



La fertilité des sols : concept de base

Arnaud LEGOUT¹, Karna HANSSON¹, Jean Paul LACLAU², Gregory VAN DER HEIJDEN¹, Laurent AUGUSTO³, Michel VENNETIER⁴, Jacques RANGER¹

1. INRA Nancy, Unité Biogéochimie des écosystèmes forestiers, 54280 Champenoux
2. CIRAD, UMR Eco&Sols, Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agro-écosystèmes, F34060 Montpellier
3. INRA Bordeaux, UMR Transfert sol-plante et Cycle des Eléments Minéraux, F33883 Villenave d'Ornon
4. IRSTEA Aix en Provence, Unité Ecosystèmes méditerranéens et risques, F13182 Aix en Provence Cedex 5



Quelques définitions usuelles de la fertilité

Quelques définitions

- ❖ Le comportement des sols forestiers est spécifique en comparaison des sols agricoles : ce sont le plus généralement des sols pauvres chimiquement, parfois très pauvres (*Badeau et al., 1999*), colonisés par des plantes pérennes adaptées à ce contexte dans un ensemble de processus décrits sous le vocable de cycles biogéochimiques des éléments (*Ranger et Turpault, 1999*).
- ❖ Fertilité = aptitude du sol à produire (*Barbier, 1955*) – Capacité du sol à fournir les ressources nécessaires à la croissance des végétaux
- ❖ Fertilité caractérisée par une hauteur dominante à un âge donné
- ❖ Fertilité du sol = stocks de nutriments disponibles pour les plantes

Normes de fertilité des sols forestiers (d'après *Bonneau, 1995*)

Stock d'éléments sous forme d'oxyde pour une épaisseur de sol de 70 cm.

Feuillus

	Diagnostic	Norme de déficience (kg/ha)	Diagnostic	Norme de base (kg/ha)	Diagnostic	Norme de réserve (kg/ha)	Diagnostic
K ₂ O	Réserves très insuffisantes Risque de carence à court terme	406	Réserves insuffisantes Risque de carence à moyen terme	560	Réserves optimales par rapport aux besoins	900	Pas de problème
CaO		622,5		900		2500	
MgO		202,5		297		500	
P ₂ O ₅ *		420		600		1100	

Le maintien de la fertilité en forêt n'est pas une préoccupation récente.....

2

La perte provenant de l'exportation du bois, quoique faible, est réelle et amènerait à la longue l'appauvrissement des sols forestiers si elle n'était largement compensée, comme nous l'avons déjà dit, par le passage incessant d'une partie de la réserve du sol à l'état assimilable.

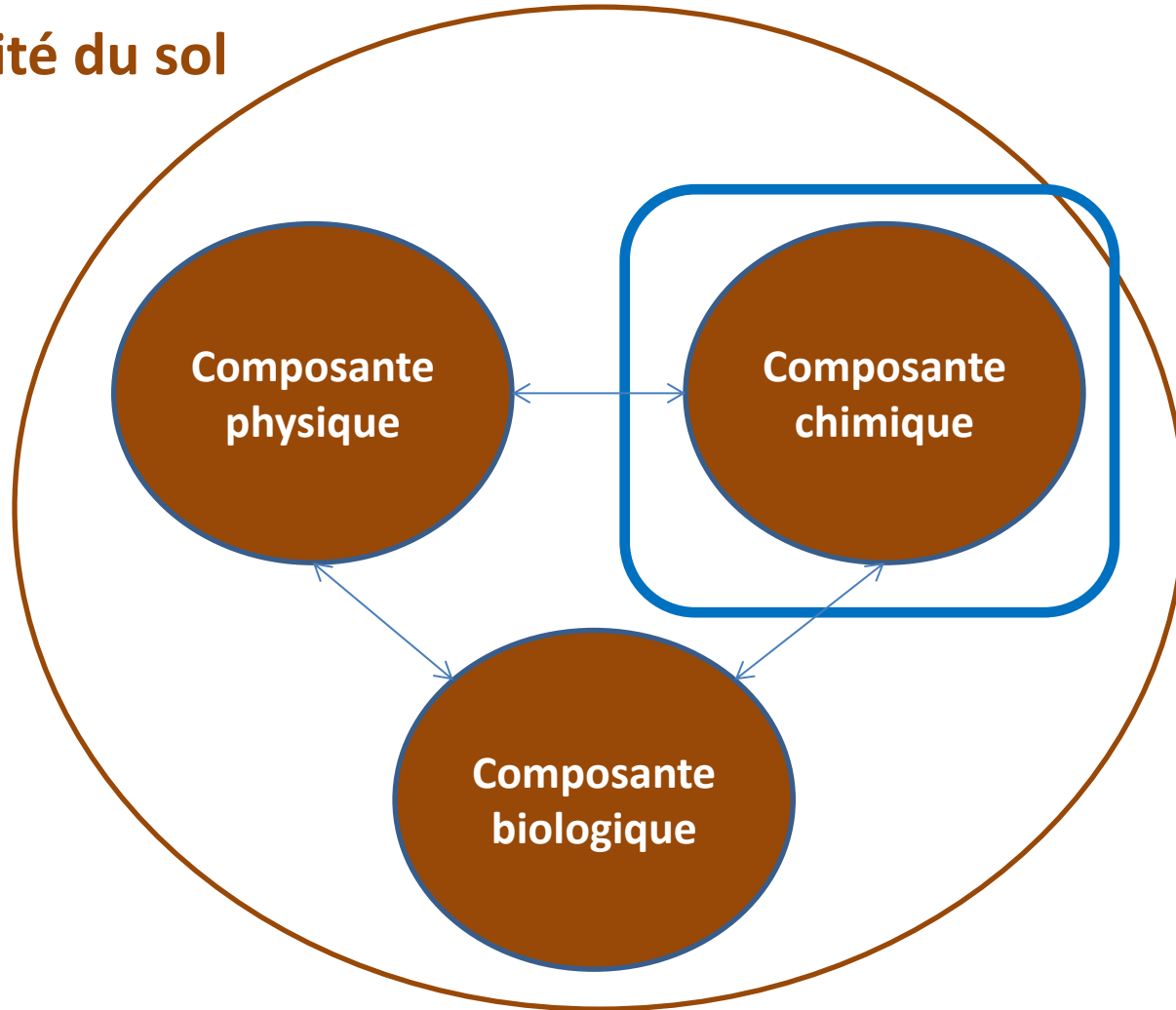
Si la provision de matières nutritives assimilables descend au-dessous d'un certain minimum, la production du sol diminue aussitôt.

On dit qu'un sol est épuisé quand il est privé d'un ou plusieurs des éléments nutritifs. Il est clair que l'épuisement arrive plus vite pour les matières qui n'existent dans le sol qu'à faible dose.

