



**HAL**  
open science

## Gestion durable des sols forestiers - nouvelles connaissances et boîte à outils

Noémie Pousse, Laurent Augusto

► **To cite this version:**

Noémie Pousse, Laurent Augusto. Gestion durable des sols forestiers - nouvelles connaissances et boîte à outils. 2020. hal-03194926

**HAL Id: hal-03194926**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03194926>**

Submitted on 9 Apr 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Gestion durable des sols forestiers nouvelles connaissances et boîte à outils



N.Pousse & L.Augusto



ENTREPRENEURS  
DES TERRITOIRES

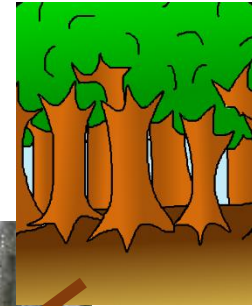


## Evolution des pratiques:

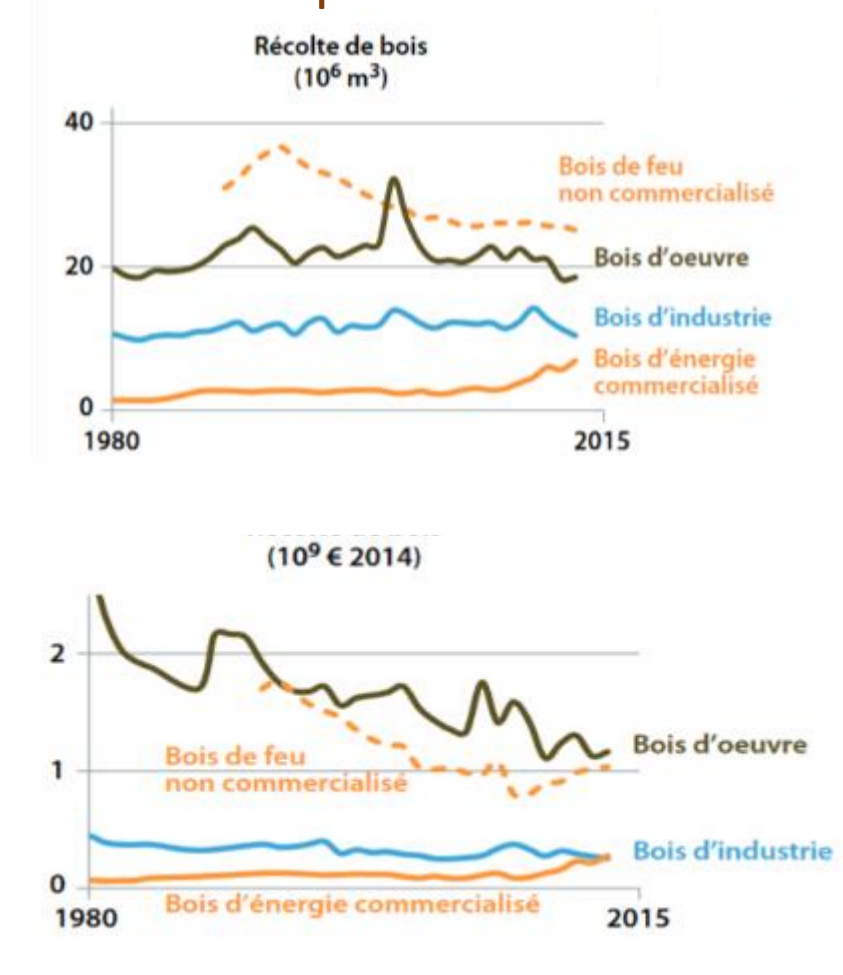
### ✦ Mécanisation



### ✦ Flux tendus



### ✦ Diminution des prix du bois



IGN coord. 2015. Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, p19

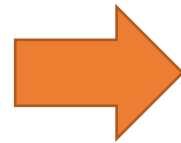


# Evolutions:

✦ Mécanisation

✦ Flux tendus

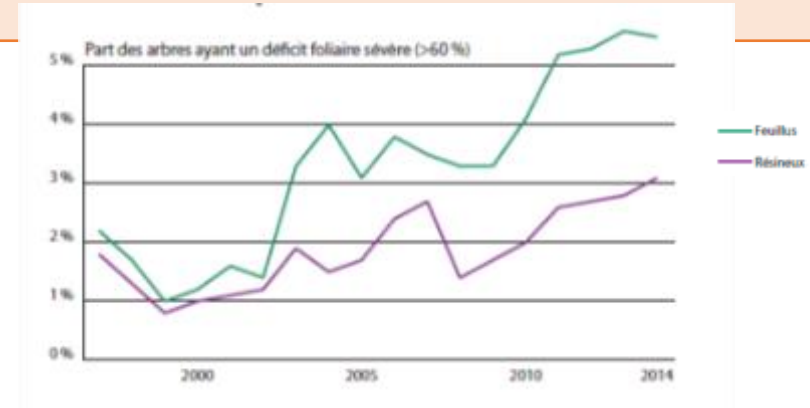
✦ Diminution des prix du bois



