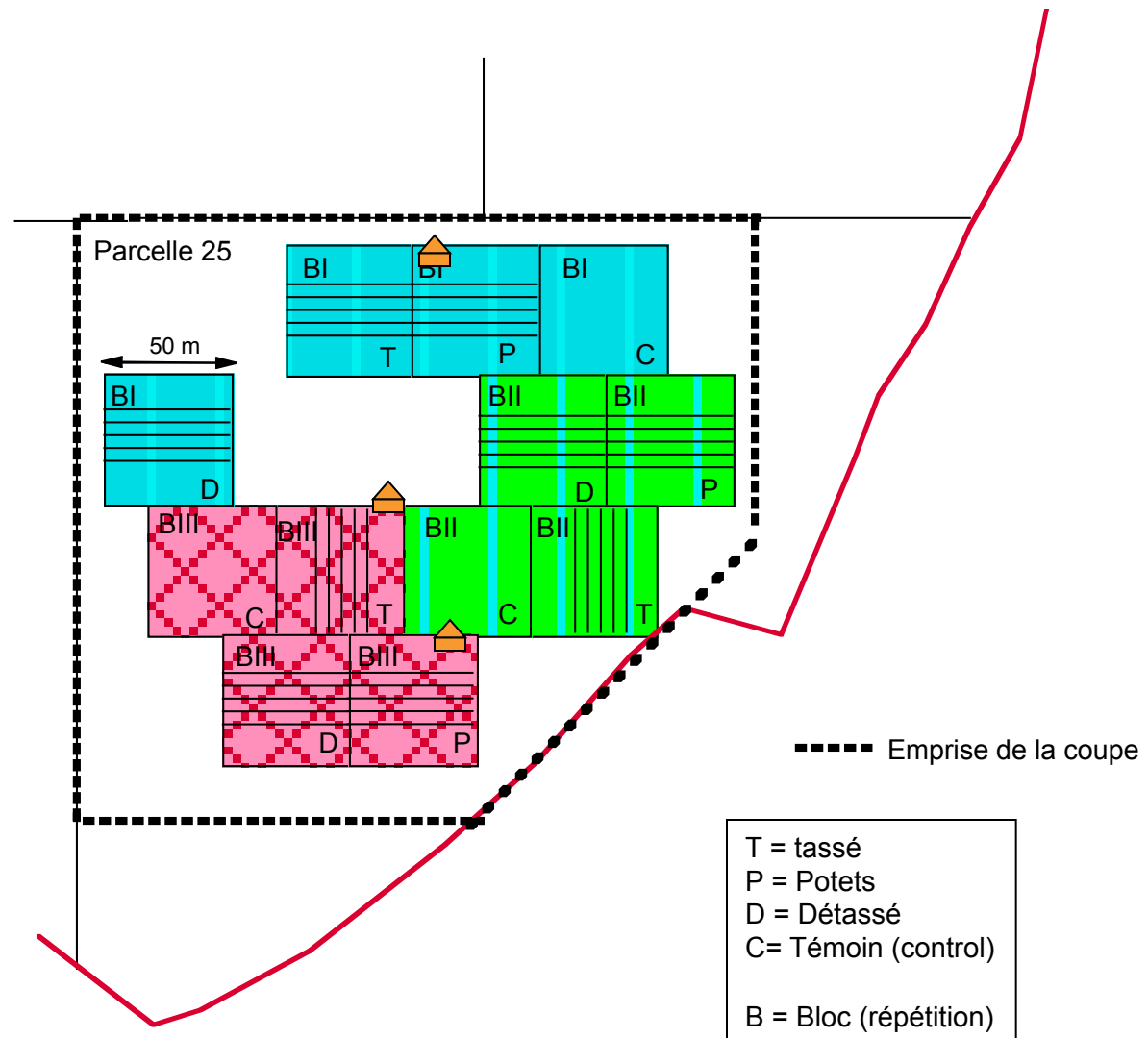
- Objectif : limiter les dégâts au sol occasionnés par toutes les interventions sylvicoles (récolte, débardage, préparation des sites, entretiens, éclaircies...)
- Décision (forêt publique) :
 - généralisation des cloisonnements d'exploitation où sera limité le trafic des machines
 - limite au trafic sur les cloisonnements qui doivent être maintenus opérationnels
 - méthodes alternatives pour les sols les plus sensibles

Prise en compte de ce phénomène « nouveau »