Comment définir la fertilité des sols forestiers ?

3

Fertilité du sol

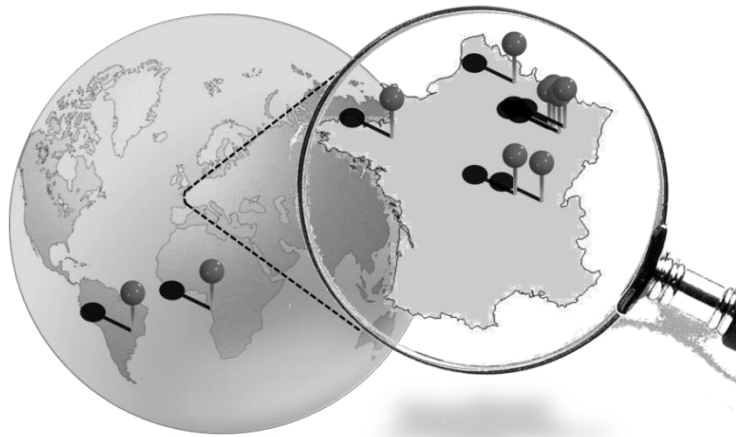


« La fertilité chimique n'est qu'une composante de la fertilité globale qui dépend aussi de la réserve potentielle du sol en eau, de sa texture et de sa structure, de sa capacité à être prospecté par les racines des plantes, de la présence d'animaux et de microorganismes » (Bonneau, 1995)



Les limites des approches classiques pour caractériser la fertilité chimique

Sites d'études utilisés

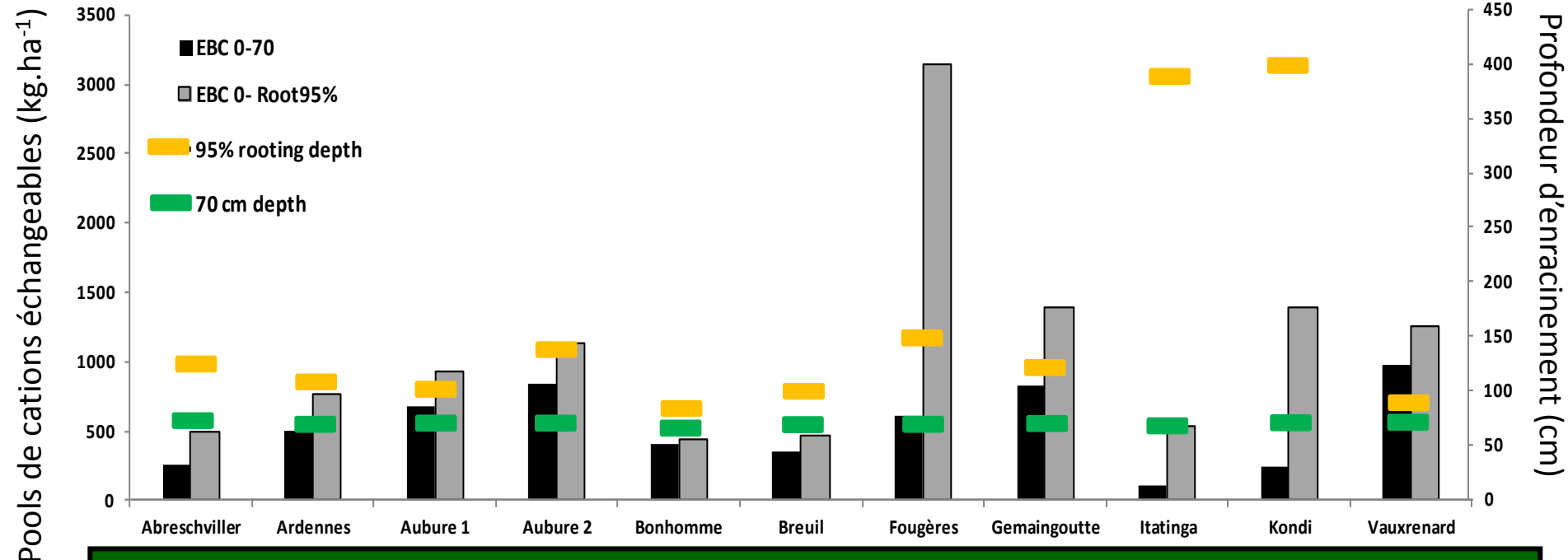


<http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t/>

Sites	Alt. (m)	Pluvio. annuelle (mm)	Temp. annuelle (C°)	Roche mère	Type de sol (WRB)
Abreschviller , Vosges	400	1250	8,5°	Vosgian sandstone	Dystric cambisol
Monthermé , Ardennes	390	1100	8°	Blue-grey phyllites	Dystric cambisol
Aubure 1 , Vosges	1080	1400	8,5°	Brézouard granite	Dystric cambisol
Aubure 2 , Vosges	1080	1400	8,5°	Brézouard granite	Podzolic cambisol
Bonhomme , Vosges	1100	1544	5°	Valtin leucocrate granite	Podzolic cambisol
Breuil , Morvan	650	1280	9°	Vire type granite	Dystric cambisol
Fougères , Bretagne	175	868	12,9°	Vire type granite	Dystric cambisol
Gemaingoutte , Vosges	650	1120	8,5°	Varied lithology gneiss	Dystric cambisol
Vauxrenard , Beaujolais	770	1000	7°	Vosges Volcanic tuf	Dystric cambisol
Itatinga , São Paulo, Brazil	850	1370	19,2°	Detritic sands	Ferralsol
Kondi , Pointe-Noire, Congo	100	1200	25°	Continental sands	Ferralic Arenosols

Taille du réservoir à considérer pour évaluer la fertilité chimique

- Pools de cations échangeables ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) : $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$
- réservoir : de 0 à 70 cm et de 0 à 95% de l'enracinement maximum (racines fines $< 2\text{mm}$)

