Sols vivants

PAEC de l'Agglomération Lyonnaise

27 Novembre 2019

SOMMAIRE

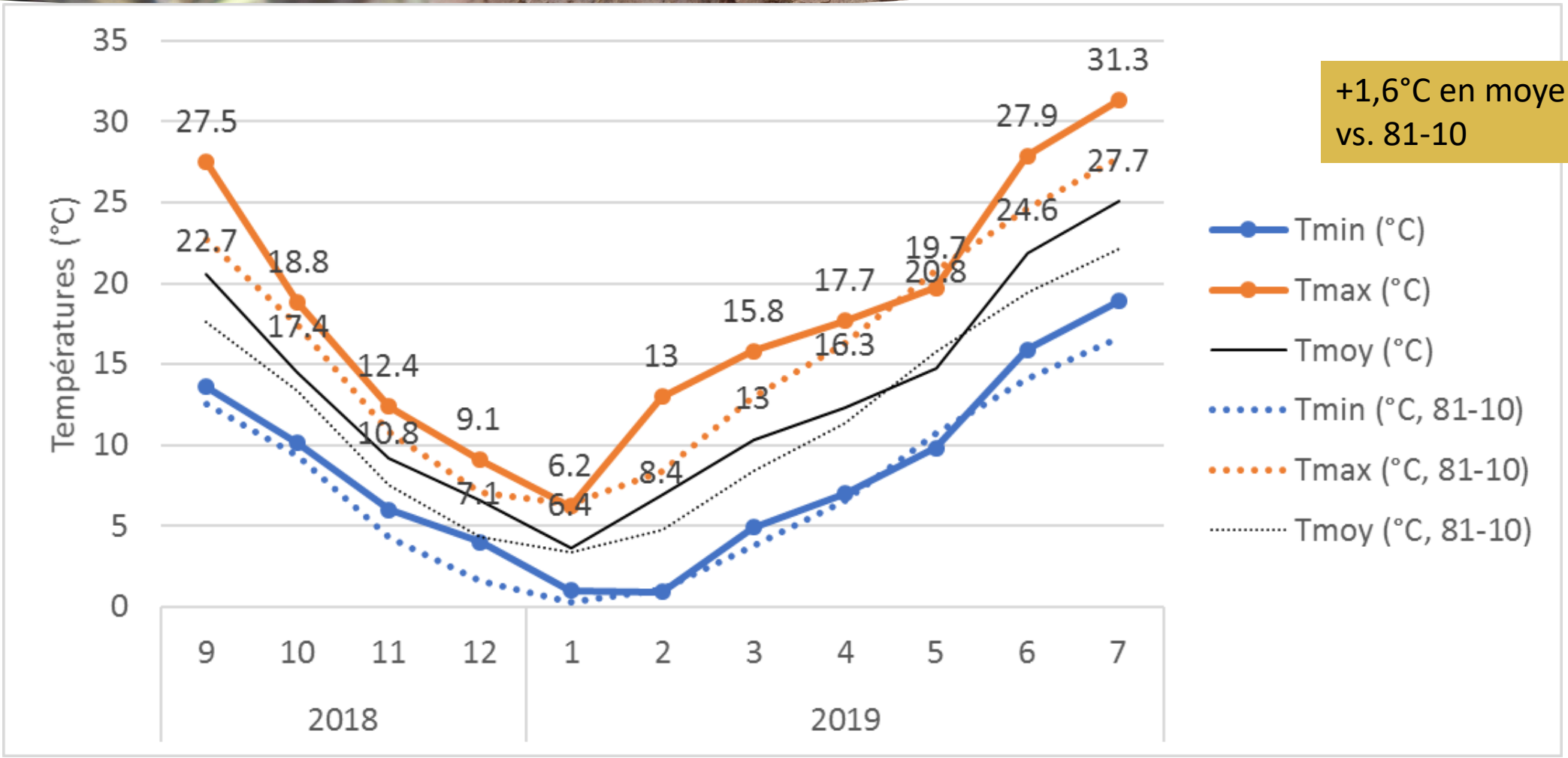
- Analyse de terre : des outils de pilotage essentiels — Pages
  - Campagne de reliquats 2019 — 3
  - Analyse de terre : intérêts, lecture et interprétation — 16
- Fertilité biologique des sols — Page
  - Comprendre son sol pour optimiser ses pratiques — Page 44
  - Les mycorhizes — Page 74
  - Les auxiliaires et décomposeurs — Page 100
  - Les plantes bio-indicatrices — Page 101
- Témoignages d’agriculteurs — Page 115
- Cartographie des sols — Page

Campagne de reliquats azotés 2019

Présentation de l’échantillon

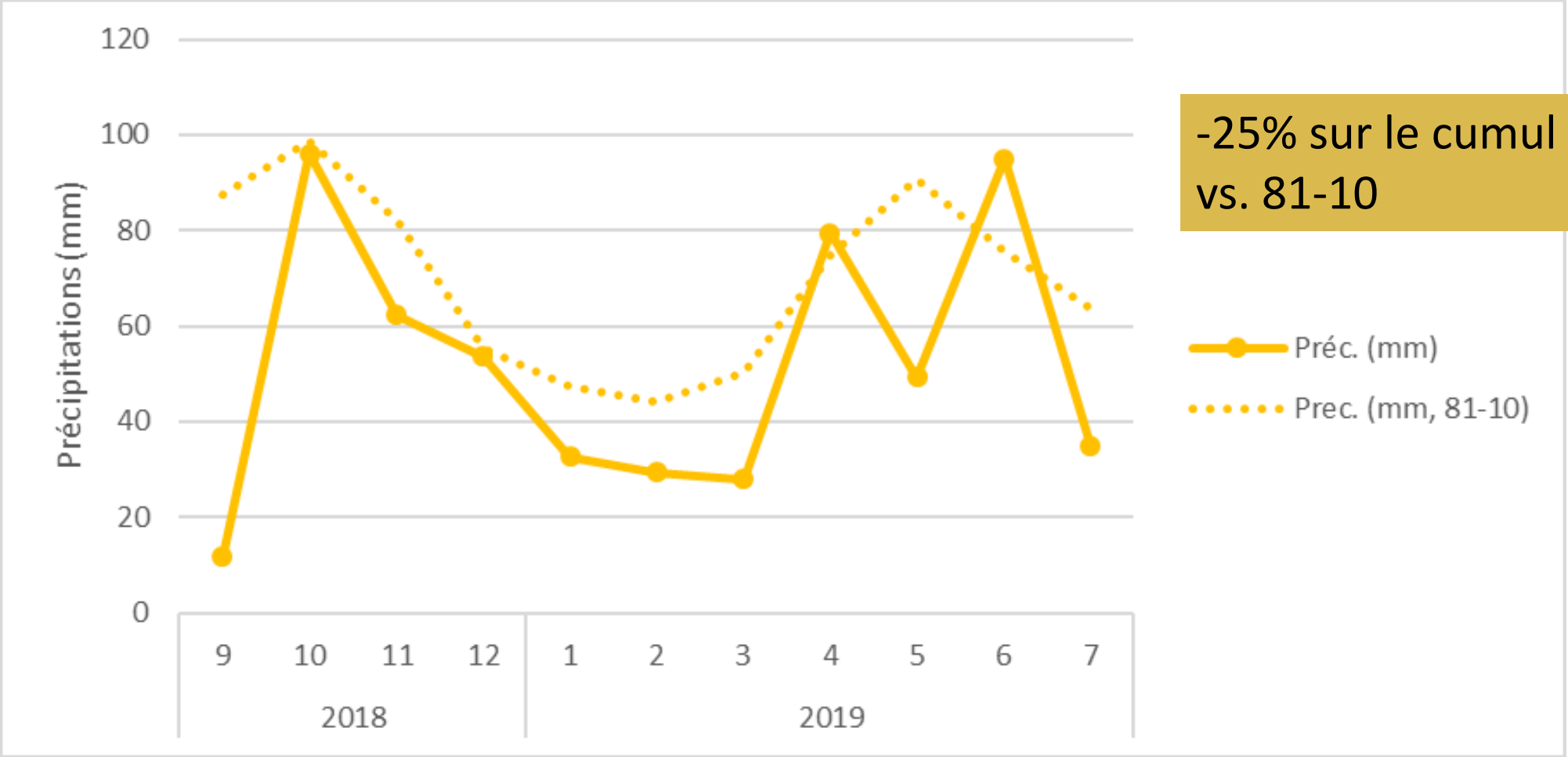
- **30 parcelles** échantillonnées
- Sortie Hiver (mi-février 19) : 25 échantillons (0-90 cm)
- Post-récolte (début août 19) : 23 échantillons (0-30 cm)
- 18 parcelles suivies aux 2 dates
- Principalement en blé (21 parcelles). Colza, Orge H, Maïs, Soja.
- Faible usage des intercultures (4 parcelles couvertes en interculture avant maïs)

Climat 2018-2019 : Températures



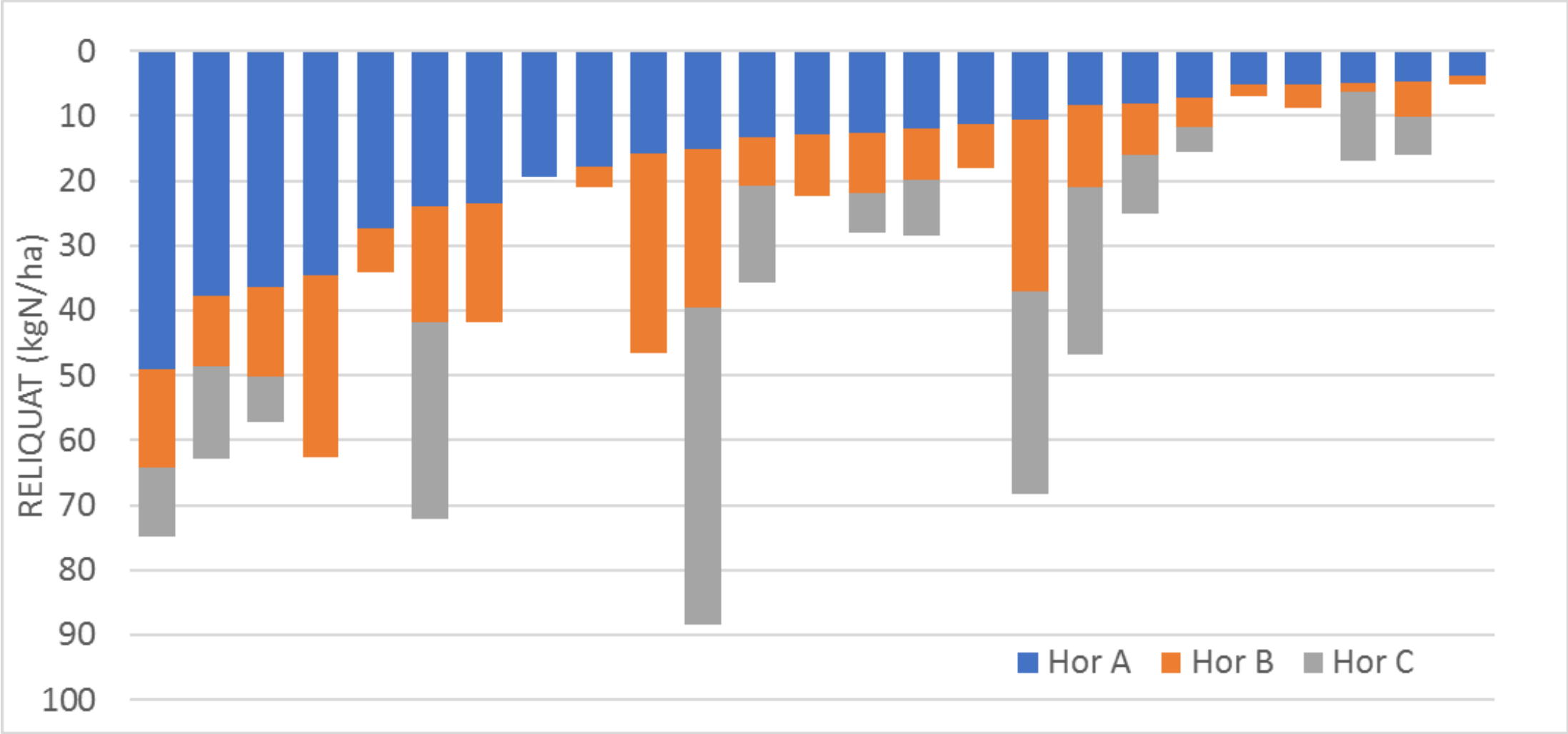
+1,6°C en moyenne sur la période vs. 81-10

Climat 2018-2019 : Précipitations

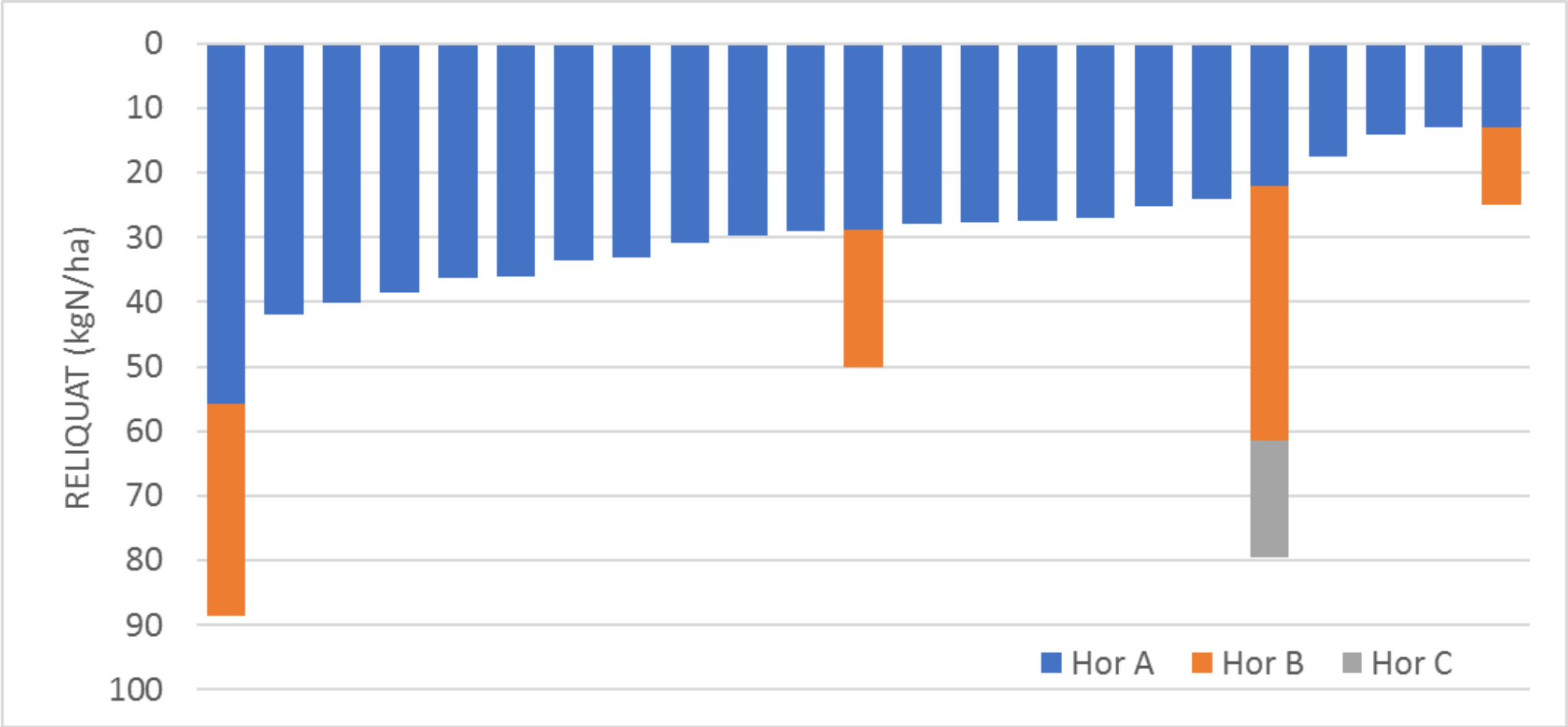


-25% sur le cumul sept.18 > juil. 19 vs. 81-10

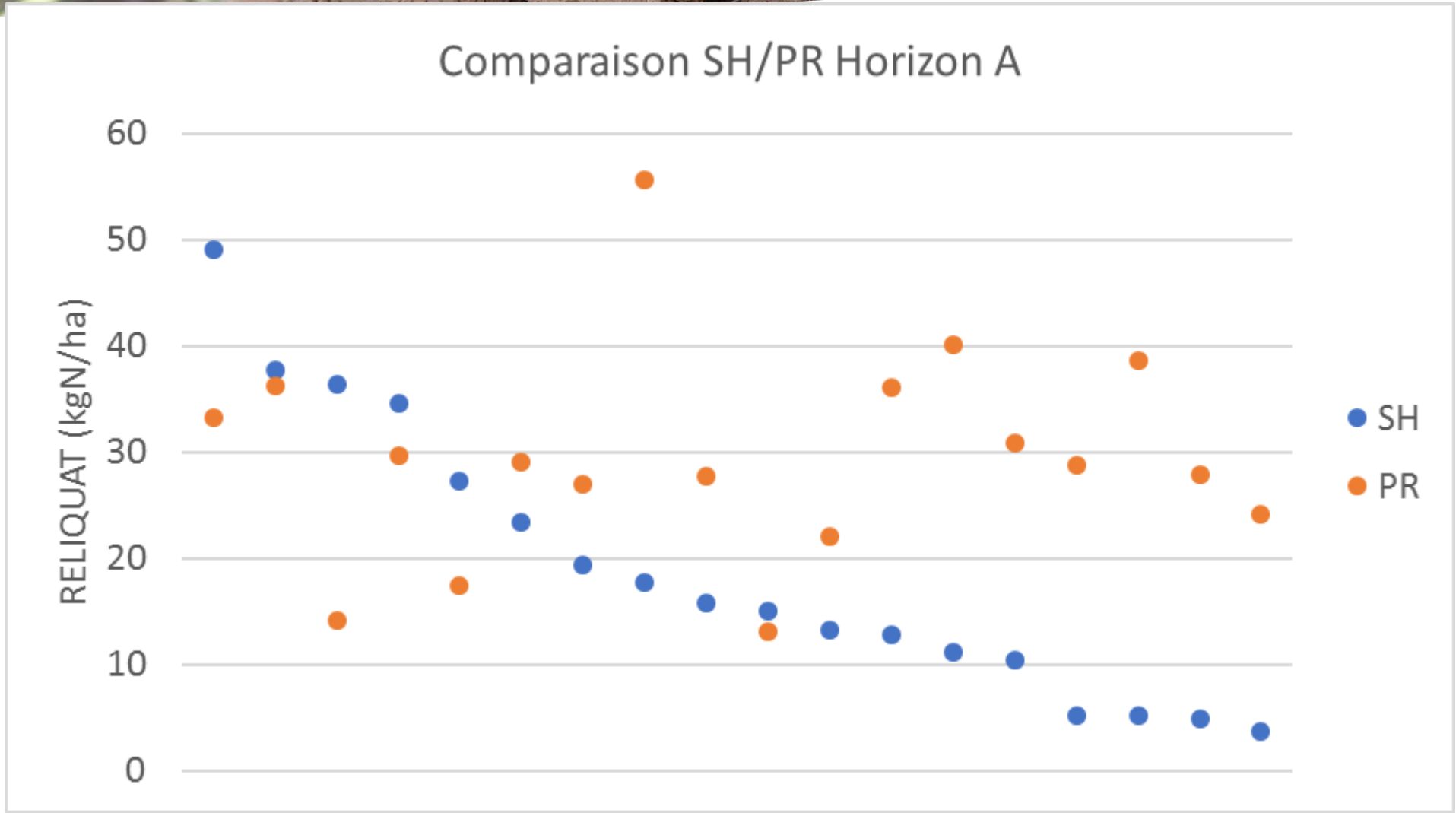
Présentation des résultats : Reliquats Sorthie Hiver (02/2019)



Présentation des résultats : Reliquats Post-Récolte (08/2019)

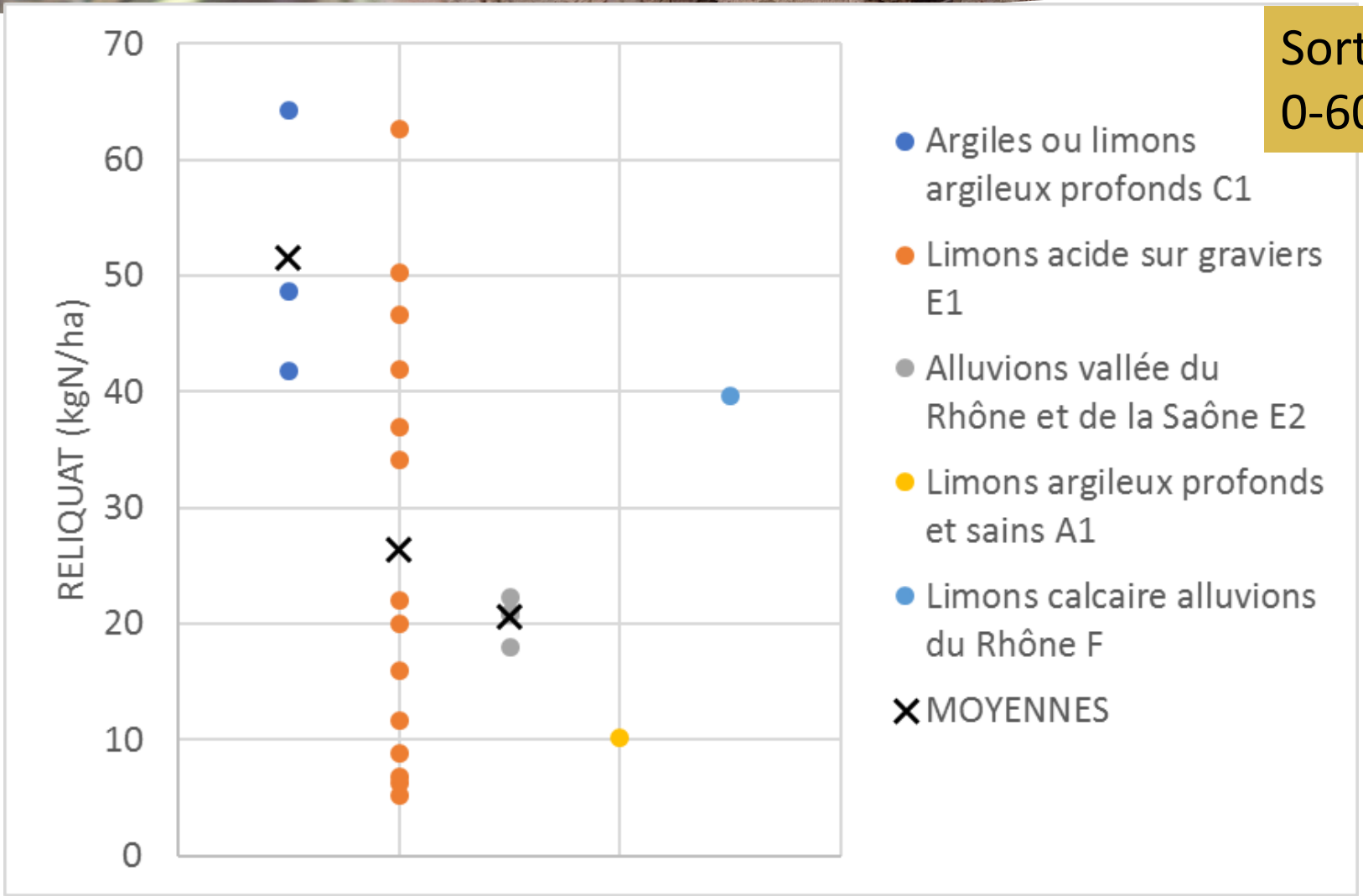


Présentation des résultats : Evolution des reliquats 02>08/19



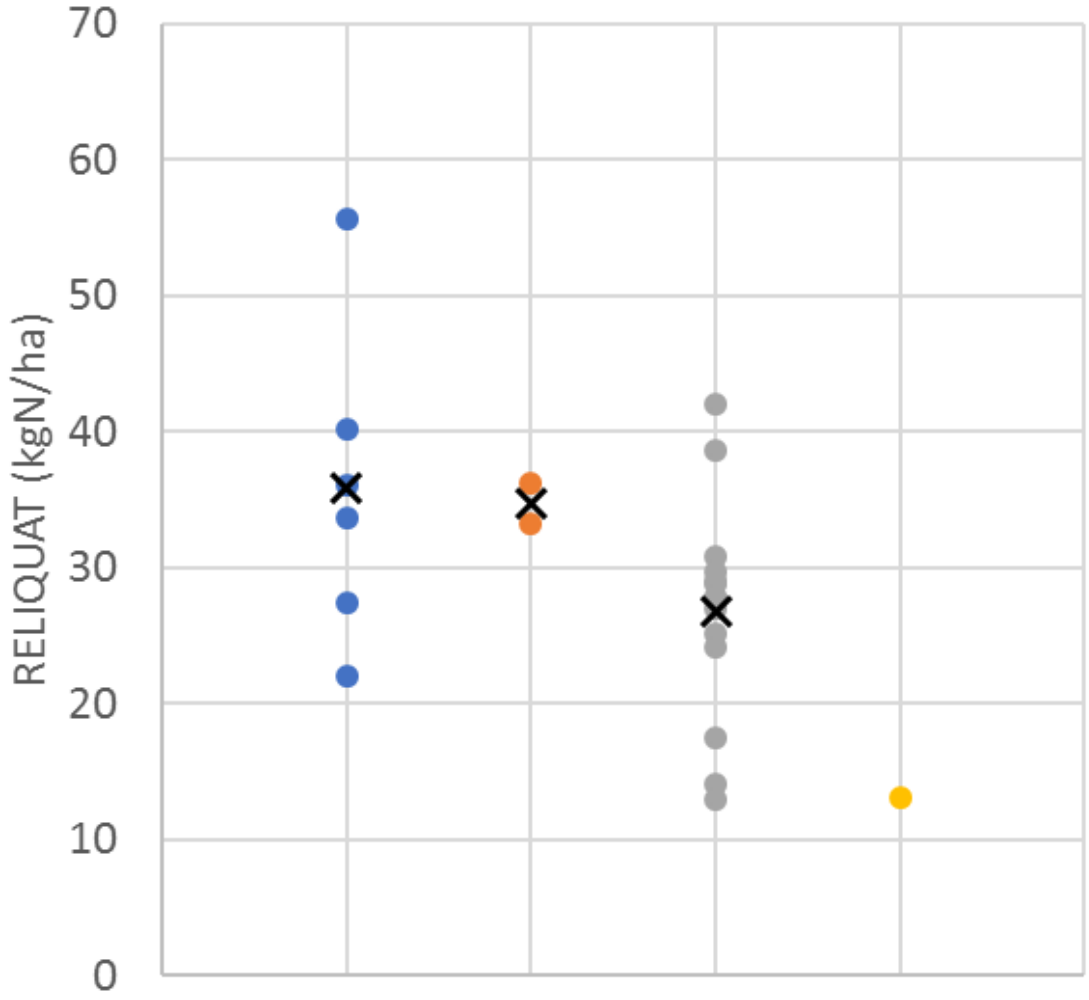
Présentation des résultats : Reliquats et types de sols

Sortie Hiver (02/19)
0-60 cm



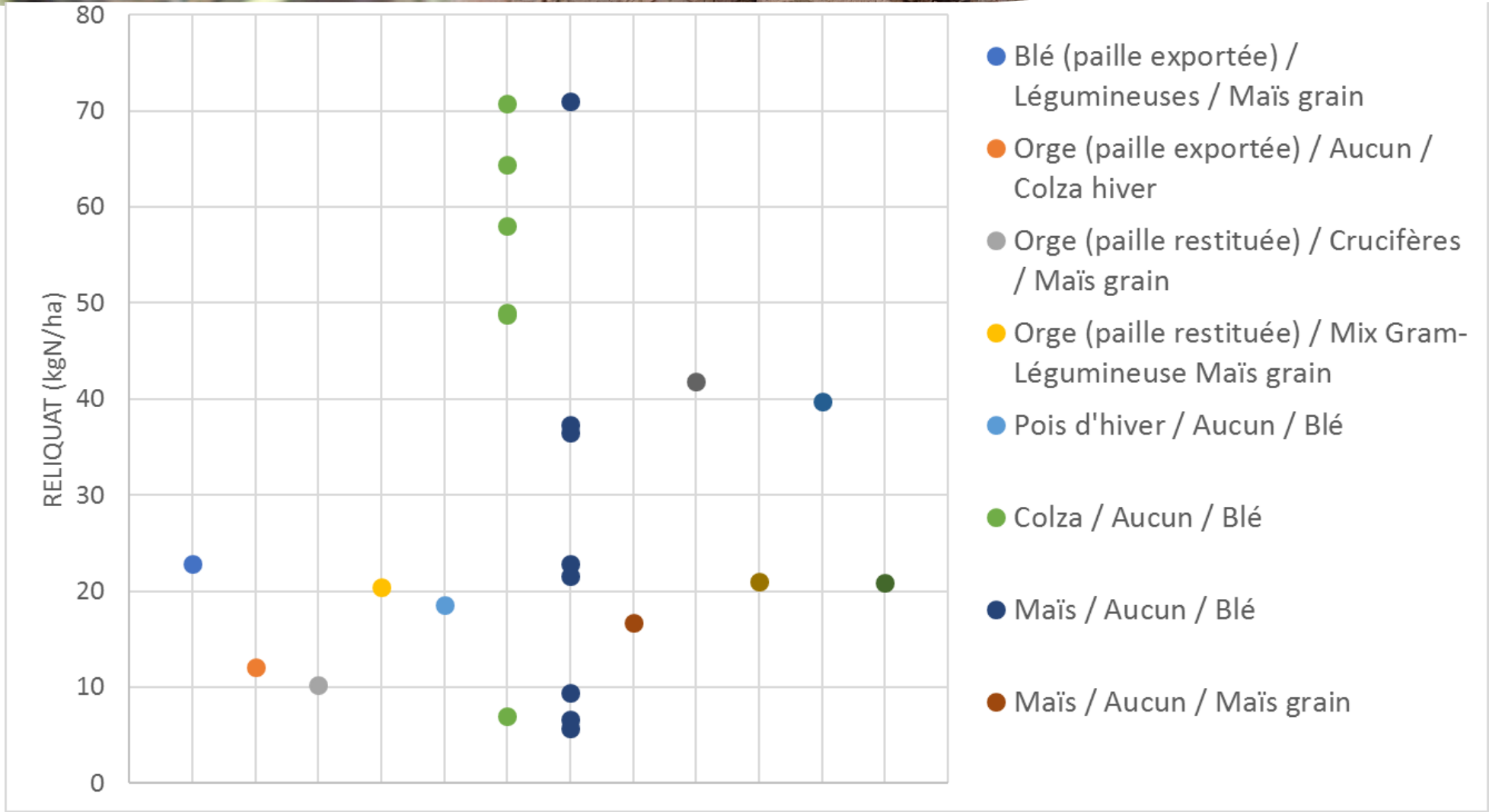
Présentation des résultats : Reliquats et types de sols

Post-Récolte (08/19)
0-30 cm



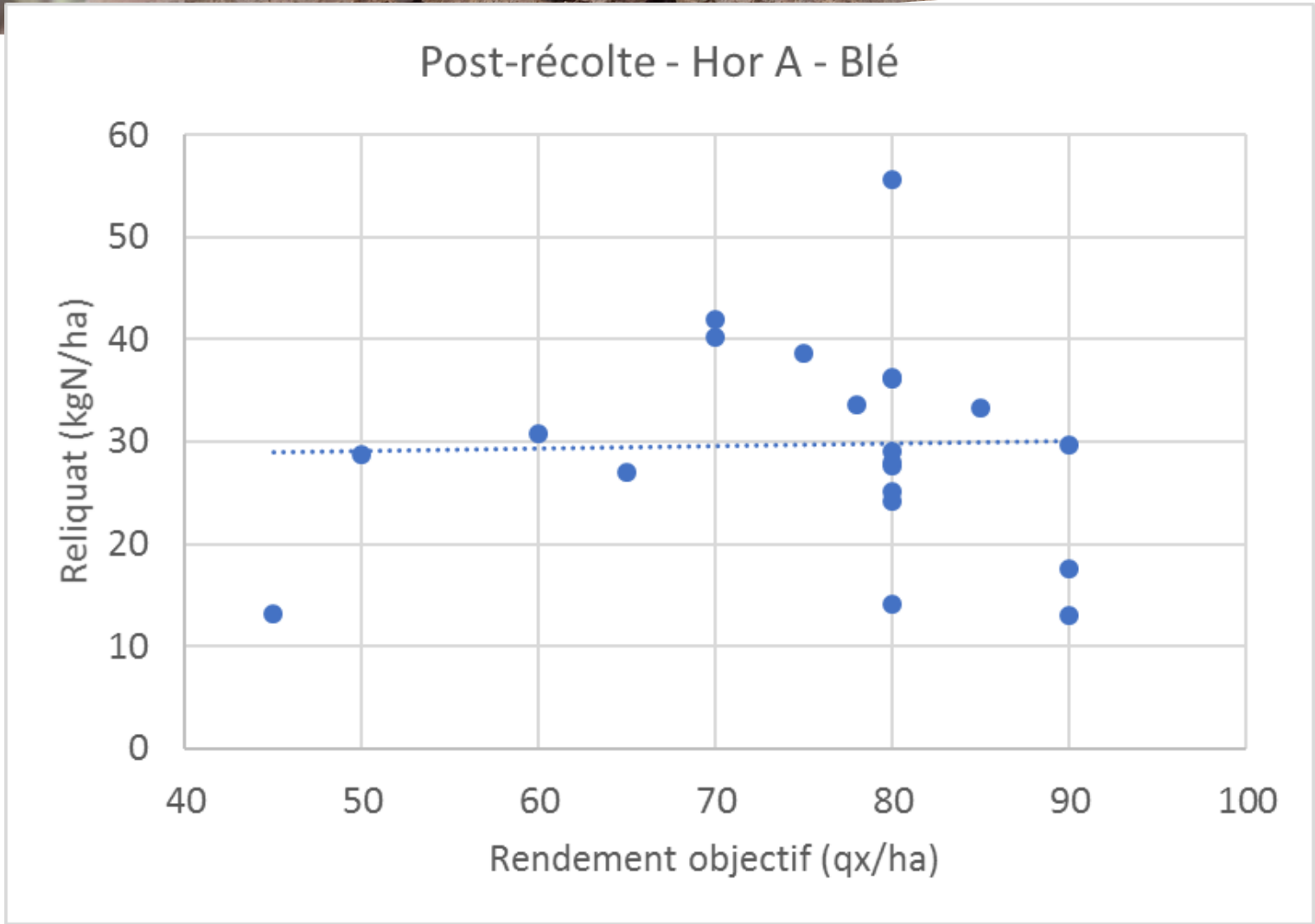
- Alluvions vallée du Rhône et de la Saône E2
- Argiles ou limons argileux profonds C1
- Limons acide sur graviers E1
- Limons calcaire alluvions du Rhône F
- MOYENNES