Nécessité d'acquérir des connaissances

- Retard de la recherche forestière : participation au projet DST (Guy Richard)
- Mise en place de deux sites expérimentaux sur sols sensibles du plateau lorrain
 - physique analogue : sols polycycliques (60 cm de limon reposant sur un substrat argileux)
 - pH inférieur à 4,5 Argonne ou supérieur à 4,5 Lunévillois
 - Tassement contrôlé sur sol ressuyé en mai 2007 Azerailles et mai 2008 Clermont en Argonne
 - Suivi continu depuis cette date

Azerailles 54 – Forêt domaniale des Hauts-Bois



Plan du dispositif de la forêt Domaniale des Hauts-Bois commune d'Azerailles 54



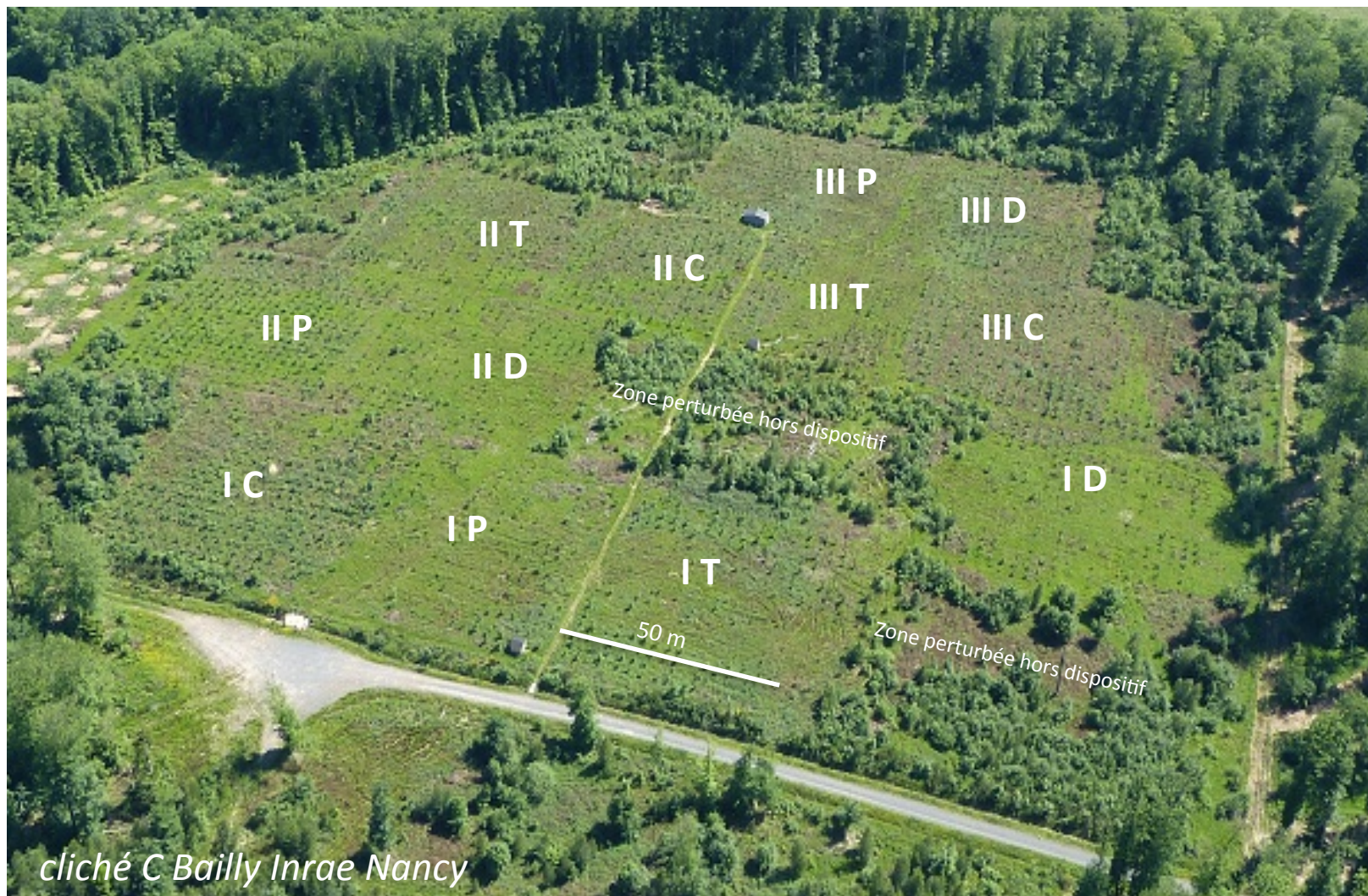
La réalisation du tassement par le porteur Valmet (A) sur le site d'Azerailles et le résultat du tassement sur le sol après (B) un et deux passages (C)

Une dégradation initiale très brutale

- Végétation spontanée
- Morphologie du sol
- Atmosphère du sol
- Nappe perchée temporaire
- Solutions peu fixées
- Microbiologie
-



Modification de la végétation spontanée quelques mois après le tassement sur le site d'Azerailles ; la ronce domine dans la zone témoin alors que le jonc a envahi la zone tassée



Vue aérienne du site d'Azerailles (54) en 2012 (traitements : C témoin, T tassé, D tassé-de-compacté, et P 'potets' ; I, II, III numéros des blocs). La différence de végétation spontanée en fonction des traitements apparaît dans les nuances de verts : vert lumineux jonc et glycérie (tassés); vert foncé ronces (témoins).