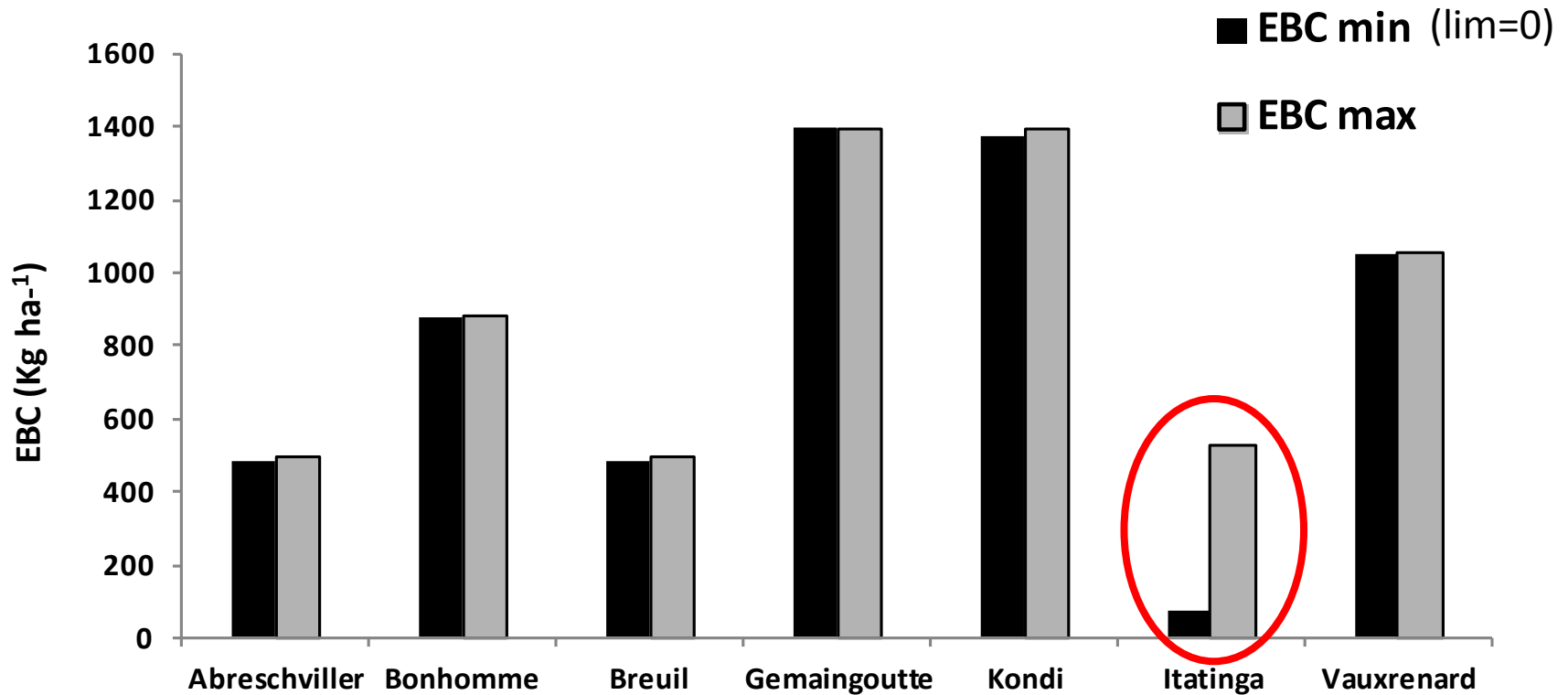


Il est difficile de définir la taille du 'réservoir' de nutriment à disposition....

La présence de racines n'implique pas forcément un prélèvement effectif de nutriments.... Sol 'bulk' vs 'sol rhizosphérique'....

Effet des limites de détection sur les pools d'éléments échangeables

EBC = Pools de cations échangeables (Ca+Mg+K+Na) 0-95% des racines



Importance du choix des limites de détection pour les écosystèmes à très faible teneur en éléments échangeables

Effet de l'indicateur choisi sur le gradient de fertilité obtenu

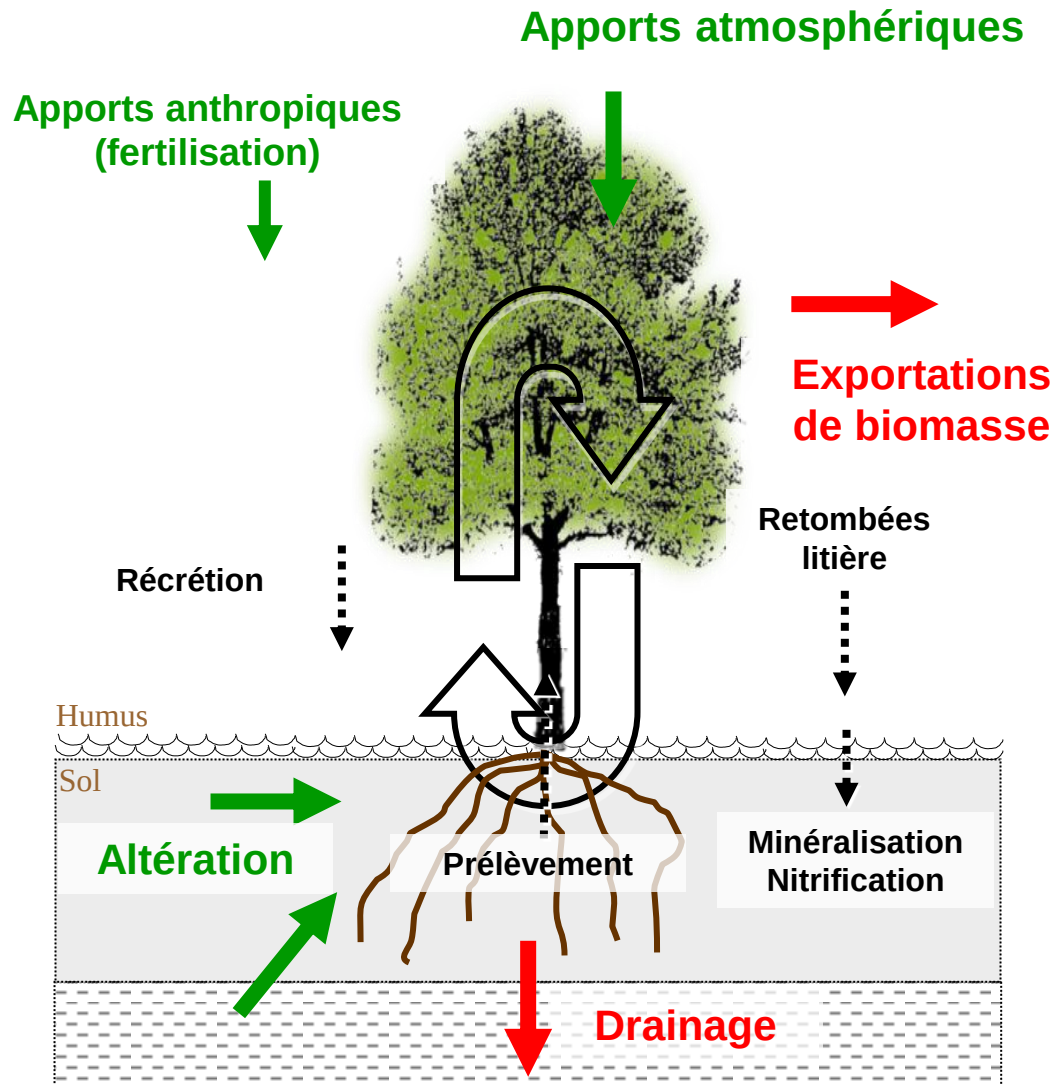
EBC = Pools de cations échangeables (Ca+Mg+K+Na)