Présentation des résultats : Reliquats et précédent cultural

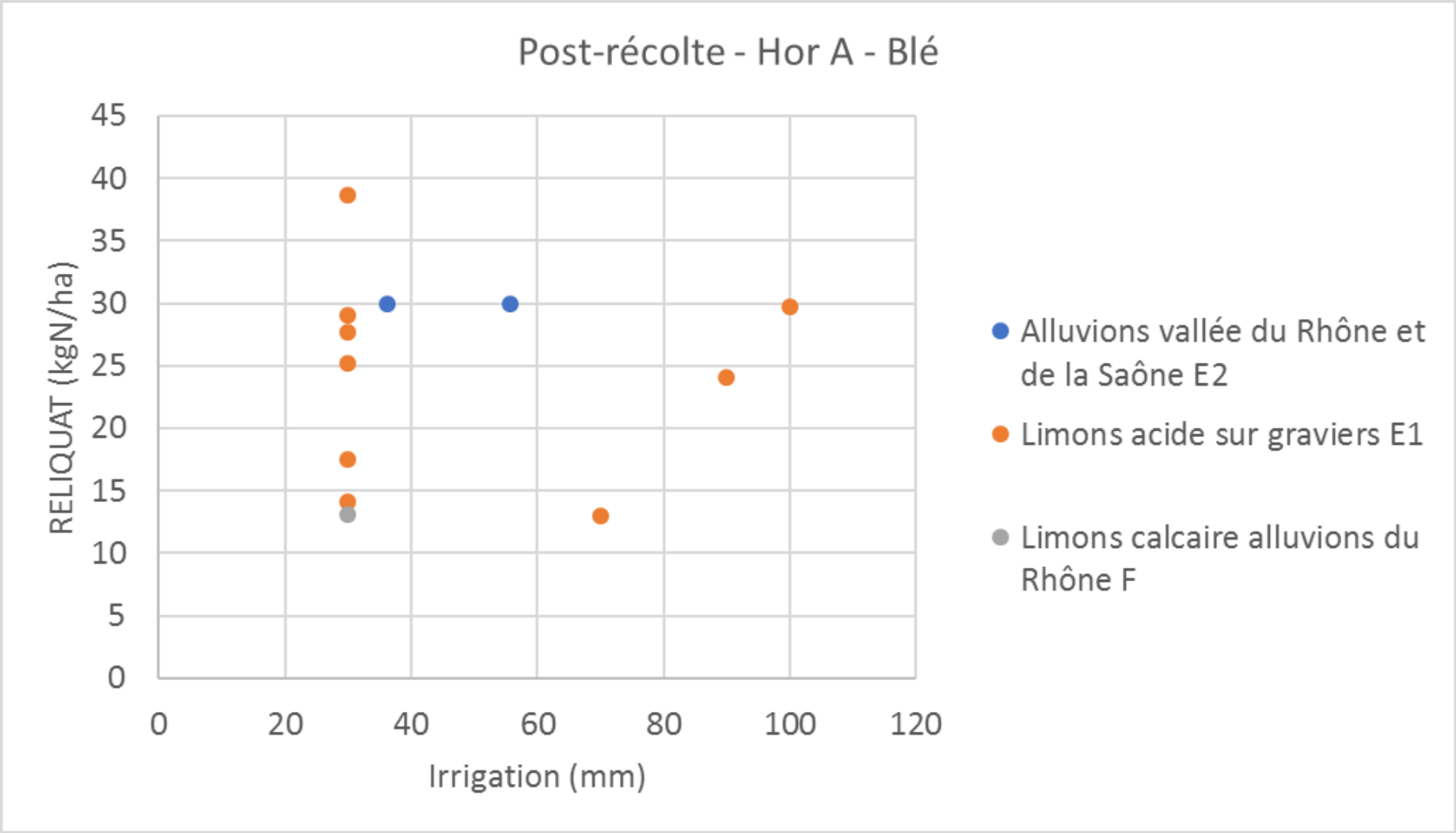


Sortie Hiver
Horizon 0-60 cm

Présentation des résultats : Reliquats et rendement objectif

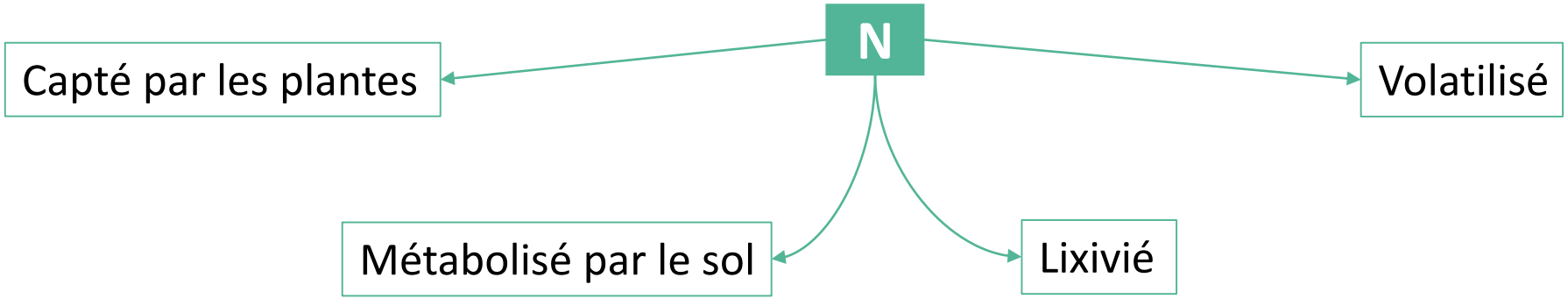


Présentation des résultats : Reliquats et irrigation



Pour conclure

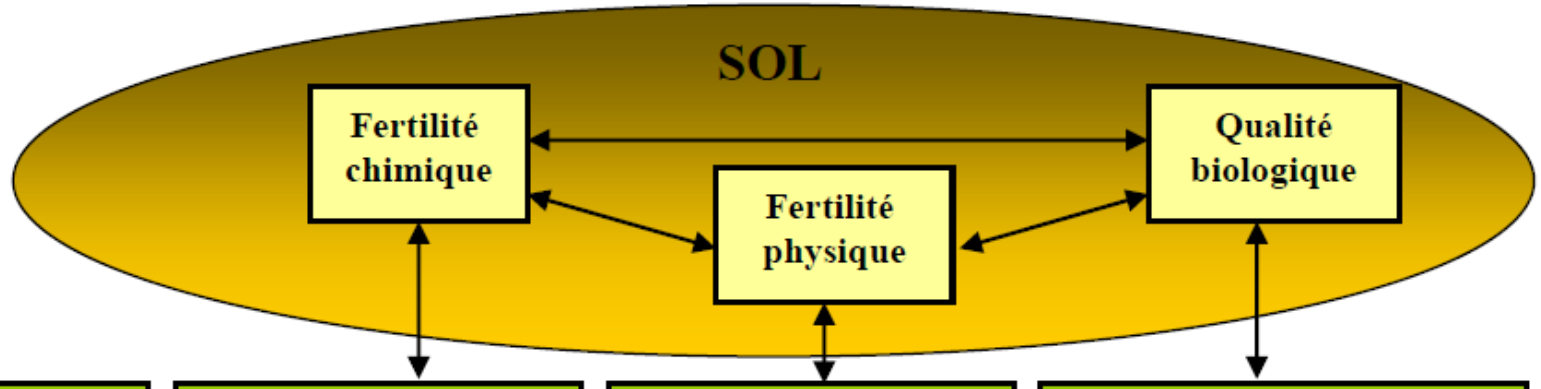
- Reliquat N minéral = un des postes du bilan azoté global



- Peu explicatif à cette échelle de temps

Analyse de terre : intérêts, lecture et interprétation

L'analyse de terre, pour quoi faire ?



Pratiques agricoles correspondantes	**Fertilisation**	**Travail du sol** **Semis ou plantation**	**Gestion des matières organiques**
Outils de diagnostic	Analyses de terre Bilan minéral	Profil cultural Pénétromètre Test bêche, drop test	Teneur en carbone organique des sols Bilan humique
Outils d'aide à la décision	Logiciels : CLE DE SOL, EPICLES, JUBIL, AZODYN, HYDRO PLAN, etc.	Profil cultural Test bêche	Interprétation des teneurs en matières organiques et des analyses micro biologiques

L’analyse de terre, pour quoi faire ?

- Analyse de terre = vision à l’instant t du milieu
- Intérêt dans le cas :
  - Reprise d’une nouvelle parcelle
  - Suivi pluriannuel
  - Elaboration d’une stratégie de gestion des sols objective
  - Vérifier la cause de problèmes en culture (carences, vraies ou induites, notamment)

L'analyse de terre, pour quoi faire ?

Pourquoi comprendre les éléments de mon analyse de terre ?

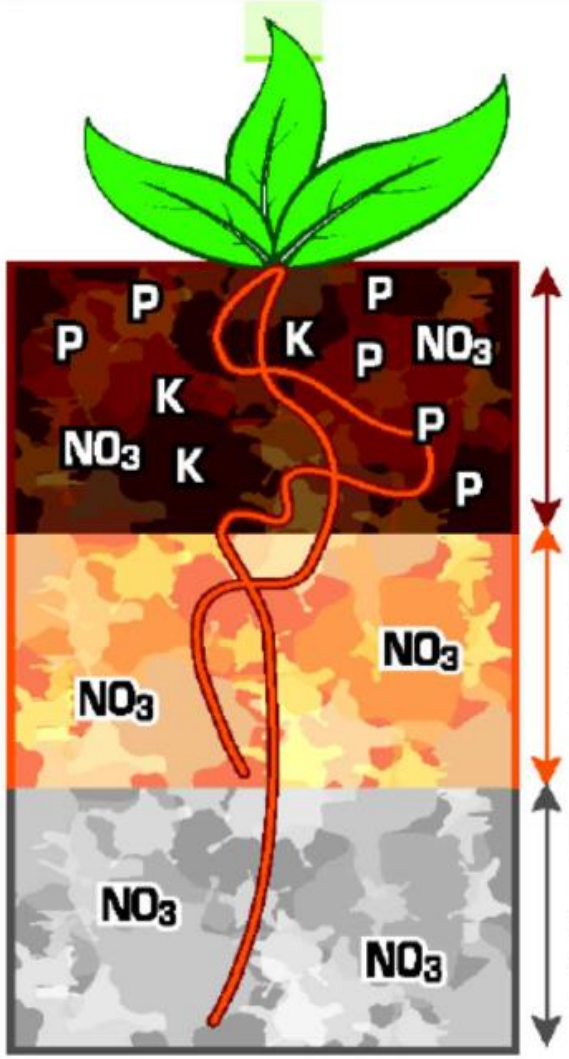
- Pour mieux maîtriser et comprendre les préconisations
- Réaliser soi-même des calculs utiles
- Devenir plus autonome dans ma prise de décision
- Utiliser efficacement une obligation réglementaire

Panorama

- Le classique : 60 à 120€
  - Analyse physico-chimique : le prix varie en fonction des éléments demandés
  - Analyse de matières organiques

- Le moins classique : de 100 jusqu'à 500€…et plus!
  - Analyse biologique
    - Biomasse microbienne
    - Séquençage ADN (diversité microorganismes, présence de pathogènes…)
    - Nématofaune
    - Identification de bio-indicateurs
    - (…)

Prélèvement de terre



Horizon
Homogé
Activité
Cet hori
=> Hori

Horizon
Plus con
Activité
surtout
=> Hori

Horizon
Très con
Activité
surtout
=> Horizon à prélever pour l'analyse de reliquats azotés.

Techniques d'échantillonnage	plan type	Représentativité de l'échantillon	Homogénéité de l'échantillon	Suivi de la zone prélevée
Localisé		*	***	****
		Méthode recommandée pour les analyses PK (*)		
Diagonale (ou croix)		***	*	***
		Méthode recommandée pour les reliquats N (*)		
Aléatoire		***	*	*

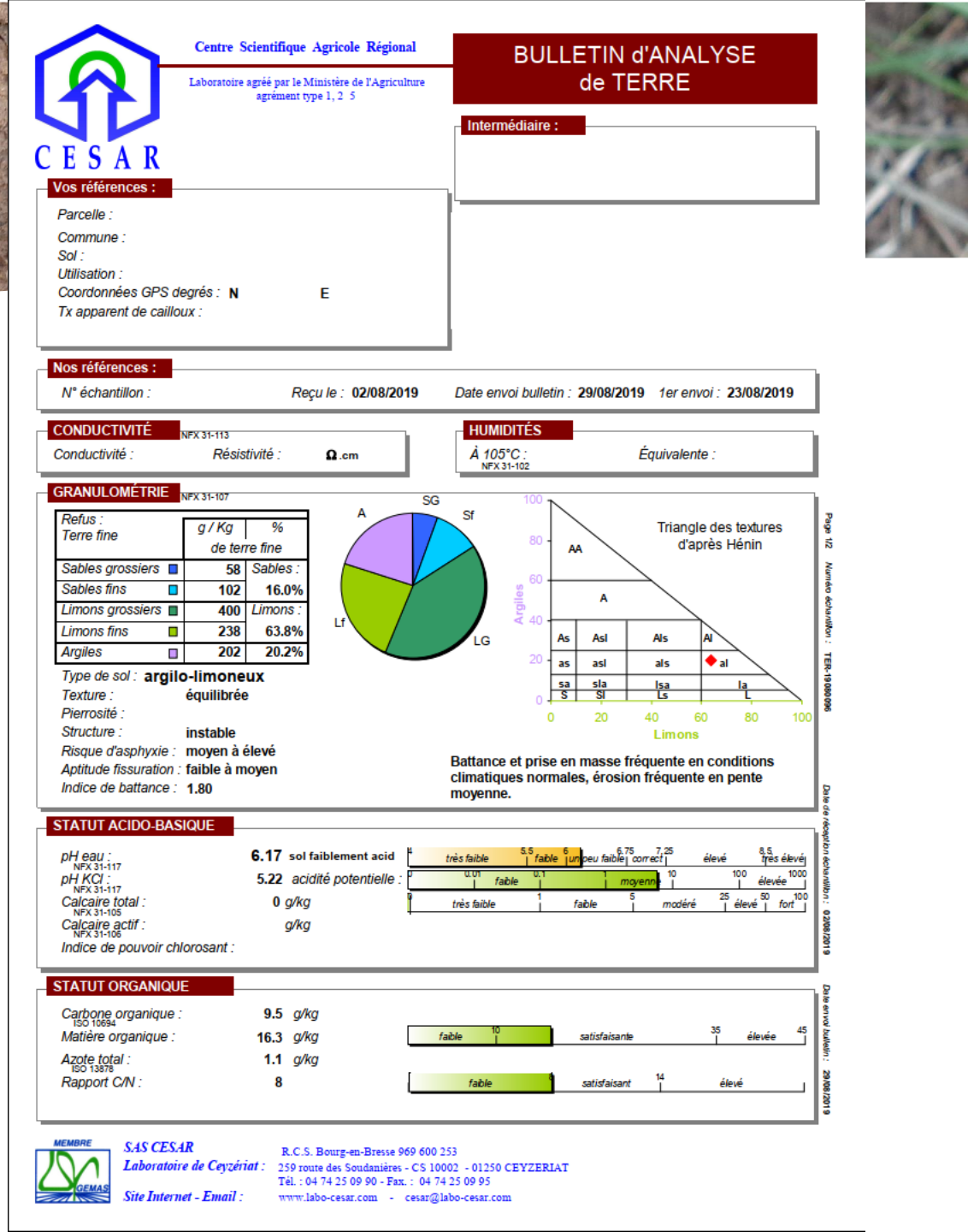
Des éléments essentiels et secondaires

- **<u>Les éléments essentiels</u>** : comprendre **mon potentiel sol** pour prendre les bonnes décisions
  - Granulométrie
  - pH
  - Matières organiques

Couplé à une observation *in situ* de type test bêche, et de l'expérience : cela suffit !

- **<u>Les éléments secondaires</u>** : caractériser finement mon sol et vérifier la fourniture en macro et microéléments
  - CEC (capacité d'échange cationique) et S/T (taux de saturation)
  - Macroéléments N, P, K, Ca, Mg
  - Microéléments S, Cu, Mo, B…

Lecture de l'analyse



CESAR

Centre Scientifique Agricole Régional

Laboratoire agréé par le Ministère de l'Agriculture
agrément type 1, 2 5

BULLETIN d'ANALYSE de TERRE

Intermédiaire :

Vos références :

Parcelle :
Commune :
Sol :
Utilisation :
Coordonnées GPS degrés : **N** **E**
Tx apparent de cailloux :

Nos références :

N° échantillon : *Reçu le :* **02/08/2019** *Date envoi bulletin :* **29/08/2019** *1er envoi :* **23/08/2019**

CONDUCTIVITÉ NFX 31-113

Conductivité : *Résistivité :* **Ω.cm**

HUMIDITÉS

À 105°C : NFX 31-102 *Équivalente :*

GRANULOMÉTRIE NFX 31-107

Refus : Terre fine	*g / Kg*	*% de terre fine*
Sables grossiers	58	*Sables :*
Sables fins	102	16.0%
Limons grossiers	400	*Limons :*
Limons fins	238	63.8%
Argiles	202	20.2%

Type de sol : **argilo-limoneux**
Texture : **équilibrée**
Pierrosité :
Structure : **instable**
Risque d'asphyxie : **moyen à élevé**
Aptitude fissuration : **faible à moyen**
Indice de battance : **1.80**

Battance et prise en masse fréquente en conditions climatiques normales, érosion fréquente en pente moyenne.

STATUT ACIDO-BASIQUE

pH eau : NFX 31-117	**6.17**	**sol faiblement acid**
pH KCl : NFX 31-117	**5.22**	*acidité potentielle :*
Calcaire total : NFX 31-105	**0**	*g/kg*
Calcaire actif : NFX 31-106		*g/kg*
Indice de pouvoir chlorosant :		

STATUT ORGANIQUE

Carbone organique : ISO 10694	**9.5**	*g/kg*
Matière organique :	**16.3**	*g/kg*
Azote total : ISO 13878	**1.1**	*g/kg*
Rapport C/N :	**8**	

Page 1/2 Numéro échantillon : TER-19/000096 Date de réception échantillon : 02/08/2019 Date envoi bulletin : 29/08/2019

MEMBRE GEMAS

SAS CESAR
Laboratoire de Ceyzériat :
Site Internet - Email :

R.C.S. Bourg-en-Bresse 969 600 253
259 route des Soudanières - CS 10002 - 01250 CEYZERIAT
Tél. : 04 74 25 09 90 - Fax. : 04 74 25 09 95
www.labo-cesar.com - cesar@labo-cesar.com

Granulométrie et comportement physique

CONDUCTIVITÉ NFX 31-113

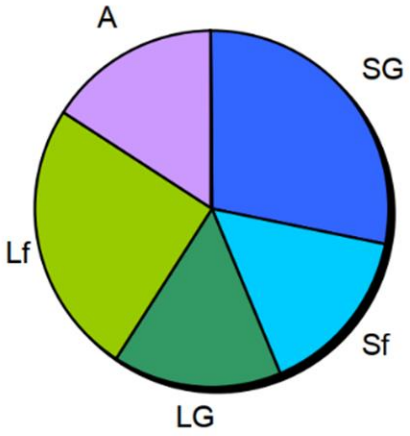
Conductivité : *Résistivité :* **Ω.cm**

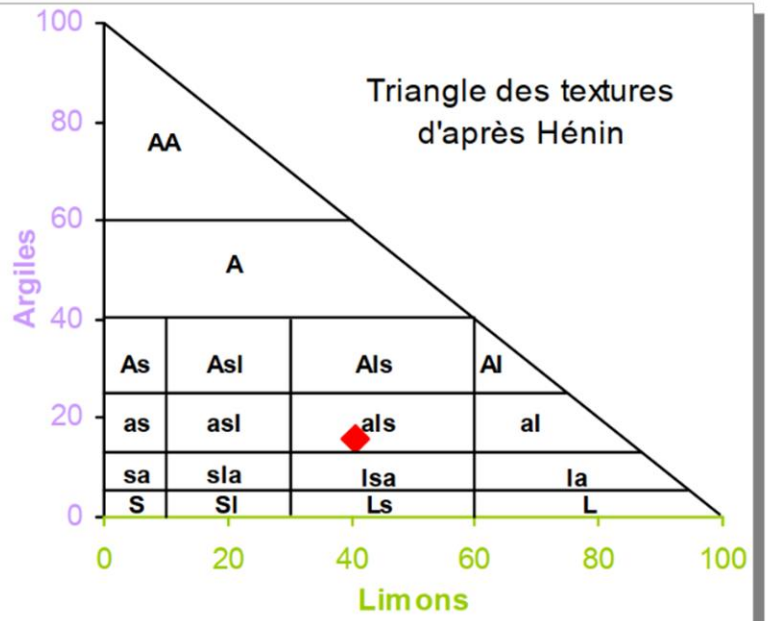
HUMIDITÉS

À 105°C : NFX 31-102 *Équivalente :*

GRANULOMÉTRIE NFX 31-107

	Refus : Terre fine	*g / Kg*	*% de terre fine*
2mm >	*Sables grossiers*	**282**	*Sables :* **43.7%**
	Sables fins	**155**	
50µm >	*Limons grossiers*	**153**	*Limons :* **40.4%**
	Limons fins	**251**	
2µm >	*Argiles*	**159**	**15.9%**





Type de sol : **argilo-limono-sableux**

Texture : **équilibrée**

Pierrosité :

Structure : **très instable**

Risque d'asphyxie : **moyen à élevé**

Aptitude fissuration : **faible à moyen**

Indice de battance : **1.40**

Battance généralisée, imperméabilité totale en fin d'hiver, érosion sur faible pente.

STATUT ACIDO-BASIQUE

Régénération de la structure d'une motte

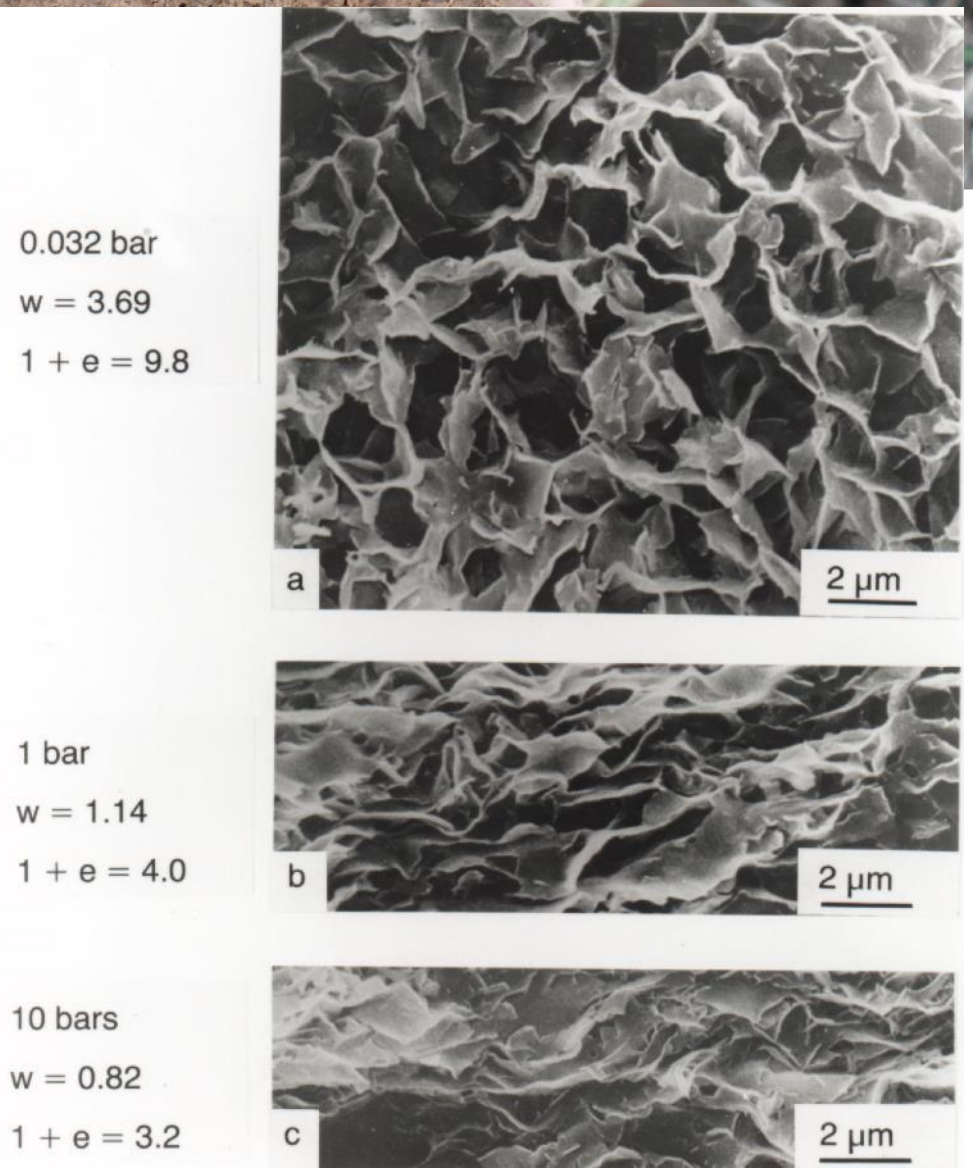


Photo Y. Gautronneau

Granulométrie et comportement physique

CONDUCTIVITE NFX 31-113

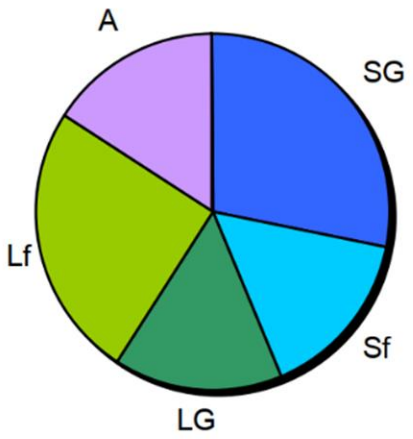
Conductivité : *Résistivité :* **Ω.cm**

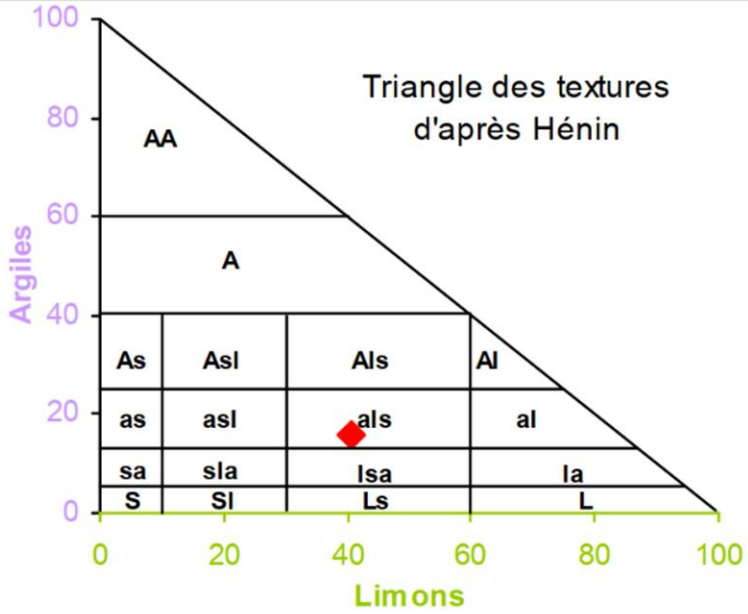
HUMIDITES

À 105°C : NFX 31-102 *Équivalente :*

GRANULOMÉTRIE NFX 31-107

Refus : Terre fine	*g / Kg*	*%*
	de terre fine	
Sables grossiers	**282**	*Sables :*
Sables fins	**155**	**43.7%**
Limons grossiers	**153**	*Limons :*
Limons fins	**251**	**40.4%**
Argiles	**159**	**15.9%**





Type de sol : **argilo-limono-sableux**

Texture : **équilibrée**

Pierrosité :

Structure : **très instable**

Risque d'asphyxie : **moyen à élevé**

Aptitude fissuration : **faible à moyen**

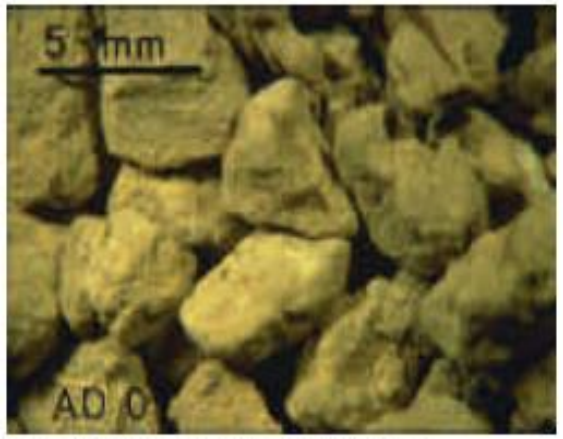
Indice de battance : **1.40**

Battance généralisée, imperméabilité totale en fin d'hiver, érosion sur faible pente.