Perte de structure
généralisée

Blanchiment

Taches ferrugineuses

Liseré ferrugineux
soulignant la
discontinuité
texturale

Limite de la couche limoneuse



Dégradation morphologique : Azerailles - morphologie du sol sain (A) et du
sol tassé, en juin 2013

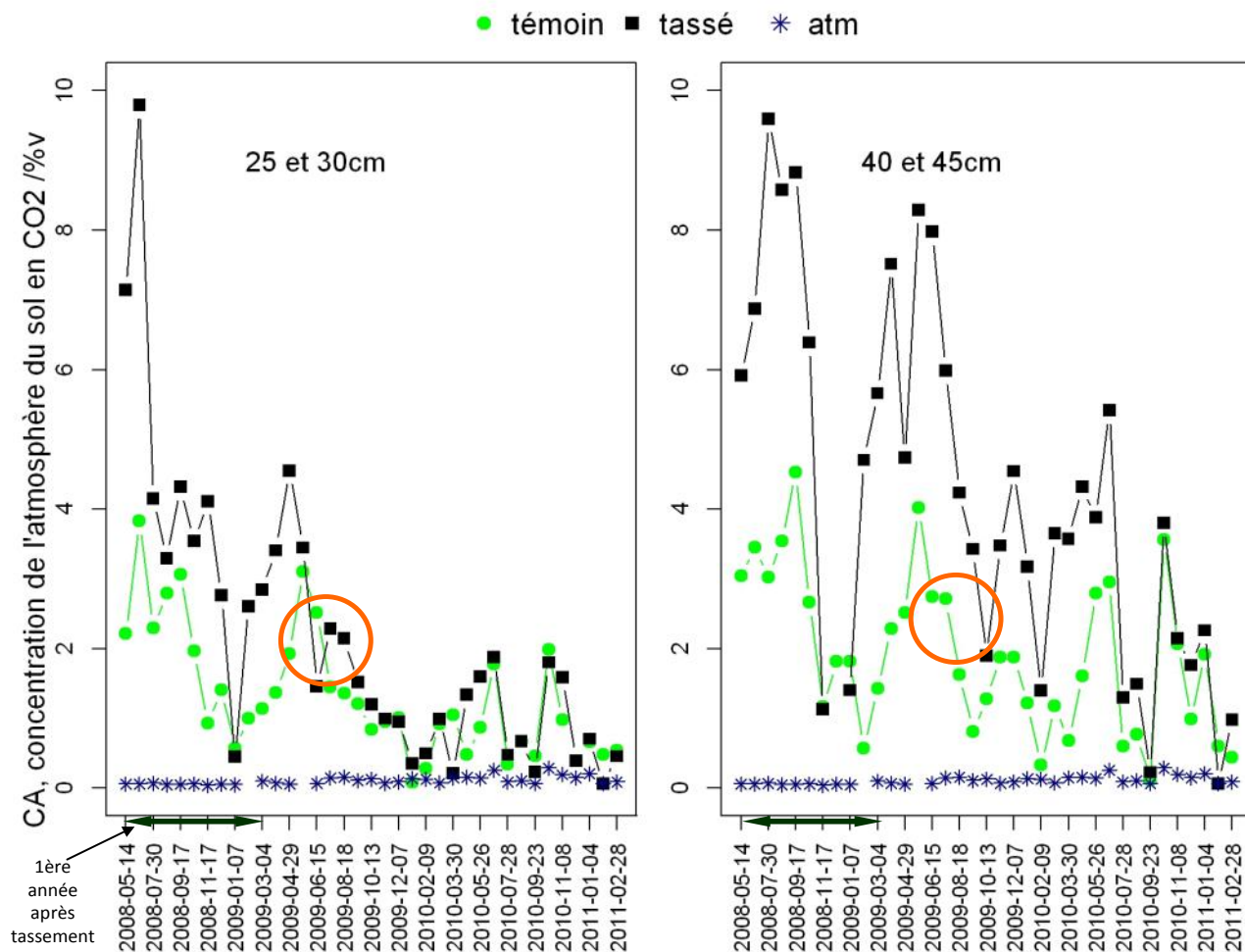


Figure 45 : Variation temporelle de la composition de l'atmosphère du sol en CO₂ à CA à deux profondeurs différentes, le cercle orange correspond à l'apparition de la première sécheresse édaphique (cf. climat général et pédoclimat) et la flèche verte à la première année après tassement.

