

**SILIBOOST – SOUFREL –
Principes agronomiques
fonctionnement des sols**

Effet de SILIBOOST sur la structure du sol



Aération du sol

Apport d'Oxygène pour les vers qui font leur travail d'aération du sol

- Terrain plus meuble,
- Terrain plus facile à travailler
- Meilleure circulation de l'eau
- Meilleure pénétration des racines



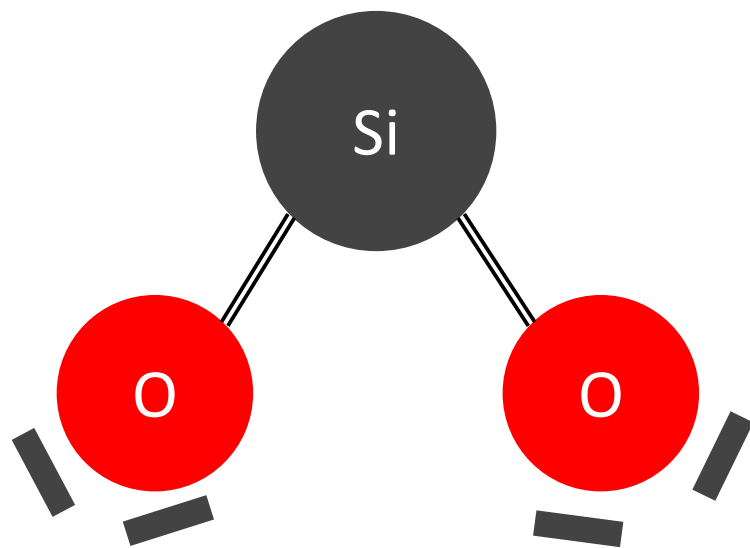
Un sol mieux drainé a

- une activité microbienne plus importante, et
- un métabolisme anaérobie plus réduit
- un taux de dénitrification moins élevé (perte en N) qu'un sol mal drainé

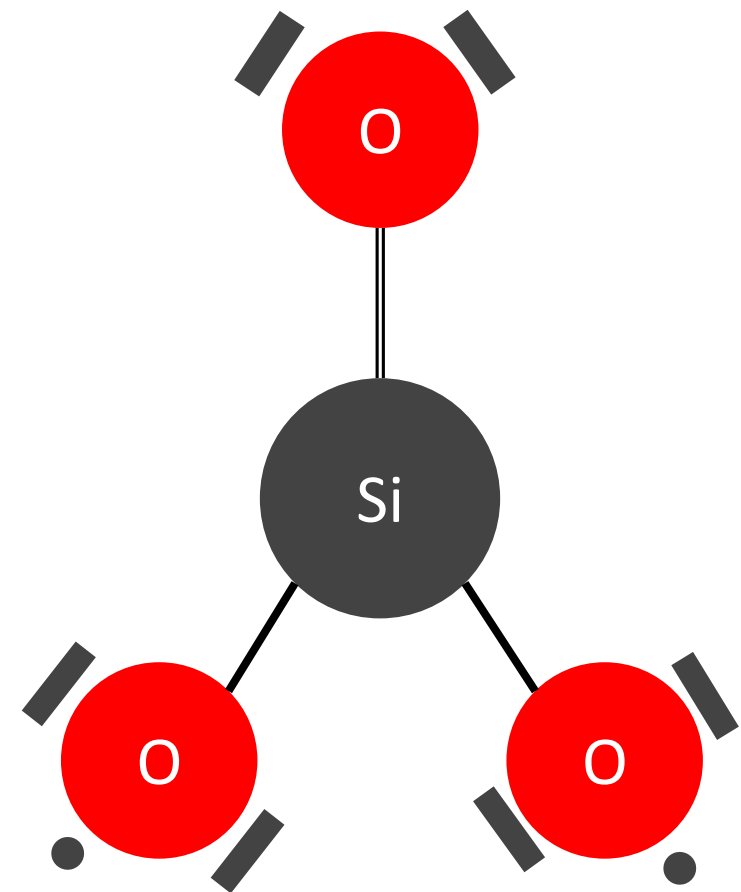
Entretien d'une structure de sol propice à un bon rendement,
drainage naturel du sol et limitation du risque d'asphyxie et
d'anaérobiose