	EBC, 0-10 cm	EBC, 0-70 cm	pH, 0-10 cm	C/N, 0-10 cm
Fougères	1	4	6	11
Gemaingoutte	2	2	8	5
Vauxrenard	3	1	3	1
Ardennes	4	6	7	2
Bonhomme	5	7	11	7
Aubure 1	6	5	10	3
Aubure 2	7	3	9	6
Abreschviller	8	9	4	9
Breuil	9	8	5	8
Kondi	10	10	1	10
Itatinga	11	11	2	4

→ Inversion du gradient selon l'indicateur choisi

Cycle biogéochimique des éléments

8

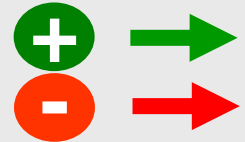


Légende :

Cycle interne des éléments

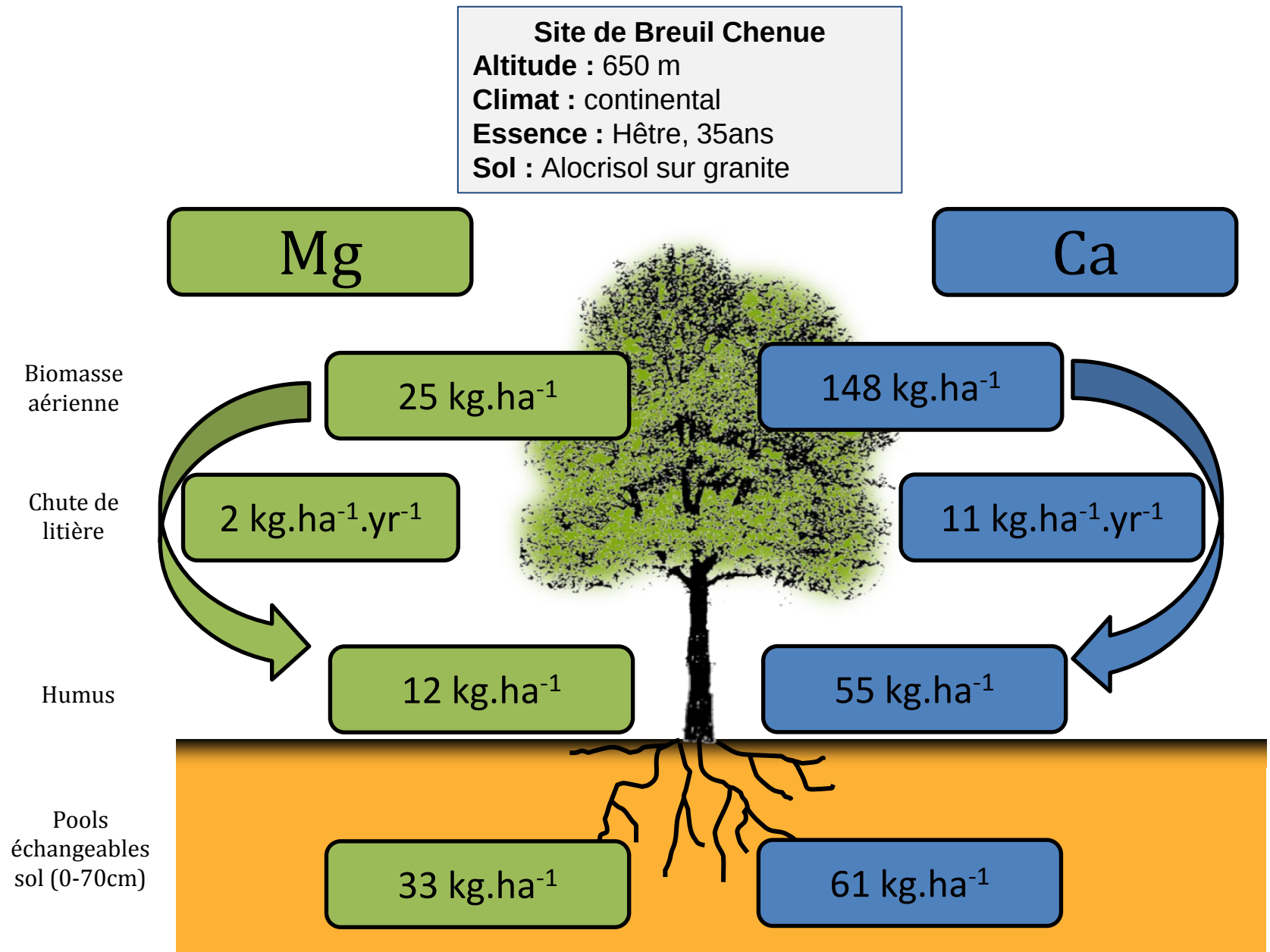


Ouvertures du cycle vers l'extérieur



Importance du cycle biologique (1/2)

9



Van der Heijden et al., 2013

Importance du cycle biologique (1/2)

9

Site de Breuil Chenue

Altitude : 650 m

Climat : continental

Essence : Hêtre, 35ans

Sol : Alocrisol sur granite

Prélèvements nets ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$)

Stocks ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Mg

Ca

Biomasse
aérienne

20.8 ans

26.4 ans

Humus

10 ans

9.8 ans

Pools
échangeables
sol (0-70cm)

27.5 ans

10.9 ans

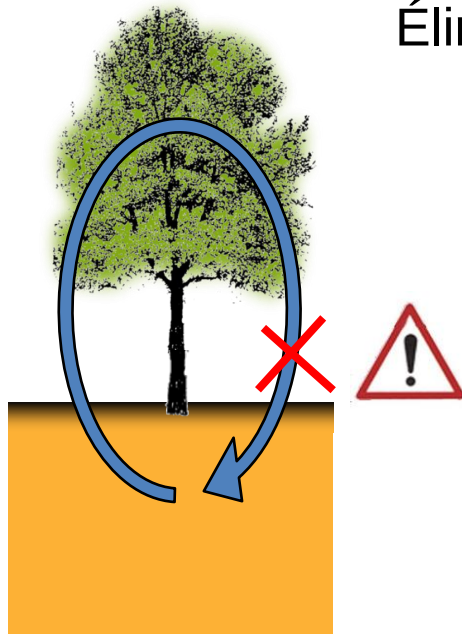
Importance du cycle biologique (2/2)