Une restauration très lente

- Végétation spontanée
- Morphologie du sol
- **Résistance physique du sol**
- **Nappe perchée temporaire**
- **Solutions peu fixées**
- Atmosphère du sol
- Microbiologie
- **Le peuplement forestier**

La résistance physique du sol

Très bon indicateur de l'état du sol, peu invasif, mais la mesure doit être couplée à celle de l'humidité du sol



Résultats :

- La valeur mesurée dépend du sol et de son état d'humidité
- Dans le sol pauvre, la RP du sol tassé ne diffère pas de celle du témoin quand le sol est humide, mais devient très forte quand le sol est sec
- Dans le sol riche le sol tassé est toujours plus résistant que le sol du témoin, quelle que soit l'humidité
- RESTAURATION
 - C'est dans le sol riche que la restauration est la plus avancée
 - Les caractéristiques de hardsetting du sol pauvre masquent l'effet du tassement. Le chaulage modifie très largement ce constat et conduit à une restauration notable au bout de 10 ans

La nappe perchée temporaire

Les paramètres augmentation du niveau d'eau dans le sol, fréquence d'apparition et durée de résidence augmentent fortement dans les deux cas

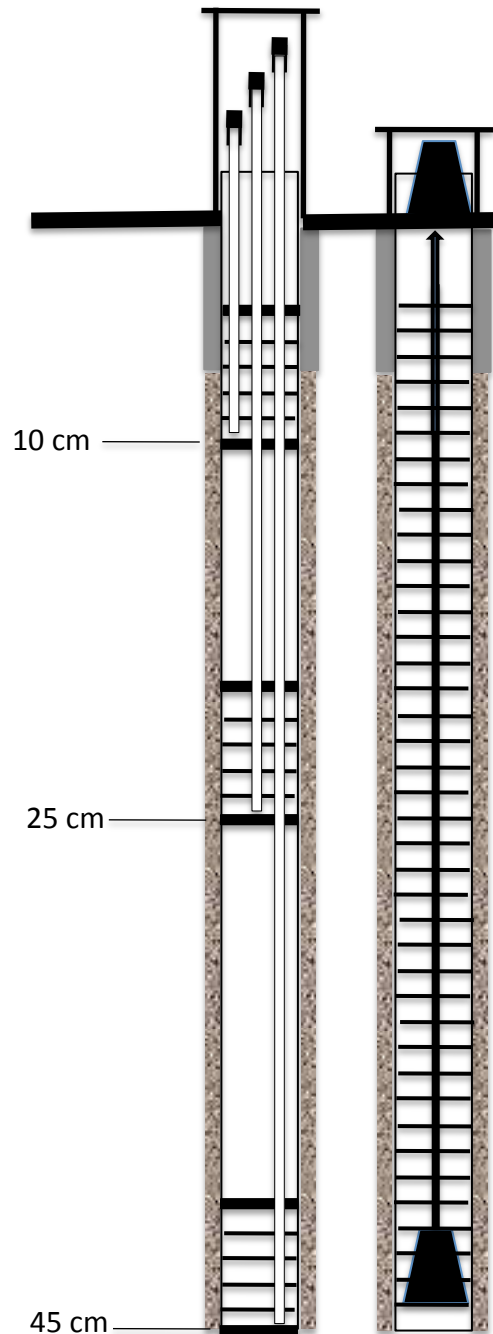
RESTAURATION : forte divergence entre sites

- Physique

- Dans le site riche (AZ) : pas de restauration pendant les 8 années d'observation ; divergence entre traitements
- Dans le site le plus pauvre (CA) : restauration partielle pendant les 8 années d'observation ; convergence entre les traitements Tassé et Témoin

- Géochimie :

- forte modification initiale de la géochimie dans les deux cas ; apparition d'indicateurs de milieu réduit (Fe^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{--})
- Relation TMR [concentration Fe^{2+}] indiquant une réactivité beaucoup plus forte dans le sol pauvre