**Circulation par tous temps**

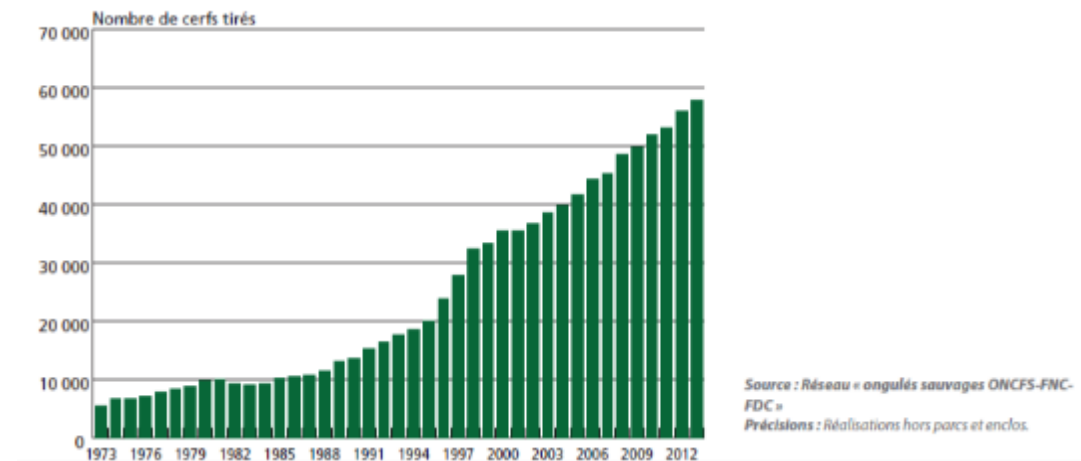


**Récolte par arbres entiers**



IGN coord. 2015. Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, p116

**En contexte de CC, pression accrue du gibier ...**



IGN coord. 2015. Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises, p132



# 1. Evolutions des pratiques

# 3.For-Eval

## Circulation par tous temps





## Récolte par arbres entiers





## Gestion raisonnée de la circulation

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

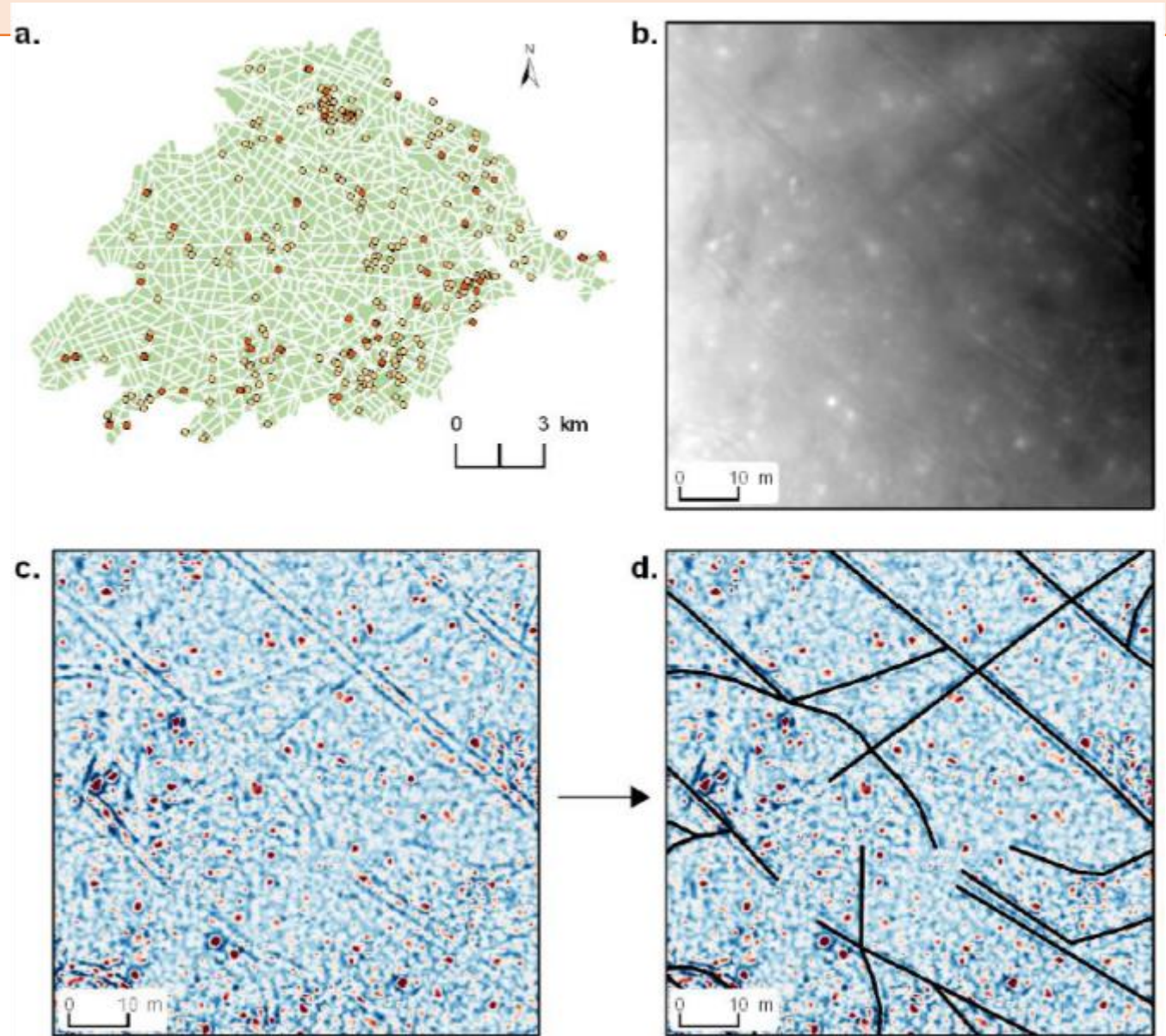


2009

⇒ Prévention indispensable et **circulation limitée** à des voies de circulation permanentes (= cloisonnements) tous les **18-20m** qui doivent **rester praticables** (circulation sur sol sec, limiter la charge à la roue, limiter le nombre de passage...)



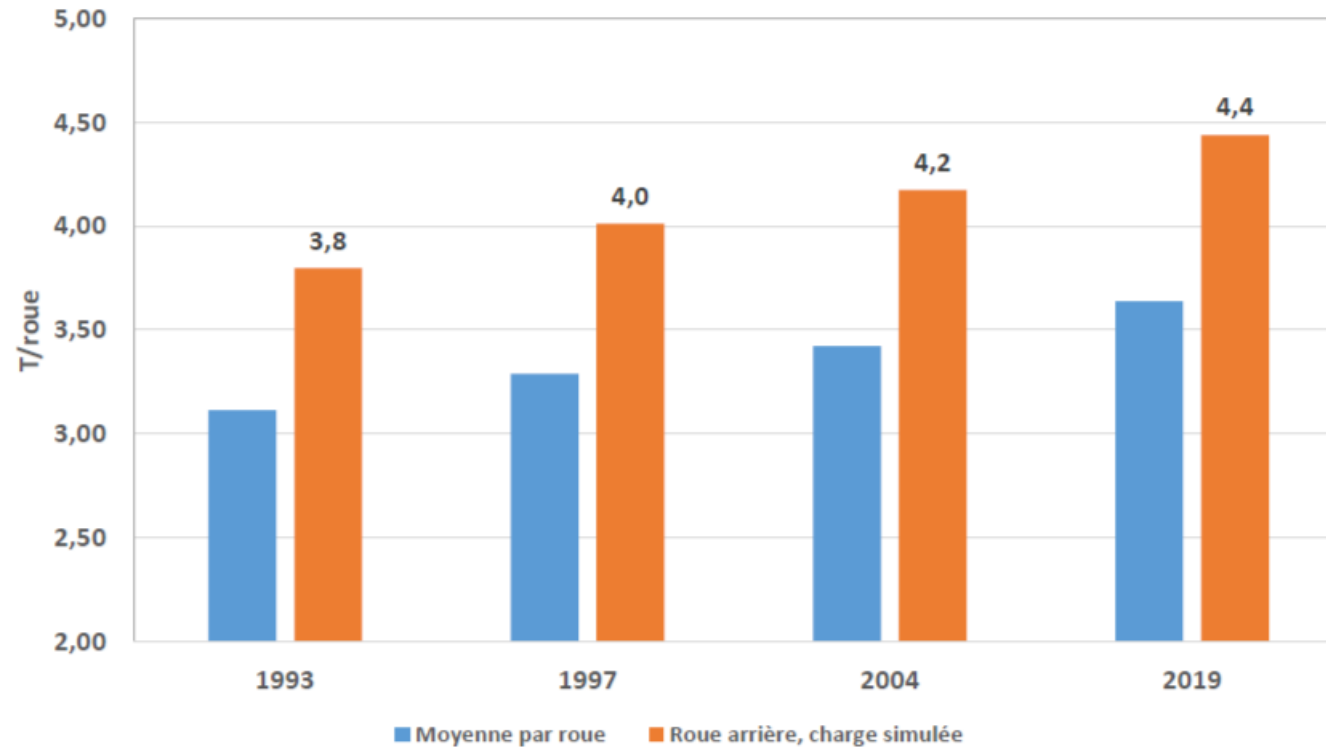
Forêt Domaniale de Compiègne :  
quantification LIDAR = jusqu'à  
**80% de la surface** circulée, en  
moyenne **40% au lieu de 20%**  
(Mohieddine, 2019)