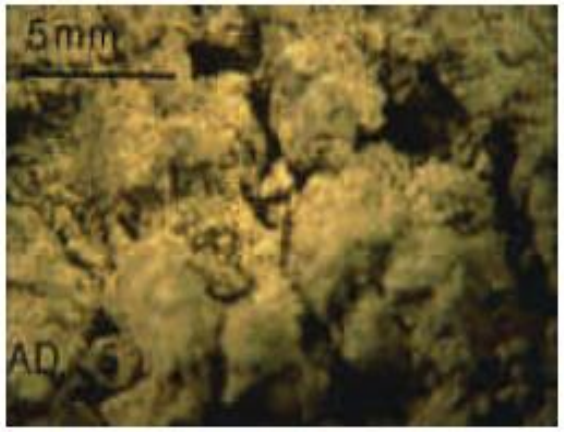
STATUT ACIDO-BASIQUE

Croûte de battance et érosion diffuse

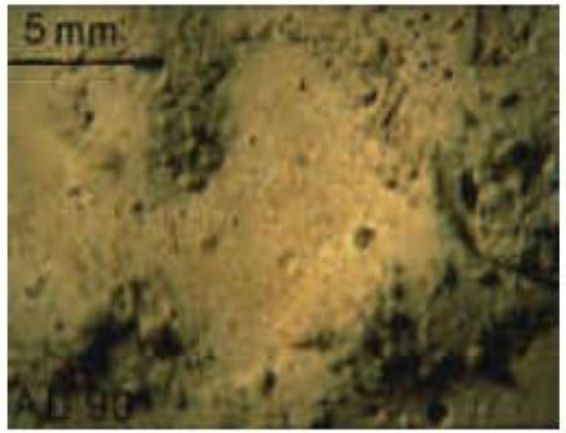
Source : Y. Le Bissonais, 2002



2a - stade 1 : agrégats visibles



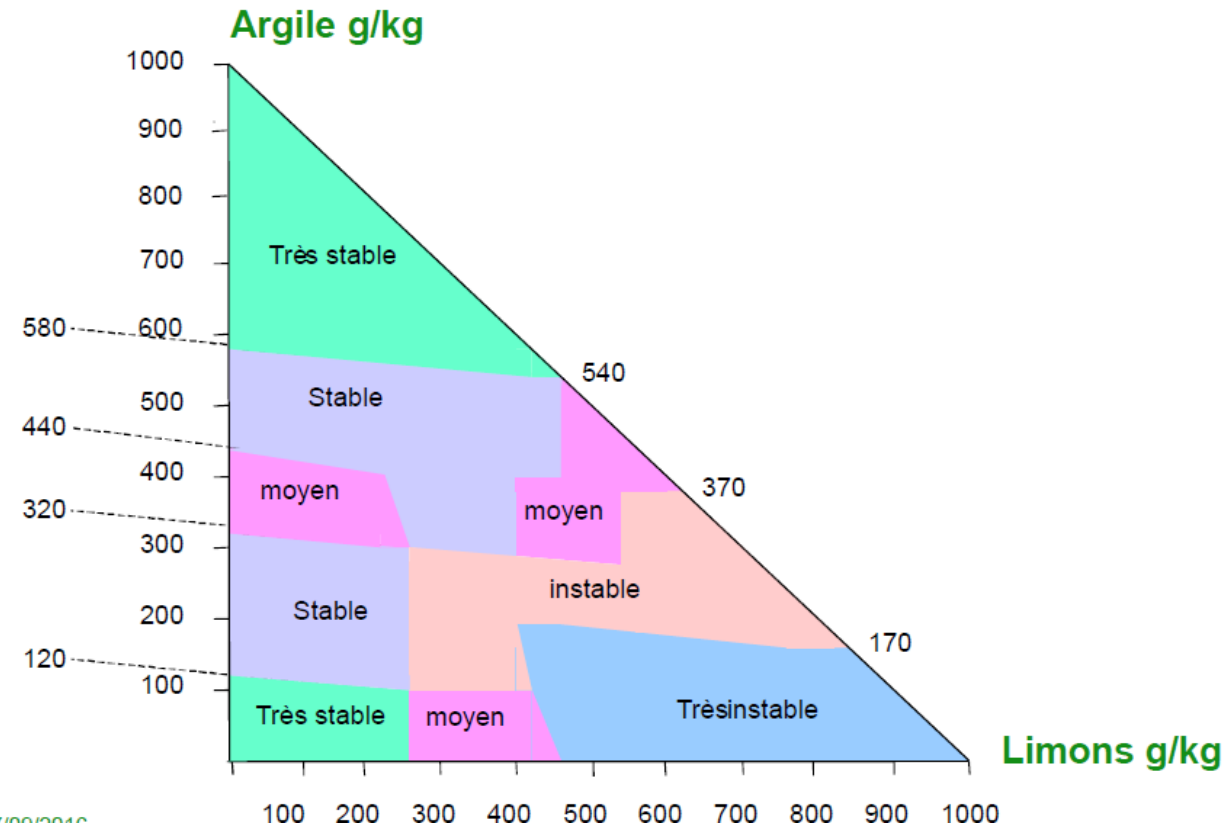
2b - stade 2 : mottes dégradées



2c - stade 3 : croûtes de battance formées

Granulométrie et comportement physique

Indice de stabilité structurale



Granulométrie et comportement physique

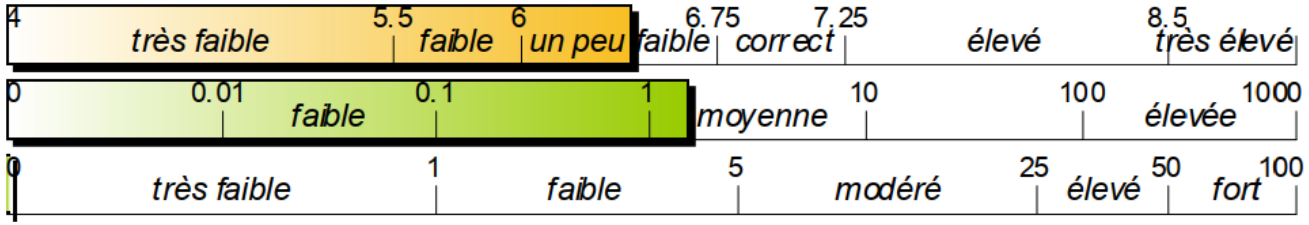
Ils améliorent la stabilité

- **Argiles** ➔ CAH
- **Matière organique** ➔ CAH
- **Activité biologique du sol** ➔ Réseaux biologiques (racines, mycélium, galeries)
- **Calcium** ➔ Floculation

Statut acido-basique et état chimique

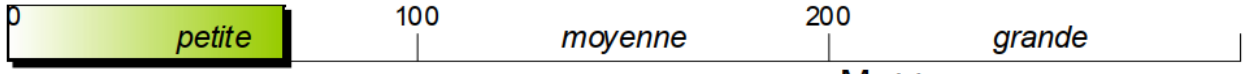
STATUT ACIDO-BASIQUE

pH eau : NFX 31-117	**6.42**	**sol faiblement acid**
pH KCl : NFX 31-117	**5.76**	*acidité potentielle :*
Calcaire total : NFX 31-105	**0**	*g/kg*
Calcaire actif : NFX 31-106		*g/kg*
Indice de pouvoir chlorosant :		

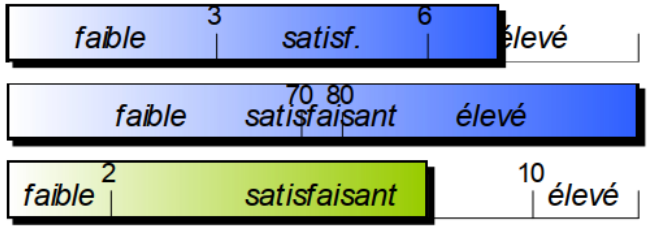


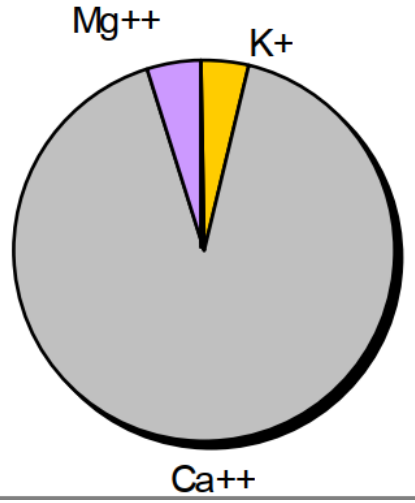
CEC et ÉQUILIBRES CHIMIQUES

Capacité d'Échange Cationique (CEC) NFX 31-130 **68 méq/Kg**

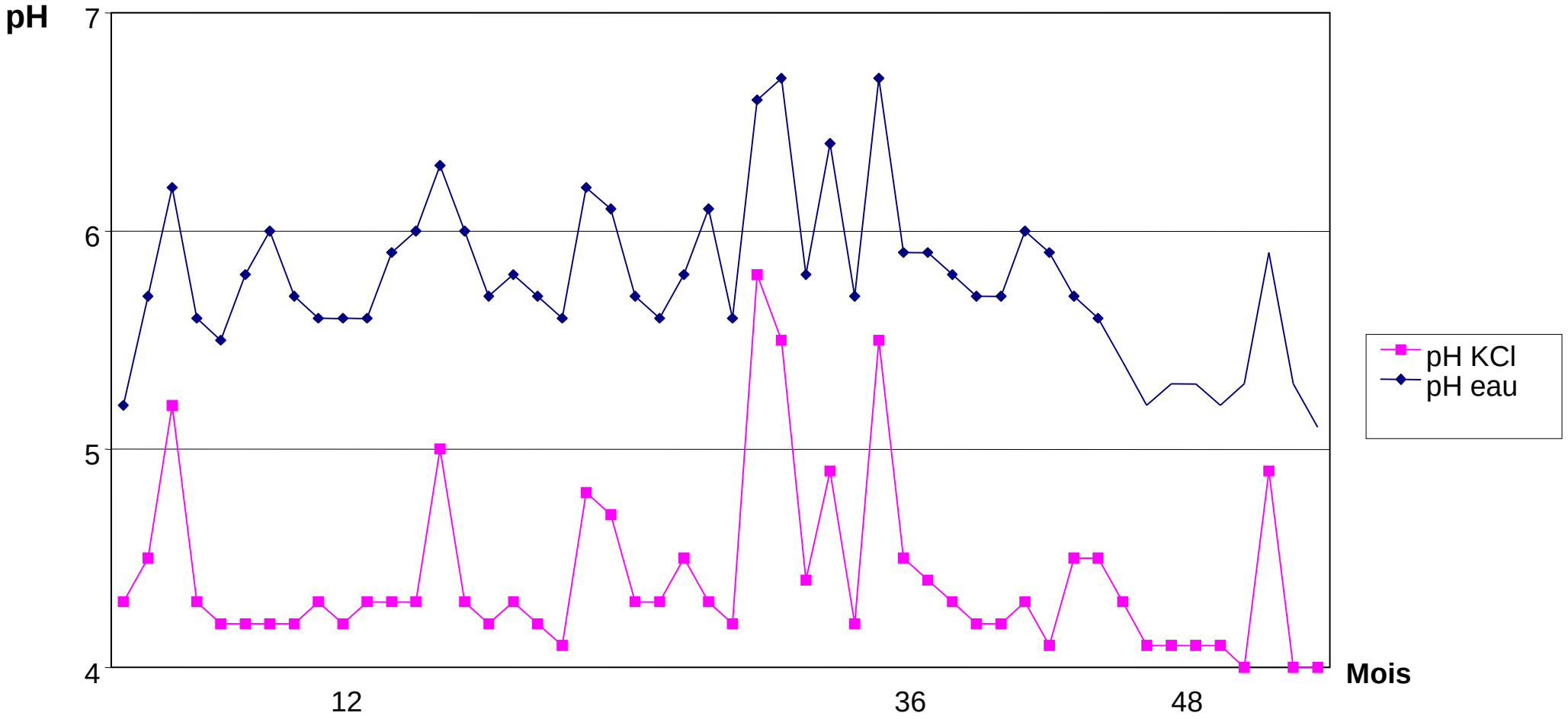


		%	niveaux souhaitables	
Potassium/CEC	■	**7**	**3**	**6**
Calcium/CEC	■	**154**	**70**	**80**
Magnésium/CEC	■	**8**	**2**	**10**
Sodium/CEC	■		**-**	**2**
Taux de saturation : S/T		**100**	saturé	





Acidité du sol



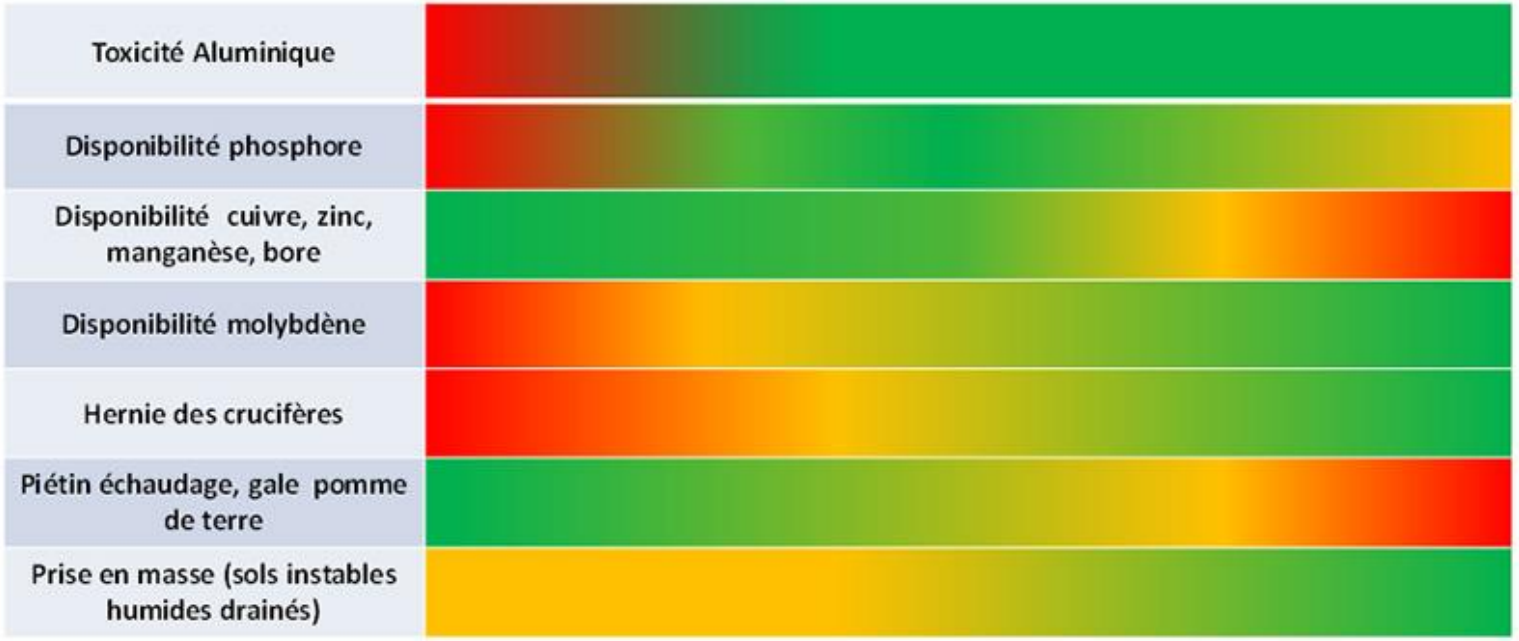
Variation des pH eau et pH KCl dans le temps sur sol non chaulé

Acidité du sol

- pH : concentration de proton (H^+) d'une suspension de sol dans l'eau

- Origine de l'acidité :
  - Production de H^+
    - Oxydation des MO : CHONS + $O_2 \leftrightarrow CO_2$, acides organiques, HNO_3, H_2SO_4
    - Nitrification : $NH_4 + O_2 \leftrightarrow NO_3^- + H^+ + H_2O$
    - Oxydation des sulfures : $FeS_2 + 7/2\ H_2O + 5/4\ O_2 \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 2\ SO_4^{2-} + H^+$
    - Racine : Racine – H^+ + $Ca^{2+} \leftrightarrow$ Racine-Ca^{2+} + 2 H^+
  - Consommation de H^+
    - Dénitrification, réduction du soufre, saturation des charges négatives par H^+, protonation des MO, **altération des carbonates et aluminosilicates**
    - **Chaulage :** $CaCO_3 + H^+ \leftrightarrow CO_2 + H_2O$

Biodisponibilité des minéraux et pH



Conséquence pour la production végétale:

Favorable

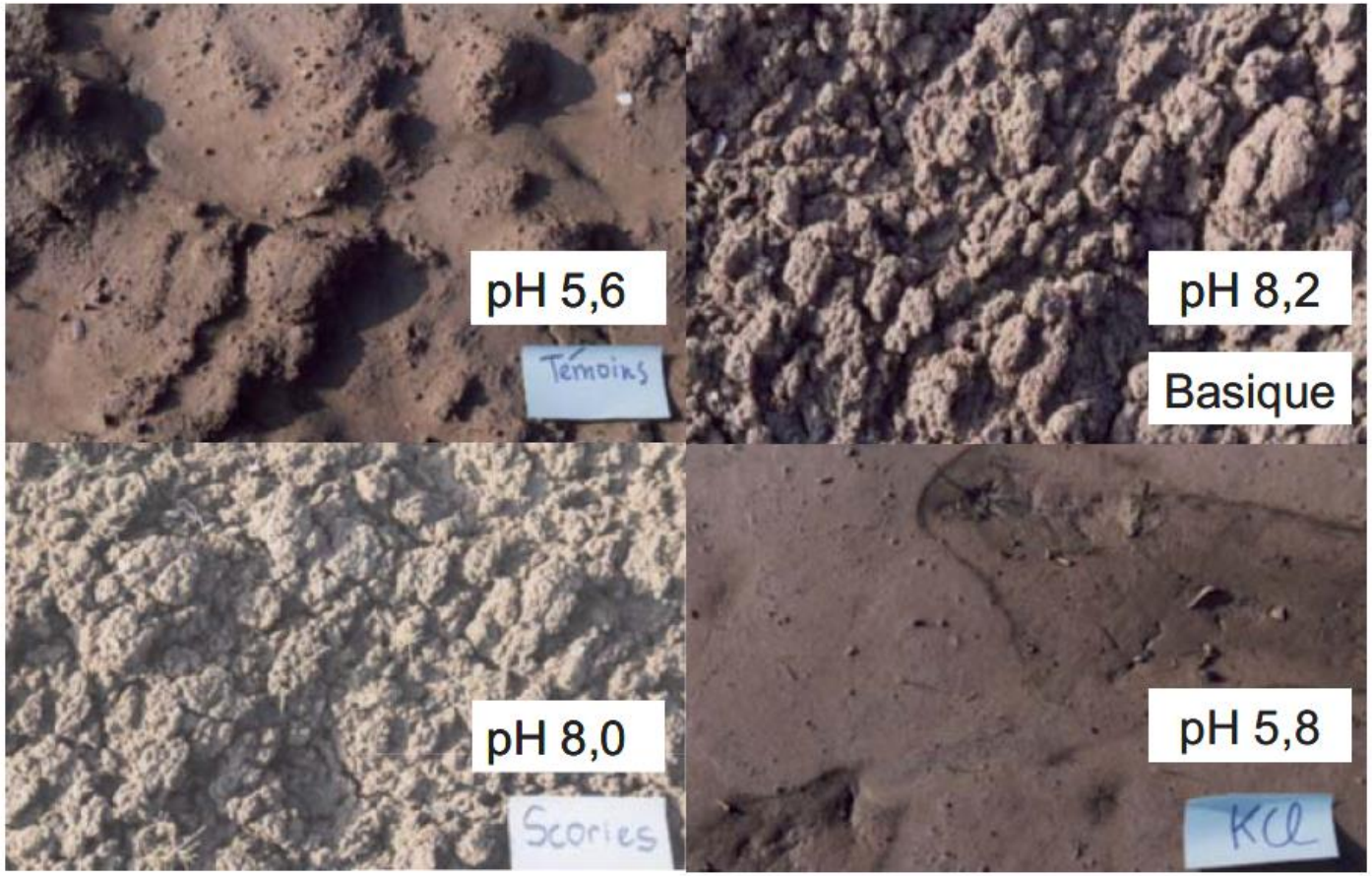
Peu à très défavorable

Alain BOUTHIER, Eric MASSON, Baptiste SOENEN (ARVALIS - Institut du végétal)

De l’incidence chimique à l’incidence physique

Ne laissez pas votre sol s’acidifier …

Essai 42 parcelles - INRA Versailles



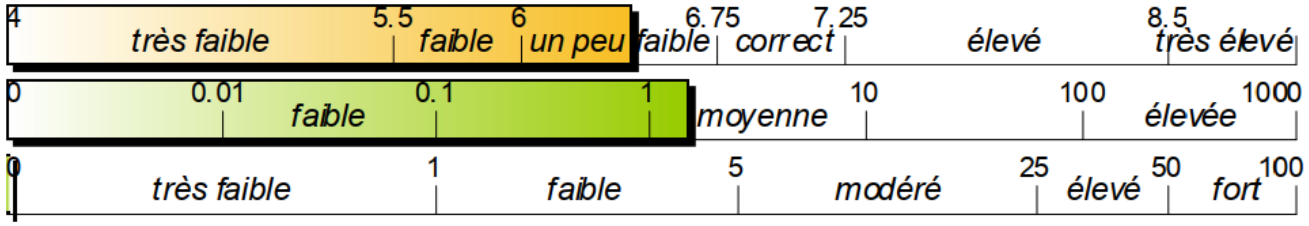
Surface du sol après l ’hiver

A. Pernes, 2003

Statut acido-basique et état chimique

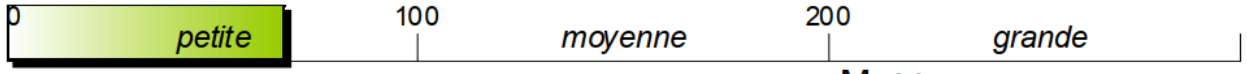
STATUT ACIDO-BASIQUE

pH eau : NFX 31-117	**6.42**	**sol faiblement acid**
pH KCl : NFX 31-117	**5.76**	*acidité potentielle :*
Calcaire total : NFX 31-105	**0**	*g/kg*
Calcaire actif : NFX 31-106		*g/kg*
Indice de pouvoir chlorosant :		

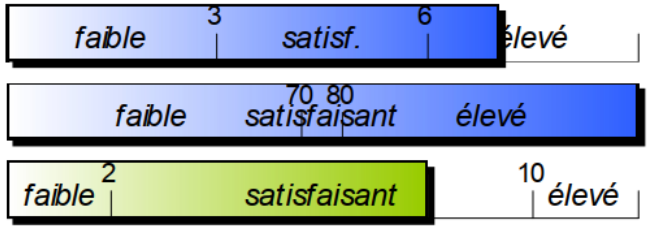


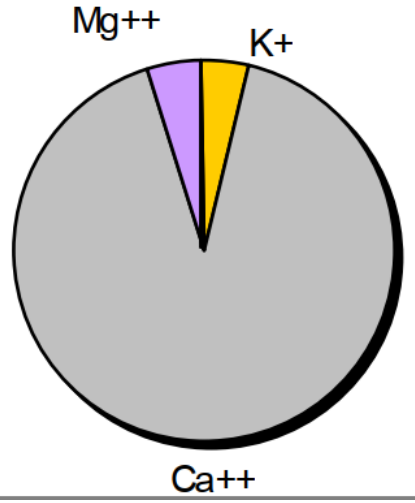
CEC et ÉQUILIBRES CHIMIQUES

Capacité d'Échange Cationique (CEC) NFX 31-130 **68 méq/Kg**

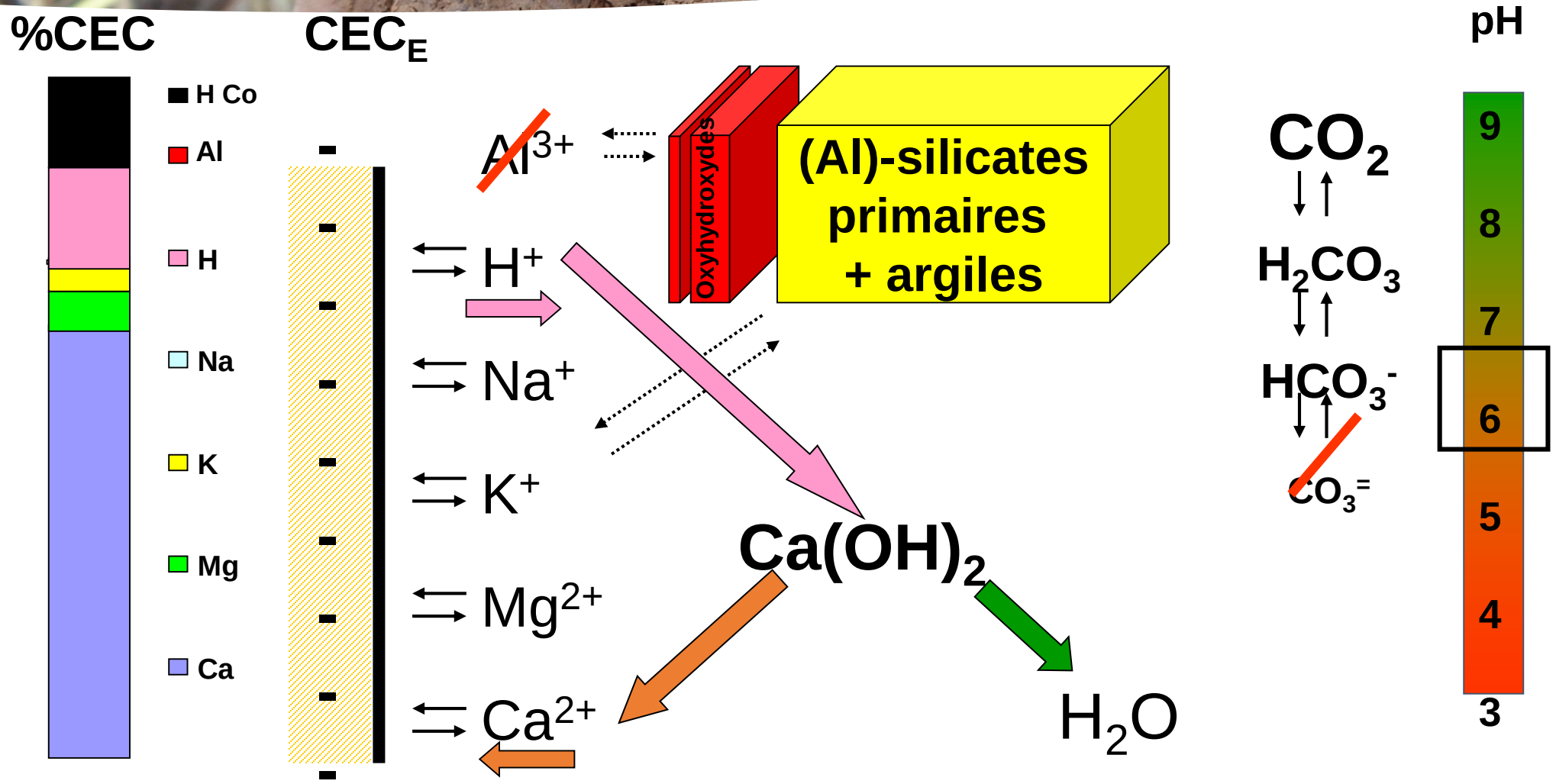


		%	niveaux souhaitables	
Potassium/CEC	■	**7**	**3**	**6**
Calcium/CEC	■	**154**	**70**	**80**
Magnésium/CEC	■	**8**	**2**	**10**
Sodium/CEC	■		**-**	**2**
Taux de saturation : S/T		**100**	saturé	





Chaulage - Recalcification



B. Fabre 2004, d'après Dufey 2001

Quelques données sur le calcium

- Très lessivable (souvent avec NO_3)
- Pas que rôle alimentaire :
  - Effet sur composante physique (stabilité agrégat etc.)
  - Effet sur la composante chimique (pH, désalinisation…)
  - Effet sur la composante biologique
- Ca total : teneur total en Ca (mesure avec acide) – si >5%, sol n'ayant probablement pas besoin de chaulage
- Ca actif : fraction facilement dissoute (CEC, solution du sol, mesure avec oxalate d'ammonium) – si > 6% risque de chlorose ferrique (important en arboriculture notamment)

Effet direct d'un amendement basique calcique

pHeau

5 6,5 7 7,5

Valorisation du capital sol

Gain de production et de qualité

Entretien du capital sol

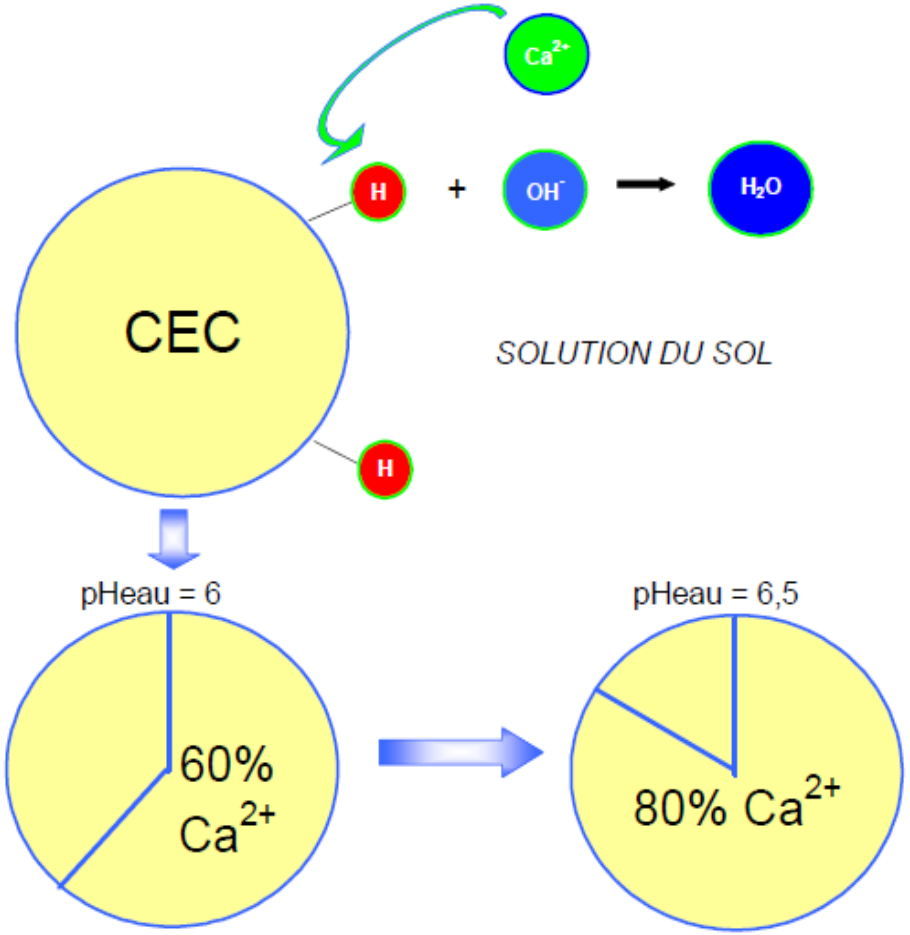
Maintien du potentiel de production

EFFET "DIRECT" D'UN APPORT D'AMENDEMENT BASIQUE CALCIQUE

Dissociation de l'amendement basique :

$CaO + H_2O \Rightarrow Ca(OH)_2 \Rightarrow Ca^{2+} + 2\ OH^-$

$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \Rightarrow Ca(CO_3H)_2 \Rightarrow Ca^{2+} + 2\ CO_3H^-$



Quelques indications de chaulage

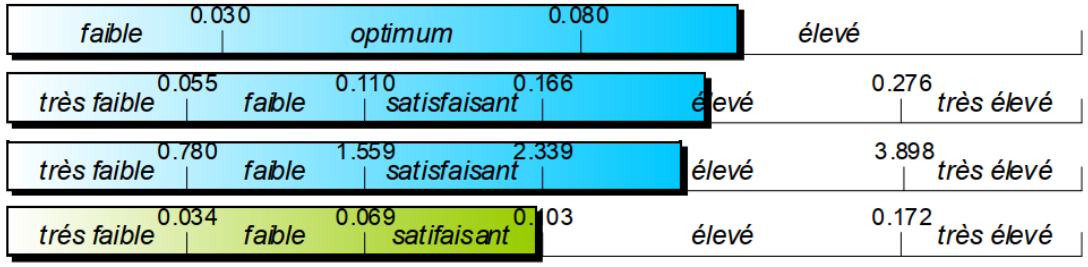
- Pour prendre une décision :
  - Si on est juste de la valeur seuil de l'analyse, dans le cas de sol très légèrement acide à acide : chaulage d'entretien (produits crus)
  - Si on est très en dessous chaulage de redressement (produits cuits)
- Pour le calcul :
  - *Il existe le guide du COMIFER*
  - *Une petite brochure bien faite :* *http://www.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/16494,0034-35_288.pdf?OpenElement*
  - La méthode se fait par un calcul des bases, ou valeur neutralisante du produit

P, K, Oligo, ETM

ÉLÉMENTS FERTILISANTS

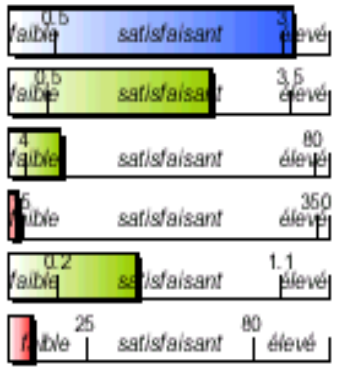
élément	g/Kg oxyde	méq/Kg élément	niveau souhaitable oxyde
Phosphore Olsen NFX 31-160	0.102	-	
Potassium NFX 31-108	0.215	4.6	0.138
Calcium NFX 31-108	2.940	104.9	1.949
Magnésium NFX 31-108	0.102	5.1	0.086
Phosphore Total P2O5			

Interprétation classique basée sur la CEC



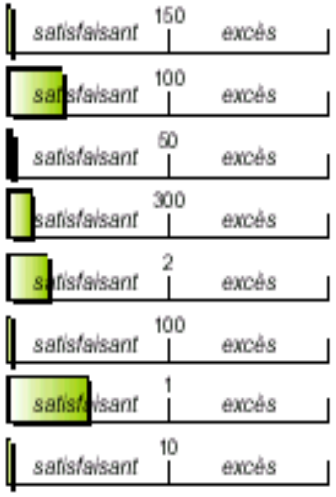
OLIGO-ÉLÉMENTS

élément	mg/Kg = ppm	niveaux souhaitables	
Cuivre EDTA NFX 31-120	3.1	0.5	3
Zinc EDTA NFX 31-120	2.5	0.5	3.5
Manganèse NFX 31-120 EDTA	13.4	4	80
Fer EDTA	10.5	15	350
Bore NFX 31-122	0.52	0.2	1.1
Soufre	7.3	25	80
Molybdène			

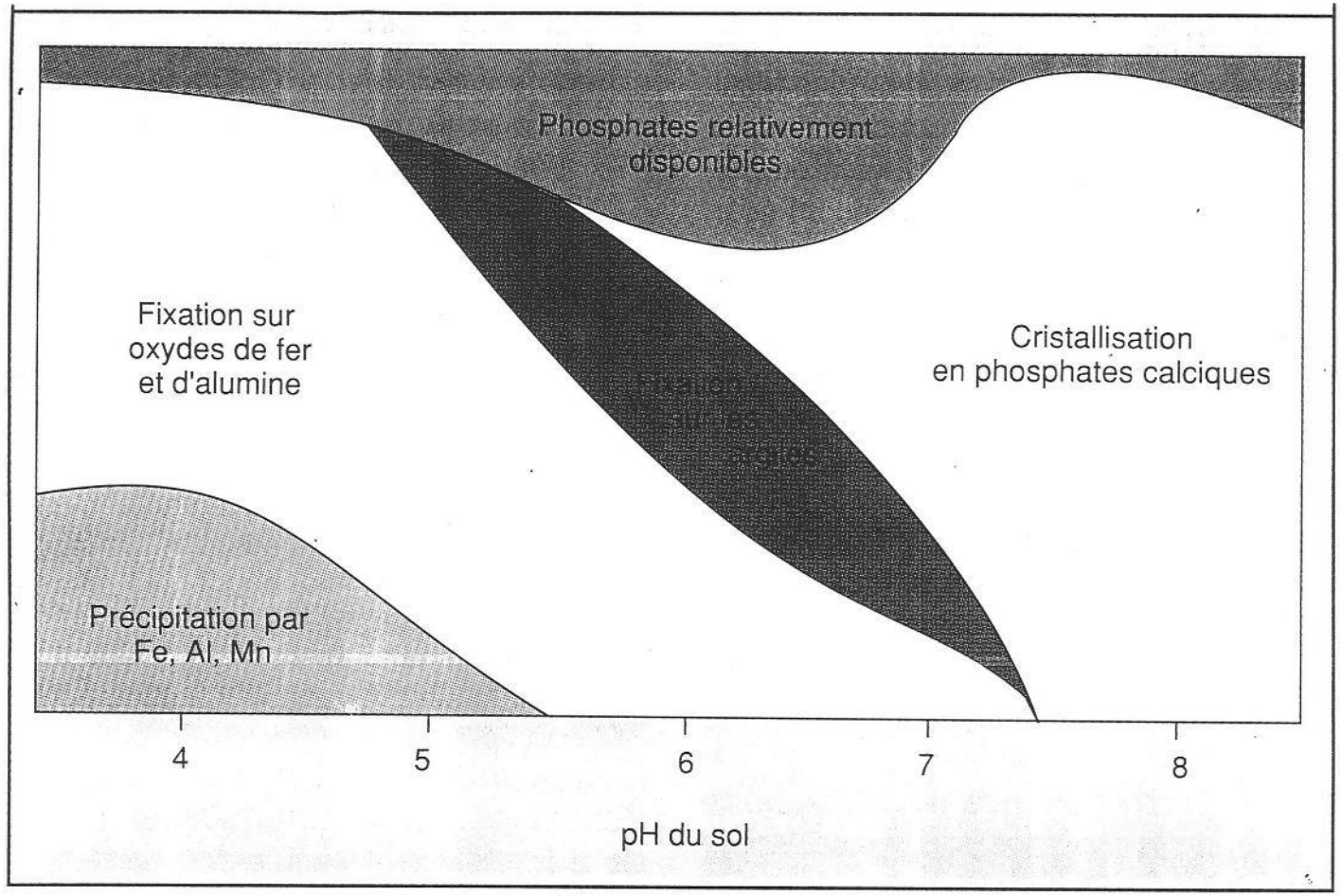


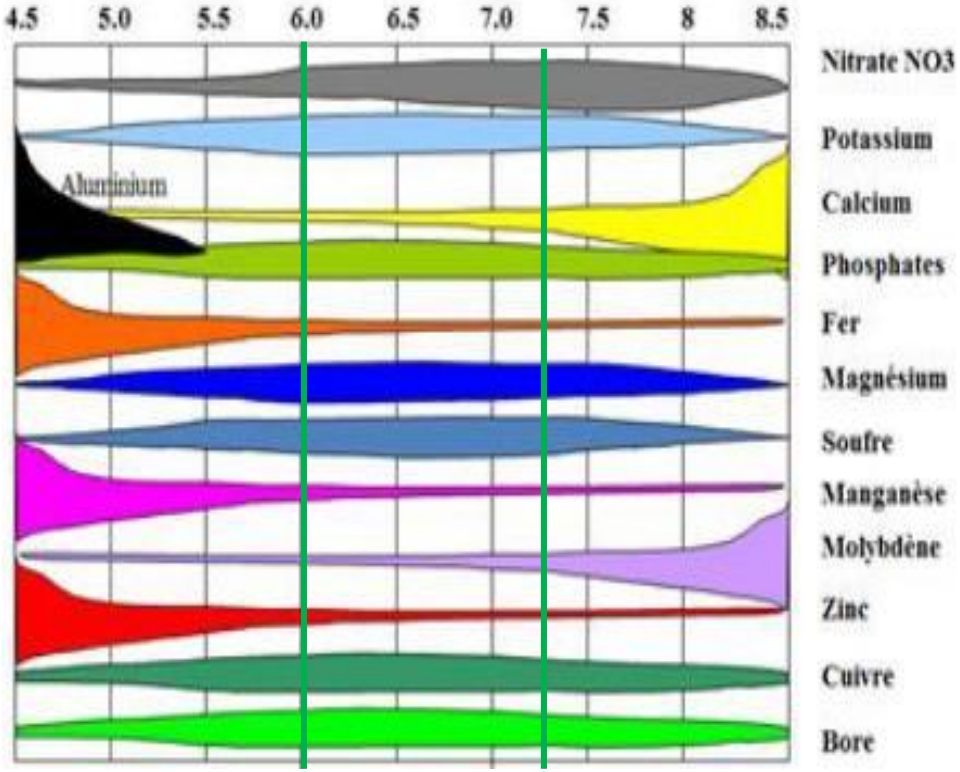
ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM)