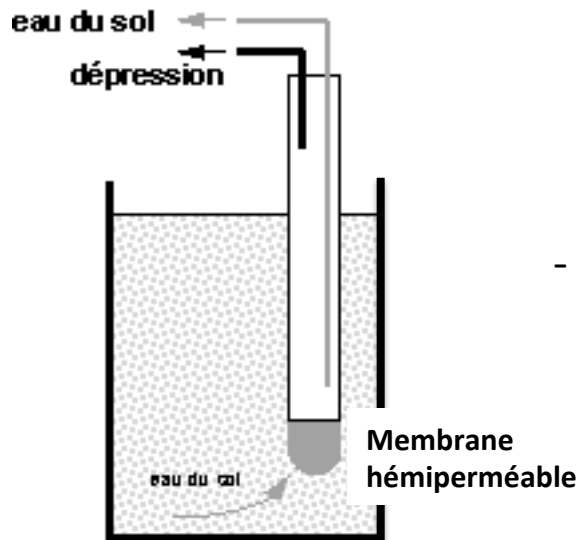
Piézomètre pour niveau et géochime

Les solutions du sol en milieu non saturé

Indicateur très sensible au fonctionnement actuel du sol et à son changement

Dans les deux cas modifications drastiques après tassement, mais comportement apparemment opposé

- Sol le plus riche AZ :
 - immobilise totalement les nitrates produits après la coupe à blanc
 - Le Tassement diminue temporairement cette capacité malgré probablement une dénitrification significative
- Sol le plus pauvre CA :
 - n'immobilise pas les nitrates produits après la coupe
 - Le Tassement réduit drastiquement la concentration en nitrates des solutions : production réduite et dénitrification
 - Le chaulage améliore immédiatement la capacité d'immobilisation des nitrates du sol : production plus forte, amélioration de la réactivité du système microbiologique : le seuil de pH de 4.5 semble crucial à cet égard.