## Evolution de la masse des engins : exemple d'un porteur de capacité 12t

Des engins de plus en plus lourds: une réalité - Des charges à la roue qui augmentent aussi



Masse à vide  
: **12,9 T**

Masse à vide  
: **17,1 T**

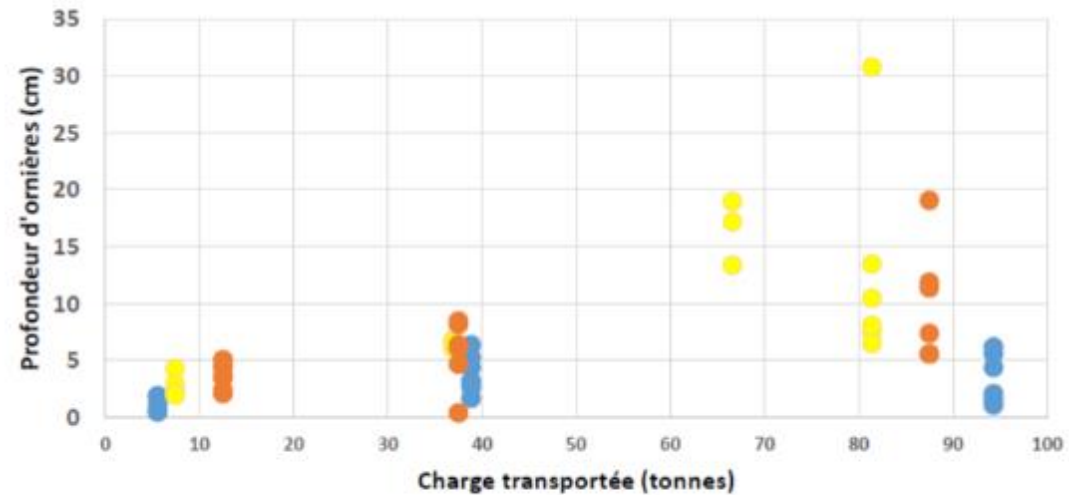
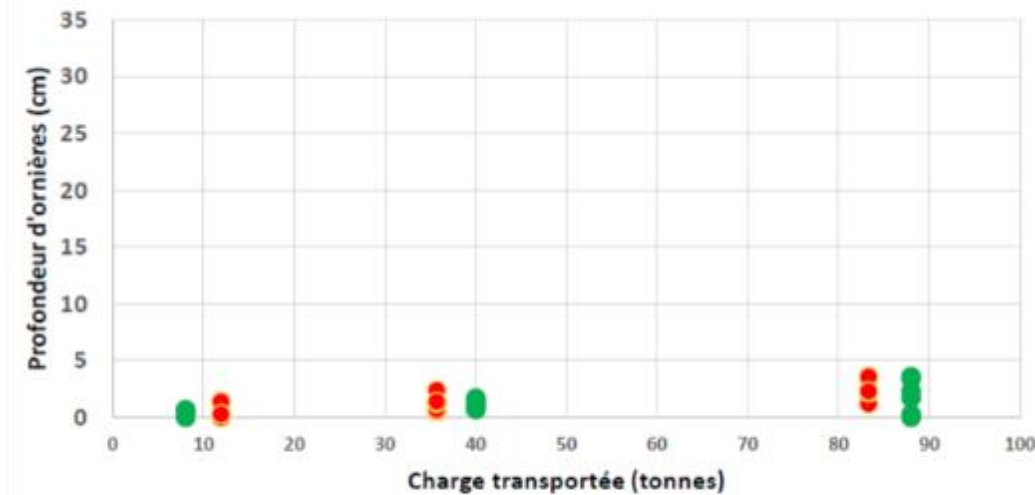


L'évolution de la masse des engins a des **conséquences non négligeables sur l'ornièrage**, en particulier quand les sols sont humides

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

Humidité: 26%v à 10cm et 24%v à 30cm

42%v à 10cm et à 30cm



Poids en charge:

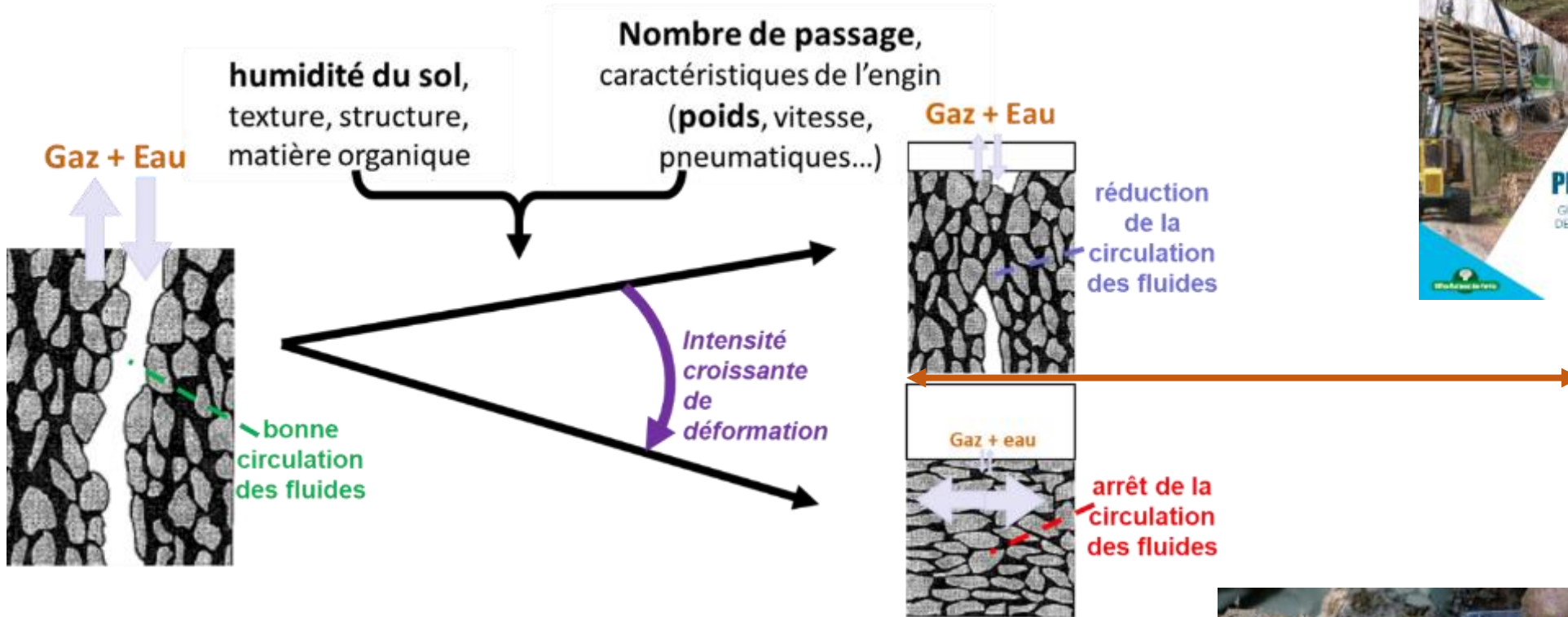
● JD810D 22t ● KOM 860.4 31t

● LV5520 14t ● Gazelle 24t ● Buffalo 31t

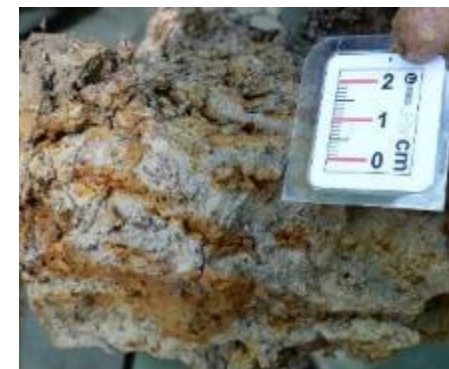




# Une décision complexe!



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**





# Gestion raisonnée des exports organo-minéraux



La récolte raisonnée des rémanents en forêt



Connaitre et agir

ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Actualisation du guide ADEME 2006