10

Sol tropicaux (très pauvres chimiquement), plantation d'eucalyptus : hypersensibilité aux restitutions organiques et aux éléments qu'ils contiennent

Élimination des rémanents

Doublement des rémanents



à 72 mois + 70 % de production avec doublement des rémanents

Hauteur = 19.4 m
Accrois. Cour. = $13.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$

Hauteur = 22.5 m
Accrois. Cour. = $23.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$



Redéfinition du concept de fertilité chimique

La fertilité chimique actuelle du sol :	La fertilité chimique à long terme du sol :
▪ Une réserve disponible éventuelle. ▪ Des flux actifs d'éléments en quantité limitée provenant du sol, des restitutions par les litières et la récrétion, des apports atmosphériques, des transferts internes à la plante. ▪ Des attributs du sol adéquats pour retenir ces éléments (état des sites et surfaces réactifs, qu'il s'agisse de charges permanentes ou variables).	▪ Capacité du sol à maintenir voire à restaurer sa fertilité dans un contexte de milieu et de gestion donnés. ▪ Des flux d'éléments issus de l'altération des minéraux porteurs de nutriments, lorsqu'ils existent, et des apports atmosphériques.

Ce potentiel ou cette capacité à produire seront exploités en fonction de contraintes à considérer pour appréhender correctement le concept de fertilité chimique :

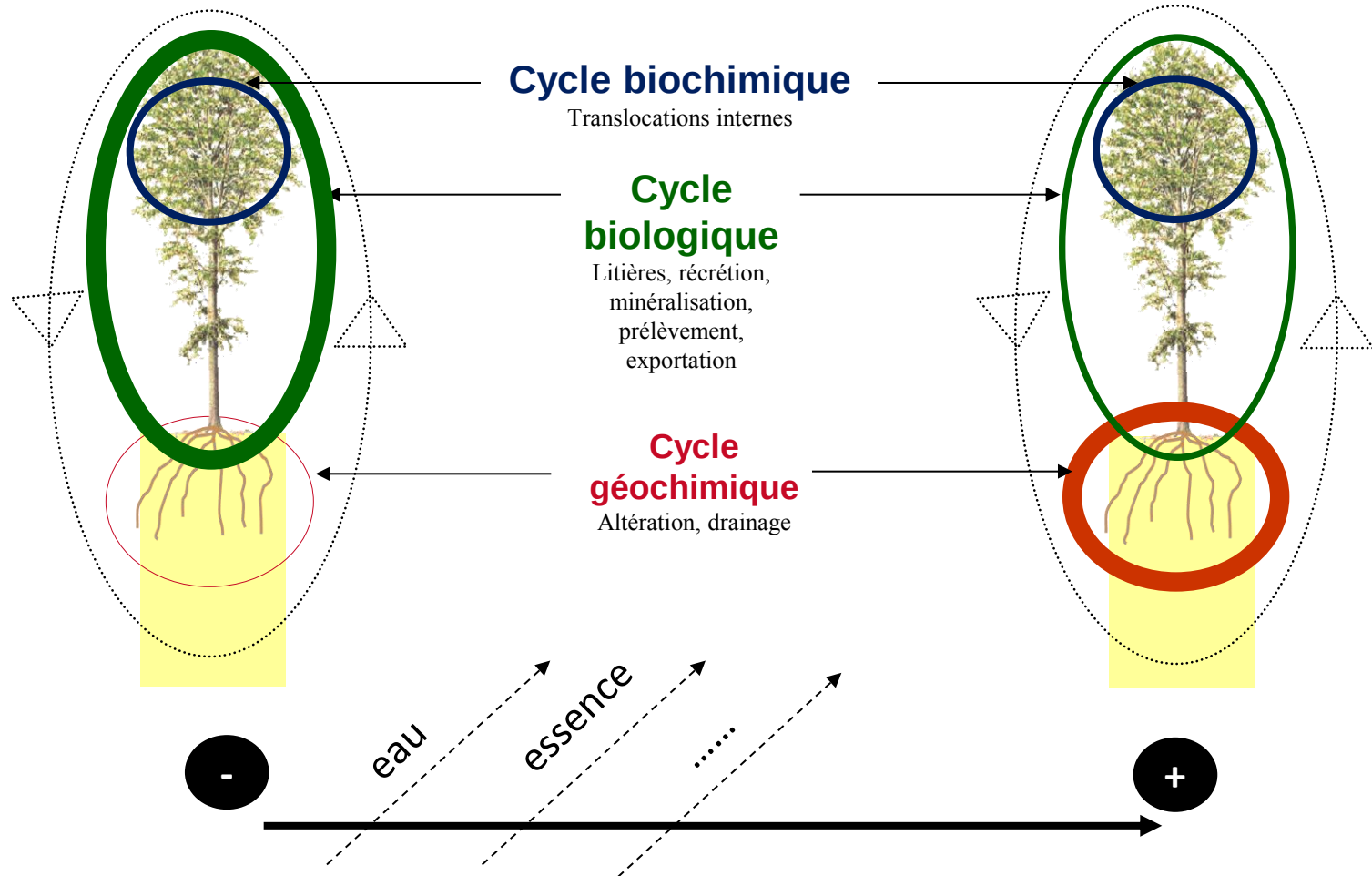
- ❖ **les contraintes hydriques** (nappe, saison sèche, excès, déficit...),
- ❖ **les besoins réels des essences** (fonction de leur autécologie, leur vitesse de développement, leur production)
- ❖ **leur stratégie de prélèvement** (vers les eaux liées, vers les horizons profonds...) ainsi que la colonisation du sol en fonction des contraintes physiques (compaction, hypoxie, hydromorphie...)