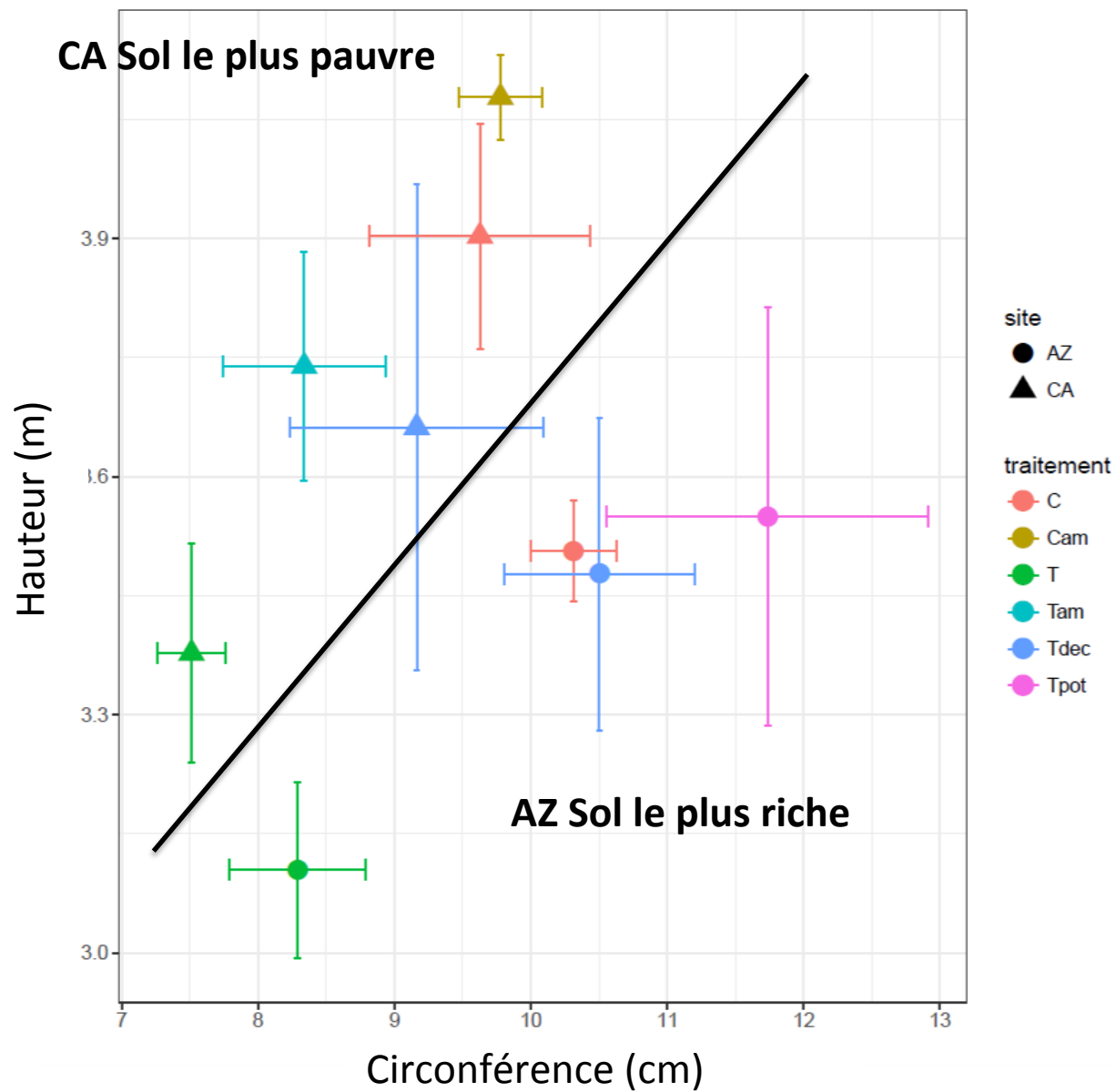
**Dispositif de
bougie poreuse**

Réponse du peuplement forestier

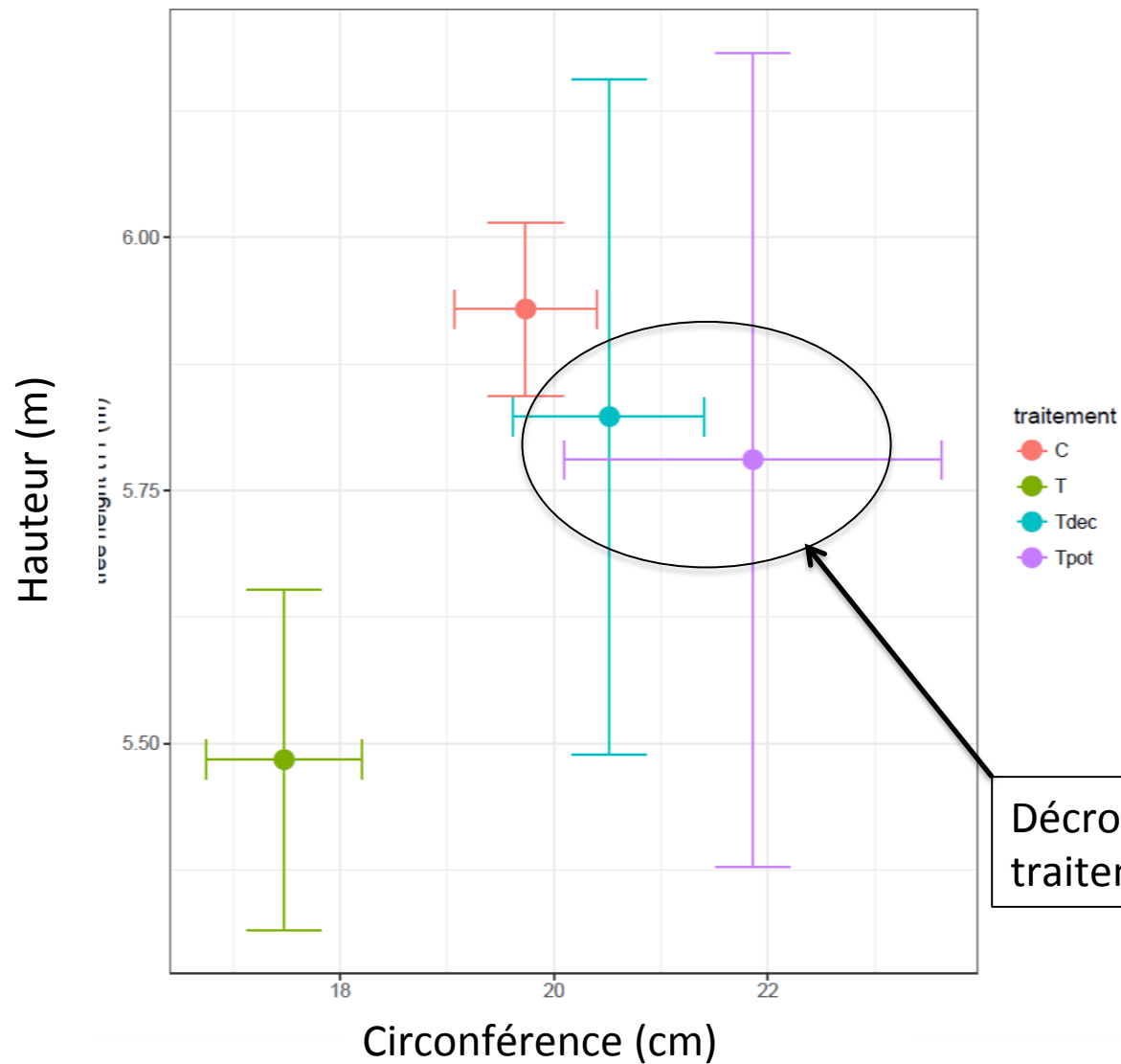
L'effet initial dépend du site et est lourd de conséquences pour l'avenir :