**Gerboise**

Gestion raisonnée de la Récolte de BOIS Energie

Accueil    Recommandations pratiques Diagnostic Export Nutriments    Observatoire des pratiques    Ressources documentaires    Partenaires

### Bienvenu(e)s sur le site internet de Gerboise

La stratégie française de **transition énergétique** prévoit de substituer une partie des sources d'énergie fossile par l'utilisation accrue de ressources renouvelables. La filière **bois énergie** est donc amenée à mobiliser de façon croissante du bois jusqu'alors laissé en forêt (**rémanents forestiers** : menus bois, souches, petites tiges, purges,...)

Le projet **Gerboise** vise à mettre à disposition des opérateurs de terrain des **recommandations et conseils** concernant les **pratiques de récolte** de compartiments supplémentaires (menus bois notamment) relativement à la fois la fertilité et la biodiversité. Dans le domaine de la fertilité, le projet tente en outre de mettre à disposition des outils permettant de quantifier de l'exportation d'éléments minéraux. Une enquête nationale et une étude détaillée d'un certain nombre de chantiers seront mises en œuvre pour améliorer les **connaissances des pratiques de récolte** pour la production de plaquettes forestières.

Ce projet associe gestionnaires, chercheurs et experts impliqués dans la recherche et développement sur les sols forestiers, la biodiversité et la mécanisation en forêt, et divers utilisateurs de la forêt.

Le projet GERBOISE s'étale sur **trois ans**, mais s'inscrit dans une perspective plus longue (10 ans) afin de suivre et d'intégrer les évolutions des connaissances, des besoins des utilisateurs et des pratiques de récolte.

Veuillez télécharger la plaquette en cliquant [ici](#)

Financier : Le projet est financé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (**ADEME**)

ADEME  
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

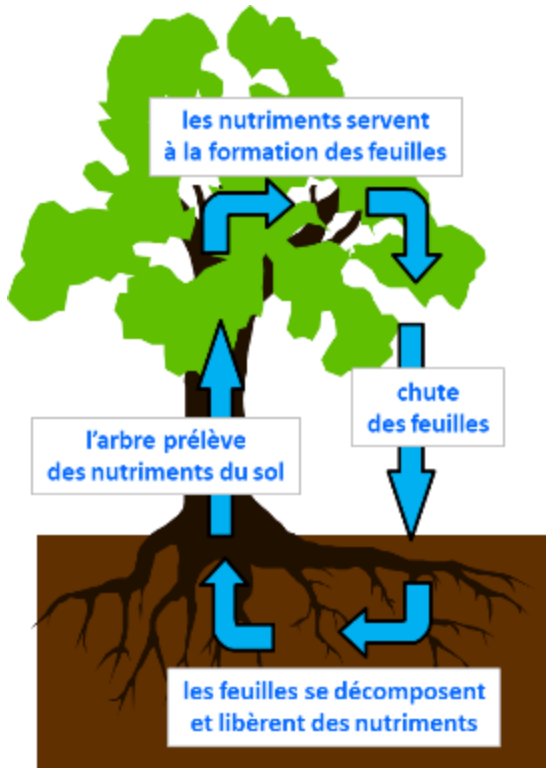






## Recommandation 1 : Eviter l'exportation de feuillage

Ces mesures sont à prendre sur **tous types de sol, même les plus fertiles**, en raison de l'importance des pertes de fertilité



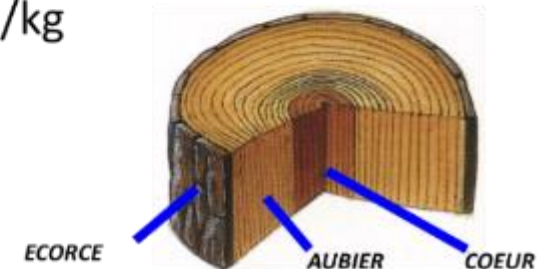
On entend dire qu'une récolte occasionnelle de feuillage ne serait pas un problème

**C'est une idée fausse** : les feuilles qui tombent au sol ne font que restituer les éléments nutritifs que l'arbre avait auparavant prélevé dans le sol et en aucun cas ne l'enrichisse. Une seule exportation de feuillage affecte durablement la nutrition et la croissance!

Le feuillage des arbres est beaucoup plus riche en nutriments que le bois

→ exemple du phosphore chez le pin maritime :

Aiguilles	0.76 g/kg
Branches	0.33 g/kg
Ecorce	0.21 g/kg
Bois d'aubier	0.08 g/kg
Bois de cœur	0.02 g/kg

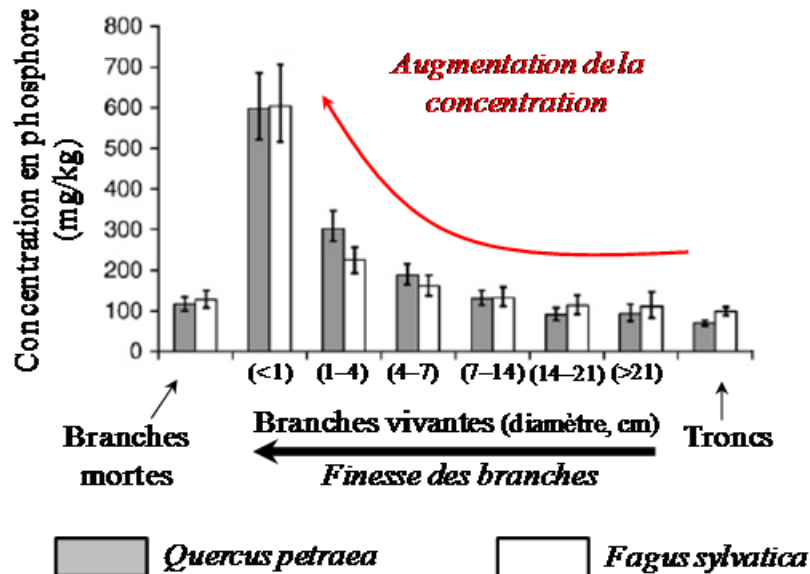




## Recommandation 2 : Reasonner l'exportation des menus bois

\* Laisser au sol une partie des menus bois des arbres abattus

\* Espacer les récoltes de menus bois d'au moins 15 ans sur sols peu sensibles et 30 ans sur sols modérément sensibles