Relation entre la fertilité chimique et le poids des composantes BIO/GEO dans les cycles

12

Type I – sol pauvre
chimiquement:
cycle **BIO**géochimique

Type II – sols riches
chimiquement :
cycle bio**GEO**chimique

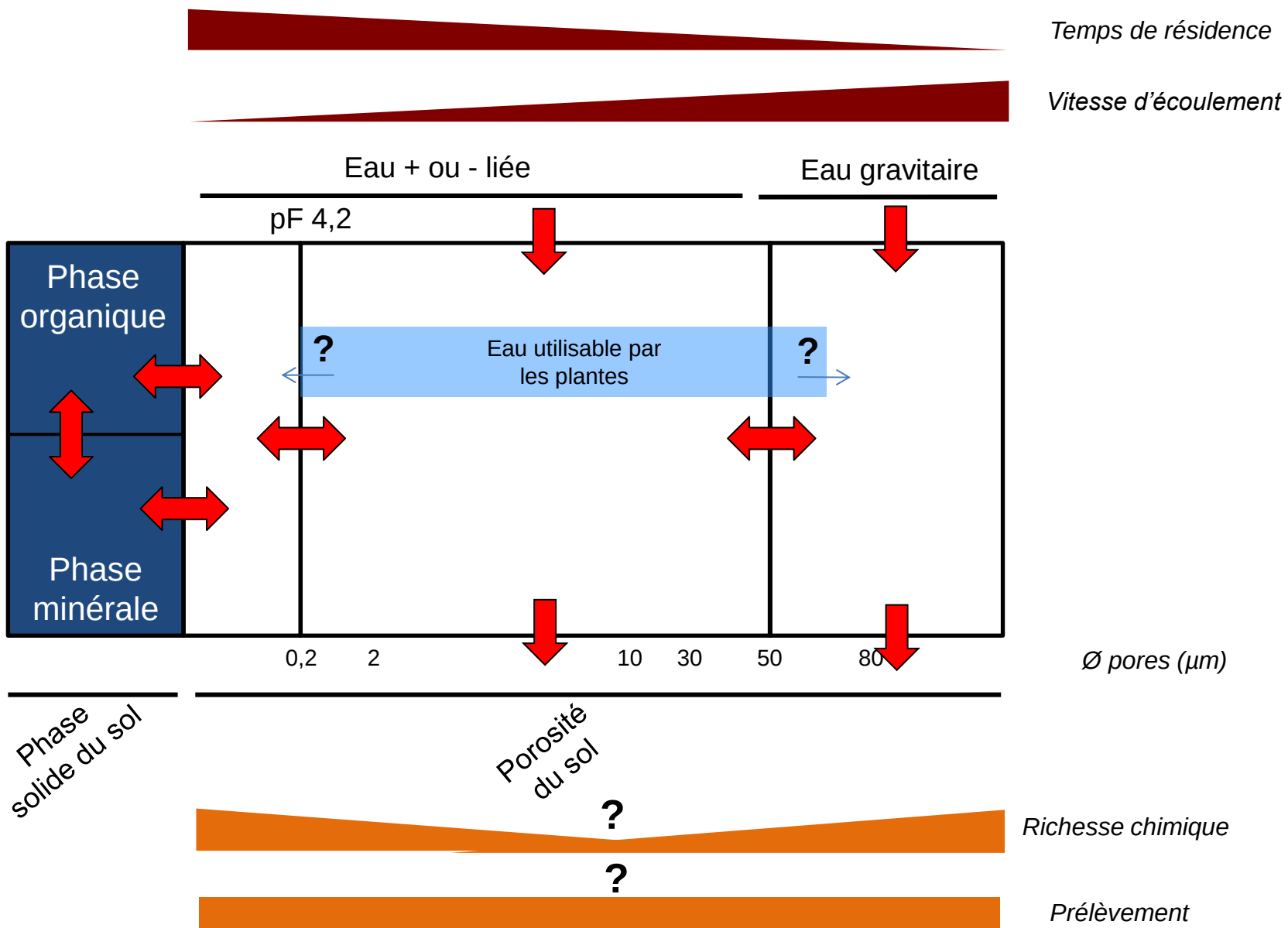




Interaction entre la fertilité chimique et la réserve en eau

Les différents types d'eau du sol

13



La biodisponibilité est à géométrie variable

Illustration du concept de géométrie variable

14

→ En fonction de l'état hydrique du sol

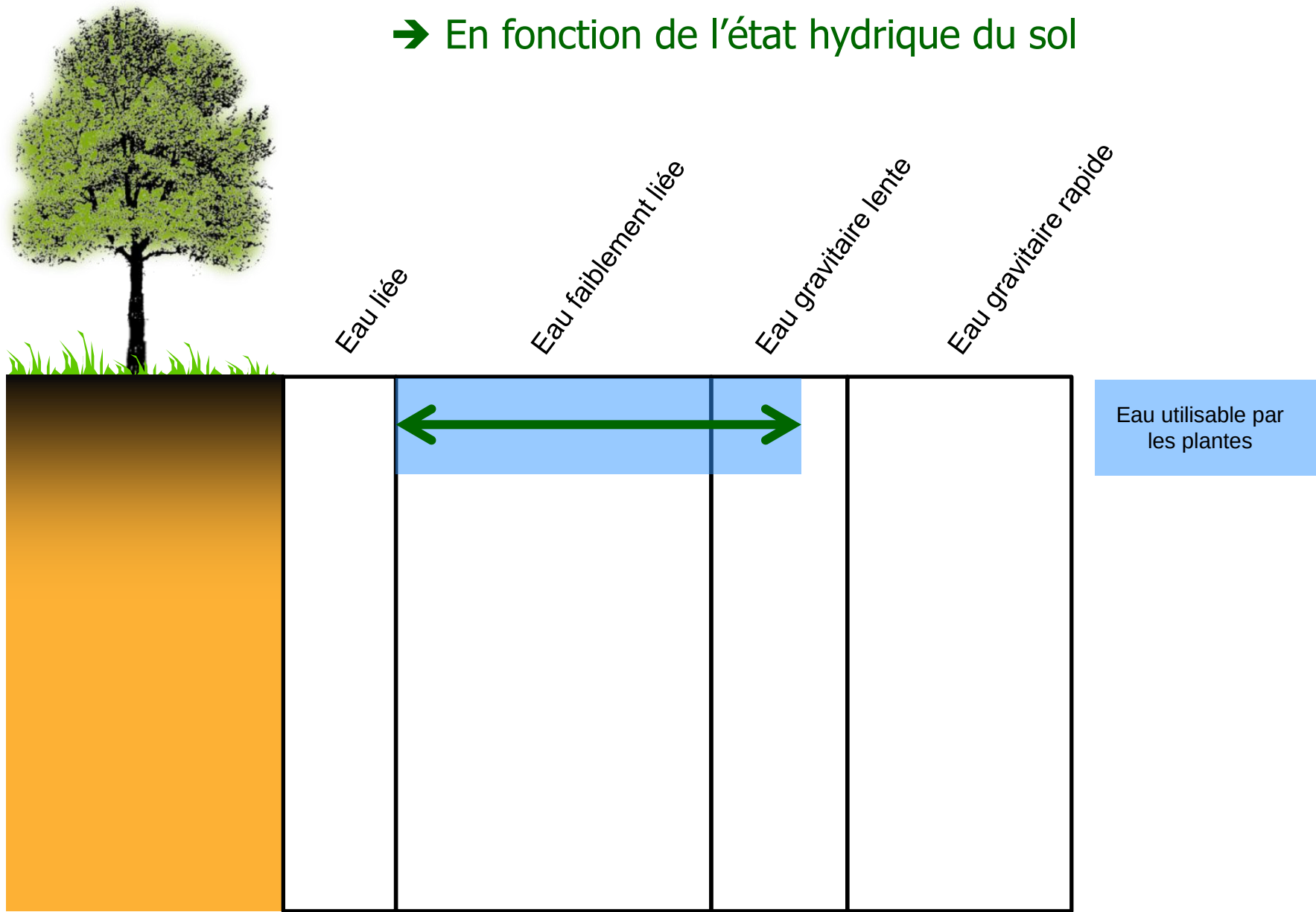


Illustration du concept de géométrie variable

14

- En fonction des espèces forestières
- Capacité à prélever l'eau liée

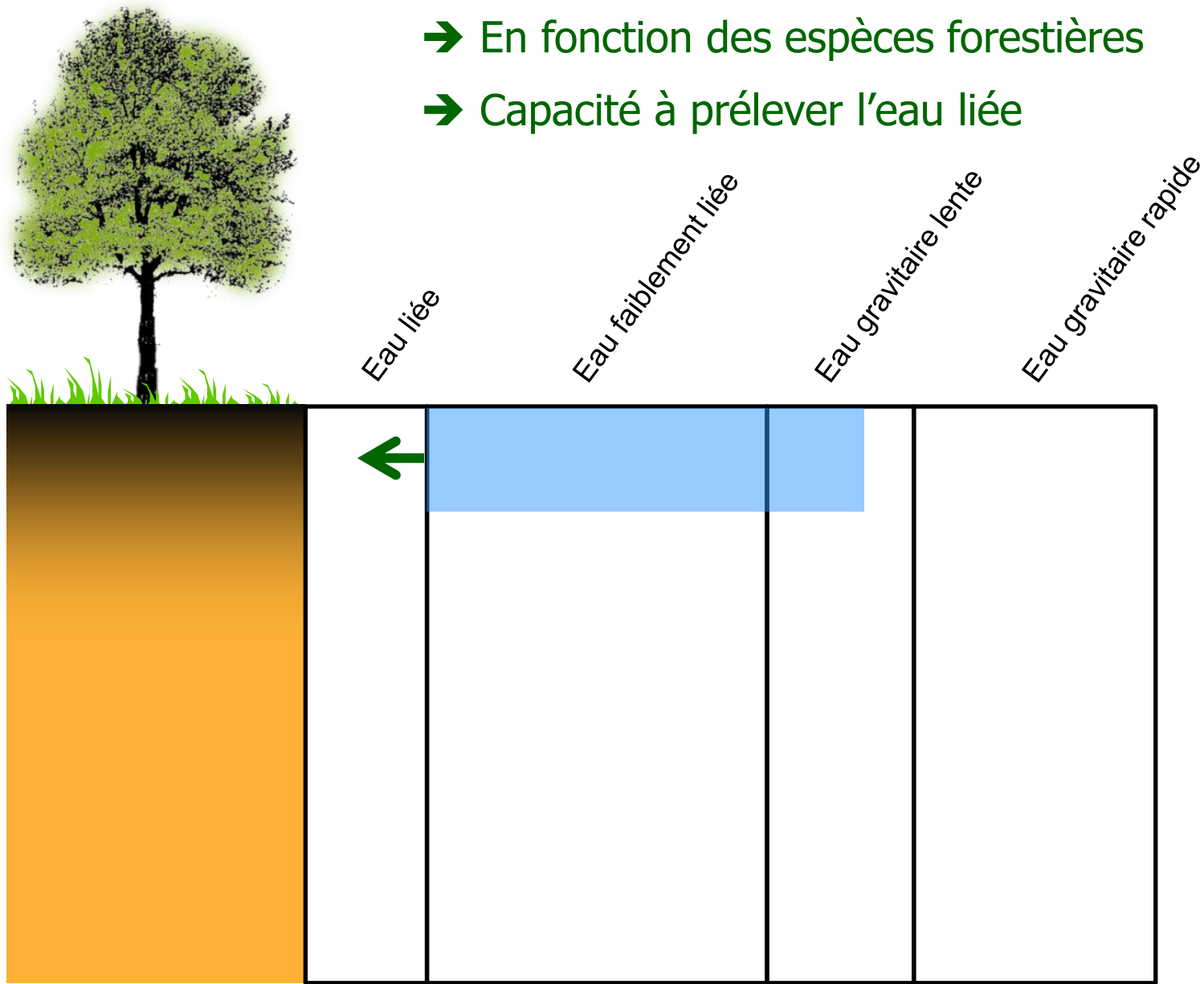


Illustration du concept de géométrie variable