- mortalité élevée sur le sol le plus riche (deux regarnis)
- forte concurrence des invasives (5 dégagements)
- déficit de ligneux en sol le plus riche (mauvaise forme des arbres)
- distribution spatiale hétérogène des arbres, handicap pour la sélection des arbres d'avenir





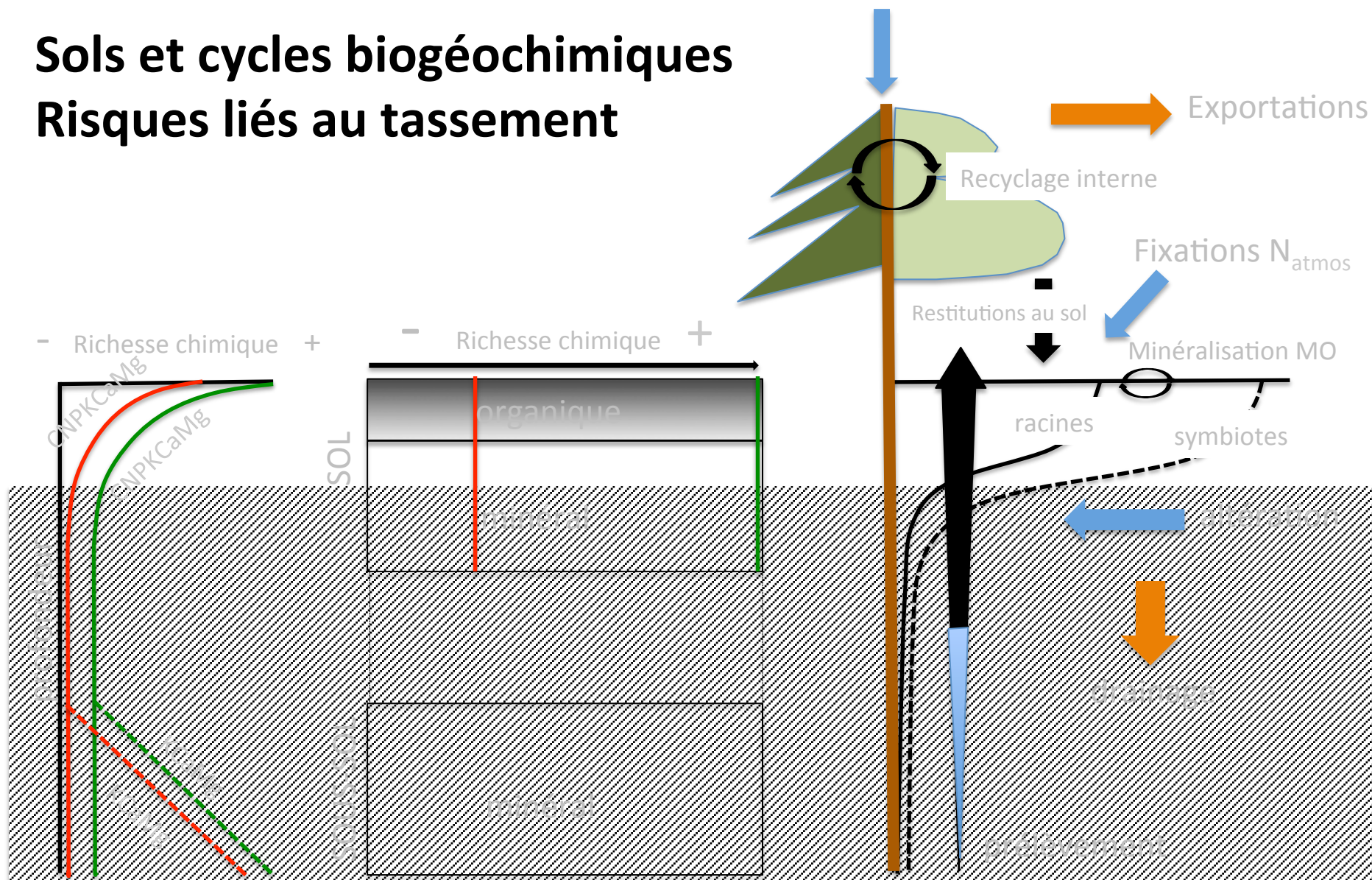
Sites de suivi à long terme des effets du tassement : mesures 8 ans après tassement sur les sites d'Azerailles 54 et de Clermont en Argonne 55.