André et al., 2010

Les *petits bois* sont plus riches en nutriments que les *gros bois*

→ exemple du magnésium chez le chêne sessile :

Diamètre < 1 cm	0.68 g/kg
Diamètre entre 1 et 4 cm	0.43 g/kg
Diamètre entre 4 et 7 cm	0.35 g/kg
Diamètre entre 7 et 14 cm	0.23 g/kg
Diamètre entre 14 et 21 cm	0.15 g/kg
Diamètre > 21 cm	0.13 g/kg





77% du territoire

21% = 19% Natura 2000 + espaces naturels sensibles, espaces boisés classés, parcs nationaux périphérie

2% = réserves biologiques intégrales et dirigées, réserves naturelles, parcs nationaux cœur, arrêtés préfectoraux de protection de biotope

Statut de protection de la biodiversité*	Sensibilité des sols à l'exportation minérale**		
	Faible	Modérée	forte
Pas de statut particulier	Laisser au moins 1/10 <sup>ème</sup> de menus bois	Laisser au moins 3/10 <sup>èmes</sup> de menus bois	Récolte de menus bois déconseillée***
Statuts intermédiaires	Laisser au moins 2/10 <sup>ème</sup> des menus bois	Laisser au moins 3/10 <sup>èmes</sup> de menus bois	Récolte de menus bois déconseillée
Statuts forts	Récolte de menus bois fortement déconseillée (lorsque pas déjà interdite)		

30% du territoire

24% partielle et 23% moyenne

23%



## Au début de For-Eval, il y avait...

**INSENSÉ** : INDicateurs de SENSibilité des écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse.

Objectif : Produire des indicateurs de sensibilité des sols à des récoltes intensives de biomasse forestière (exports supplémentaires de minéraux et matière organique).

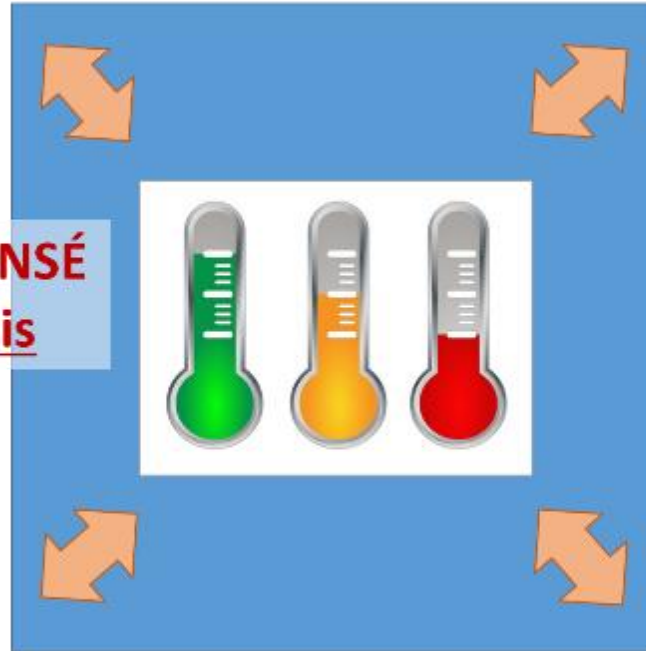


**PAS CHER**

un indicateur **INSENSÉ** est un compromis



**CONFORTABLE**



**TOUT-TERRAIN**







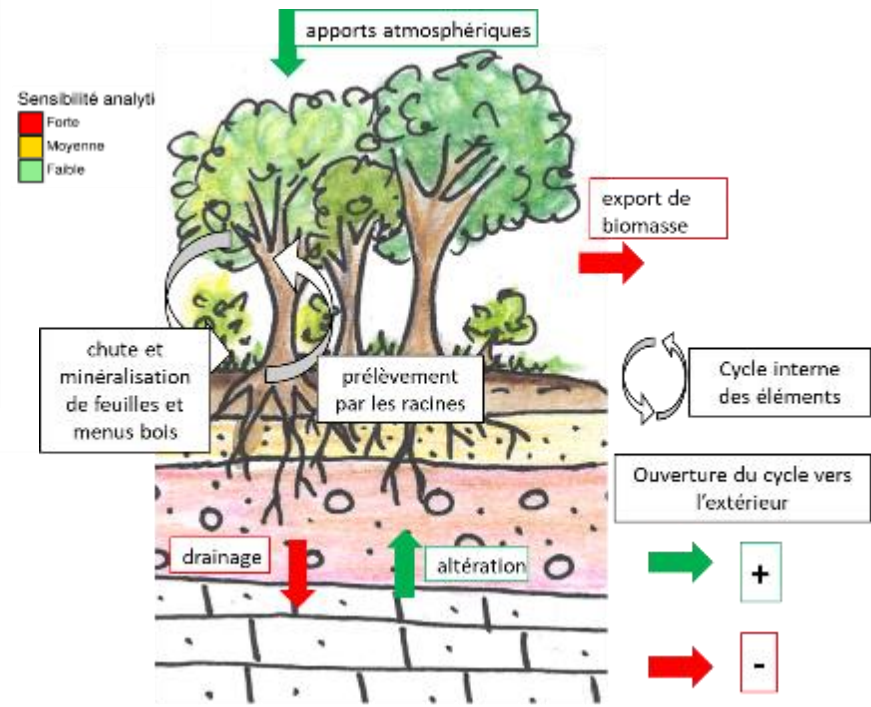
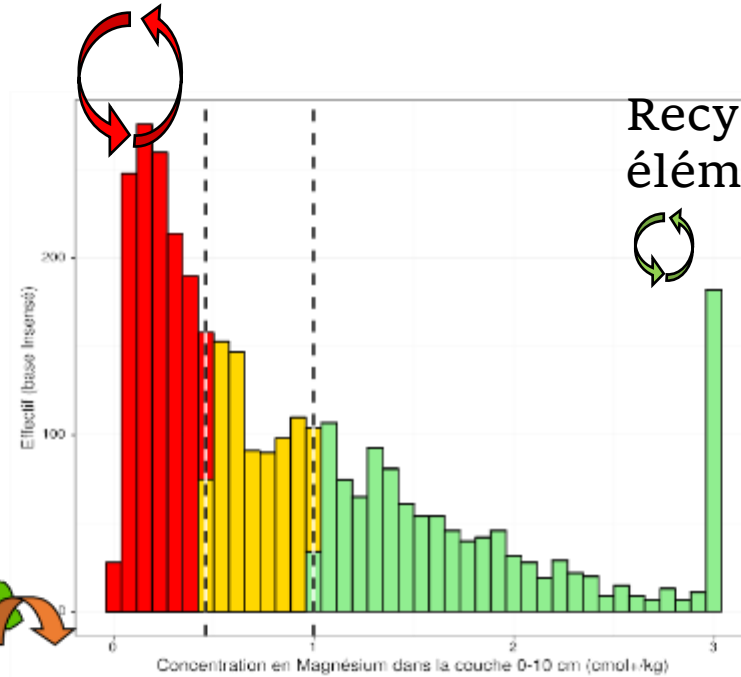
**INSENSÉ**