14

→ En fonction des espèces forestières

→ Distribution racinaire

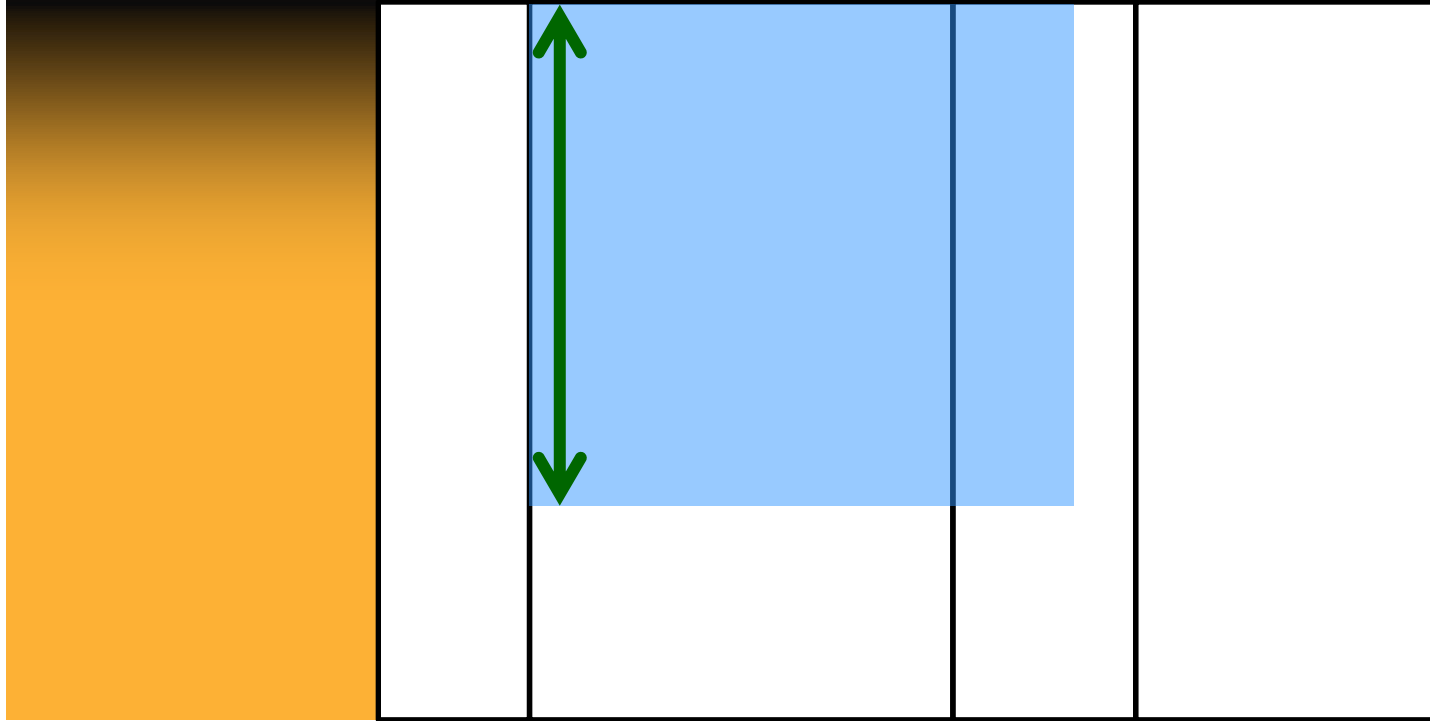


Illustration du concept de géométrie variable

14

→ En fonction des saisons



Eau liée

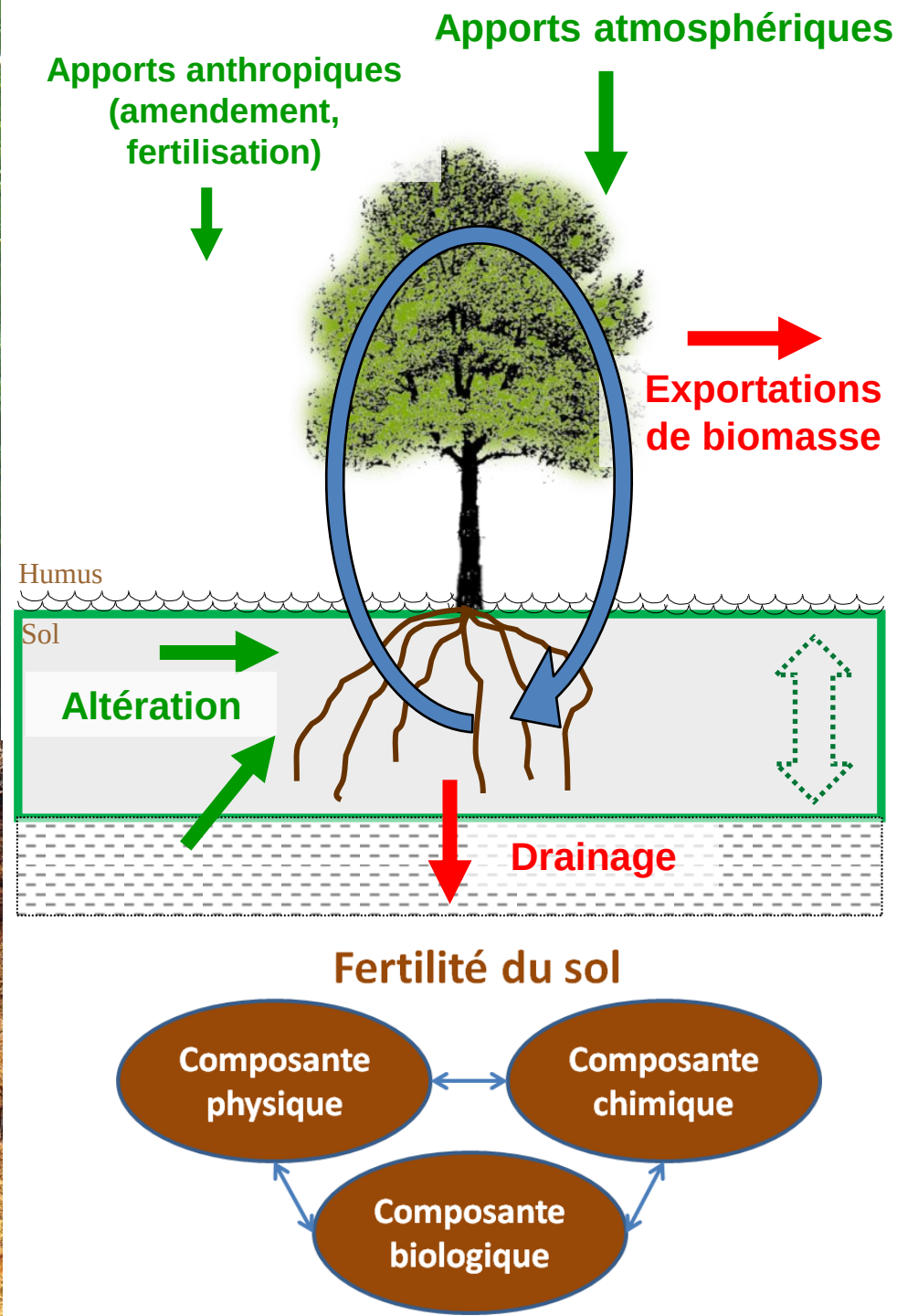
Eau faiblement liée

Eau gravitaire lente

Eau gravitaire rapide



Conclusions



La résilience naturelle de bon nombre d'écosystèmes à faible fertilité minérale est très faible

Dépôts N élevés, diminution des entrées de Ca, Mg et K par les dépôts atmosphériques

Pratiques sylvicoles : attention aux exportations, longueur des révolutions, au choix des essences, mécanisation...

Augmentation des exportations de biomasses ? production de bois énergie...

La restauration de la fertilité chimique d'un écosystème peut s'avérer couteuse donc mieux vaut la préserver....

Merci de votre attention



GESTION DURABLE DE LA FERTILITÉ CHIMIQUE DES SOLS FORESTIERS

Du fait même que les sols forestiers sont en moyenne plus pauvres que les sols agricoles, ils nécessitent une gestion qui permette une utilisation durable de leur capacité à produire. À cette fin, il convient d'adapter les pratiques sylvicoles aux conditions de la station considérée. Les principales variables sur lesquelles le gestionnaire peut intervenir sont (Bonneau et Ranger, 1999) :

- la longueur des révolutions,
- la récolte de tout ou partie de la biomasse,
- la méthode de récolte,
- le traitement des rémanents,
- le choix de l'essence.

(Augusto et al, RFF, 2000)