élément	mg/Kg = ppm	limites
Chrome	2.1	150
Cuivre	34.2	100
Nickel	1.3	50
Zinc	43.5	300
Cadmium	0.5	2
Plomb	0	100
Mercure	0.5	1
Selenium	0	10



P, K, Oligo, ETM


Phosphates relativement disponibles
Fixation sur oxydes de fer et d'alumine
Cristallisation en phosphates calciques
Précipitation par Fe, Al, Mn
4
5
6
7
8
pH du sol

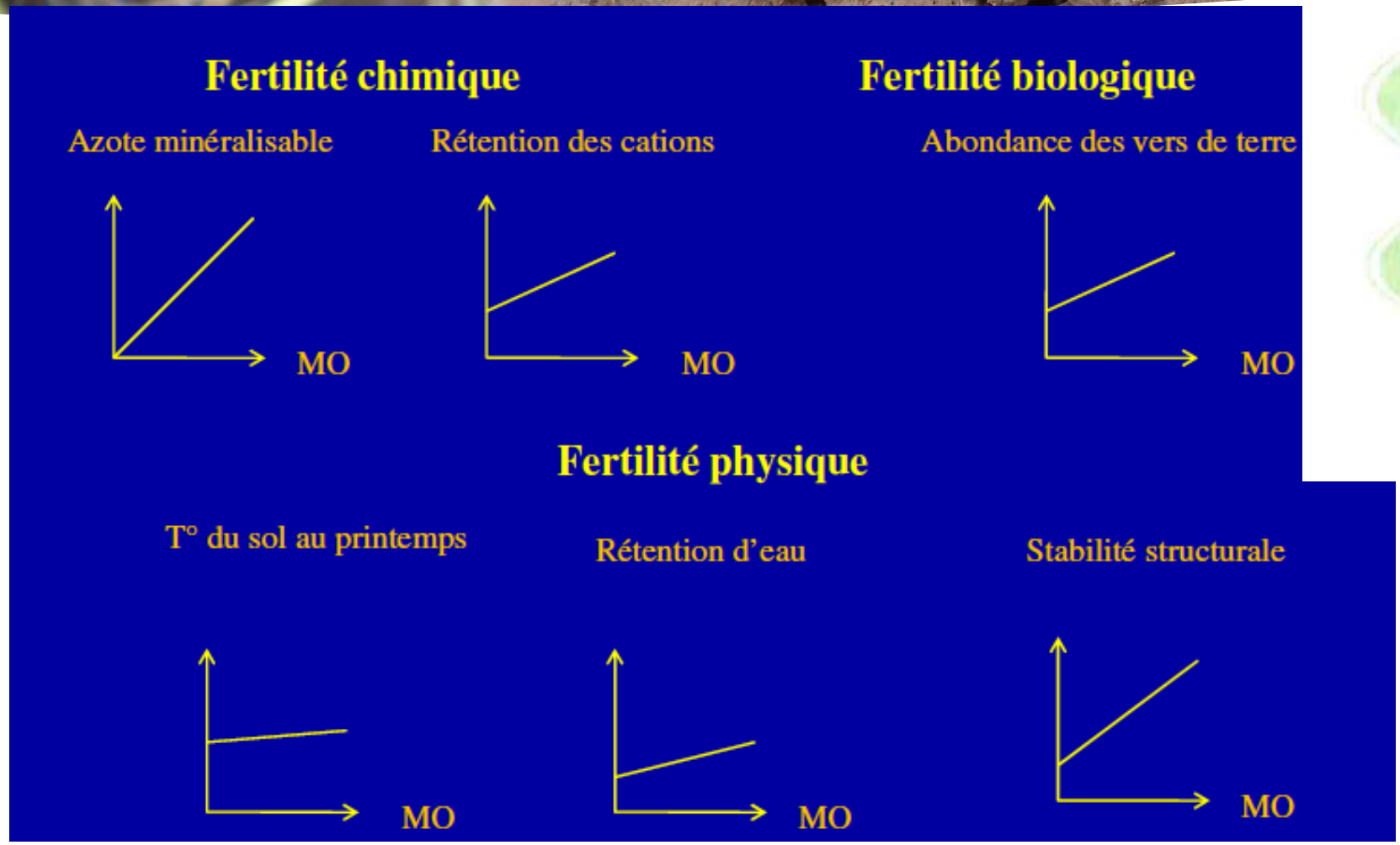

4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
7.5
8
8.5
Nitrate NO3
Potassium
Aluminium
Calcium
Phosphates
Fer
Magnésium
Soufre
Manganèse
Molybdène
Zinc
Cuivre
Bore

Statut organique et lien vers la biologie

STATUT ORGANIQUE

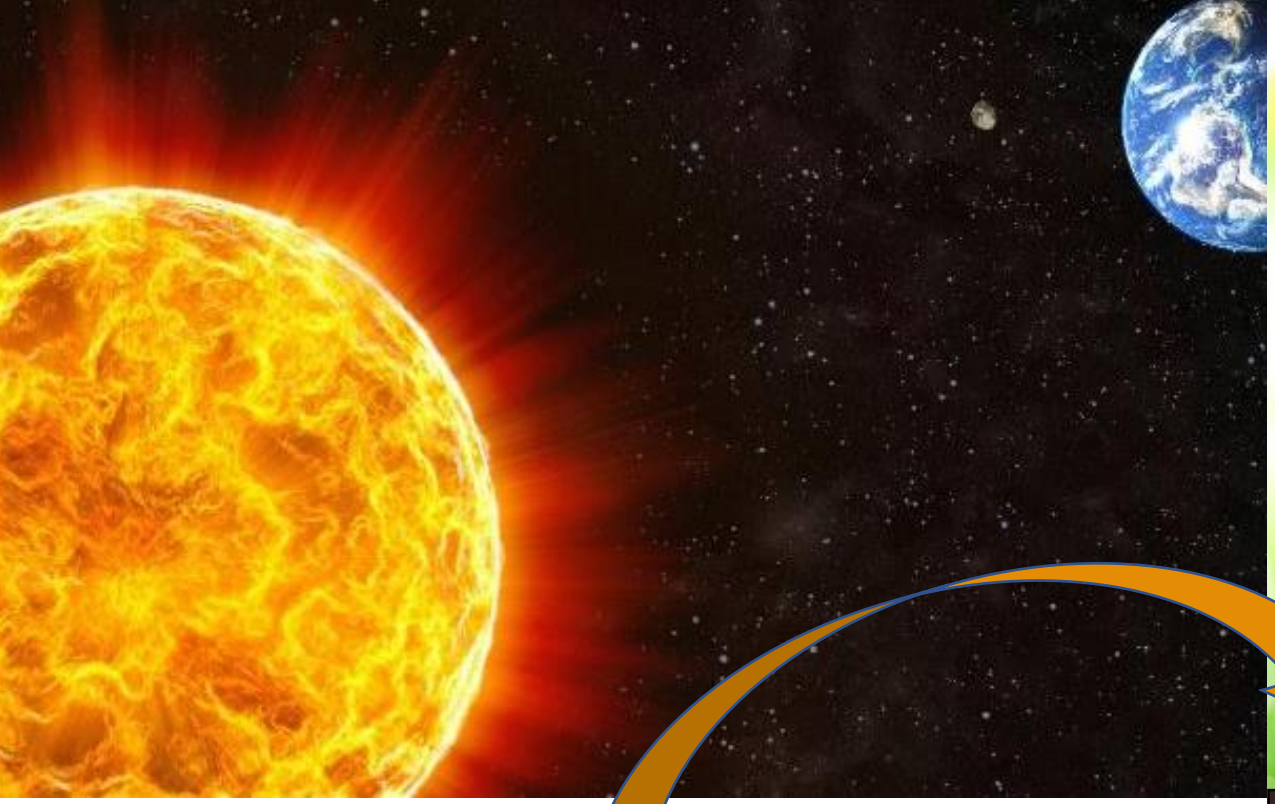
Carbone organique : ISO 10694	**11.2**	*g/kg*
Matière organique :	**19.2**	*g/kg*
Azote total : ISO 13878	**1.2**	*g/kg*
Rapport C/N :	**9**	

La matière organique = acteur clé de la résilience et de la restauration des sols



Comprendre son sol pour optimiser ses pratiques

Qu’est ce qui est à la base de la fertilité du sol ?



SOLEIL
= ENERGIE VIBRATOIRE

PHOTOSYNTHESE
= ENERGIE CHIMIQUE

La plante au centre des systèmes vivants et auto-fertiles

La plante capte de l’énergie

Fabrique de la biomasse

La plante recharge le sol en énergie via l’usine de biotransformation :

le vivant

RESSOURCES

➡ NOURRIR

Matières Organiques
C = ENERGIE

HABITAT

➡ ABRITER

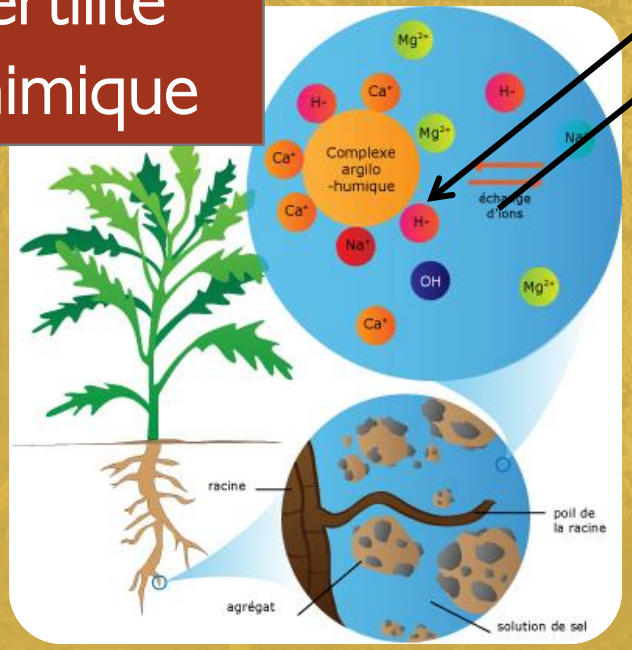
Porosité
Humidité
Température

L'approche globale des sols ➡ outil pour une action fonctionnelle

Fertilité Biologique

Interventions locales
=
Incidences globales

Fertilité Chimique



Fertilité Physique

ABRITER = Gérer l'environnement

Fertilité Chimique

- Stockage de nutriments
- Statut acido-basique
- Potentiel RedOx
- Régime hydrique

Fertilité Biologique

CARBONE VIVANT et ACTIF

- Diversité
- Quantité de biomasse

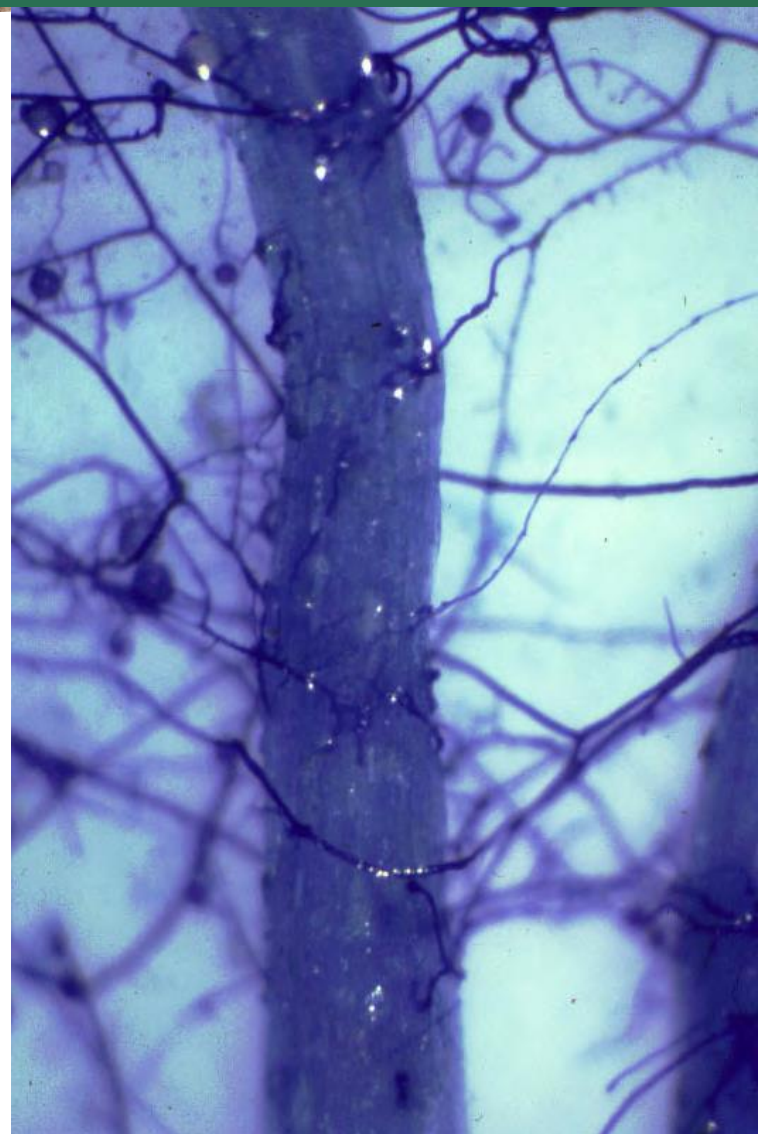
= FONCTIONS

Fertilité Physique

- Porosité
- Stabilité structurale

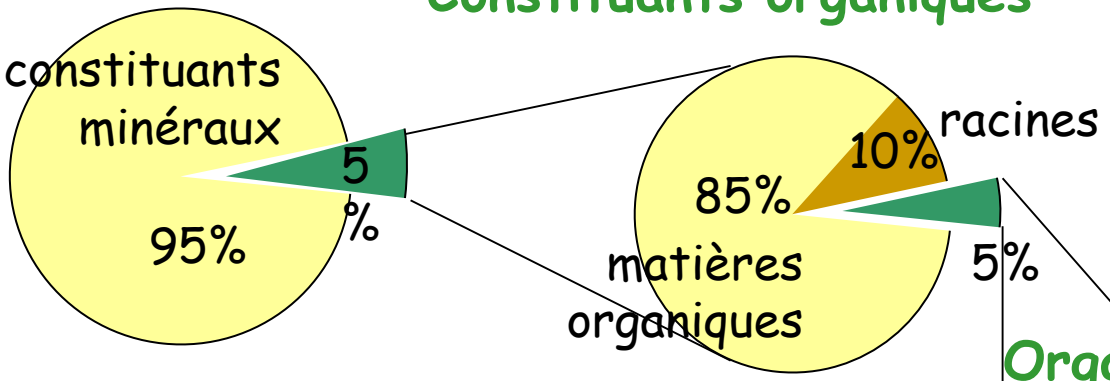
L’activité biologique au centre des processus de nutrition

Gianinazzi 1982, from D. Wipf, 2011



Quels types d'organismes dans le sol ?

Phase solide



Phase solide

Phase liquide
(solution du sol)

Phase gazeuse
(atmosphère du sol)

JF VIAN, ISARA LYON

Combien d'individus ?

1 g sol

1 hectare

❖ Bactéries	100 millions à 1 milliard	2500 kg C
❖ Champignons	1 à 3 mètres de mycélium	3500 kg C
❖ Protozoaires	Quelques millions	250 kg C
❖ Nématodes	1000 à 2000	1-5000 Kg C
❖ Arthropodes	Jusqu'à 100	
❖ Oligochètes	5	

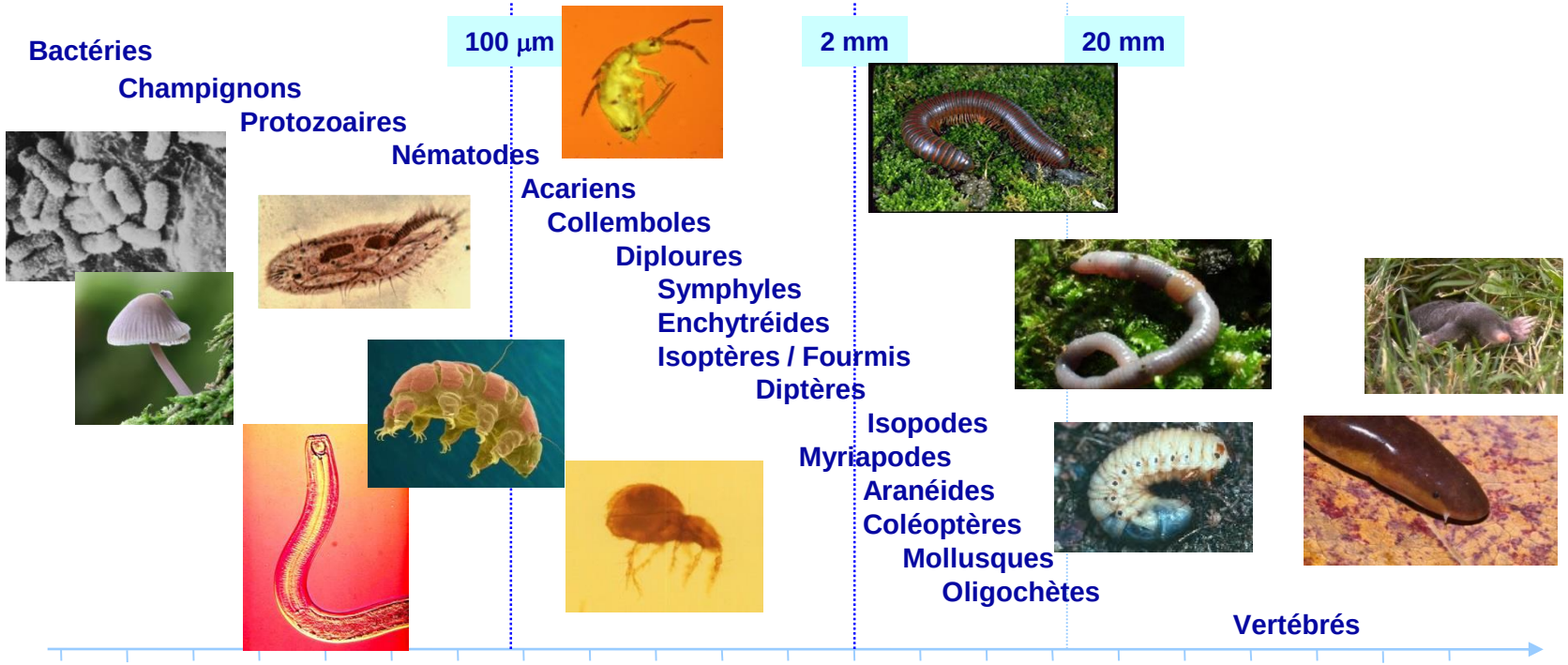
Total > 6-10 UGB

d'après Blanchart et al.

Classification de la chaîne trophique par taille !

Ingénieurs chimiques	Régulateurs biotiques	Ingénieurs de la litière	Ingénieurs du sol
		Prédateurs	

Microorganismes | **Microfaune** | **Mésofaune** | **Macrofaune** | **Mégafaune**



Modifié d'après Swift et al. (1979)

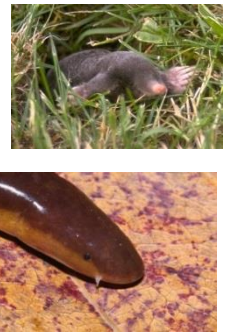
Classification de la chaîne trophique par taille !

Ingénieurs chimiques	Régulateurs biotiques	Ingénieurs de la litière	Ingénieurs du sol
		Prédateurs	

Microorganismes | **Microfaune** | **Mésofaune** | **Macrofaune** | **Mégafaune**

100 µm — 2 mm — 20 mm

Bactéries
Champignons
Protozoaires
Nématodes
Acariens
Collemboles
Diploures
Symphyles
Enchytréides
Isoptères / Fourmis
Diptères
Isopodes
Myriapodes
Aranéides
Coléoptères
Mollusques
Oligochètes
Vertébrés



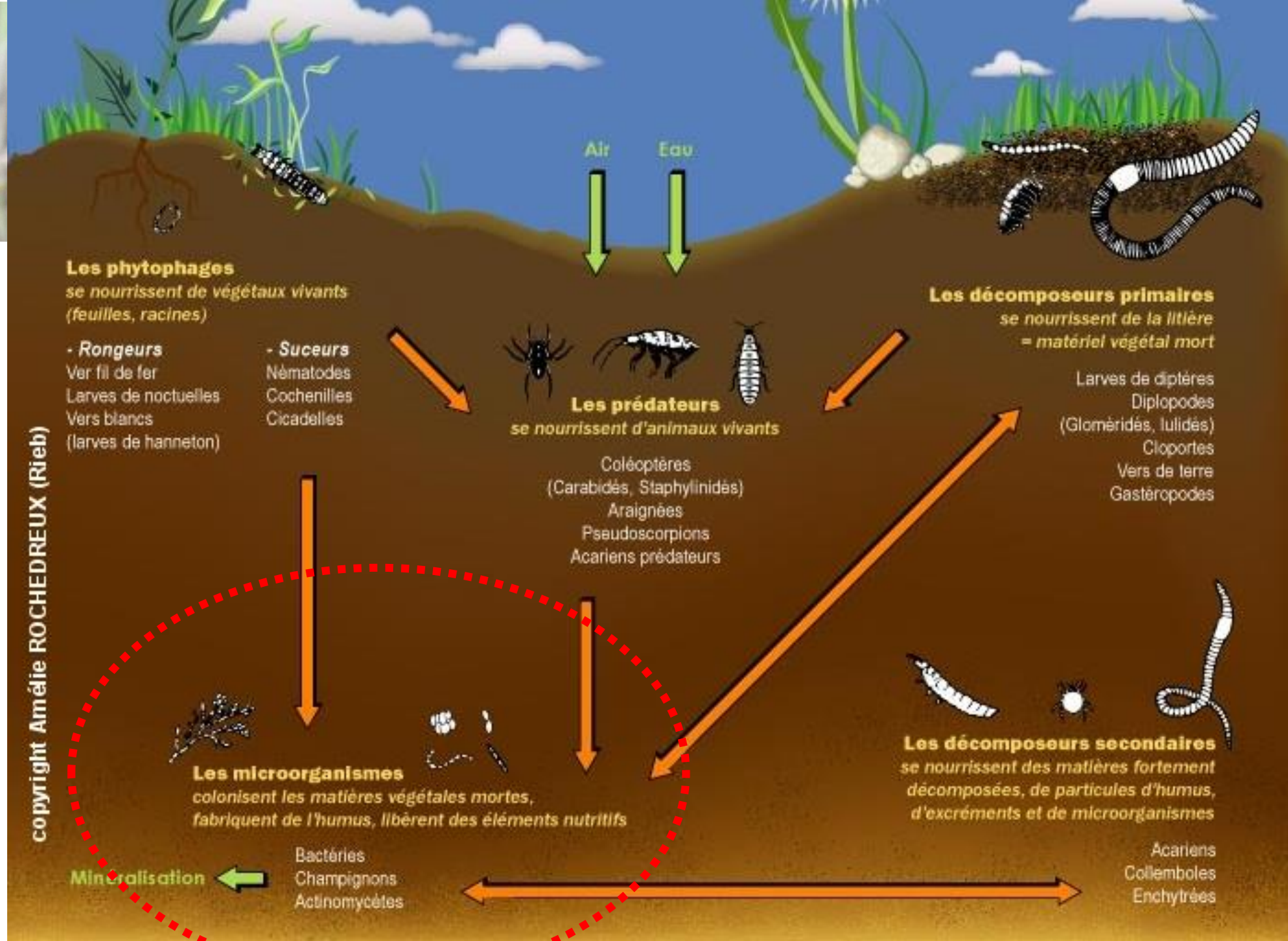
Cycle de N, P, S….
Cycle du C : décomposition, humification
Structure du sol
Croissance des plantes
Détoxification, bioremédiation
Symbiotiques ou libres

1 2 4 8 16 32 64 128 256 512 1024 — µm
1 2 4 8 16 32 64 128 256 512 1024 — mm

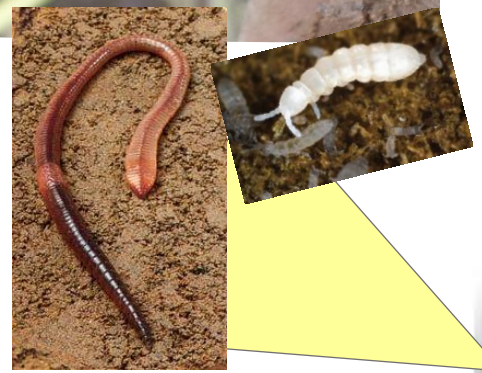
Modifié d'après Swift et al. (1979)

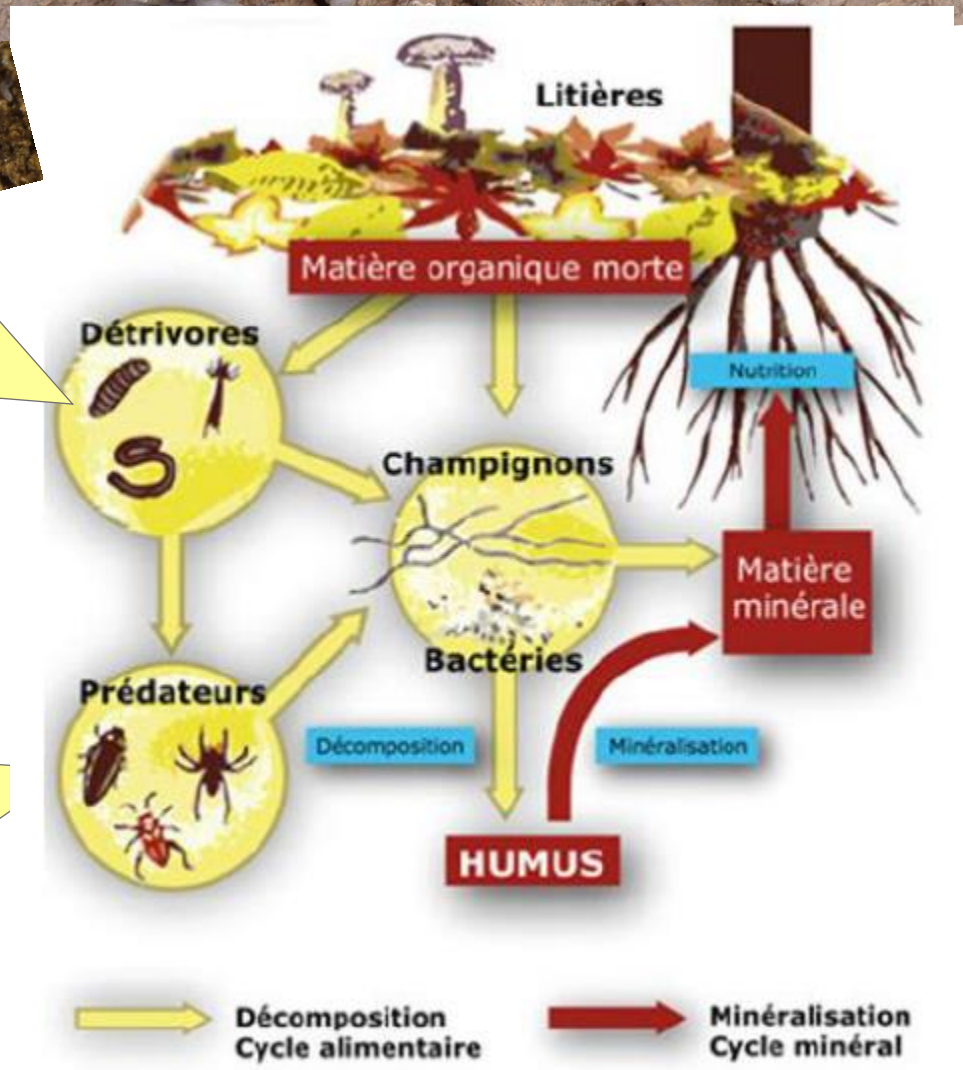
Le sol est un écosystème

Les microorganismes y transitent et y agissent de façon extrêmement importante



Processus de dégradation des MO

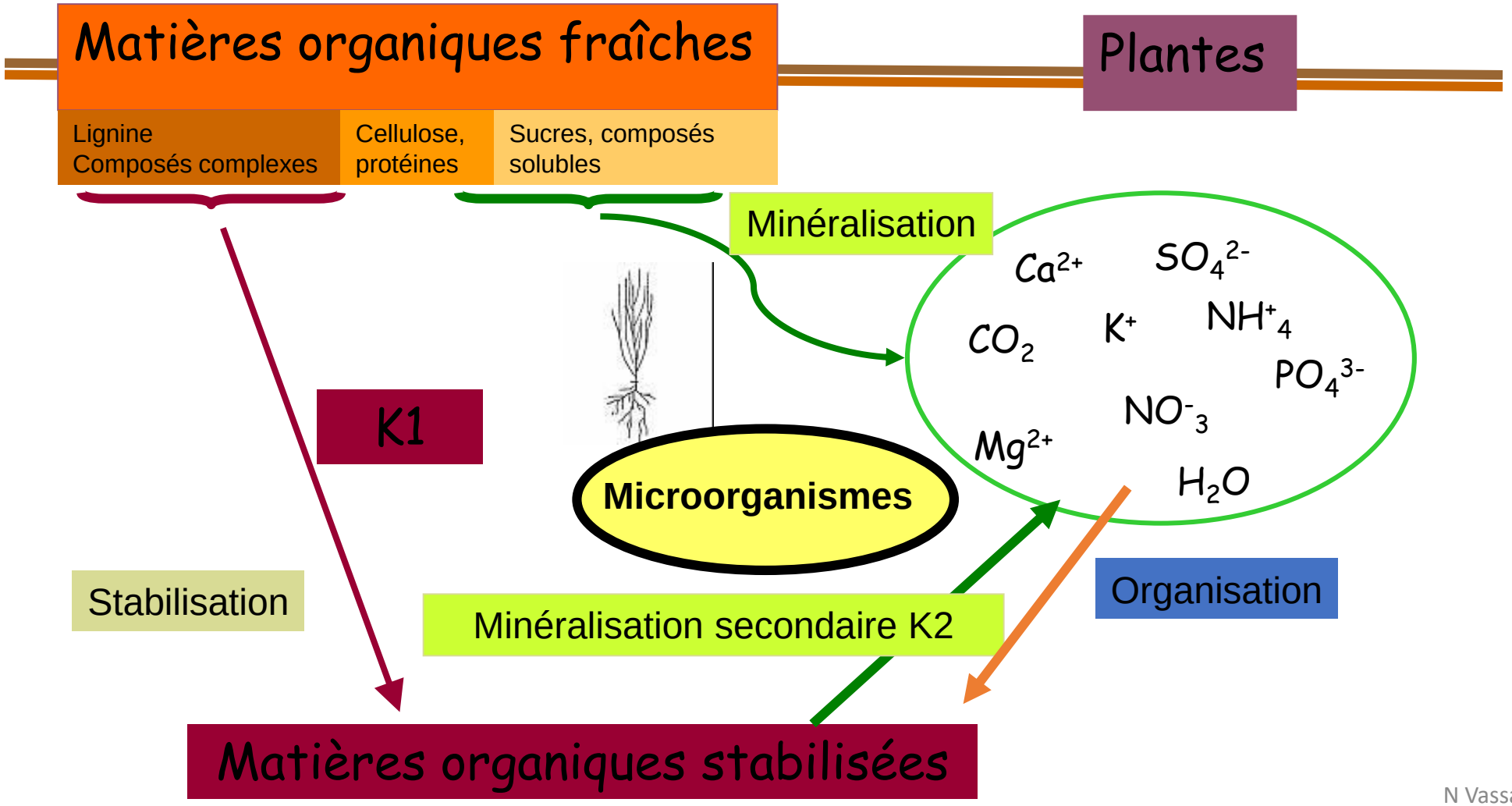




Les microorganismes sont **le moteur** du fonctionnement des sols

Les matières organiques = le fuel

Minéralisation d'une matière organique apportée au sol : une affaire de qualité de matière organique et de forme du carbone

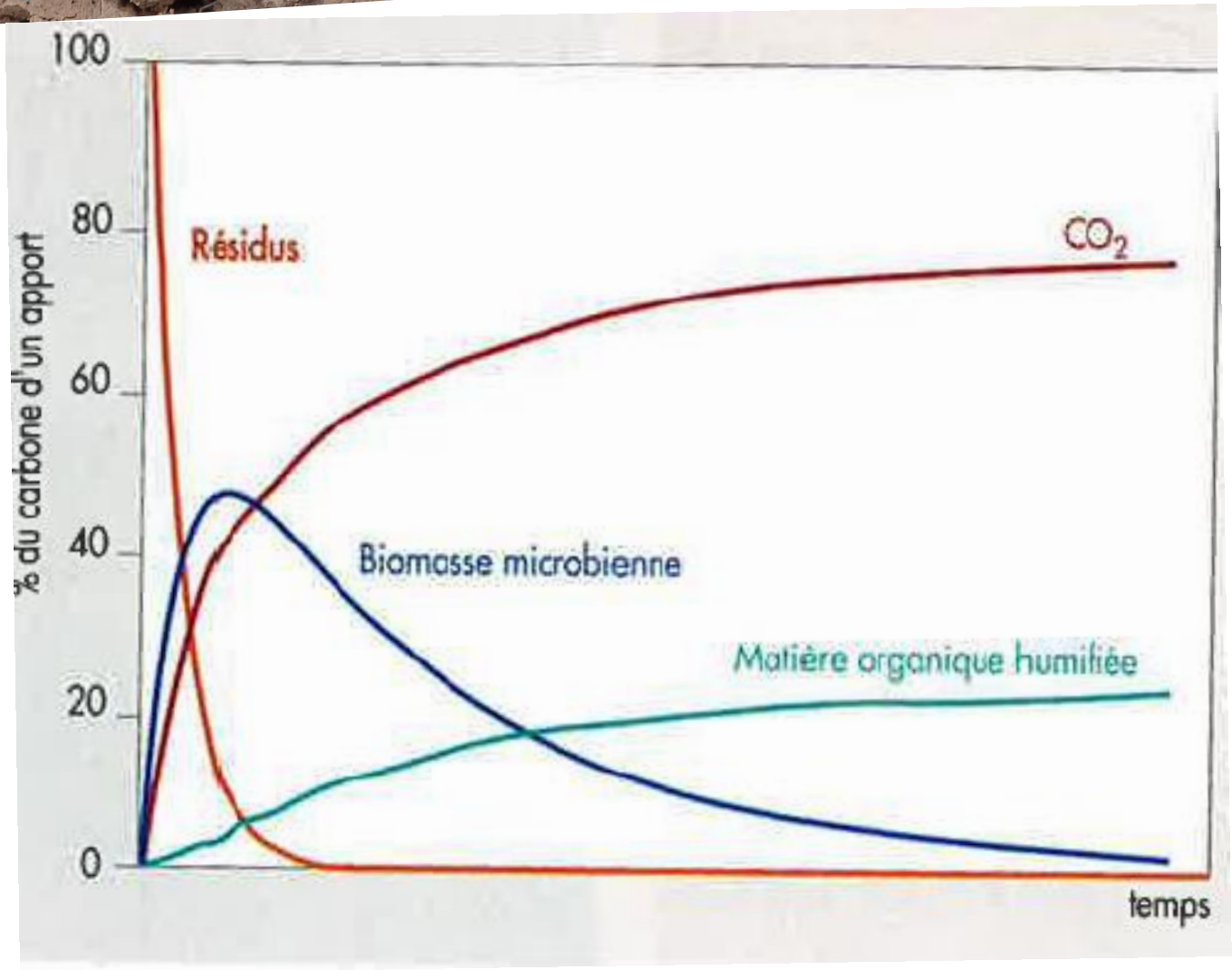


N Vassal

Dynamique de dégradation des matières organiques

Une cinétique de dégradation fonction du type de carbone et de la quantité

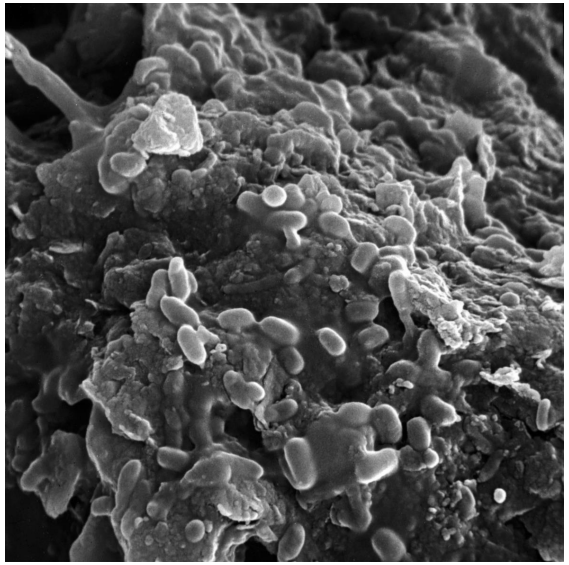
Un indicateur simple : le rapport C/N !