Recyclage biologique des éléments nutritifs = majeur

1

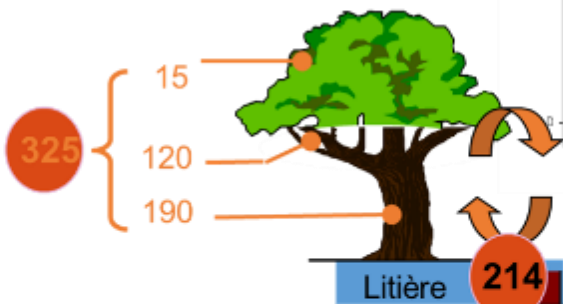
Indicateurs analytiques de sensibilité

Recyclage biologique des éléments nutritifs = mineur



**Ca**  
kg/ha

organiques



échangeables	Litière		214
	0-10 cm	93	} 162
	10-20 cm	33	
	20-30 cm	18	
	30-40 cm	18	
Het 30 Podzosol			
réseau RENECOFOR			

Nicolas M., ONF



**INSENSÉ**

2

**Système expert de diagnostic (terrain)**



1. Sensibilité analytique pour chaque profil et chaque élément

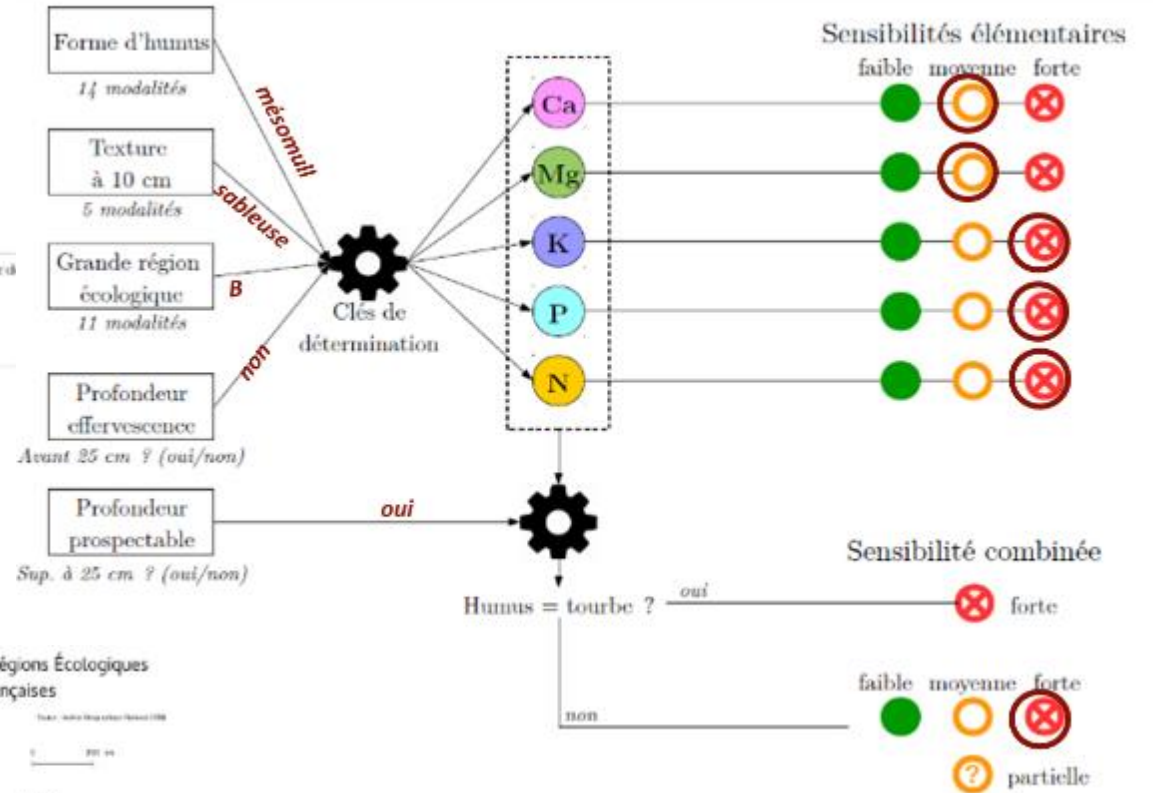
id	Analyses de sol	Descripteurs terrain	Classes de sensibilité
	[éléments] <sub>0-10</sub> Ca <sub>actif</sub> Mg <sub>actif</sub> K <sub>actif</sub> N <sub>total</sub> P <sub>total</sub> C <sub>org</sub>	Texture (5 classes) Prof. Effervescence Forme d'humus Région écologique ...	Faible Moyenne Forte

2. Prédiction de la sensibilité grâce a descripteurs  
Sélection de variables + statistique

Base de donnée Insensé :  
+ de 7000 profils



**Exemple de relevé local :**

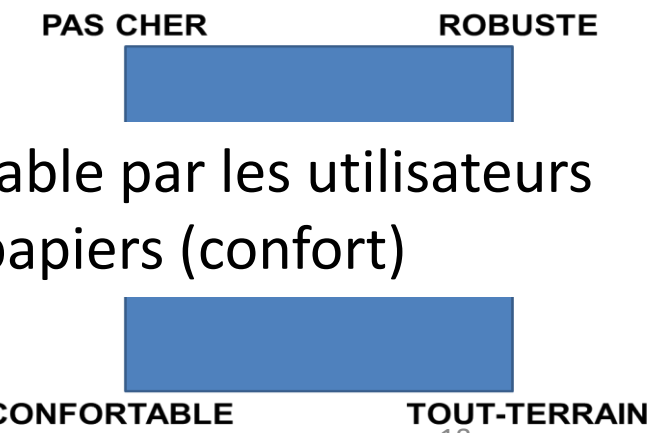
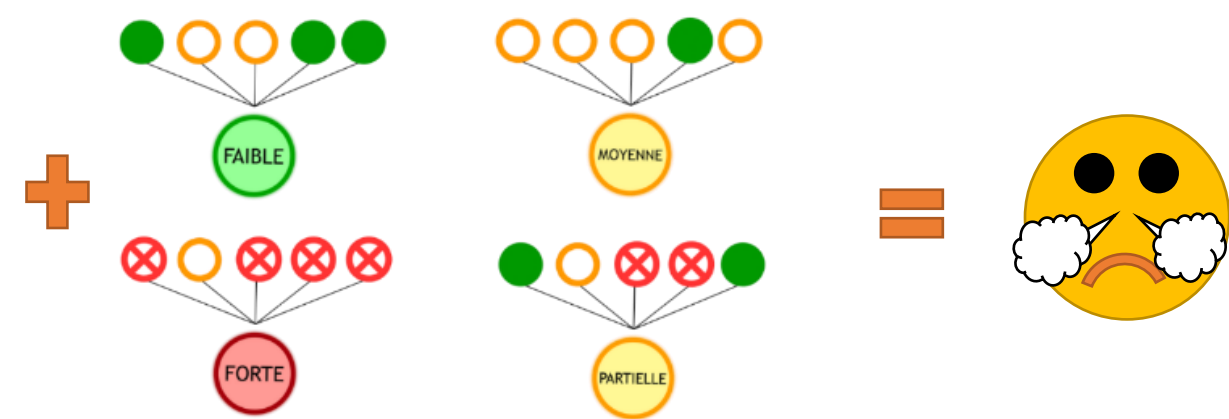
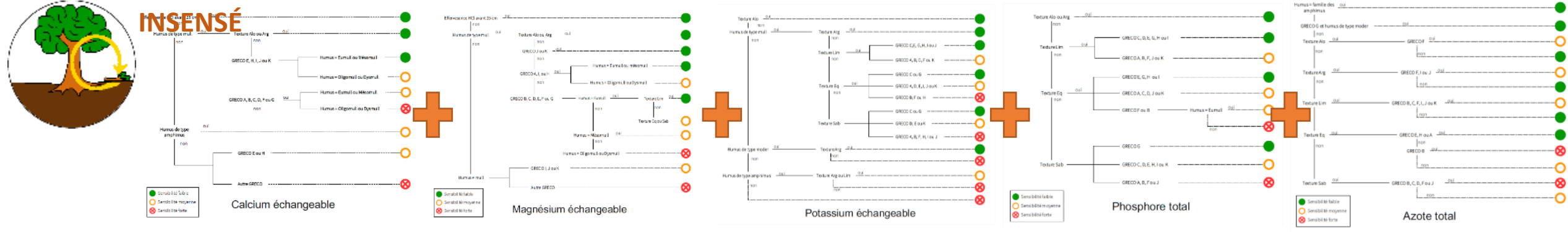