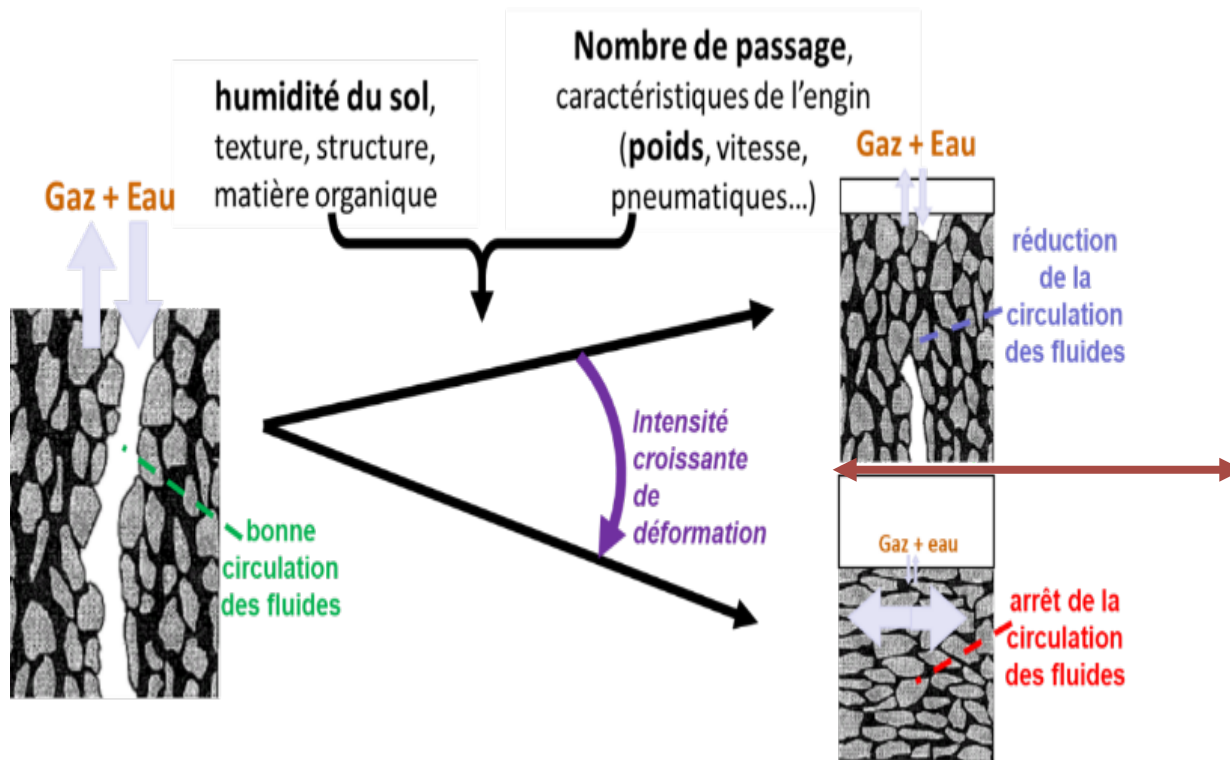
**Sites de suivi à long terme des effets du tassement :
mesures 11 ans après tassement sur le site d'Azerailles 54**

Sols et cycles biogéochimiques

Risques liés au tassement



Risque à long terme du tassement, d'annihiler pour partie le processus complexe des cycles biogéochimique, et d'amplifier des stress, mécanique en sol humide, nutritionnel en sol sec



2017



PRATIC'SOLS: Arrêt du chantier quand la profondeur d'ornièrre dépasse en 1 point du cloisonnement 20cm (hypothèse on reste <10cm sur le reste du cloisonnement), mais coût non négligeable de l'arrêt de chantier => **développer le préventif, adapter la circulation à la sensibilité des sols => développer un service climatique de la praticabilité des cloisonnements forestiers**



Conclusions

L'écosystème forestier est particulièrement adapté à l'utilisation optimale de ressources limitées, lui conférant de nombreuses fonctions et services : il a ses limites...inutile de jouer les apprentis sorciers

Identifier des méthodes appropriées de façon à éviter toute dégradation des sols conduisant à une restauration incertaine : les conséquences seront exacerbées par les changements globaux.

Changer de paradigme et promouvoir le développement de méthodes alternatives permettant de récolter plus et durablement

Respecter les guides.....

An aerial photograph of a forest clearing. A dirt path or road runs vertically through the center of the image. The surrounding forest is dense and green. In the lower-left quadrant, near the path, there is a small, bright blue object, possibly a tent or a small building.

merci

pour votre

attention