Nicolardot et Recous, PA 2002, n°272

Le C/N un indicateur de nutrition pour les organismes du sol

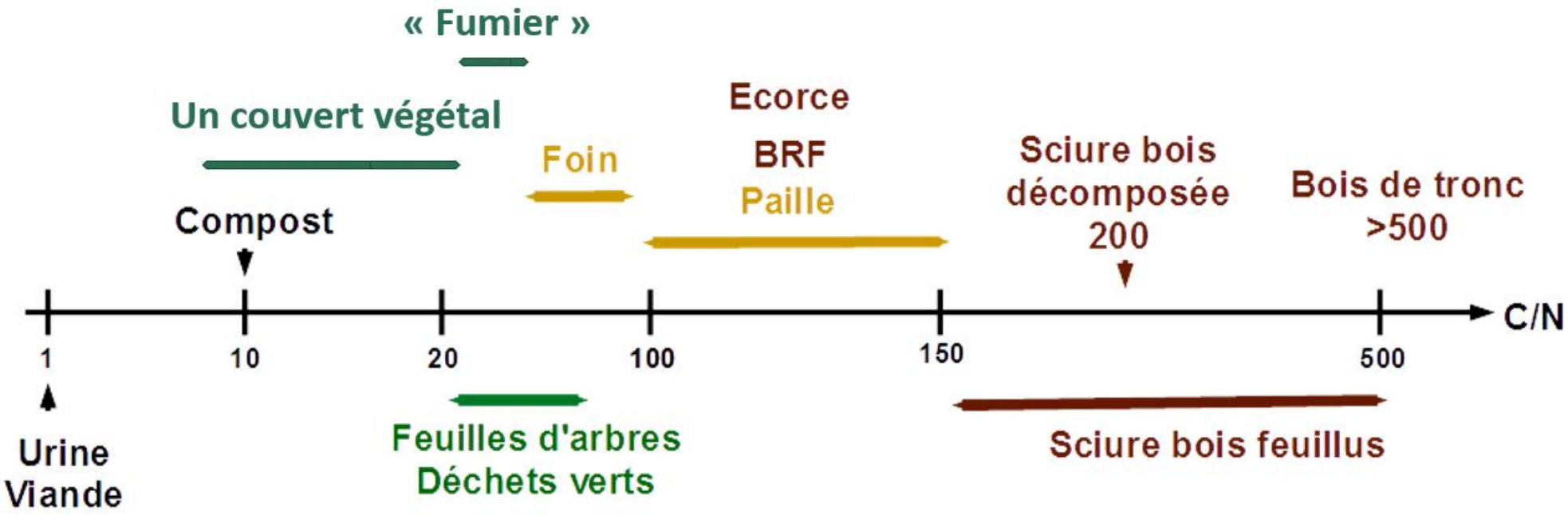
- Les microorganismes ont besoin d'azote pour dégrader correctement les matières organiques (le carbone)



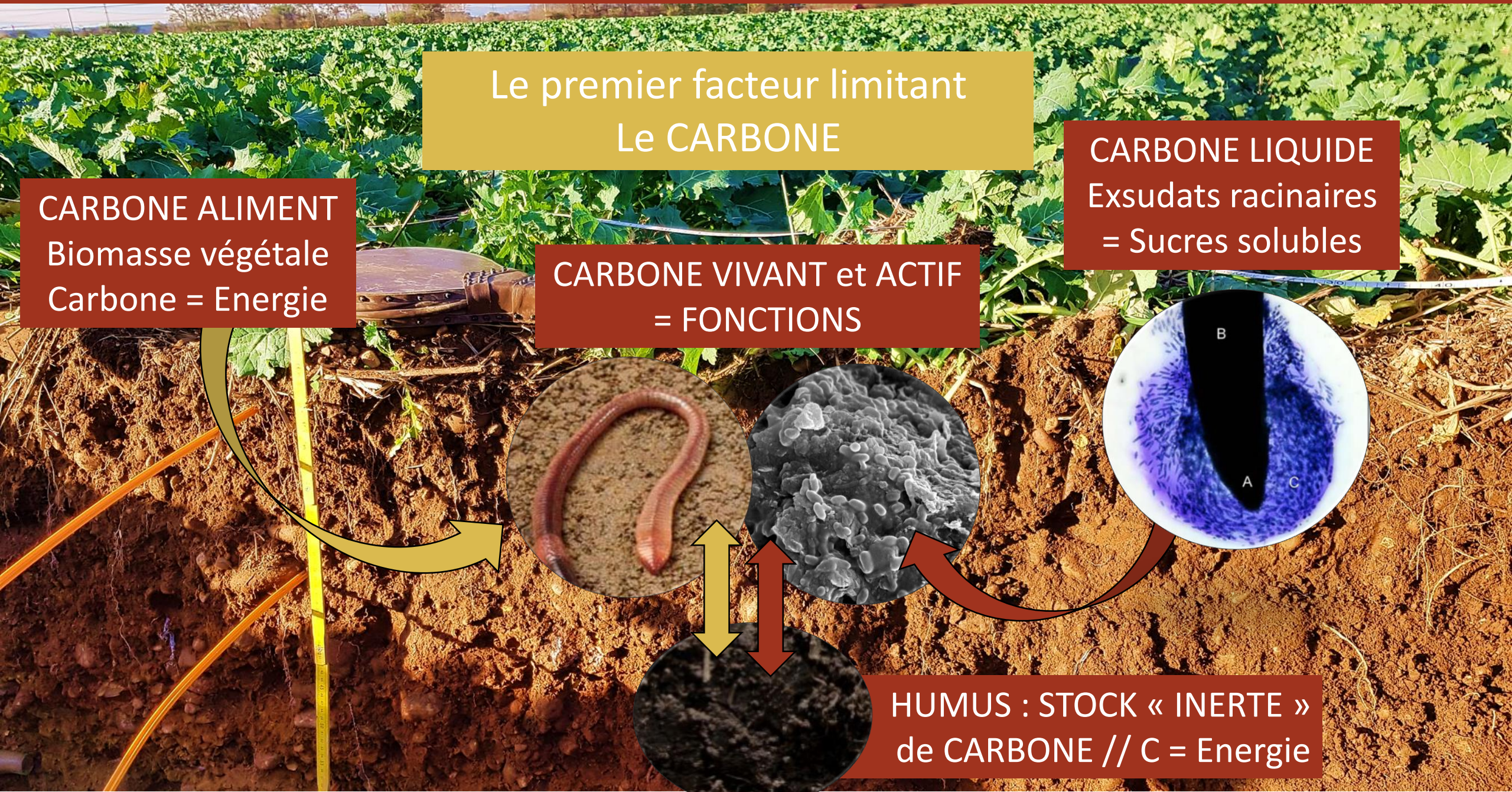
Jusqu'à C/N = 12

Jusqu'à C/N = 25-30

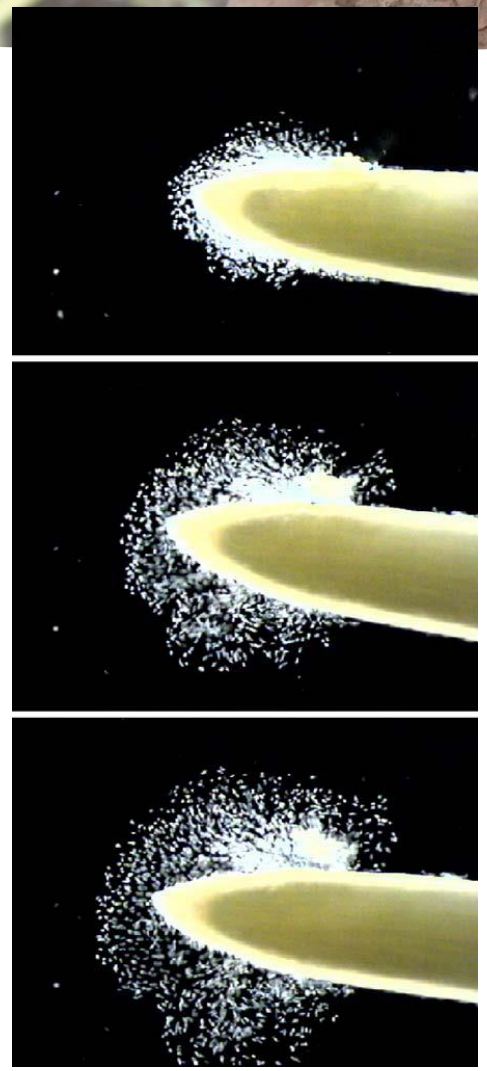
C/N une lecture simple des matières organiques pour anticiper l'effet sur mon sol



NOURRIR = Gérer le flux de carbone



Revenir à la base des processus de nutrition : La rhizosphère, un espace de communication inter-trophique

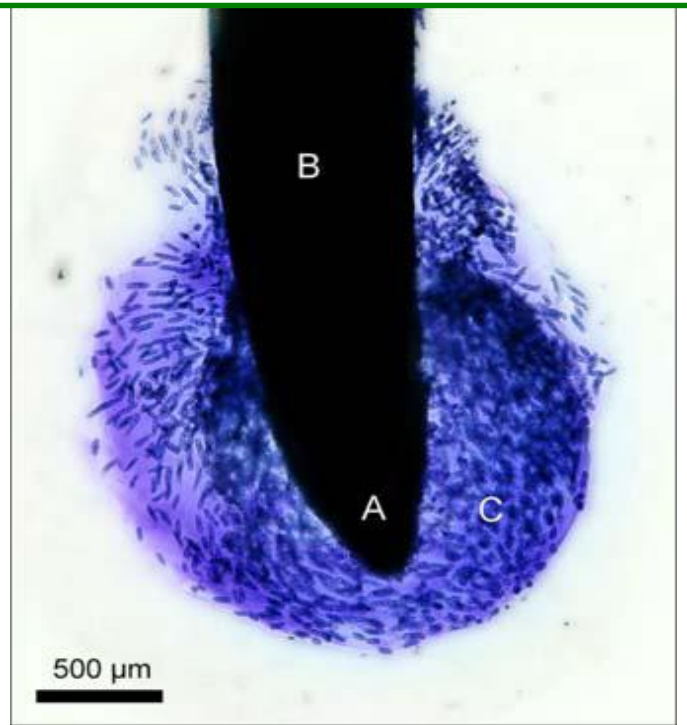


Hinsinger, P., *et al.*, 2009. *Plant and Soil*

Rhizodéposition et turnover des racines:

- 40% des entrées de C
- Éléments clefs des processus microbiens

Richardson, A.E., *et al.*, 2009. *Plant and Soil*

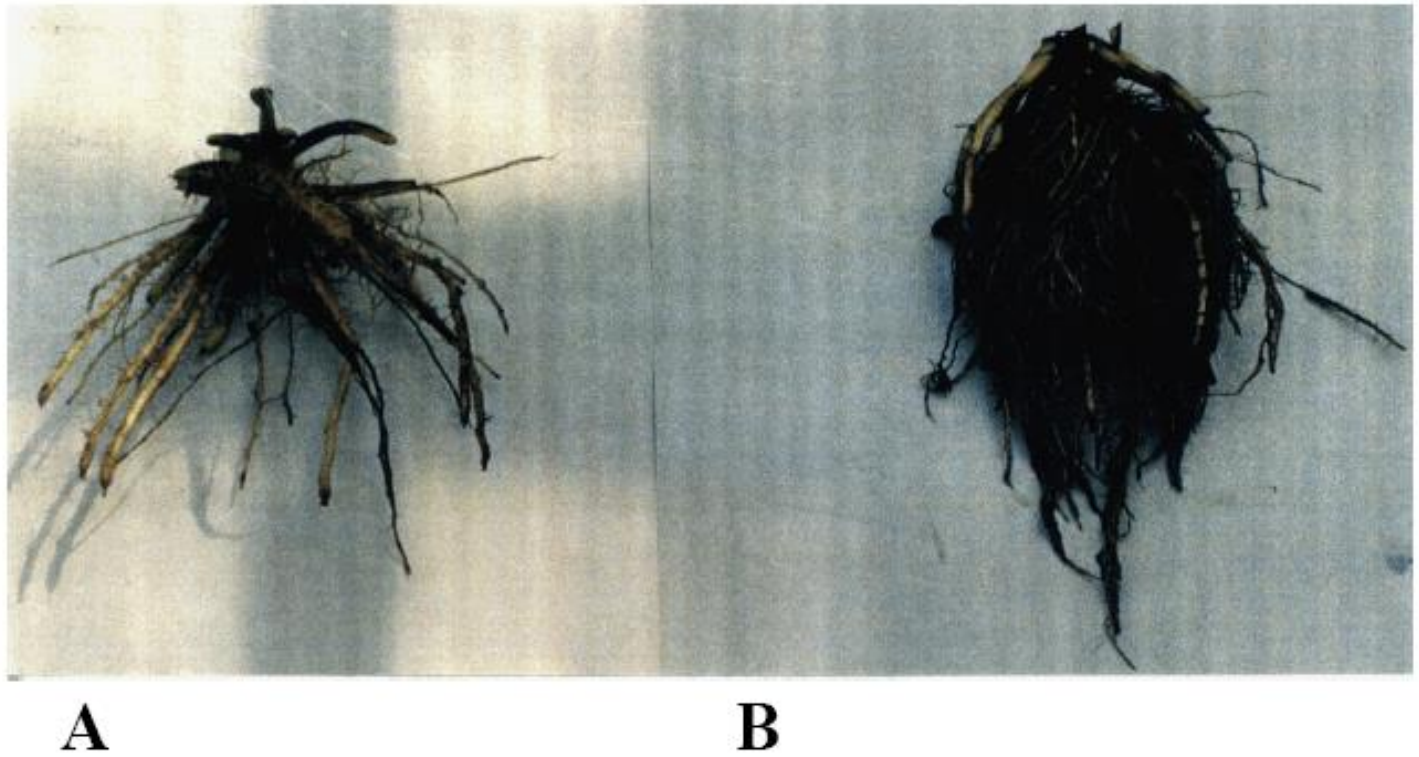


Jones et al., 2009

- **14 000 000 racines dénombrées sous un pied de seigle**
- **15 à 30 km de racines sous un pied de maïs**
- **20 000 et 100 000 km de racines sur un ha**

Exemples d'interactions au sein de la rhizosphère : Les interactions avec les bactéries « PGPR »

***Azospirillum lipoferum* et prolifération racinaire**



A - racines de maïs non inoculées par *A. lipoferum* CRT1
B - racines de maïs inoculées

photo René Bally [1], Colette Jacoud [1] et Patrick Wadoux [2]

1 - Ecologie Microbienne UMR-CNRS 5557, Université Claude Bernard Lyon1. 69622 Villeurbanne Cedex.
2 - Merck-Lipha, Usine de Meyzieu, 10 av. De Lattrer de Tassigny, 69330 Meyzieu

Ecologie microbienne, Frank Poly

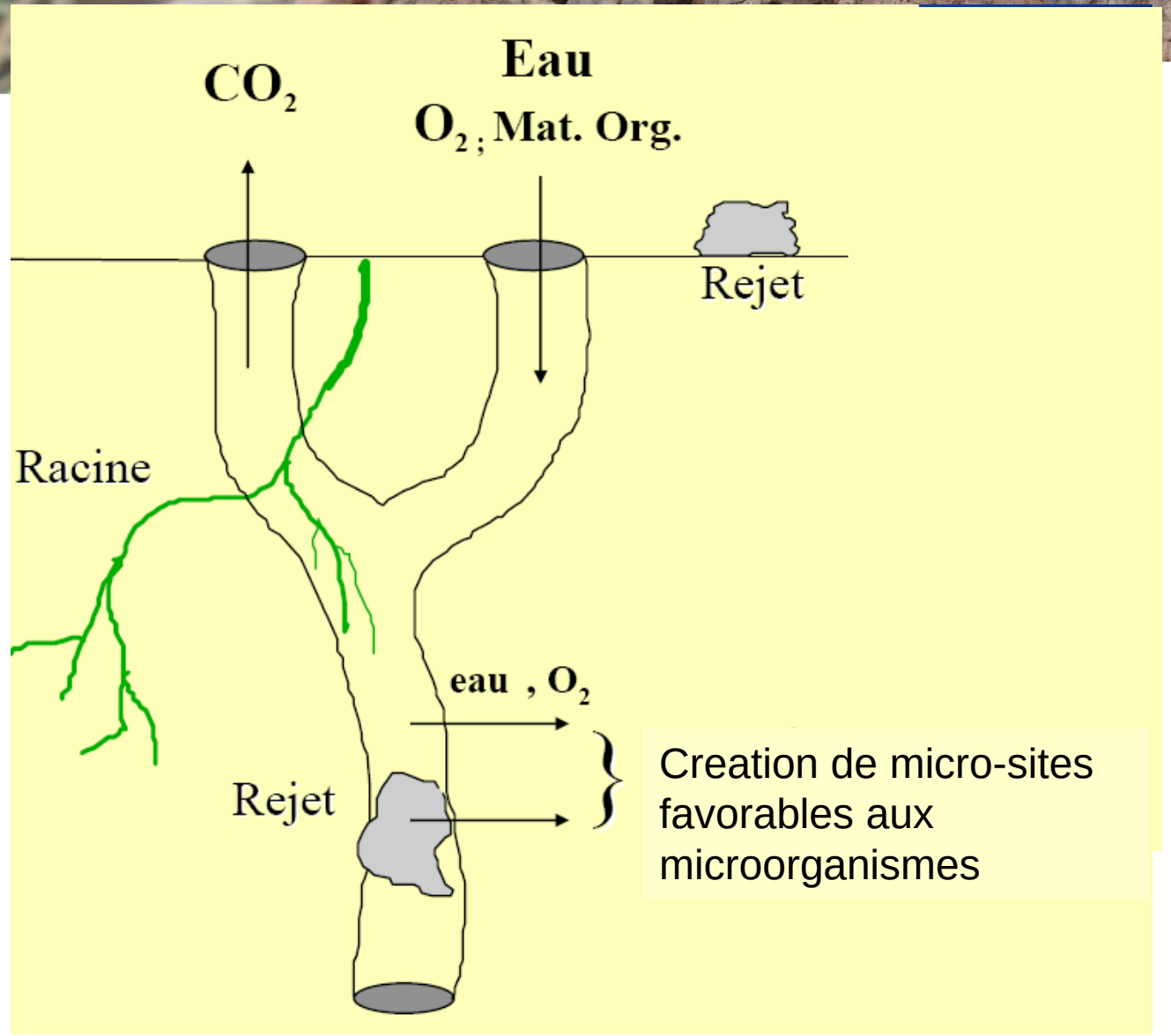
Colonies de bactéries sur un micro agrégat

Source : AFS photothèque

- Production de sucre lors de la dégradation des sucres/cellulose = mucilage
- Effet colle sur la microstructure
- Effet très significatif à l'échelle de l'agrégat
- L'essentiel de la cohésion entre particule de sol en sol sableux et limoneux

La stabilité structurale se crée à l'échelle de la microstructure
= l'activité biologique est la seule capable de créer cet effet

Action des vers de terre : synthèse



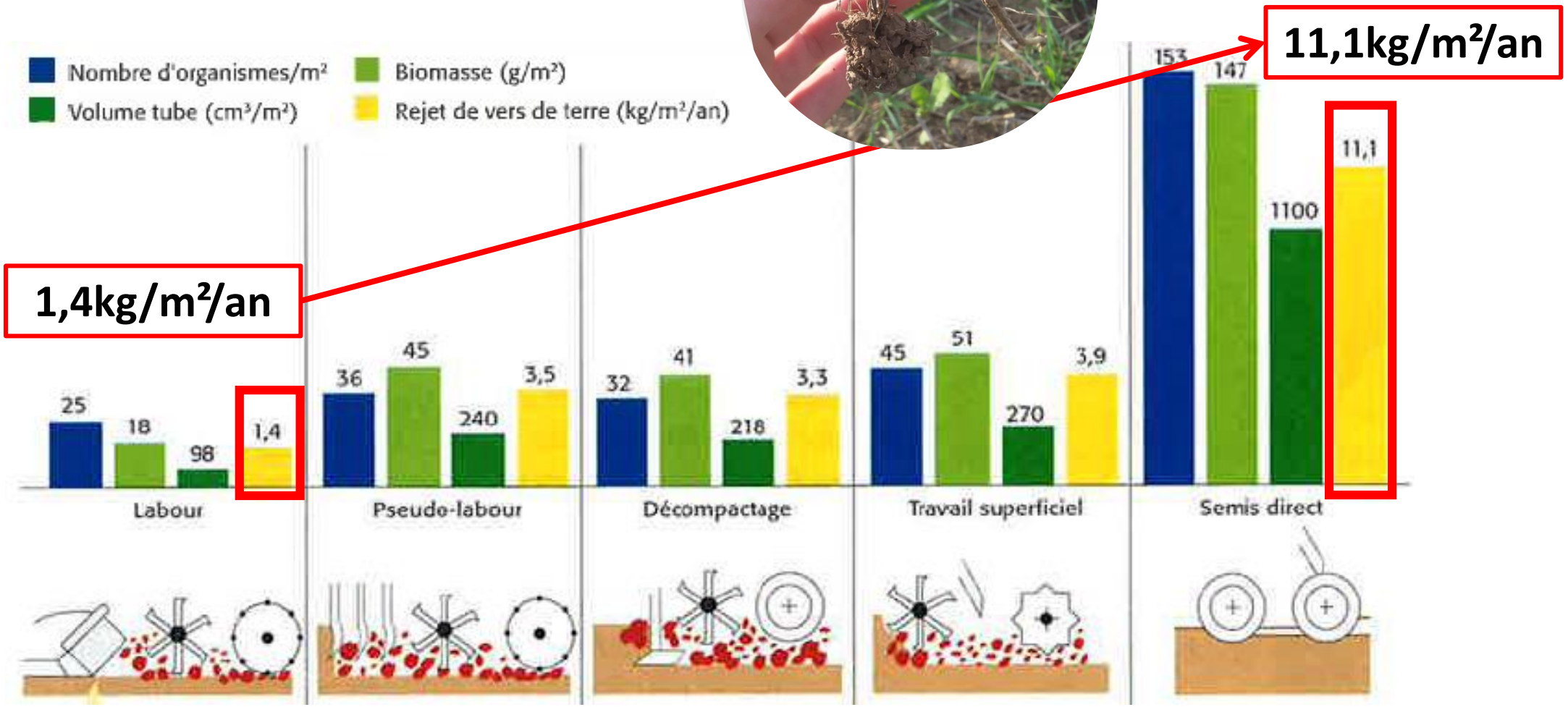
Creation de micro-sites favorables aux microorganismes

Influence des vers de terre

- Physique (transferts) GALLERIES et DEJECTIONS
- Chimique (cycles biogéochimiques), ENFOUISSEMENT de la MO
- Biologique (des racines aux microorganismes du sol) INTERACTIONS

Y. Capowiez (INRA)

La question du seuil !



D'après Tebbrüge dans PA 2008 de Tourdonnet

Les turricules, des microsites pour le développement des microorganismes

Par rapport à la terre d'origine, les turricules sont beaucoup plus concentrés en éléments minéraux :

- 5 fois plus d'azote assimilable,
- 7 fois plus de phosphore assimilable,
- 11 fois plus de potassium,
- 2 à 3 fois plus de magnésium échangeable,
- 1,5 fois plus de calcium.

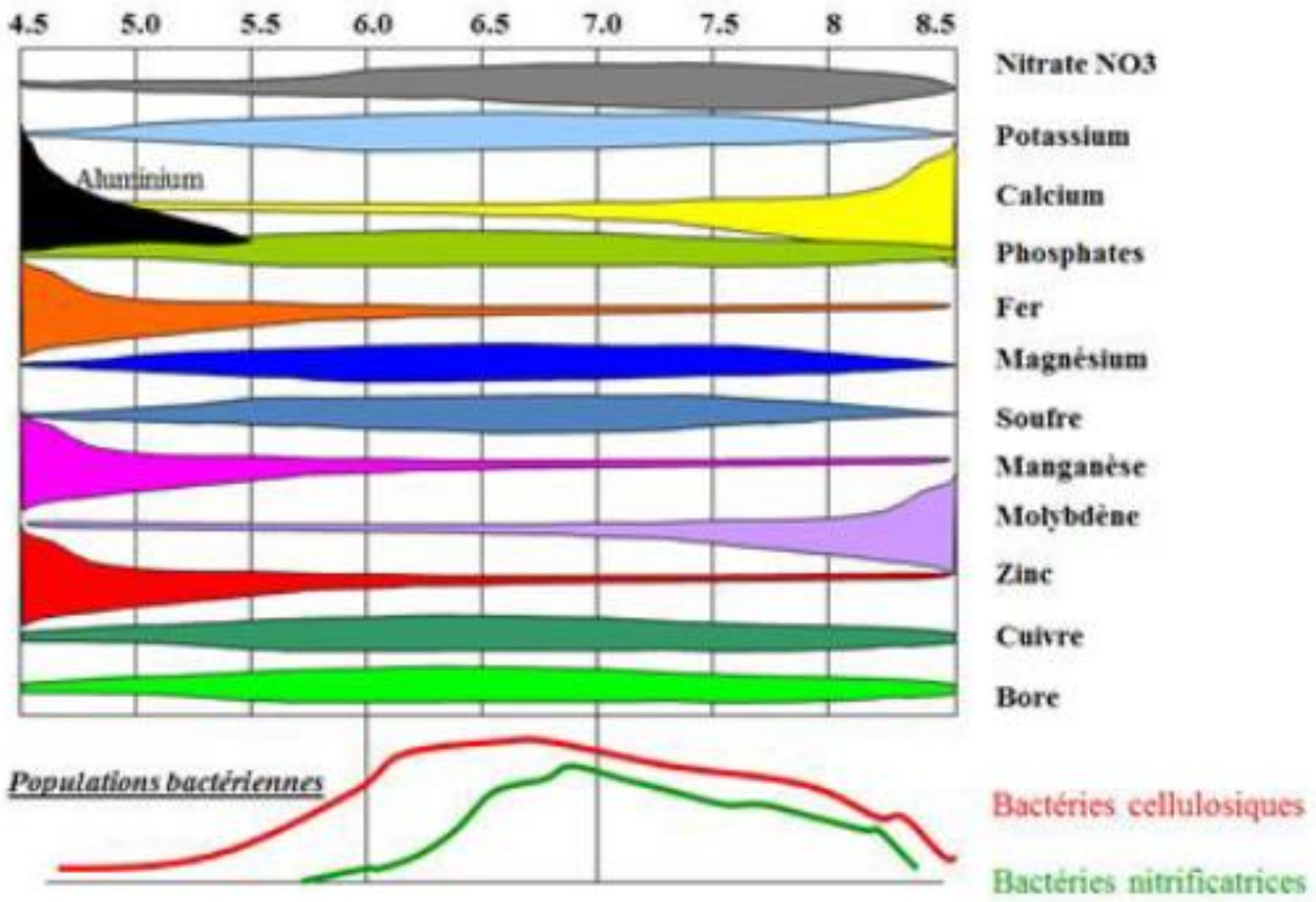


Diagramme d'assimilabilité des éléments minéraux en fonction du pH du sol et niveau des populations bactériennes (d'après Truog et Bachelier)

Les champignons du sol : un acteur clé de la qualité des sols

Photo D.J. Read, in Smith & Read, 1997

Extension d'un champignon ectomycorhizien (*Suillus bovinus*) par rapport au système racinaire de la plante (*Pinus sylvestris*).

Les mycorhizes : étude de la mycorrhizosphère !

Les hyphes :

- jusqu'à 7 cm de la racine
- diamètre peut atteindre 20 µm
- 200 à 1000 m d'hyphes/cm de racines

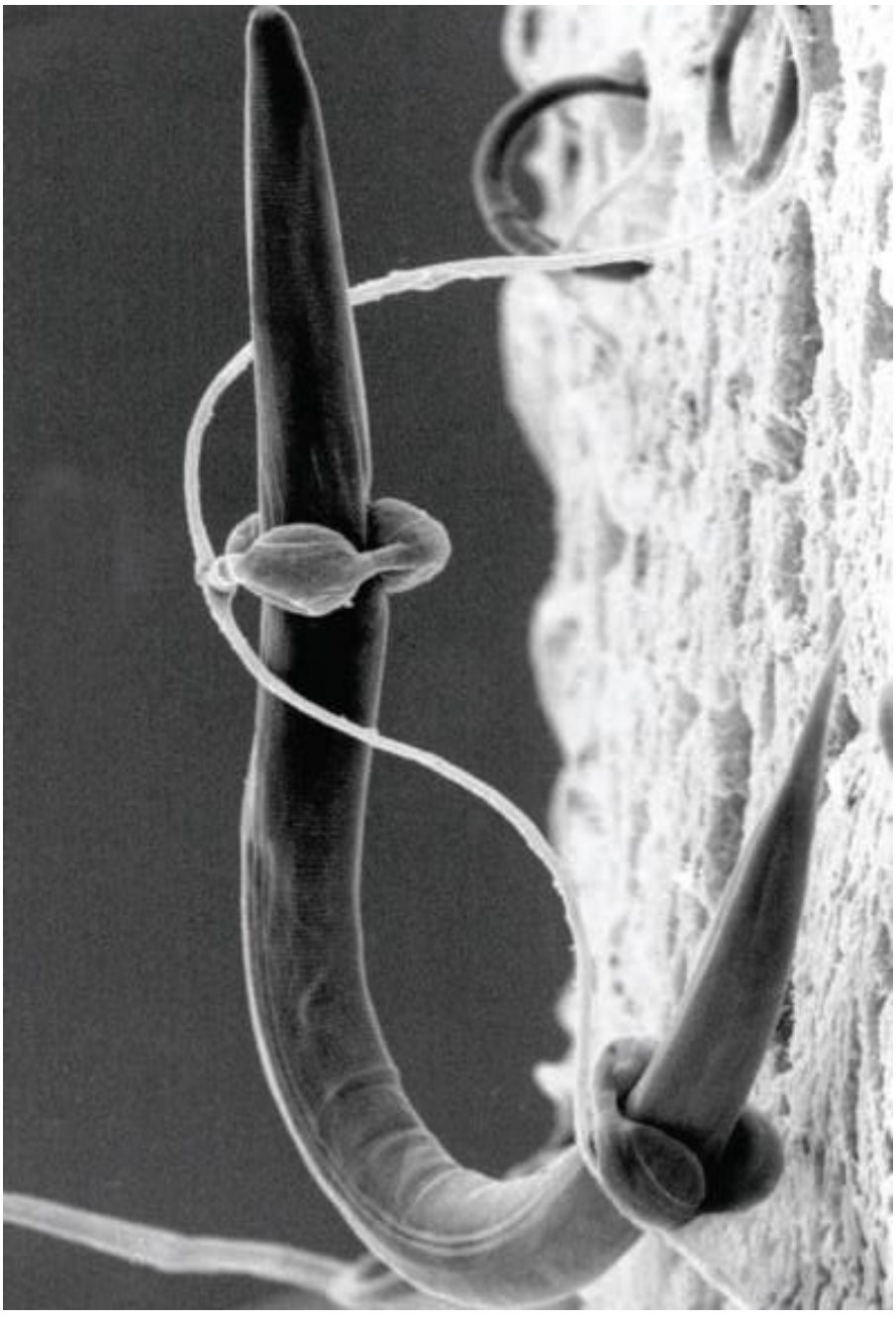
Hyphes mycéliens entre deux agrégats

Source : K.Ritz

Des champignons qui parasitent champignons et nématodes

S. Jeffery et al., 2010, 2010, European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

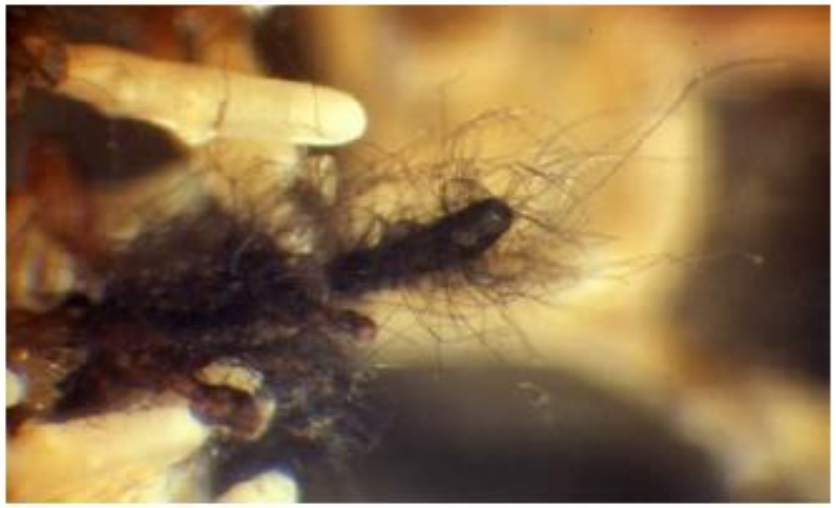
S. Jeffery et al., 2010, 2010, European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.