# 1. Evolutions des pratiques

# 2. Besoin d'aide à la décision

# 3. For-Eval



Outil papier : compromis entre fiabilité, tout terrain et coût jugé acceptable par les utilisateurs mais ils préféreraient une application qui calcule plutôt que des fiches papiers (confort)

➔ **Naissance de For-Eval** (AAP PREMATURATION INRA 2019)



## Au début de For-Eval, il y avait INSENSÉ, puis on a ajouté...

Diagnostic de **sensibilité potentielle** au tassement (PROSOL – PRATIC SOLS) :

Texture limitante 0-50cm, moy. %EG et traces d'hydromorphie entre 0 et 50cm de profondeur

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%)	Non sensible	Non sensible	Non sensible	Très sensible
Sol très sableux (sable > 70%)	Non sensible	Sensible	Sensible	Très sensible
Argile dominante	Non sensible	Sensible	Sensible	Très sensible
Limon dominant et sable limoneux	Non sensible	Sensible	Très sensible	Très sensible

■ 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

>50% EG, pas d'engorgement temporaire	praticables toute l'année avec peu de précautions
sable sans engorgement temp. ou >50% EG avec engorgement temp.	praticables quasiment toute l'année avec peu de précautions
argile sans engorgement temp. ou sable avec engorgement temp.	praticables une partie de l'année
limon sans engorgement temp. ou argile avec engorgement temp.	impraticables une grande partie de l'année
limon avec engorgement temp. ou sols à engorgement permanent	impraticables quasiment toute l'année





## TASSEMENT

Diagnostic de **sensibilité potentielle** au tassement (PROSOL – PRATIC SOLS) :  
Texture limitante 0-50cm, moy. %EG et traces d'hydromorphie entre 0 et 50cm de profondeur

☰ Sensibilité au tassement

**Sensibilité potentielle au tassement**

---

Texture\*

Equilibré ▾

Aide à la description

---

Est-ce que la teneur en éléments grossiers est > 50% du volume du sol ?

Oui ▾

---

Aide à la visualisation d'un taux de recouvrement de 50% ⤴

Est-ce que des traces d'engorgement temporaire s'observent entre 0 et 50cm de profondeur?

Oui ▾

Aide à la description

---

**Sensibilité réelle au tassement**

\* Si l'humidité ou la texture varient entre 0 et 50cm de profondeur, prendre la valeur la plus sensible (humide >> sec et limoneux > argileux > sableux)

Documentation
Valider

☰ Engorgement temporaire

Veuillez choisir parmi les modalités suivantes :

Des traces d'engorgement temporaire (au moins 5% de recouvrement en surface) s'observent entre 0 et 50cm de profondeur : exemple de sols avec 5% (gauche) et 100% (droite) de traces d'engorgement temporaire

Sélectionner

---

Précédent
Recommencer
Documentation



## TASSEMENT

Diagnostic de **sensibilité réelle** au tassement (PROSOL – PRATIC SOLS) : en fonction de la classe de texture saisie, aide à la détermination de l'humidité du sol au moment du passage de l'engin

### Sensibilité au tassement

Oui

**Sensibilité réelle au tassement (à un moment donné)**

Quelle est l'humidité\* du sol au moment du passage d'engins?

SOL SEC  
L'échantillon est poussiéreux, pulvérulent, dessèche les doigts, gratte un peu, ne se modèle pas. Les petites mottes soumises à la pression éclatent mais pas complètement (pulvérisation incomplète)

SOL FRAIS  
L'échantillon est doux au toucher et peu collant, il se modèle très bien avec une bonne tenue du boudin (consistance de pâte à modeler) mais s'écrase facilement (il ne reste qu'une lamelle écailleuse entre le pouce et l'index)

SOL HUMIDE  
L'échantillon a une tenue très faible, il se disperse facilement dans l'eau

\* Si l'humidité ou la texture varient entre 0 et 50cm de profondeur, prendre la valeur la plus sensible (humide >> sec et limoneux > argileux > sableux)


Documentation Valider



## Puis on a ajouté...

☰ Erosion hydrique

### Sensibilité des sols à l'érosion hydrique



#### Présentation

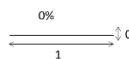
Pour les sols en pente, il y a un risque d'érosion liée à des épisodes pluvieux. L'érosion hydrique peut conduire à des pertes substantielles de sol, et à des perturbations des systèmes en aval, notamment les cours d'eau et les habitations. La sensibilité d'un sol à l'érosion hydrique dépend principalement de la pente, des propriétés physiques du sol, et de la végétation en place. En modifiant la végétation, la gestion forestière (et principalement les opérations de récoltes) peut modifier le niveau de risque érosif. Le diagnostic de sensibilité à l'érosion évalue si une forêt est exposée à ce risque.

Pente	>70% Multi-strate	>70% Mono-strate	30-70% Multi-strate	30-70% Mono-strate	<30% Multi-strate	<30% Mono-strate
<10%	risque faible	risque faible	risque faible	risque faible	risque faible	risque faible
10-25%	risque faible	risque faible	risque faible	risque faible	risque modéré	risque modéré
25-40%	risque faible	risque modéré	risque modéré	risque fort	risque fort	risque fort
>40%	risque faible	risque modéré	risque fort	risque fort	risque fort	risque fort

☰ Pente

Veillez choisir parmi les modalités suivantes :

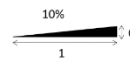
0%



<10%

à

10%



10-25%

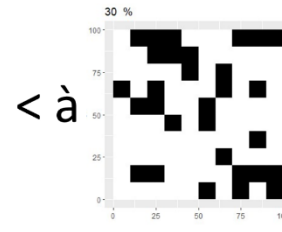
Sélectionner

+ 1 classe de sensibilité si %EG <50% et texture à dominance sableuse, limoneuse ou est un mélange sable-limon

☰ Couverture végétale

Veillez choisir parmi les modalités suivantes :

< à




<30%

Sélectionner

☰ Couverture végétale

Veillez choisir parmi les modalités suivantes :



Multi-strates

Sélectionner

☰ Sensibilité des sols à l'érosio...