SiO₂ vs SiO₃²⁻

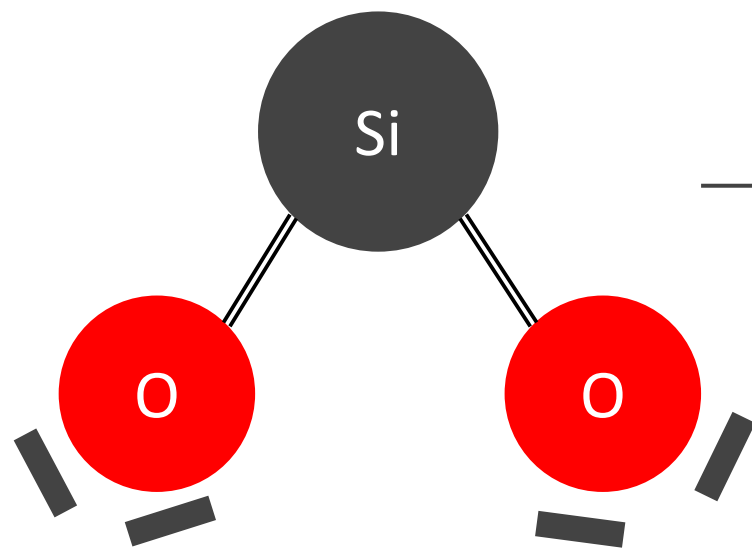


Forme amorphe
SiO₂

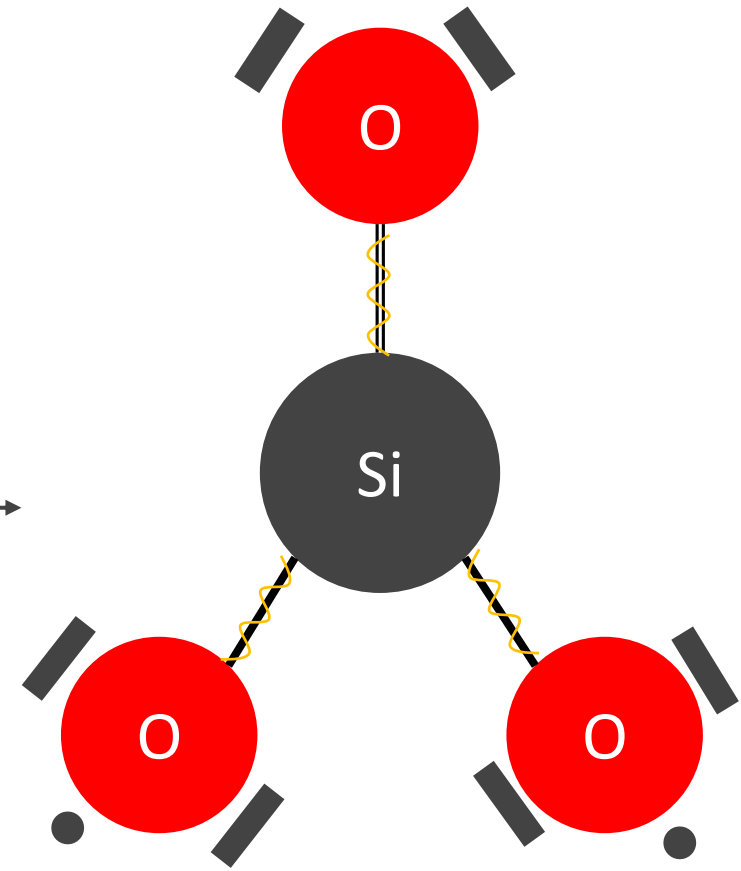
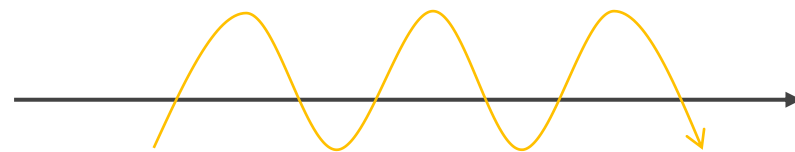