Les mycorhizes

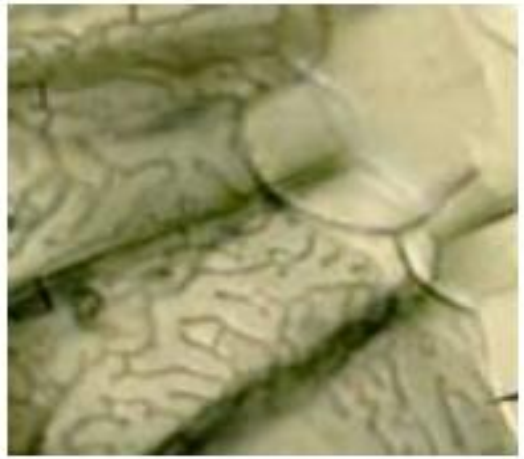
- **La découverte des mycorhizes** (extrait de la présentation de Daniel WIPF professeur à l'université de Bourgogne)
- **La biologie et le fonctionnement des mycorhizes** (extrait de la présentation de Daniel WIPF professeur à l'université de Bourgogne et Félix Fernandez professeur en microbiologie)
- **Les résultats des essais en grandes cultures**

La découverte des mycorhizes au XIXe siècle



Theodor Hartig (1805-1880)

Hartig T (1840) Vollständige Naturgeschichte der forstlichen Culturpflanzen Deutschlands *(Histoire naturelle complète des arbres forestiers cultivés en Allemagne*). A. Förstner'sche Verlagsbuchhandlung, Berlin.



Premières descriptions et dessins fidèles d' ectomycorhizes de différentes espèces d' arbres : manteau, hyphes externes, réseau, etc. Mais Hartig ne reconnaît pas la nature fongique des structures observées. Il ne voit dans tout ça que « périderme persistant », « renforcements pariétaux », « organes conducteurs », etc.

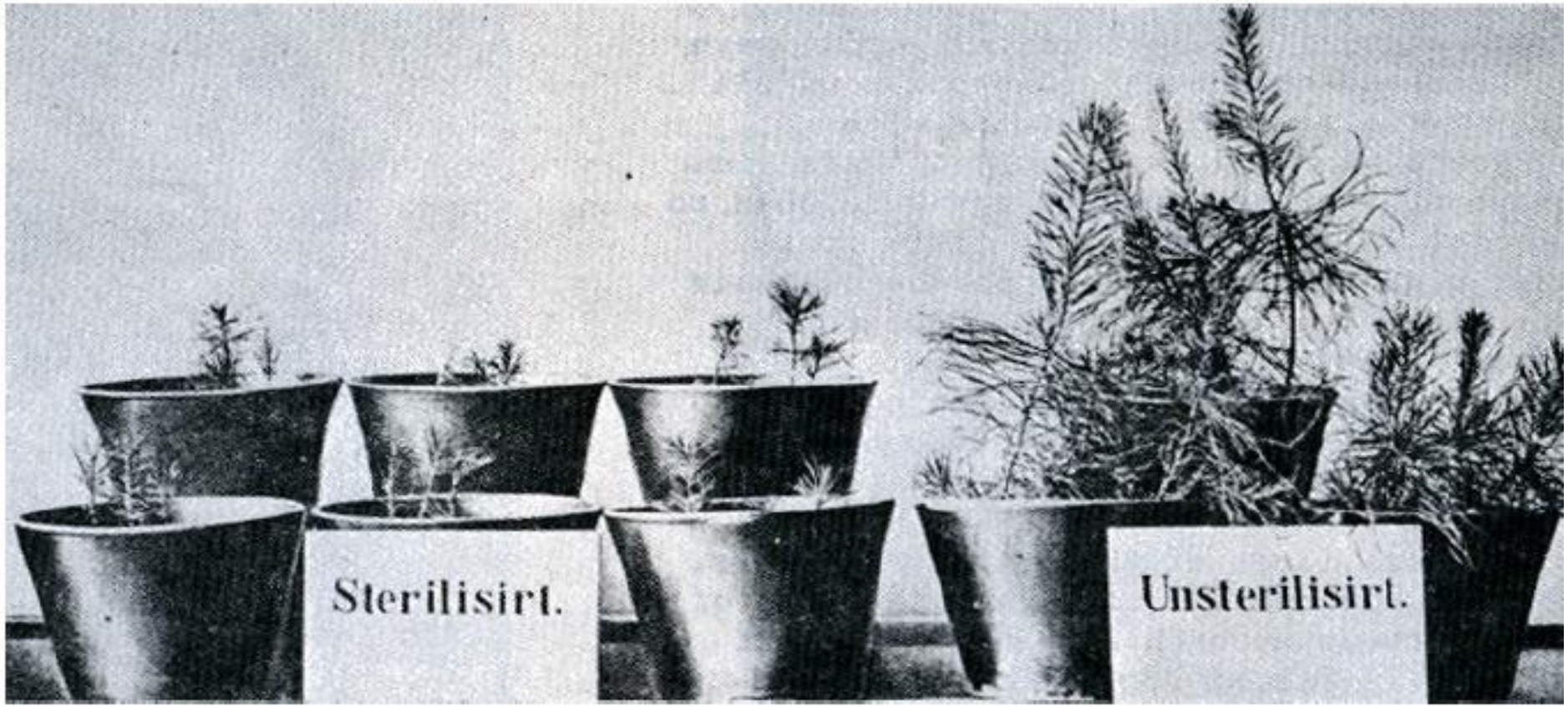
Robert Hartig (1839-1901)

Hartig R (1886) Über die symbiotischen Erscheinungen in Pflanzenleben (*Sur les phénomènes de symbiose dans la vie des plantes*). Bot Centralbl 25:350-352

Adopte et défend la nouvelle théorie et fait définitivement adopter le nom de *Réseau de Hartig* en l' honneur de son père Theodor qui avait le premier décrit cette structure dès 1840, mais sans la comprendre.

Frank premier expérimentateur sur les mycorhizes

Frank AB (1892) Die Ernährung der Kiefer durch ihre Mykorhizapilze
(La nutrition du pin grâce à ses champignons mycorhiziens).
Berichte der D Bot Gesel, Bd X, Heft 9, t XXX.



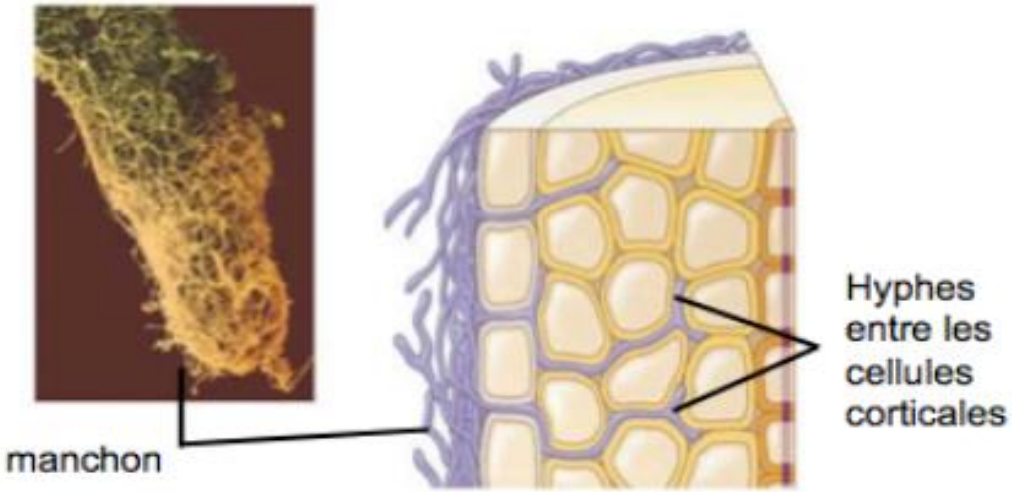
Deux grands types de mycorhizes

Ectomycorhizes :

Espèces ligneuses exclusivement

Arbres des zones tempérées

. manchon autour de la racine



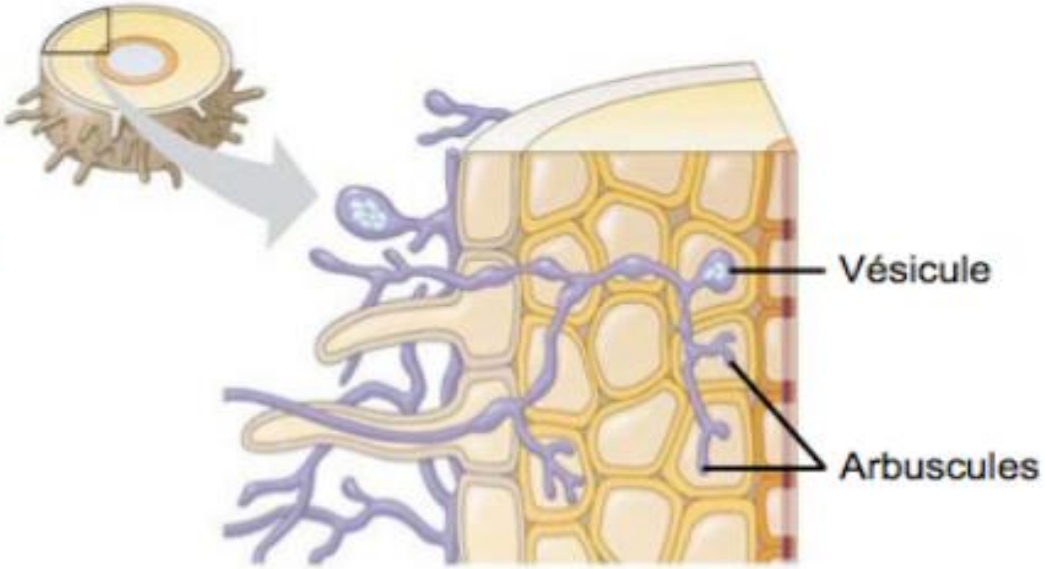
Endomycorhizes à arbuscules :

Les plus répandues

Hyphes à l'intérieur des cellules corticales

. structures ramifiées : les arbuscules

. structures de réserve : les vésicules



© S Giannini - B Wipf

Les symbioses

= association intime et durable entre deux organismes hétérospécifiques (espèces différentes)
(Frank 1877, de Bary 1879)

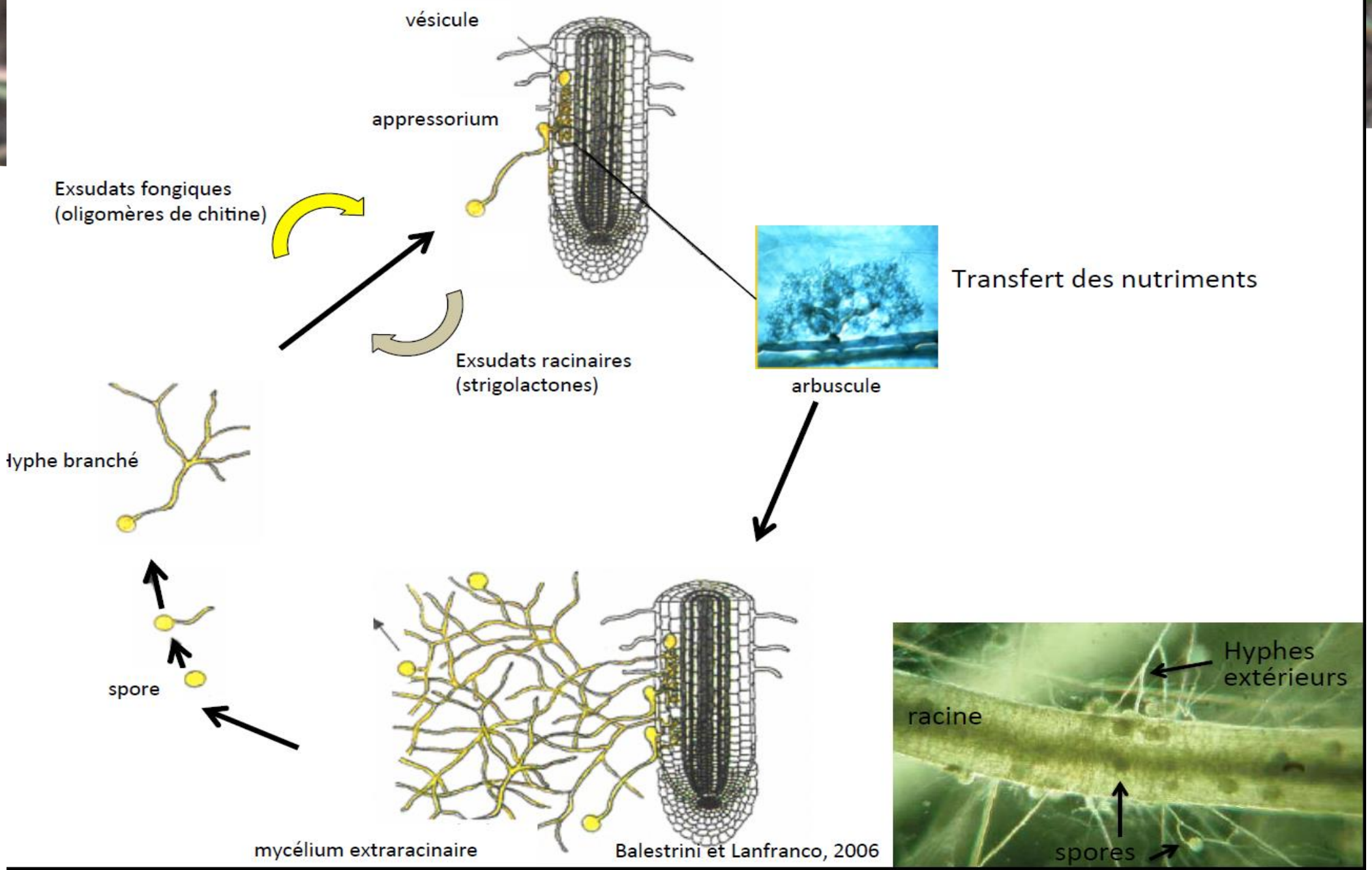
parasitisme

interaction neutre

©DR 1994

mutualisme
(symbiose sens strict)

Développement de la symbiose à arbuscules



Mycorhizes à arbuscules

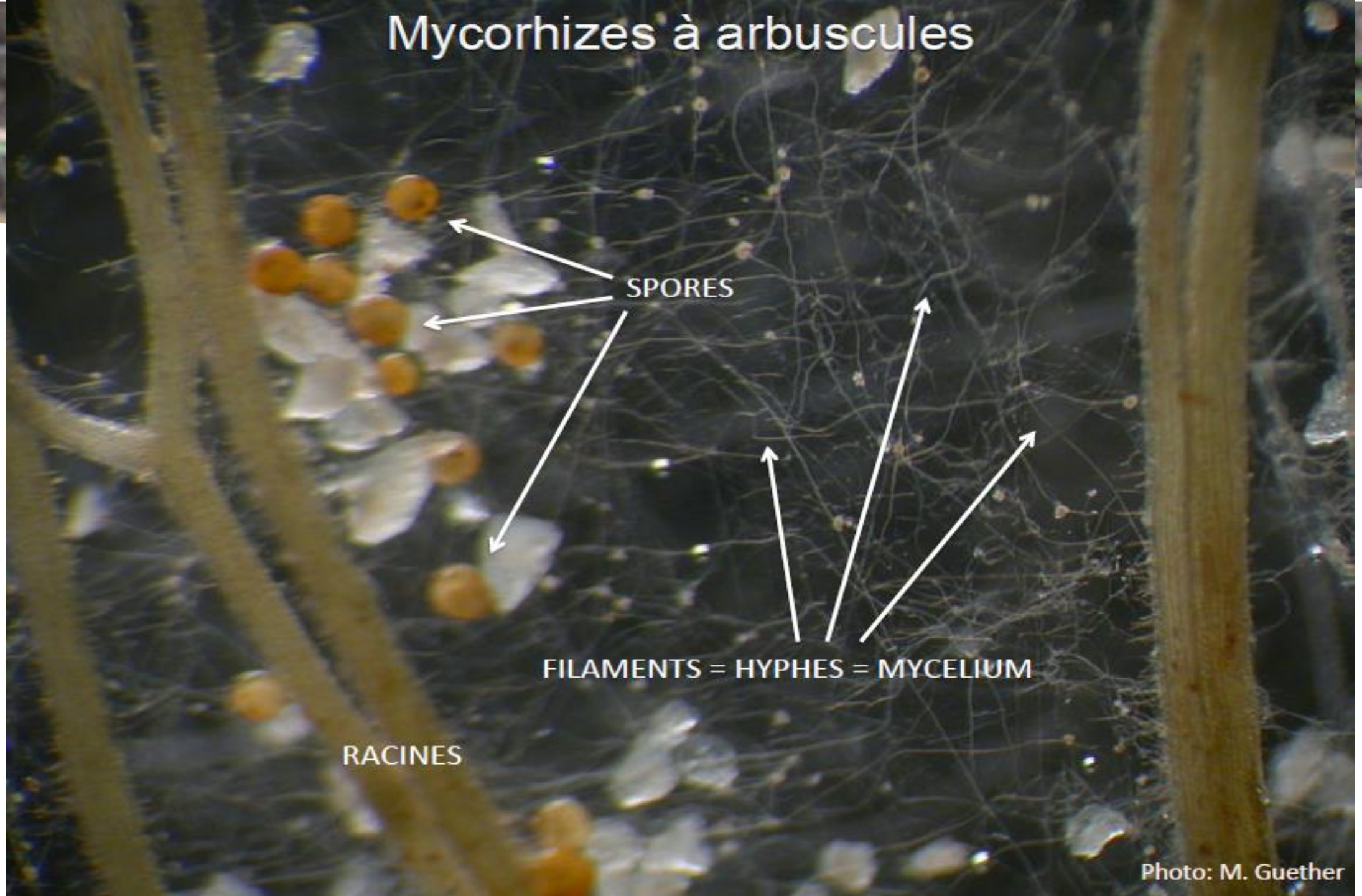
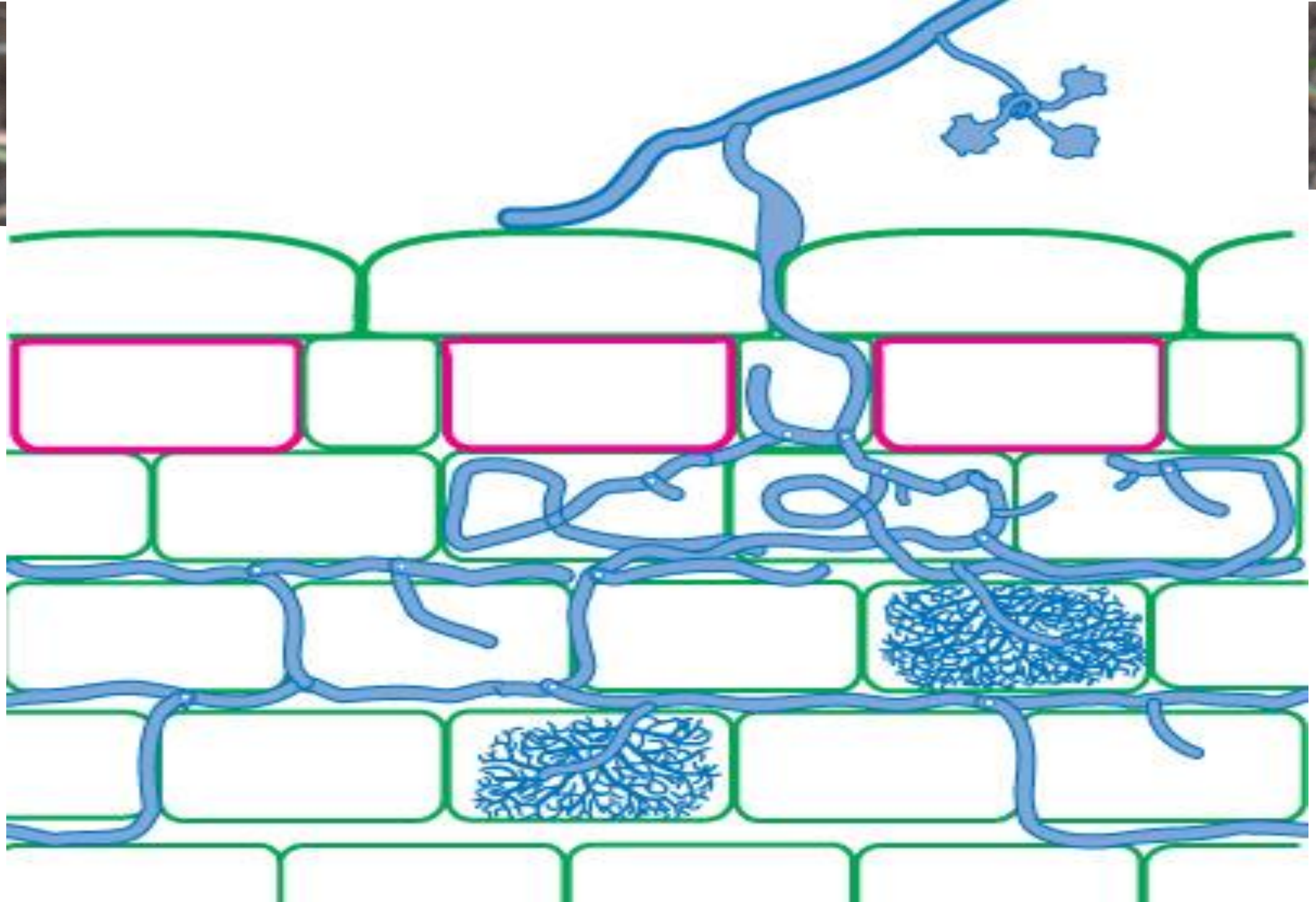
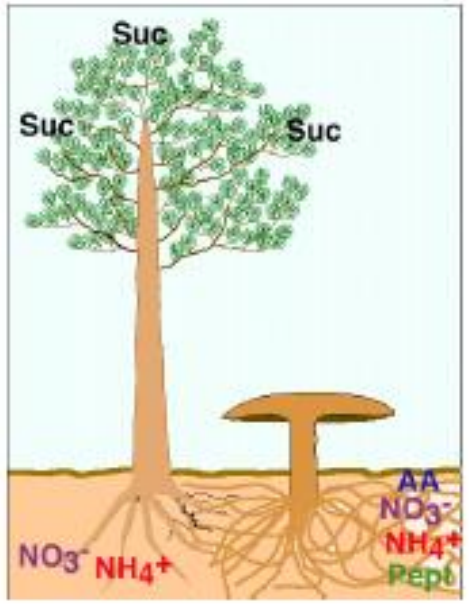
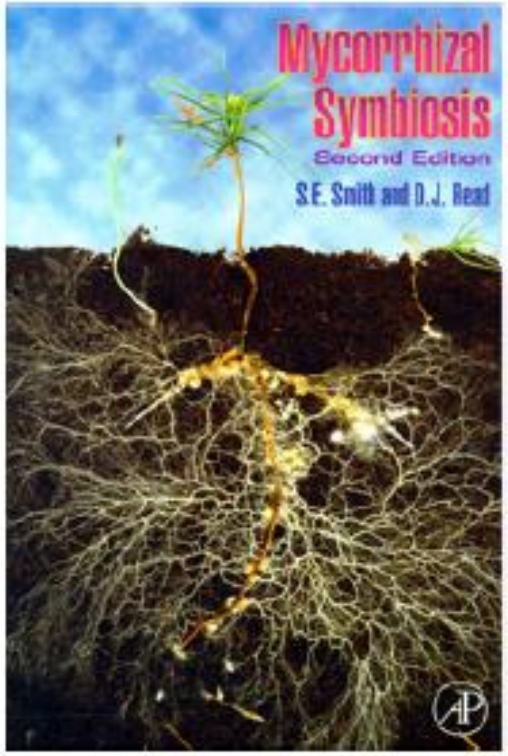


Photo: M. Guether

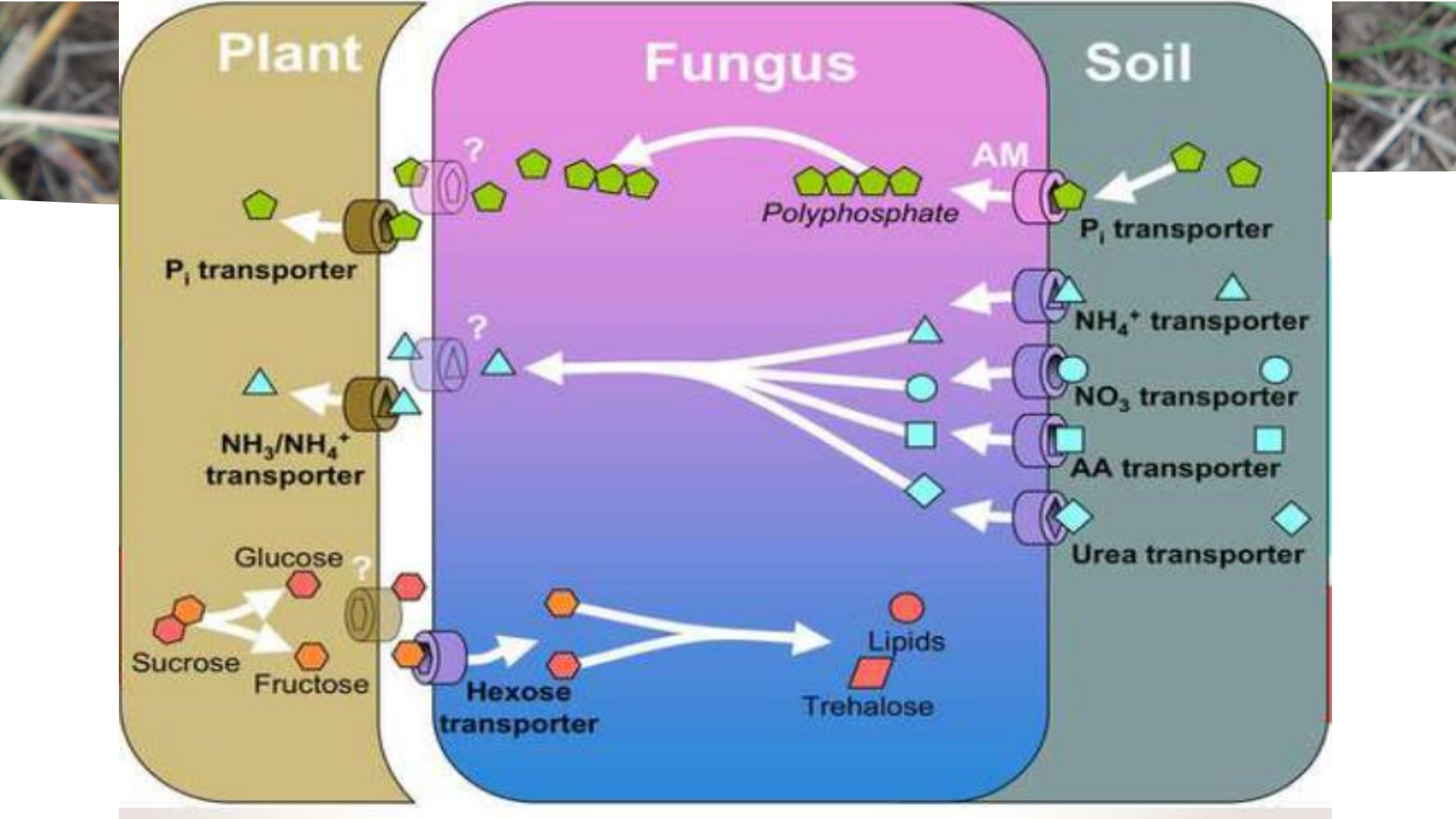






Bénéfices trophiques:

- absorption et transfert de nutriments du sol
- augmentation de la surface d´absorption par les hyphes (jusqu´à X1000)
- meilleur accès au phosphore et à l´azote du sol
- champignon bénéficie de la photosynthèse de la plante (squelettes carbonés) (jusqu´à 20% du carbone assimilé par la plante est transféré au champignon)


Plant
Fungus
Soil
?
AM
Polyphosphate
P_i transporter
P_i transporter
?
NH_4^+ transporter
NO_3 transporter
NH_3/NH_4^+ transporter
AA transporter
Urea transporter
Glucose
?
Sucrose
Fructose
Hexose transporter
Lipids
Trehalose

Nutrition Foliaire Minérale (maraîchage)

Laitue type Iceberg	N (g/100 g)	P (g/100 g)	K (g/100 g)	Ca (g/100 g)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Glomus mosseae	2.2 b	0.12 b	5.9	2.3 c	130.2 b	322 b	23.4
Glomus intraradices	2.1 b	0.11 c	5.9	2.4 c	132.2 b	342 b	22,1
Glomus iranicum var tenuihypharum	2.9 a	0.14 a	6.5	3.2 a	167.4 a	750 a	34.2
Témoin	2.0 c	0.11 c	5.8	2.9 b	123.5 c	389 b	30,2
Es x	0.02**	0,03**	1.1 n.s	0.02 **	2,9***	11.2**	7.8 n.s

Glomus iranicum var. tenuihypharum var. nov. strain and its use as biostimulant. Appplication No./Patent No. 13174708.1-1454

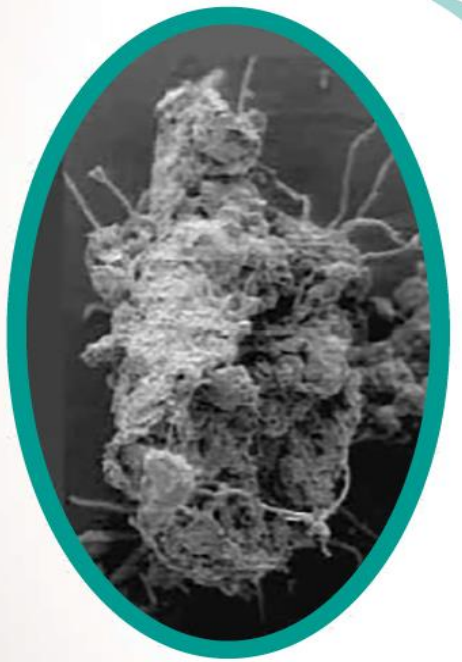
Plants de tomates	N (g.100g)	P (g.100g)	K (g.100g)	Na (g.100g)	Ca (g.100g)	Mg (g.100g)
Glomus iranicum var tenuihypharum	5.00 a	0.50 a	2.88 a	0.08 ns	4.18 a	0.96 a
Témoin	4.41 b	0.36 b	2.04 b	0.08 ns	3.52 b	0.80 b

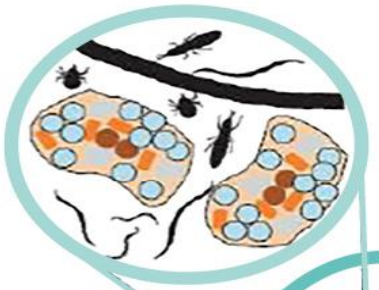
Plants de tomates	Fe (mg.kg)	Cu (mg.kg)	Zn (mg.kg)	Mn (mg.kg)	B (mg.kg)
Glomus iranicum var tenuihypharum	437.07 a	21.59 a	24.36 ns	90.66 a	30.64 a
Témoin	336.75 b	16.77 b	23.62 ns	86.95 b	26.13 b

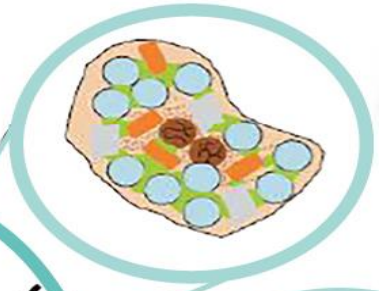
Results of the foliar analytical data found during 2010-2012 in more that 100 plots analyzed to belong 50 Fruits and Citric Farms.
In 95% of the samples evaluated, higher values of N, Ca, Fe, Mn, P and Zn were found.
Decreased in leaf K concentration in plants treated with Glomus iranicum var. tenuihypharum.
In the case of the elements Na, B, Mg, Mo and others, there was no defined behavior pattern.