Texture à 10 cm

Equilibré

Aide à la description

Est-ce que la teneur en éléments grossiers est > 50% du volume du sol ?

Oui


Aide à la visualisation d'un taux de recouvrement de 50%



## Puis on a ajouté...

☰ Réservoir en eau utilisable

Réservoir en eau utilisable



**Présentation**

Dans un contexte de changement climatique, la capacité d'un sol à stocker de l'eau qui soit utilisable par les plantes est un paramètre important pour la gestion des forêts, et notamment le choix des essences à favoriser localement. Estimer la capacité du sol à stocker l'eau est donc nécessaire pour choisir les essences et les modes de gestion adaptés au sol et au climat local.

**Methode**

Après un fort cumul de pluie, un sol est saturé en eau. Toutefois, cet état est temporaire puisqu'une

Réservoir Utile = Quantité maximale d'eau accessible aux plantes qu'un sol peut contenir (entre sa capacité de champ et son point de flétrissement permanent), en mm d'eau

☰ Réservoir en eau utilisable

Quelle surface de la parcelle est occupée par des affleurement rocheux ? (en %)

---

Nombre d'horizons

1 ▼

↓ Ne renseigner que les horizons minéraux ↓

*Horizon 1*

---

Epaisseur (cm)

---

Texture de l'horizon

Argileux ▼

Aide à la description

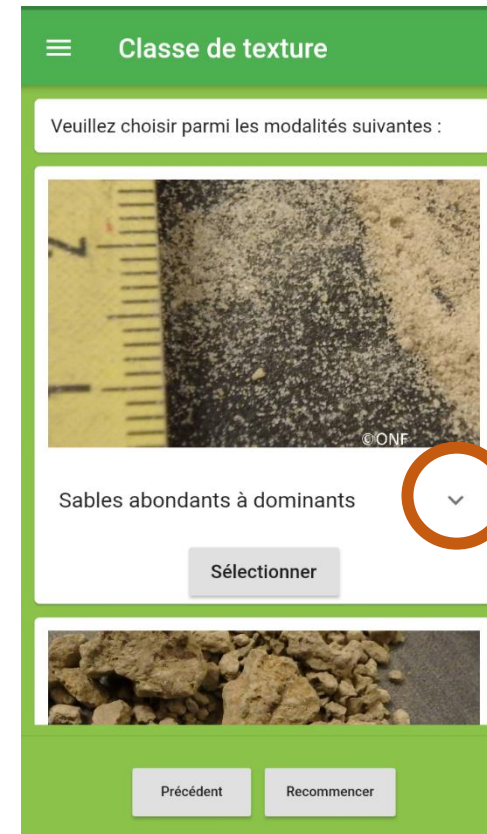
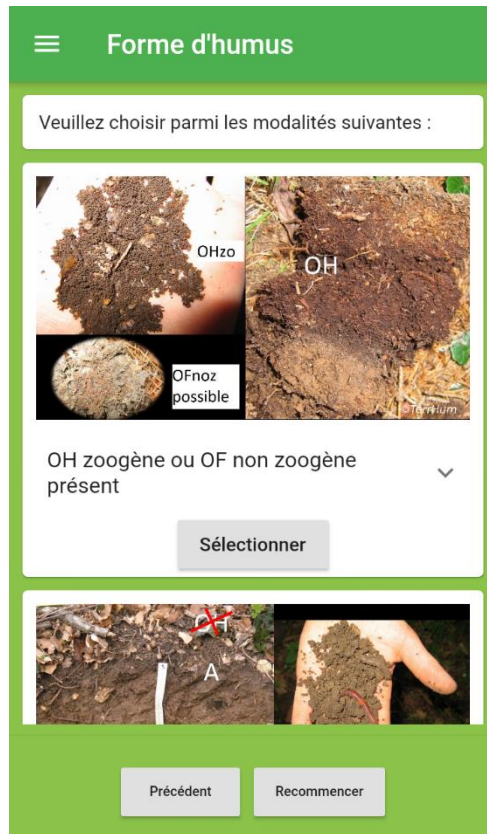
Pourcentage en éléments grossiers

---

Valider



# Enfin on a adapté TerrHum iOS et on a créé une aide à la détermination des classes de texture...



# Fonctionnement de For-Eval

**Choix des diagnostics**

Cochez les diagnostics à effectuer

- Sensibilité des sols à un export de nutriments
- Sensibilité des sols à l'érosion hydrique
- Sensibilité des sols au tassement
- Réservoir en eau utilisable

Définir le relevé

**Site**

Nom du site

Site#202006221501 17/32

Informations complémentaires (optionnelles) 0/256

Si vous souhaitez simplement vous entrainer à utiliser FOR-EVAL, cochez la case correspondante. Si vous utilisez l'application pour diagnostiquer une forêt existante, cochez une des trois options de localisation des points de diagnostic.

- sur le terrain : localisation GPS
- sur le terrain : localisation manuelle
- sans localisation

Valider

**Sensibilité des sols à un ...**

Dans quelle Grande Région ECOlogique (GRECO) se situe la forêt ?

GRECO par géolocalisation

Forme d'humus

Aide à la description

Texture à 10 cm

Aide à la description

Documentation Valider



# Fonctionnement de For-Eval

**Confirmer**

Site#202005200959

- Rappel des paramètres*  
Sensibilité des sols à un export de nutriments
- Rappel des paramètres*  
Erosion hydrique
- Rappel des paramètres*  
Sensibilité potentielle au tassement
- Rappel des paramètres*  
Sensibilité réelle au tassement (à un moment donné)
- Rappel des paramètres*  
Réservoir en eau utilisable

**Attention : une fois les paramètres confirmés, il ne sera plus possible de les modifier et les résultats seront affichés**

Confirmer les paramètres

**Résultats des diagnostics**

3 Relevé(s) complet(s) en mémoire

✓ Site : Site#202005200959  
20/2020/05 09:59:36

- Sensibilité des sols à un export de nutriments  
Moyenne **MOYENNE**
- Calcium (Ca) **FORTE**
- Potassium (K) **MOYENNE**
- Magnésium (Mg) **FORTE**
- Phosphore (P) **MOYENNE**
- Azote (N) **MOYENNE**

Envoyer Supprimer Autre site

**Résultats des diagnostics**

3 Relevé(s) complet(s) en mémoire

✓ Site : Site#202005191123  
19/2020/05 11:23:44

- Sensibilité potentielle au tassement  
sols très peu sensibles - praticables toute l'année avec peu de précautions **FAIBLE**
- Rappel des paramètres*  
Sensibilité potentielle au tassement
- Texture à 10 cm Sableux
- Éléments grossiers > 50% Oui
- Engorgement temporaire Non

Envoyer Supprimer Autre site

- Menu principal
- Démarrer une évaluation
- Aide à la description
- Documentation
- Données collectées ( 1 site(s) )
- Relevés incomplets ( 1 site(s) )
- Paramètres



## Et ensuite :

-Support à d'autres diagnostics SOL?

-Organiser la remontée et sauvegarde des informations SOL collectées dans Donesol (l'utilisateur peut cocher s'il souhaite envoyer son relevé vers le Gis Sol)



Merci pour votre attention



N.Pousse & L.Augusto



ENTREPRENEURS  
DES TERRITOIRES