Resid améliore la structure du sol et stimule la flore microbienne de la rhizosphère

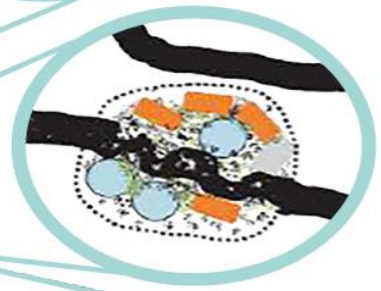
Effet Biologique I :
Les champignons formateurs de mycorhizes favorisent l'activité microbienne (par exemple des bactéries)





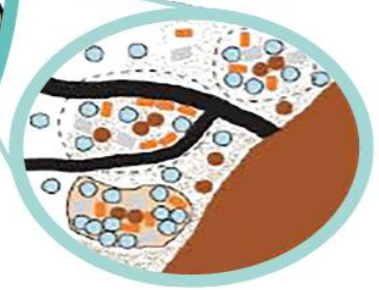


Effet Biologique II :
Interaction des champignons formateurs de mycorhizes avec la nutrition présente dans le sol

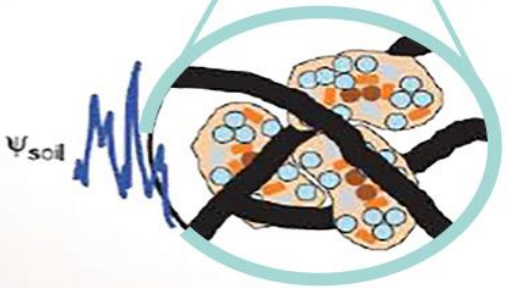


Effet Biochimiques I :
Libération de mycélium et glomaline par l'action d'hyphes vivantes et en décomposition

Effet Biochimiques II :
Interactions des champignons avec le réseau trophique su sol



Effet Physique I :
Enchevêtrement de particules et agrégats d'hyphes. Permet la modification du régime hydrologique (cycles sec-humide)



Effet Physique I :
Alignement de particules. Pression exercée

Essai Oberacker : Labour / SD sur 20 ans

Tableau 1 | Nombre d'espèces de champignons identifiées et indice de diversité (H) selon Shannon-Weaver, site de suivi à long terme «Oberacker», Rütti-Zollikofen

	Nombre d'espèces		**Indice de diversité (H) Shannon-Weaver**	
Système cultural	**Semis direct**	**Labour**	**Semis direct**	**Labour**
Culture (sous-parcelle)				
Pois protéagineux d'hiver	21	17	2.86	2.56
Blé d'automne (BA)	17	15	2.46	2.51
Orge d'automne (OA)	15	11	2.12	2.05
Mélange d'engrais verts après BA	17	14	2.56	2.24
Mélange d'engrais verts après OA	21	12	2.45	1.91
Semis avant récolte après BS	20	10	2.49	1.77
Total pour toutes les cultures	37	25		
Moyenne pour toutes les cultures	18.5 a	13.2 b	2.49 a	2.17 b
P (test t)	*0.005*[1]		*0.080*[2]	

[1]niveau de signifiance $p < 0,01$; [2]niveau de signifiance $p < 0,1$

PPH: pois protéagineux d'hiver, BA: blé d'automne, OA: orge d'automne, BS: betteraves sucrières, EV: mélange d'engrais verts, SaR: semis avant récolte

Essai Oberacker : Labour / SD sur 20 ans

Tableau 2 | Liste d'espèces et densité des spores des espèces identifiées (nombre de spores par 100 g de sol séché à l'air), site de suivi à long terme «Oberacker», Rütti-Zollikofen (abréviations, voir tableau 2)

Système cultural	**Semis direct**						**Labour**					
Culture (sous-parcelle)	**PPH**	**BA**	**OA**	**EV après BA**	**EV après OA**	**SaR après BS**	**PPH**	**BA**	**OA**	**EV après BA**	**EV après OA**	**SaR après BS**
Groupe A: espèces de champignons fréquemment identifiées dans les deux systèmes culturaux												
Archaeospora myriocarpa	14	14	4		2	4	6	6		18		
Archaeospora trappei	6	10	2			20	14	10	6	14	2	2
Claroideoglomus claroideum	12	8	16	10	18	14	6	10	14	32	34	18
Claroideoglomus luteum	2	4		8		6	2		4		2	2
Funneliformis geosporus	22	34	38	16	74	36	22	16	12	30	40	16
Funneliformis mosseae	22	6	28	4	4	40	14	14	24	14	4	54
Glomus aureum	4	6	4		8	26	2	4		2		
Glomus diaphanum	10	6	64	6	16	28	2	12	30	10	16	6
Glomus intraradices & Gl. irregulare	4	4	10	4	2	10	6	6	4		6	4
Paraglomus lacteum				6	2	8		2		4	4	
Paraglomus occultum	8	10	6	18	32	4	6	10		10	6	6
Paraglomus sp BE10	14	30	4	26	12	4	4	16	4	54	2	

Essai Oberacker : Labour / SD sur 20 ans

Groupe B: espèces de champignons identifiées principalement ou exclusivement sous semis direct et présentant une densité relativement élevée de spores												
Acaulospora longula	4		2		2		8					
Acaulospora paulinae	14											
Acaulospora sieverdingii	12											
Ambispora gerdemannii	10			6			8					
Ambispora reticulata	22											
Ambispora sp BE14			6	20	24			4			2	2
Claroideoglomus etunicatum	16	4	2		8		2	2				
Glomus invermaium					22	10						
Glomus microcarpum			2		12							
Scutellospora calospora	6			24	30	8	4			4		
Septoglomus constrictum	4	2	22	4	2	80			2			

Résultats des essais en grandes cultures
Avec le Glomus iranicum (RESID)

Synthèse pluriannuel (5 années) des essais (40) du Glomus Iranicum (Resid) sur maïs grain

BERNARD Productions Végétales

Base 100 culture sèche : 90.00 Qx
Base 100 culture irriguée : 143,80 Qx

témoin Resid Resid + irrigation

Chaleins (01) Strip Till
Date de semis : 23/04/2015
Non irrigué
Parcelle en TCS depuis plus de 10 ans et en SD ou strip till depuis 8 ans

Type de sol : Limon argileux profond
Starter :Entec 25 15 à 80 kg
Strip till : Patenlkali 150 kg

Chaleins (01) Strip Till
Date de semis : 23/04/2015
Non irrigué
Parcelle en TCS depuis plus de 10 ans et en SD ou strip till depuis 8 ans

Type de sol : Limon argileux profond
Starter :Entec 25 15 à 80 kg
Strip till : Patenlkali 150 kg

P9900

P9900 + RESID MG

Chaleins (01) Strip Till
Date de semis : 23/04/2015
Non irrigué
Parcelle en TCS depuis plus de 10 ans et en SD ou strip till depuis 8 ans

Type de sol : Limon argileux profond
Starter :Entec 25 15 à 80 kg
Strip till : Patenlkali 150 kg

Chaleins (01) Strip Till
Date de semis : 23/04/2015
Non irrigué
Parcelle en TCS depuis plus de 10 ans et en SD ou strip till depuis 8 ans

Type de sol : Limon argileux profond
Starter :Entec 25 15 à 80 kg
Strip till : Patenlkali 150 kg

Conclusion

Les mycorhizes améliorent :

- l’activité biologique des sols
- La nutrition des plantes
- La physique du sol

- Il existe une grande diversité de souches

- Le travail du sol fait baisser la quantité et la diversité des souches de champignons mycorhiziens

Les auxiliaires et décomposeurs

Les plantes bio-indicatrices

Formation du SOL

Il y a 4,5 milliards d'années, **apparition des protéines et de la molécule CHON**

- Passage des mousses aux fougères = on passe de plantes de 2 cm de haut à des plantes jusqu'à 60 m de haut.
- Des **tonnes de matières organiques** très riches en C et en lignine sont déposées sur le sol.
- C non soluble ➔ CHARBON et PETROLE qui fonctionnent en anaérobie
- Dans roche terrestre ➔ Aluminium, métaux lourds, arsenic (provient du magma de l'écorce terrestre)

Rôle des fougères : Elles piègent de façon définitive tous ces éléments dans la MO fossile. Les pollutions sont piégées par le C et pétrole de la décomposition des fougères.

Les éléments piégés dans l'eau salée ont fait le **PETROLE**

Les éléments piégés dans l'eau douce ont fait le **CHARBON**

Formation du SOL

Ces éléments piégés ne peuvent être relargués que sous l'effet d'une forte chaleur.

- Il y a 200 millions d'années, la température a fortement chuté.
- Les fougères ont rendu la planète habitable.
- Une partie de MO des fougères s'est recombinée avec une partie de la plaque pour former le SOL = BIOSPHERE

  = **zone d'échange entre atmosphère et roche-mère**

  = **zone d'échange et de respiration**

- A partir de là, les végétaux vont évoluer, on passe des cryptogammes aux phanérogammes puis des gymnospermes aux angiospermes.
- 150 millions d'années, apparition de la **GRAINE et de la DORMANCE**

Les problématiques des milieux agricoles, liées aux conditions physiques et chimiques du sol

1/ La carence d'un sol en argile

2/ La pauvreté d'un sol en argile et en matière organique

3/ L'équilibre

4/ L'engorgement en matière organique d'origine animale

5/ L'engorgement en eau

6/ Le tassement des sols

7/ L'anaérobiose est complète

8/ Les pollutions

9/ Le blocage de certains éléments

1/ Carence d'un sol en argile

- Peut être pour raison géologique
- Pas de complexe argilo-humique car il manque 1 élément
- La plante caractéristique : Rumex acetosela, la petite oseille

2/ Pauvreté des sols en argile et en MO

- Peut être causé par lessivage ou érosion
- Provoque désaturation du CAH = perte de son pouvoir de rétention des ions
- La plante caractéristique : Spergula arvensis , Spergule des champs

3/ L'Equilibre d'un sol

- Elle provient de sa richesse en argile de bonne qualité associée à l'humus.
- Argile + humus = complexe argilo-humique
- La plante caractéristique : Stellaria media, mouron blanc

4/ L'engorgement en MO animale

- Produit des excès d'azote et de potasse et un début d'anaérobiose qui bloque certains échanges.
- La plante caractéristique : Taraxacum officinale, pissenlit

5/ L'engorgement en eau

- S'accompagne toujours d'hydromorphismes : la MO n'est pas décomposée correctement par les bactéries aérobies du fait qu'elles sont privées d'oxygène. Le CAH est destructuré, le Fer décroché est soit réduit, soit oxydé

- La plante caractéristique : Ranunculus repens, renoncule rampante

6/ Tassement des sols

- Produit des anaérobioses par privation d'oxygène
- La plante caractéristique : Plantago major, grand plantain

7/ Anaérobiose complète

- Le sol est asphyxié : combinaison d'excès de MO, tassement des sols, engorgement en eau
- La plante caractéristique : Rumex obtusifolius, rumex à feuilles obtuses

8/ Les pollutions agricoles, industrielles ou urbaines

- Elles intoxiquent les sols
- La plante caractéristique : Datura stramonium

9/ Le blocage de certains éléments

- S'installe l'asphyxie des sols
- Blocage du phosphore :

  La plante caractéristique : Cirsium arvense, chardon commun

- Blocage du potassium :

  La plante caractéristique : les ails

Evolution des espèces végétales

- Les sols ne sont jamais nus. Les plantes s'installent selon un rythme qui est toujours le même :
- Les annuelles et bisannuelles herbacées, les vivaces herbacées, les vivaces arbustives et les vivaces arborescentes
- Quelques données dans différentes régions de France sur l'évolution des espèces de plantes depuis les années 80 :
  - parcelle de tournesol entre Cognac et Angoulème (16) : 1980 : 132 espèces 2010 : 37 espèces
  - alpages du Plan de la Lai dans le Beaufortin (73) : 1980 : 241 espèces 2010 : 44 espèces
  - prairie de l'Armençon à Cry sur Armançon (89) : 1980 : 104 espèces 2010 : 29 espèces
  - vigne de l'étang de Montady à Colombier (34) : 1980 : 137 espèces 2010 : 33 espèces

Témoignages d’agriculteurs

Mathieu Razy, Ferme des Bourettes

Dominique Sublet

D. Sublet : Historique et évolution

- 1992 : Installation avec reprise d’une exploitation familiale
  - Parcellaire très éclaté
  - Labour traditionnel avec problèmes de battance et compaction
  - Assolement : 50% cultures hiver (colza, blé, orge) et 50% cultures printemps (maïs, tournesol)
  - Rotation terrains séchants : **Colza / Blé / Orge**
  - Rotations terrains avec bonne rétention : **Maïs x2 / Blé / Tournesol / Blé**

D. Sublet : Historique et évolution

- 1996 : Remembrement, irrigation et projet nature sur les Grandes Terres
  - Préservation et création de haies, bandes enherbées
  - Installation irrigation : accentuation des problèmes de battance et d'érosion
  - Introduction du TCS pour les cultures d'hiver
  - Assolement : introduction du pois et du soja
  - Rotation sur terrains pauvres et secs : Colza / Blé / Orge
  - Rotation sur terrains riches et secs : **Maïs / Blé / Tournesol / Blé**
  - Rotation sur terrains irrigués : **Maïs x 2 / Soja ou Pois de printemps / Blé**

D. Sublet : Historique et évolution

- 2012 : Un virage sur mon exploitation
  - Adhésion à la CUMA des Brunettes : investissement semoir semis direct et strip-till
  - Mise en place d'un essai comparatif SD strip till / Labour avec une rotation **Maïs / Soja / Blé**
  - Adhésion à l'association « Les Robins des champs » : valorisation du blé panifiable
  - Assolement : arrêt tournesol et pois (aphanomicès) : corbeaux, pigeons, etc.
  - Rotation sur terrains pauvres et secs : Colza / Blé / Orge
  - Rotation sur terrains riches et secs : **Maïs / Blé / Maïs / Blé**
  - Rotation sur terrains irrigués : **Maïs x 2 / Soja / Blé**

D. Sublet : Historique et évolution

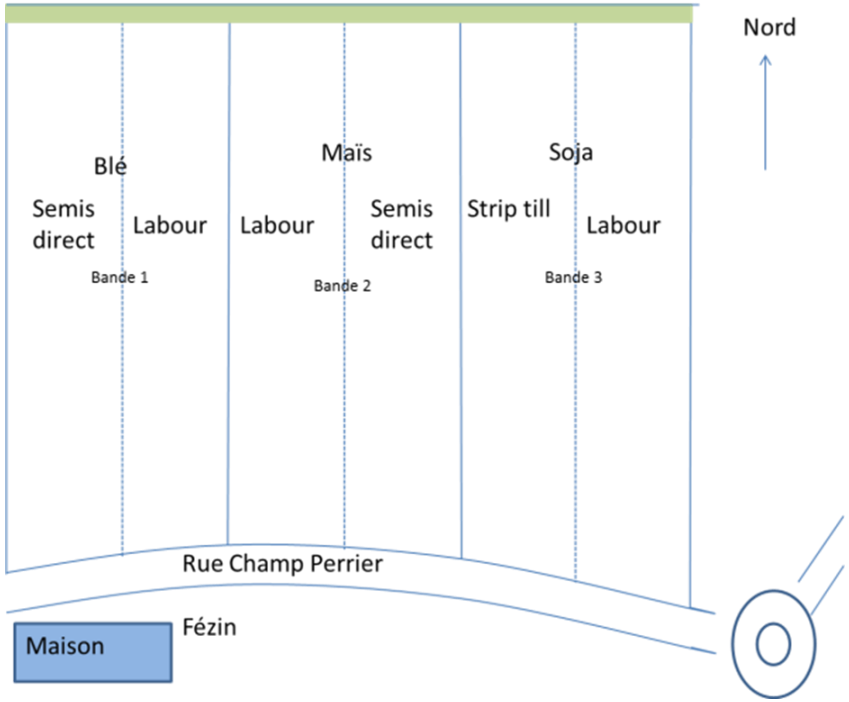
- 2019 : Conversion d'un tiers de l'exploitation en AB
  - Assolement : introduction de féverole, lentille, sorgho, orge de brasserie, triticale et luzerne
  - Rotation sur terrains pauvres et secs : **Maïs / Blé / Sorgho / Blé**
  - Rotation sur terrains riches et secs : Maïs / Blé / Maïs / Blé
  - Rotation sur terrains irrigués : **Maïs x 2 / Blé**
  - Rotation en conversion, sec ou irrigué : **Triticale / Soja / Soja ou Luzerne / Luzerne x2**
  - Rotation en AB, sec ou irrigué : **Soja x2 / Orge de brasserie / Luzerne x3**

D. Sublet : Dispositif expérimental

Sol de limon battant profond

SCV *vs* labour

Surface parcelle d'origine: 7.5 ha



Rotation projetée : maïs (irrigué) – soja (irrigué) - blé

Test bêche / infiltrométrie / profil /
densité / échantillons recueillis pour analyses physico-chimiques et biologiques

D. Sublet : Dispositif expérimental

Rotation projetée : maïs - soja - blé

Parcelle irriguée

2 rotations de 2012 à 2017 à Feyzin chez D Sublet

Année récolte	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3
2009	maïs		
2010	soja		
2011	blé		
2012	blé	maïs	soja
2013	maïs	soja	blé
2014	soja	blé	maïs
2015	blé	maïs	soja
2016	maïs	soja	blé
2017	soja	blé	maïs
2018	blé	maïs	soja

D. Sublet : Dispositif expérimental

Fertilité des sols après 3 ans en rotation (2015)

- Principales conclusions :
  - Plus de tassement en semis direct
  - Très légère augmentation de la matière organique sur les 10 premiers cm
  - Peu de vers de terre en général, pas de différence statistique entre pratiques

Photo du profil cultural en 2015 (parcelle n°5) : semis direct/strip till – On observe des zones de tassement allant de 5 à 40cm de profondeur

Photo du profil cultural en 2015 (parcelle n°4) : semis direct/strip till – On observe la structure dite ‘platy’ ou lamellaire en français

Fertilité du sol après 6 ans en rotation (2018)

- Données sur:
  - Profil cultural
  - Densité de sol
  - Teneurs en C, N, P et K

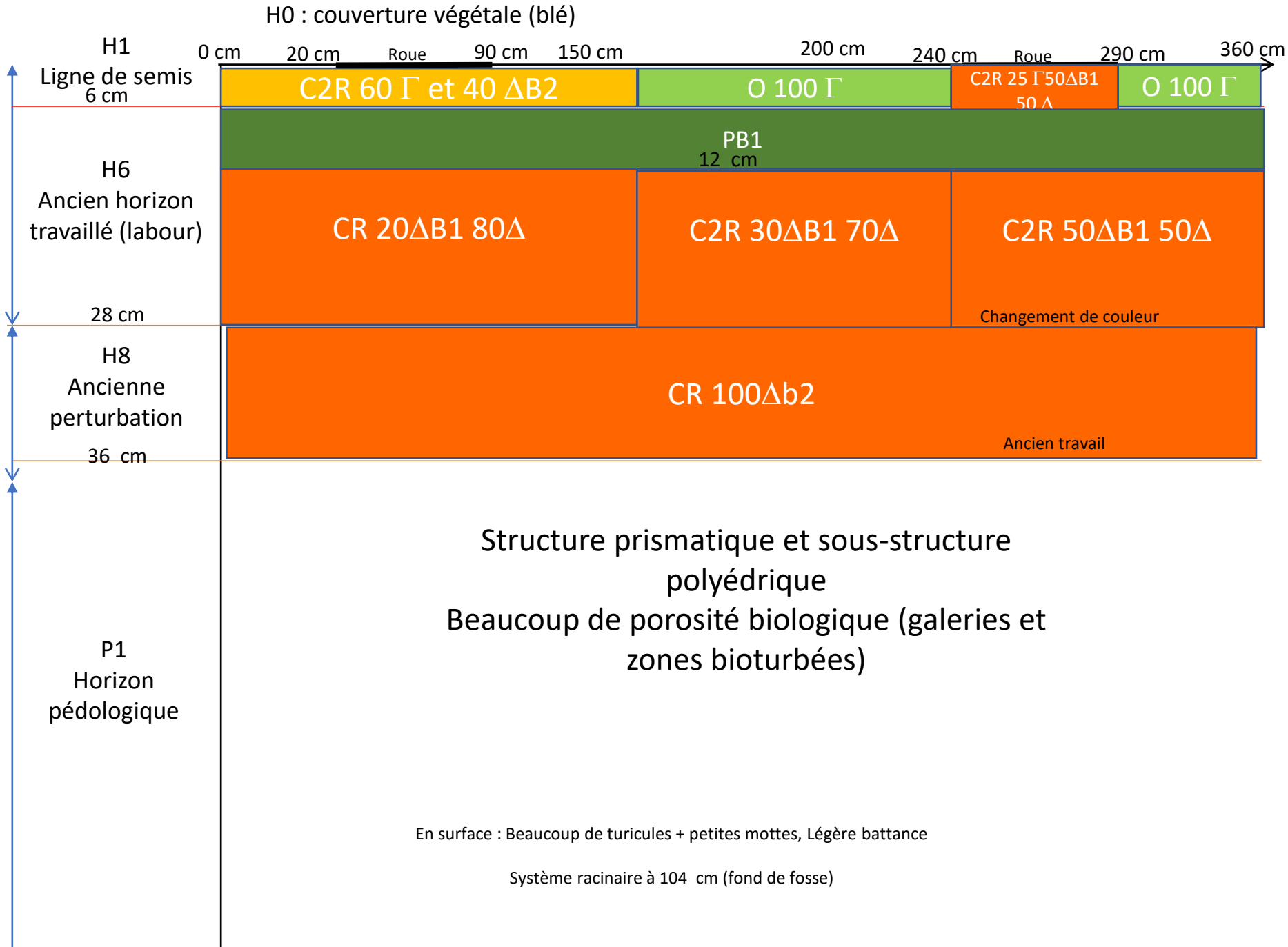
Fertilité du sol après 6 ans en rotation (2018)

- Données sur:
  - Profil cultural
  - Densité de sol
  - Teneurs en C, N, P et K

Légende du profil pour comprendre les schémas

- Les sur-structures qui correspondent à l'assemblage des mottes et de la terre fine
  - **P : veut dire 'Platy' ou lamellaire en Français. Sur-Structure en feuillet qui bloque l'infiltration de l'eau dans le sol et pour partie l'enracinement**
  - C : veut dire continu, sur-structure sans macroporosité d'assemblage visible signe d'une prise ne masse, bloque l'infiltration de l'eau et des racines.
  - O : sur-structure ouverte avec beaucoup de porosité d'assemblage, bonne infiltration de l'eau et des racines
  - B : sur-structure dite état bloc, correspond à des zones tassées entourées de terre fine/vide. Typique d'une bande de labour peu émiettée.
  - Suffixe R : s'il y a des plans de fissuration (due au cycle d'humectation/dessiccation) on ajoute un R et si beaucoup 2R
- Les états internes des mottes qui correspondent à la macroporosité explorées par les racines pour se nourrir, à la circulation de l'eau dans le sol
  - Δ : Mottes tassées sans porosités visibles à l'œil
  - Γ : Mottes poreuses avec beaucoup de porosité visible à l'œil
  - **Suffixe b1 : présence de galeries de vers de terre**
  - **Suffixe b2 : présence de zones bioturbées (modifiées par la faune du sol, par exemple des déjections de vers de terre)**
- **Afin de simplifier l'observation des profils, nous avons mis un code couleur au tassement observé :**
  - **Vert : pas de tassement, Jaune : léger tassement, Orange : tassement, Rouge : tassement sévère**

Profil de Sol chez M. SUBLET en SD Parcelle 1 –culture de blé– réalisé par JP le 13/03/2018



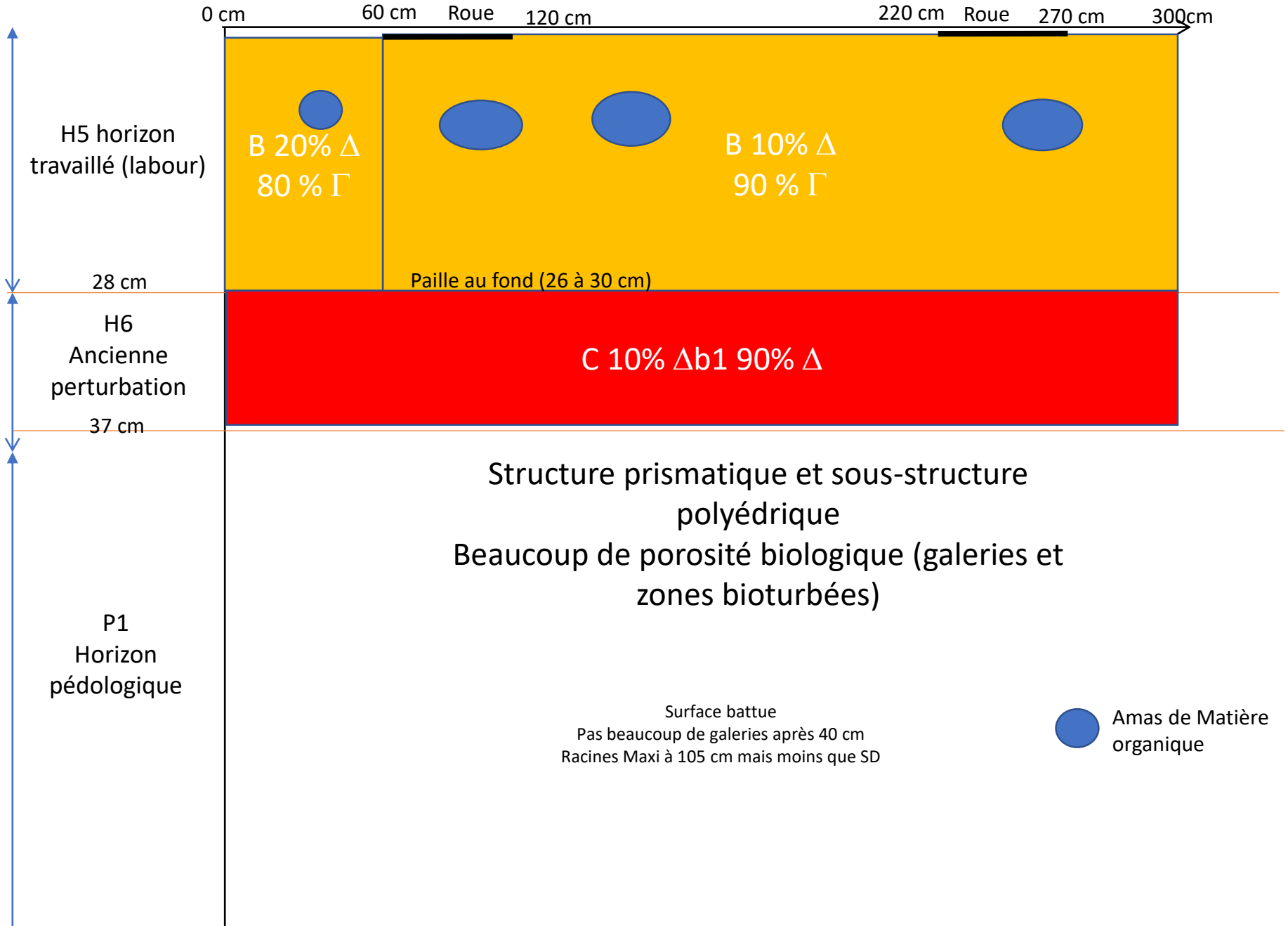
Parcelle 1 sous blé en 2018

Après 6 ans de semis direct/strip till sur la parcelle on observe :

- Une structure en feuillet sur l'horizon 6-12 cm du sol : cette structure peut créer un horizon qui ne favorise pas l'infiltration de l'eau
- Une structure relativement tassé avec des mottes de type Δ de 6 à 28 cm avec quelques fissures et galeries de vers de terre
- De 28 à 36 cm on observe de nouveau une structure tassée avec des mottes Δ mais plus de bioturbations de vers de terre que l'horizon précédent.

Profil de Sol chez M. SUBLET en Labour Parcelle 2 – –culture de blé– réalisé par JP le 13/03/2018

H0 : couverture végétale (Blé)



Parcelle 2 sous blé en 2018

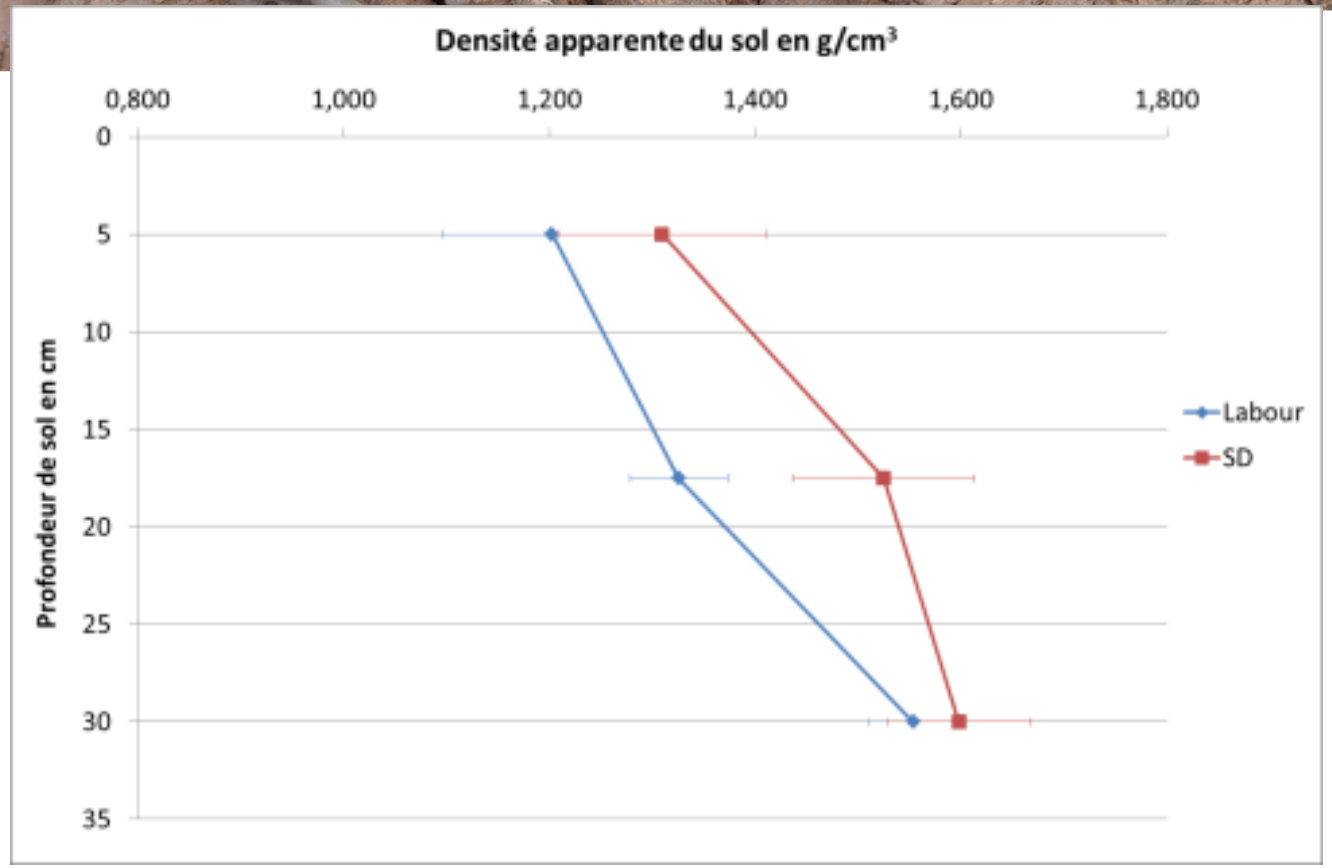
Après 6 ans de labour sur la parcelle on observe :

- Une structure homogène de type bande de labour avec une majorité de mottes de types Γet quelques mottes Δ. Cette structure est typique d'une bande labourée.
- De 28 à 37 cm on observe une sévère semelle de labour avec des mottes Δ et seulement quelques mottes traversées par des galeries de vers de terre.
- **Le système racinaire se développe moins bien en profondeur qu'en SD**

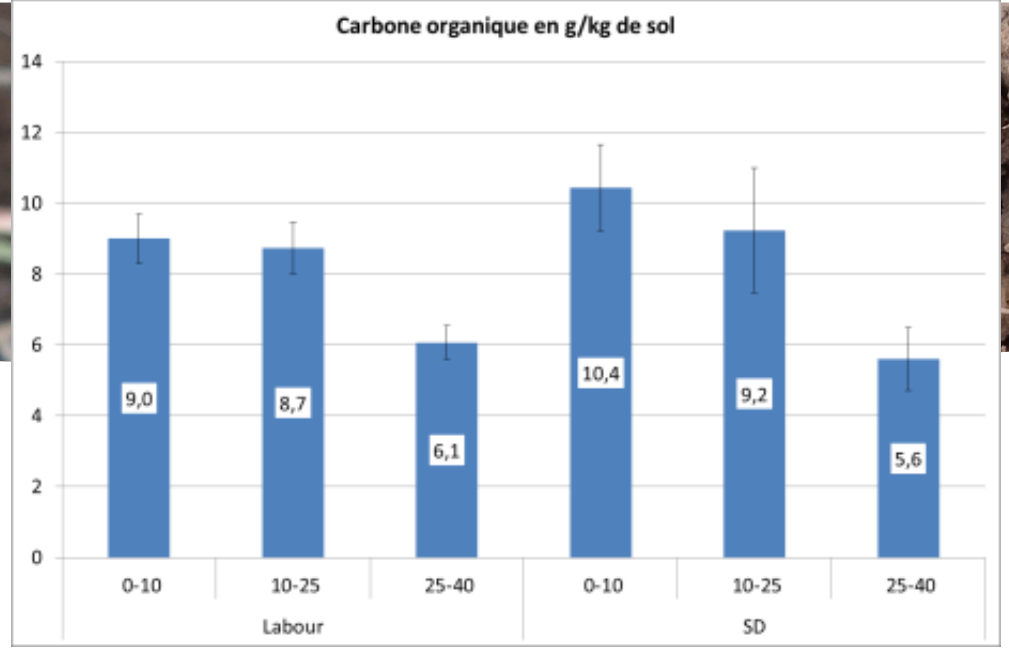
Evolution des profils culturaux

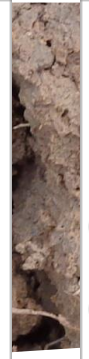
- Les profils culturaux sous semis direct/strip till sont plus tassés que ceux en labour.
- Toutefois, on observe des semelles de labour dans les parcelles labourées, le tassement est aussi important dans ses parcelles.
- Cette observation est proche de celle de 2015, avec peut-être moins de tassement sévère en SD et plus d’activité biologique et inversement, le renforcement d’une semelle de labour très tassée en labour.

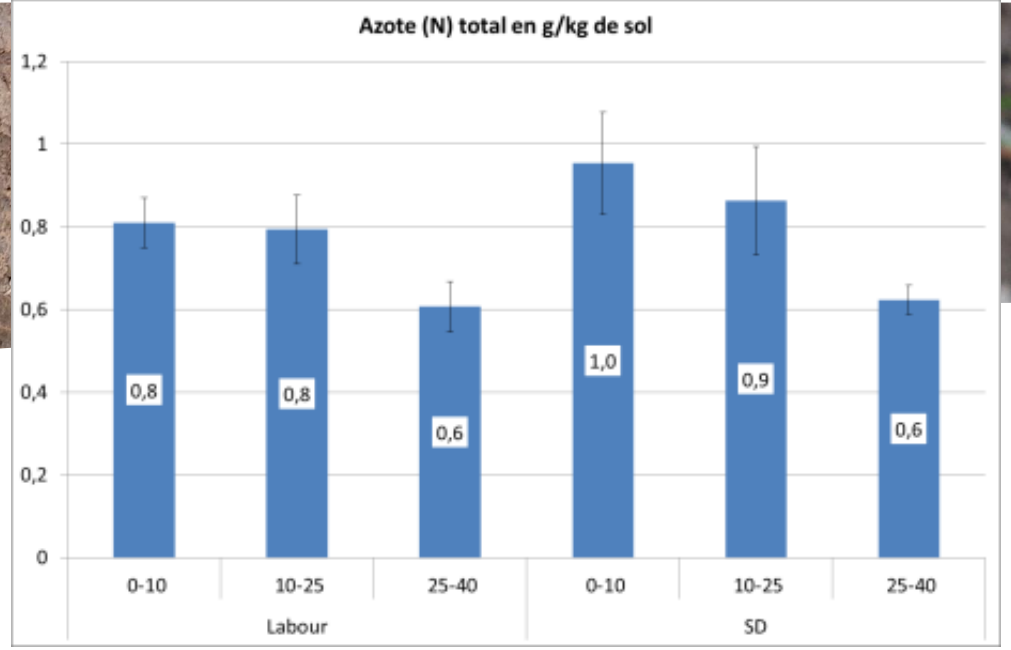
Densité apparente



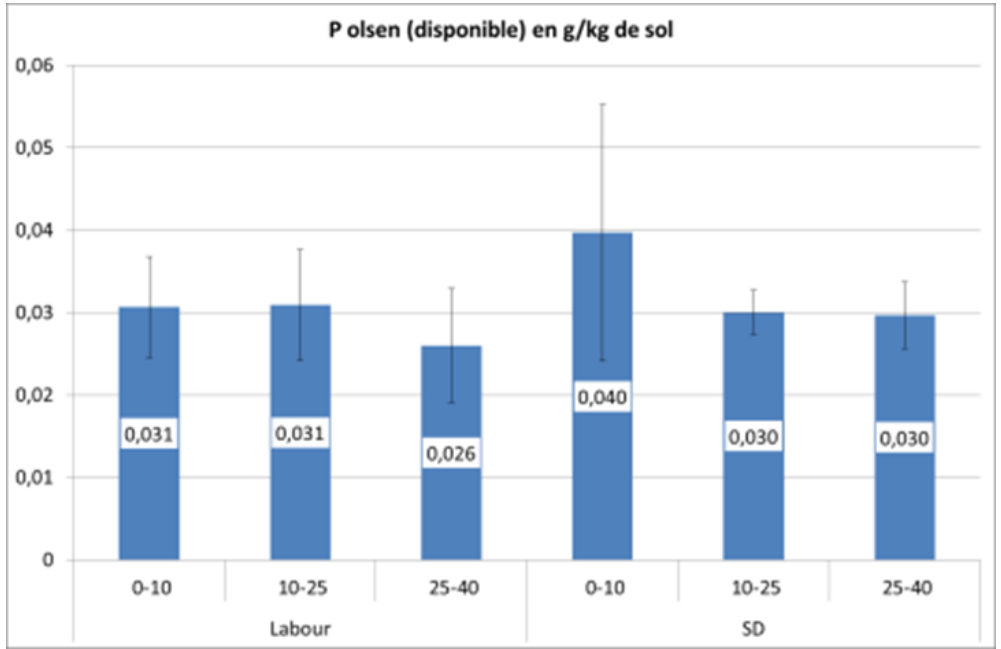
Conclusion sur les densités apparentes: Hors roue, la densité apparente est plus faible pour les parcelles labourées que pour les parcelles en semis direct/strip till (différence statistique avec p.value < 0.05) sur l'horizon 15-20 cm. **Cela confirme l'observation réalisée dans le profil cultural.**

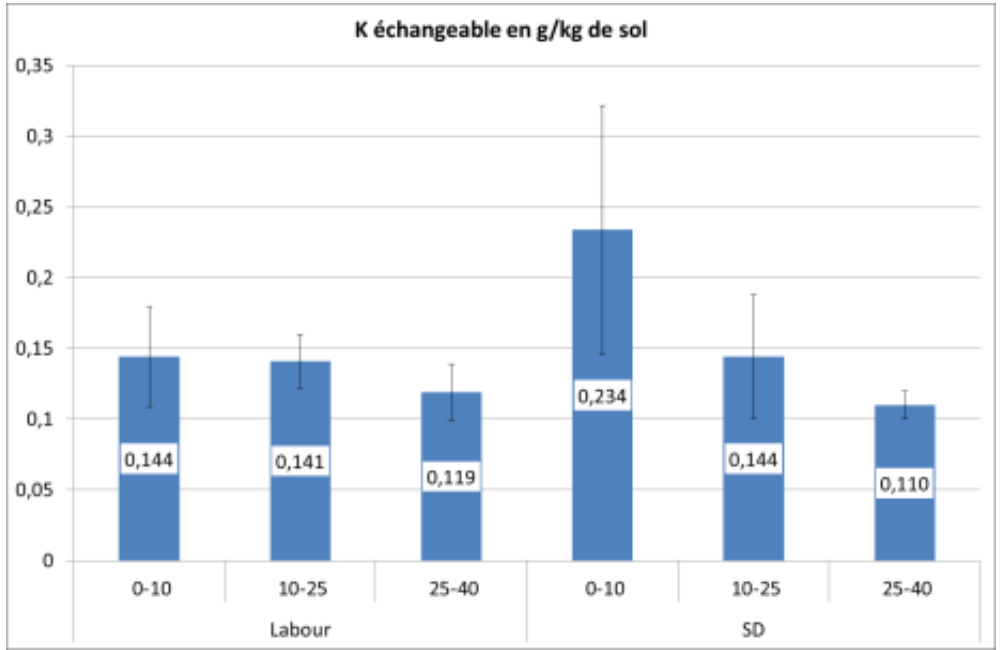






Très légère augmentation de la matière organique et des autres éléments minéraux sur les 10 premiers cm en semis direct.





Carthographie du sol

Démarche globale

- Objectif : apporter les intrants **nécessaires** à la parcelle et **moduler** ces intrants aux caractéristiques des micro parcelles

- Deux **démarches indépendantes** mais complémentaires : connaitre au mieux son exploitation, ses parcelles, les micro parcelles qui les composent
  - Un diagnostic basé sur la **fertilité chimique des sols**
  - Un diagnostic basé sur le **potentiel du sol**

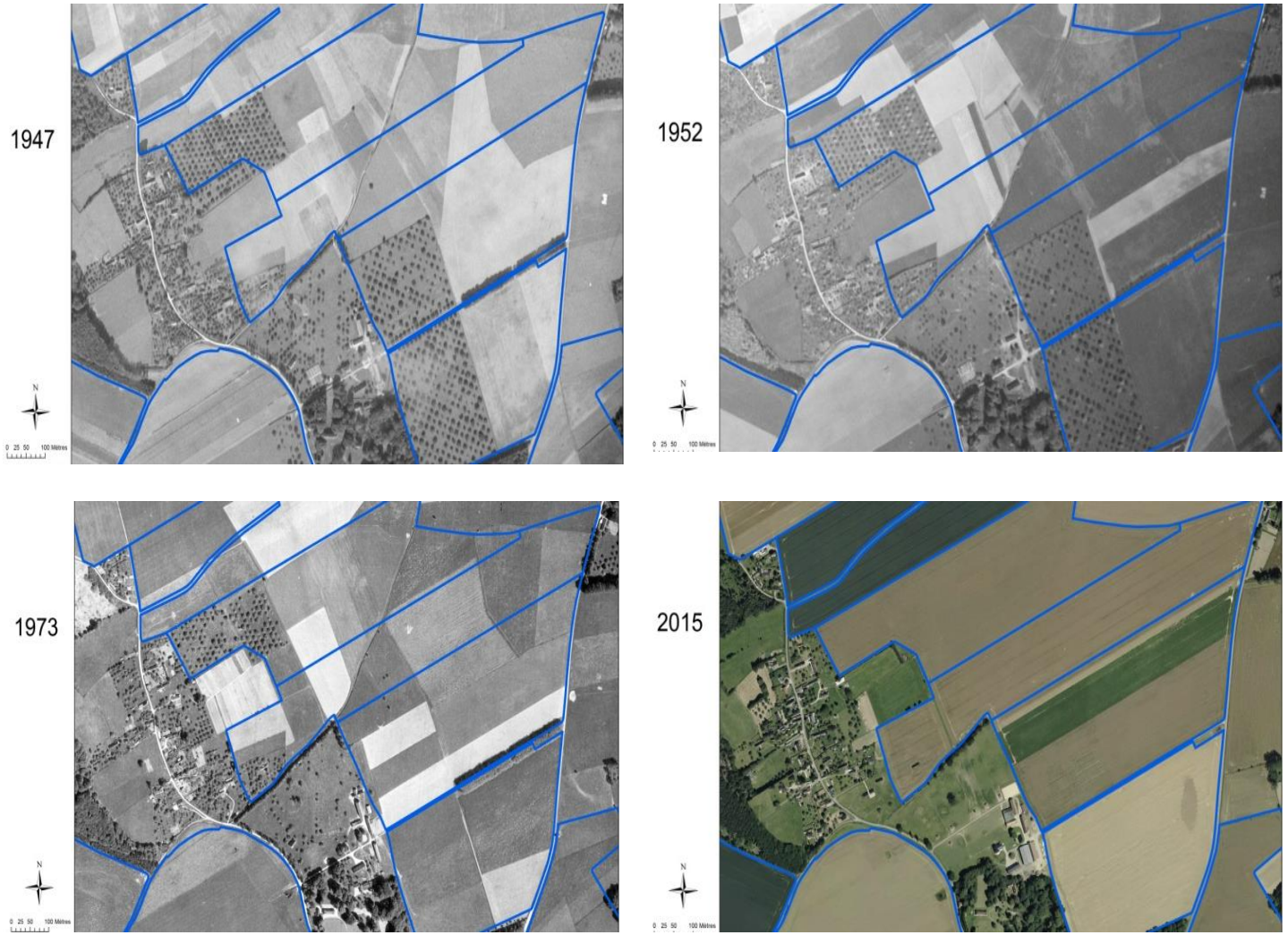
1/Fertilité des sols

1/ Etude historique des parcelles

2/ Prélèvement et analyse de terre

Détourage | Historique | Carte de prélèvements | Carte de fertilité

1/Fertilité des sols – Etude historique



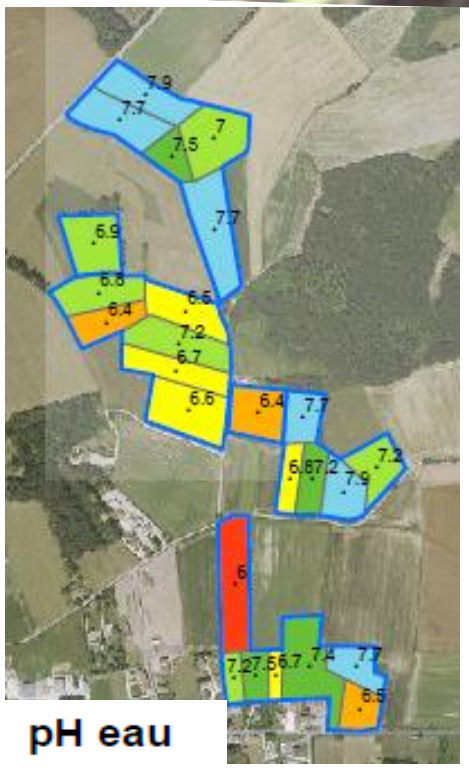
Rendez-vous pour le placement des prélèvements en fonction :

- Historique
- Hétérogénéité
- Connaissance de l'agriculteur

1/Fertilité des sols – Analyses de sol

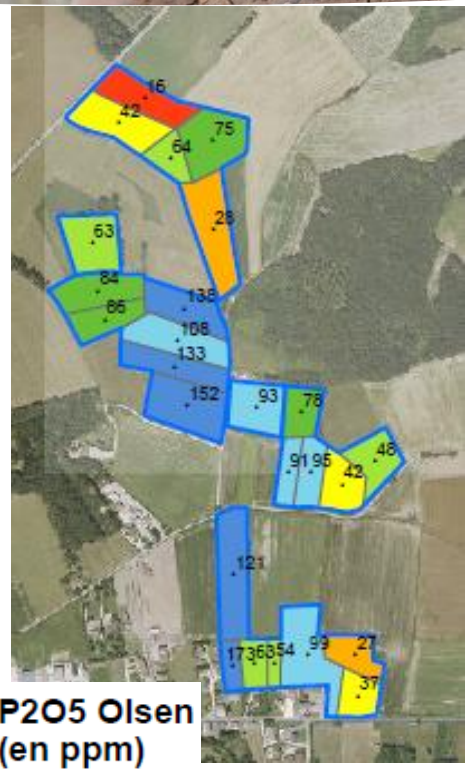
1 point de prélèvement = 18 carottages
Méthode du cercle

1/Fertilité des sols – Exemple de diagnostics



pH eau

- < 6.0
- 6.0 - 6.5
- 6.5 - 6.8
- 6.8 - 7.2
- 7.2 - 7.6
- 7.6 - 8.0
- > 8.0

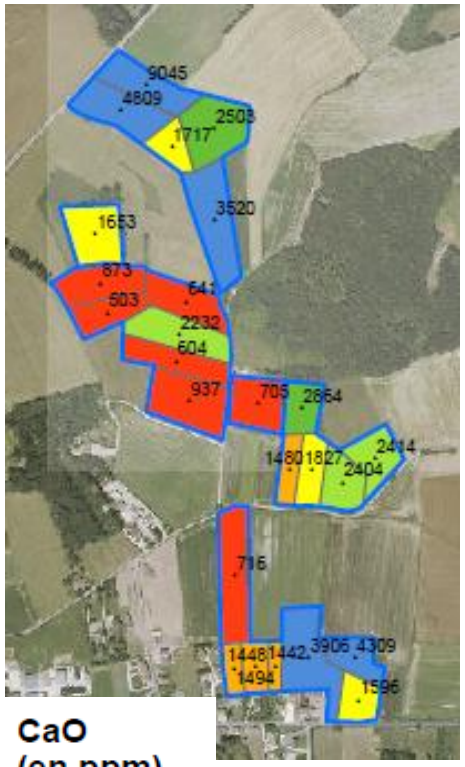


P2O5 Olsen (en ppm)

- < 20
- 20 - 30
- 30 - 45
- 45 - 65
- 65 - 90
- 90 - 110
- > 110

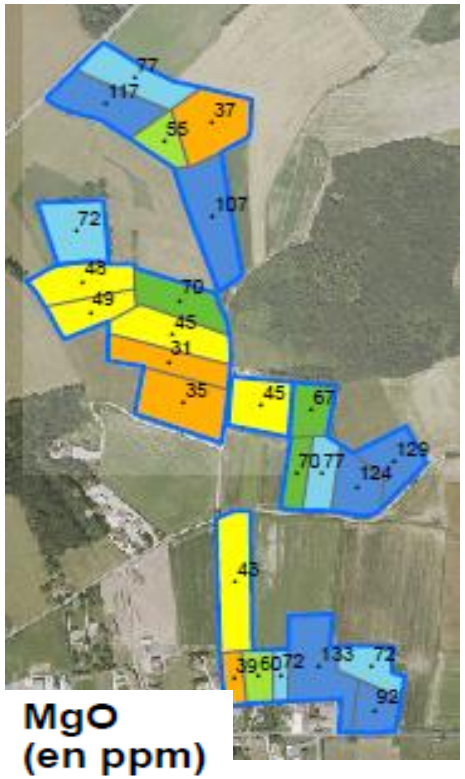
K2O (en ppm)

- < 90
- 90 - 110
- 110 - 130
- 130 - 160
- 160 - 190
- 190 - 240
- > 240



CaO (en ppm)

- < 1 000
- 1 000 - 1 500
- 1 500 - 2 000
- 2 000 - 2 500
- 2 500 - 3 000
- 3 000 - 3 500
- > 3 500

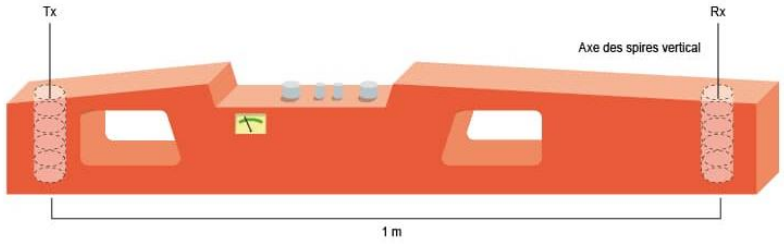


MgO (en ppm)

- < 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- > 80

2/Potentiel du sol

1/ Mesure de la **conductivité**
- largeur passage de conductivimètre : 12m

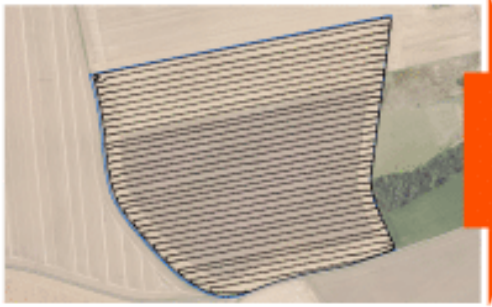


Diagnostic valable à vie

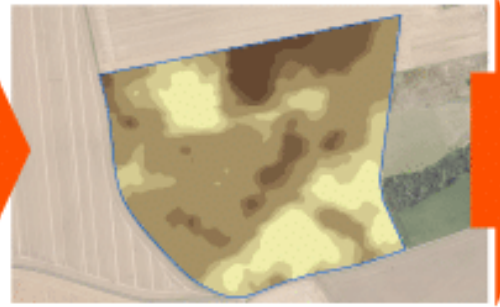
2/ Réalisation de **fosses pédologiques** par un pédologue (1 pour 7-10 ha)

2/Potentiel du sol - Principes

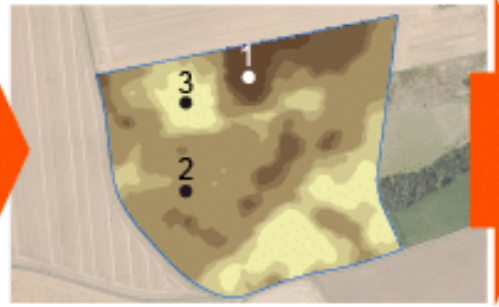
1. Mesure de la conductivité



2. Carte de conductivité

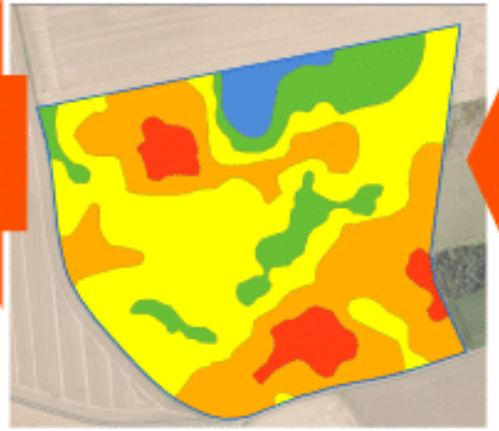


3. Localisation des profils



4. Description des profils

5. Carte de potentiel

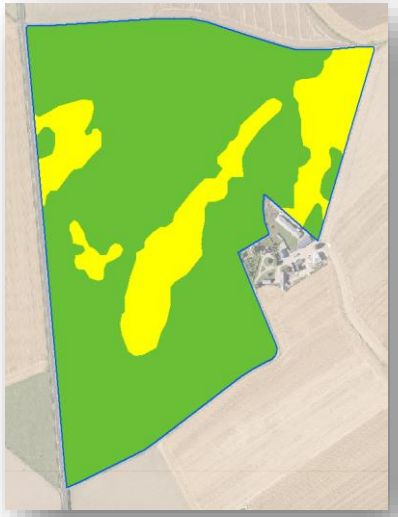


6. Objectifs de rendements et des conseils associés

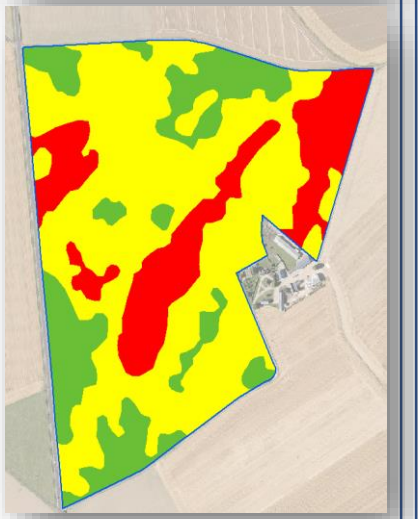
POTENTIEL	SURFACE (%)	OBJECTIFS DE RENDEMENT BLÉ TENDRE (q)	OBJECTIFS DE RENDEMENT COLZA (q)
Très faible	8	69	30
Faible	32	79	33
Normal	42	87	36
Élevé	13	96	38
Très élevé	5	99	40
Parcelle	100	85	35

2/Potentiel du sol – Modulation d'instrants

Azote

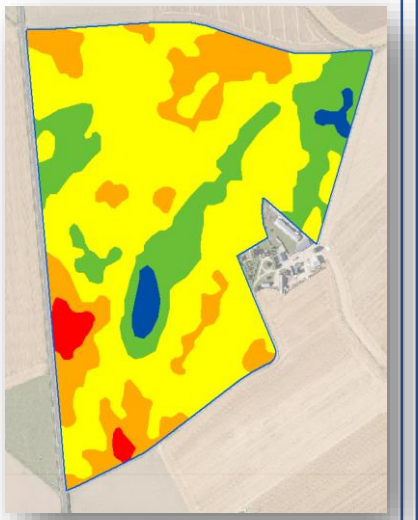


180 U/ha
210 U/ha

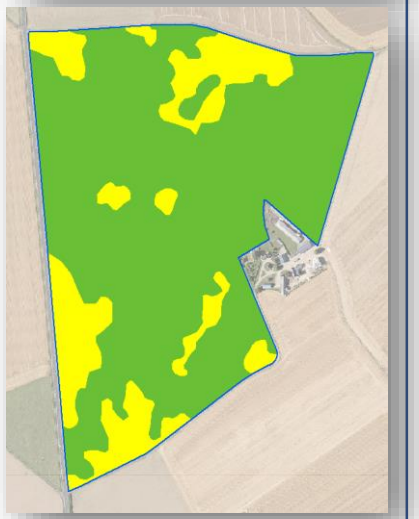


160 U/ha
190 U/ha
230 U/ha

Soufre

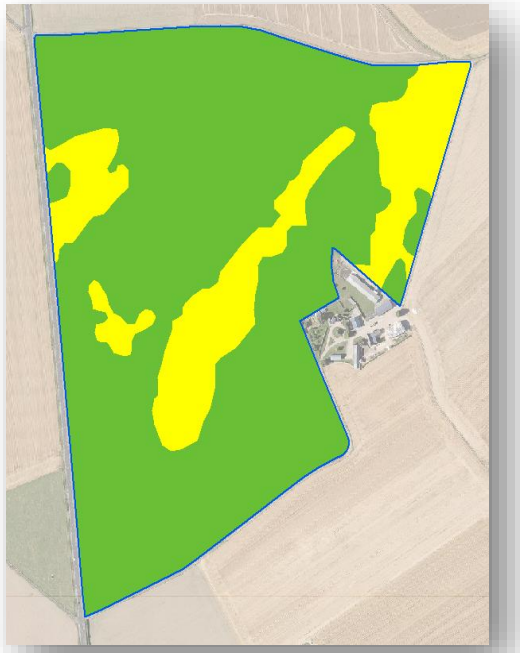


0 U/ha
10 U/ha
20 U/ha
30 U/ha
40 U/ha



25 U/ha
50 U/ha

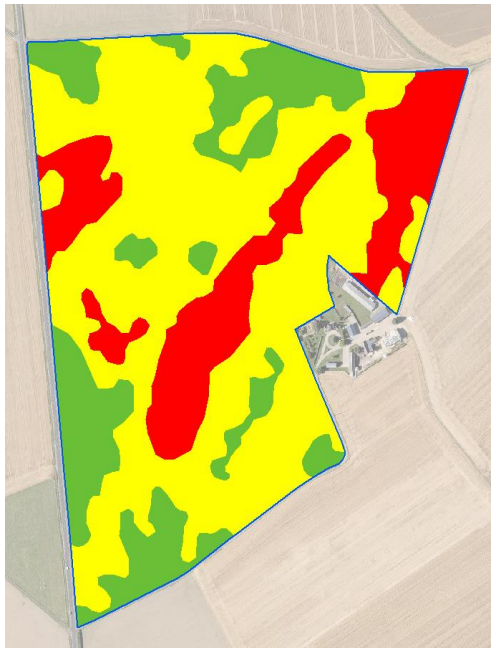
Fongicides



-20%
conseil TP

2/Potentiel du sol – Modulation d'instrants

Régulateurs

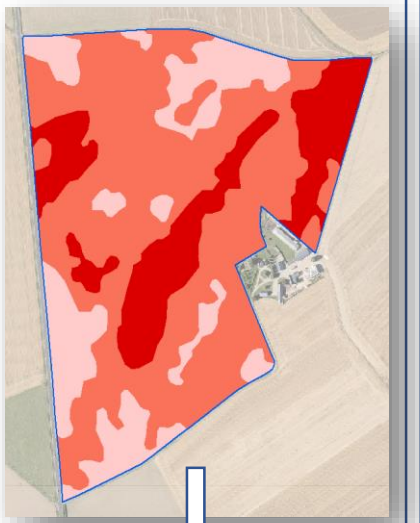


- Sans régulateur
- -20 %
- dose N

Densité de semis

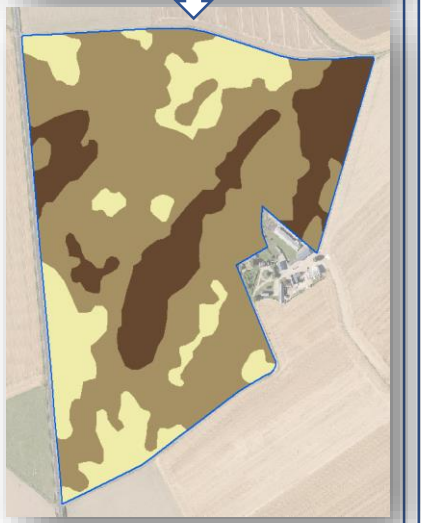
Taux de cailloux

- 0 %
- 10 %
- 30 %



Densité de semis

- densité TP
- +10 %
- +20 %



Irrigation

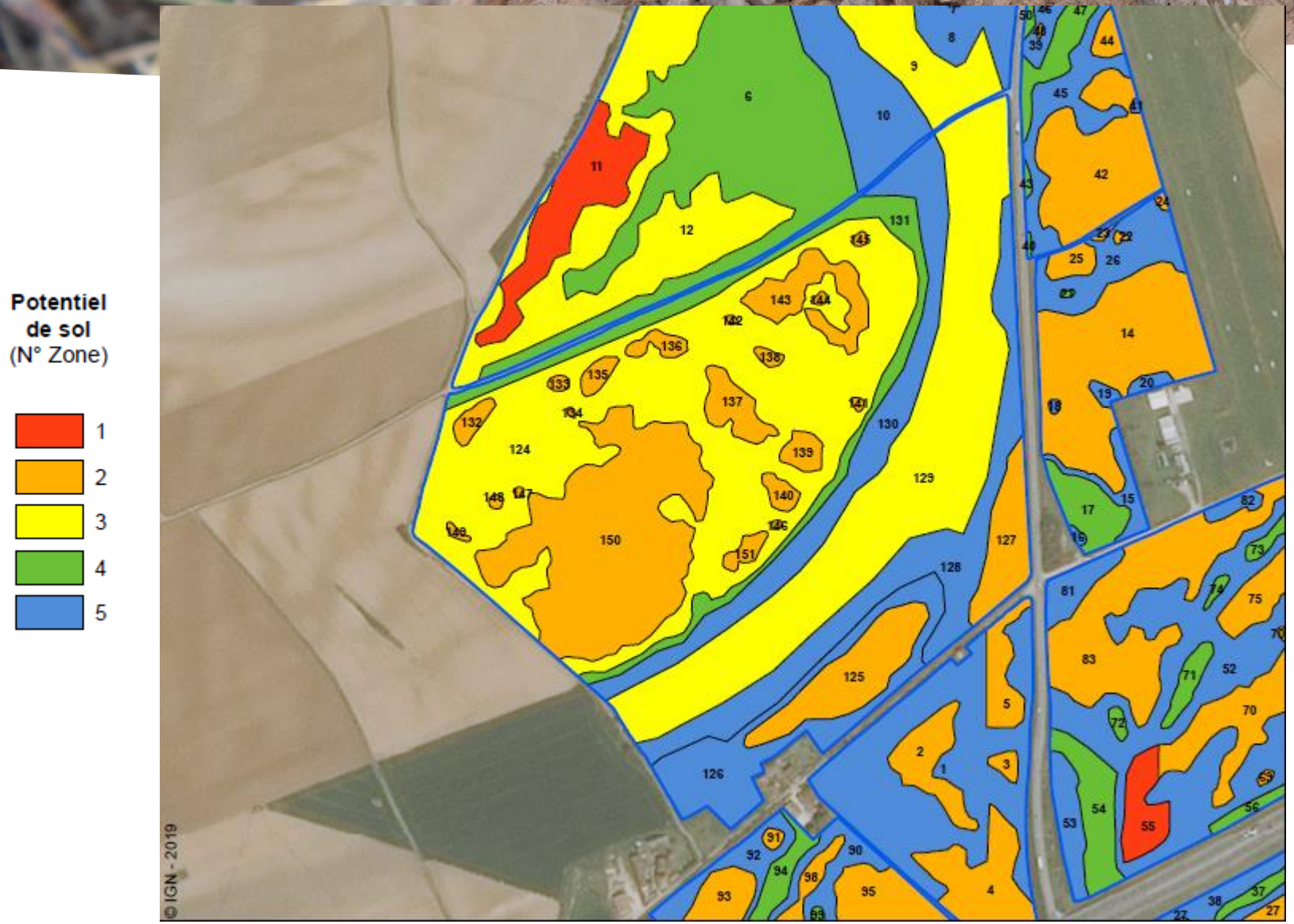
Réserve utile

- <50 mm
- 50-110 mm
- 110-170 mm
- 170-260 mm
- >260 mm

Irrigation

- 30 mm
- 15 mm
- 0 mm

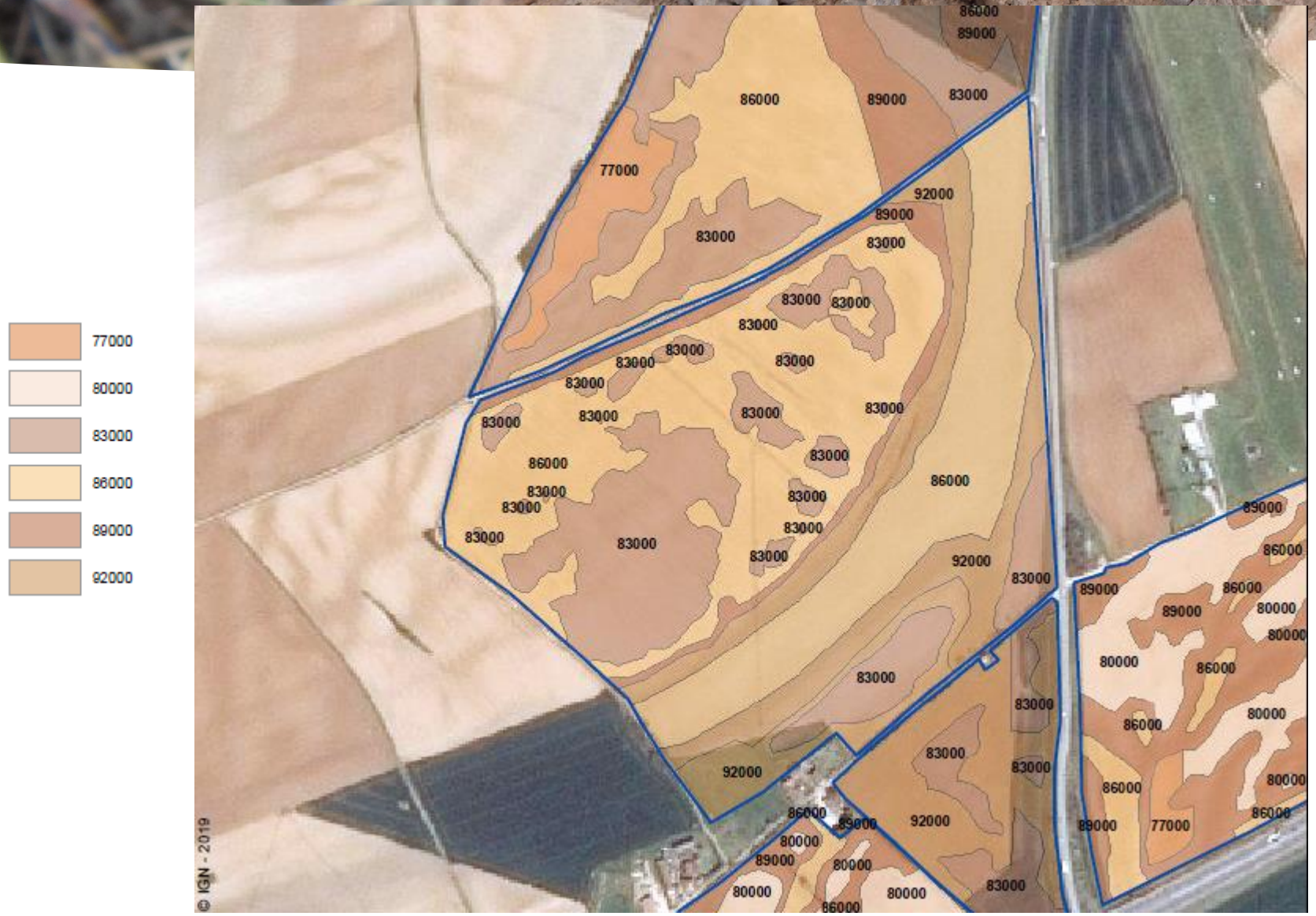
2/Potentiel du sol – Exemple de diagnostics



Classe de potentiel de 1 à 5

Adaptation des doses d'intrant en fonction de ces classes

2/Potentiel du sol – Modulation semis



Modulation de densité de semis en maïs

Préconisation allant de 77 000 à 92 000 gr/ha

Merci de votre attention

Avec le soutien financier de :