Forme chargée
SiO₃²⁻

Activation

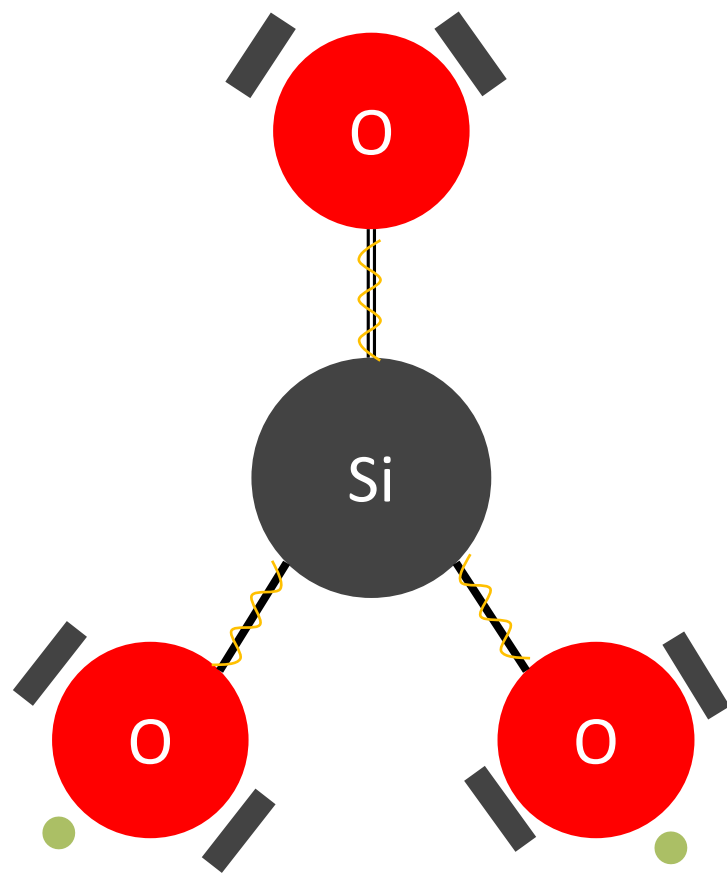


Poudre de Quartz
 SiO_2



Forme chargée
 SiO_3^{2-}

Création d'un déséquilibre !



Molécule chargée
Déséquilibre qui doit être comblé par échanges
d'ions et réactions chimiques

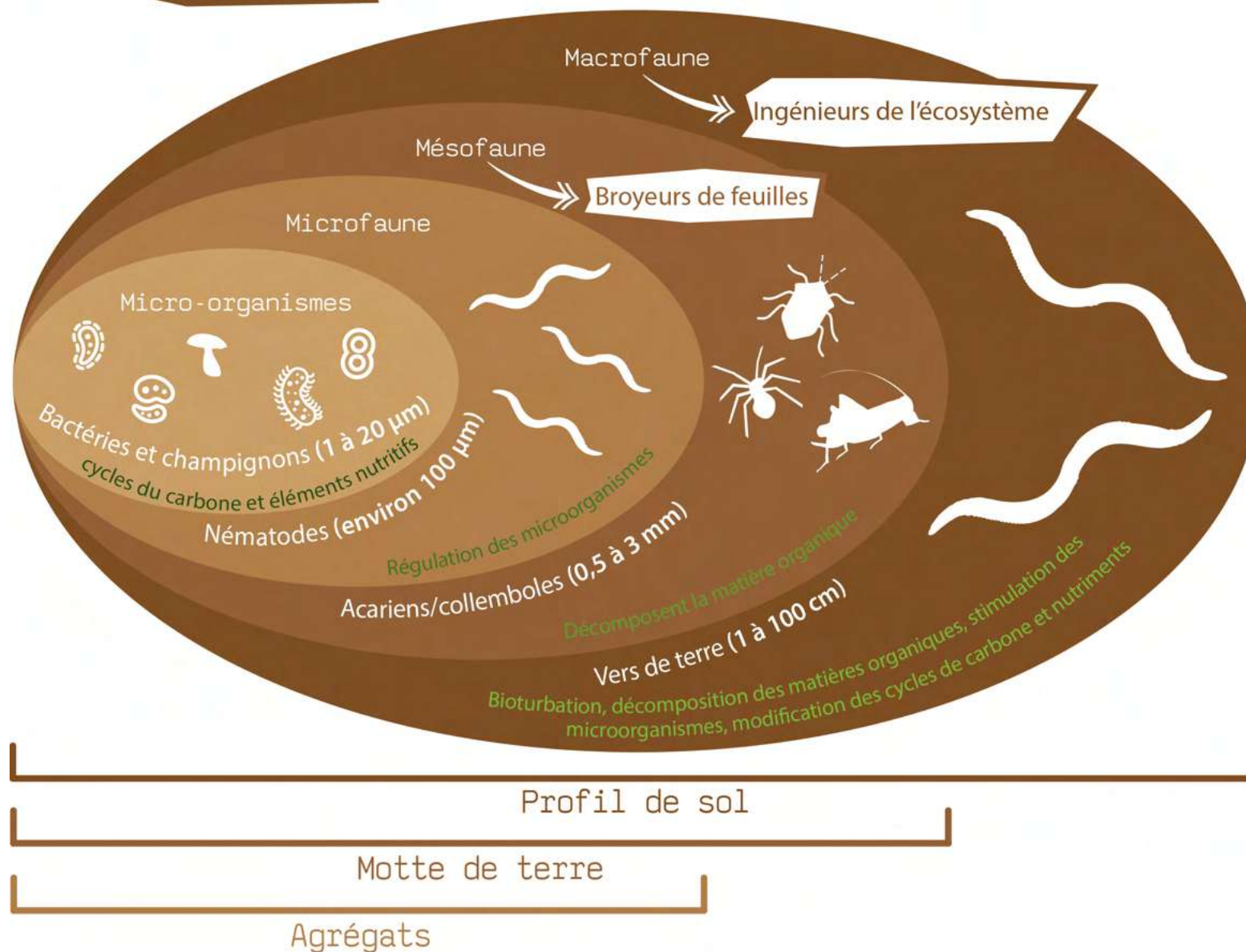
Forme chargée
 SiO_3^{2-}



Favoriser l'action des Organismes du sol par SILIBOOST

Faune du sol

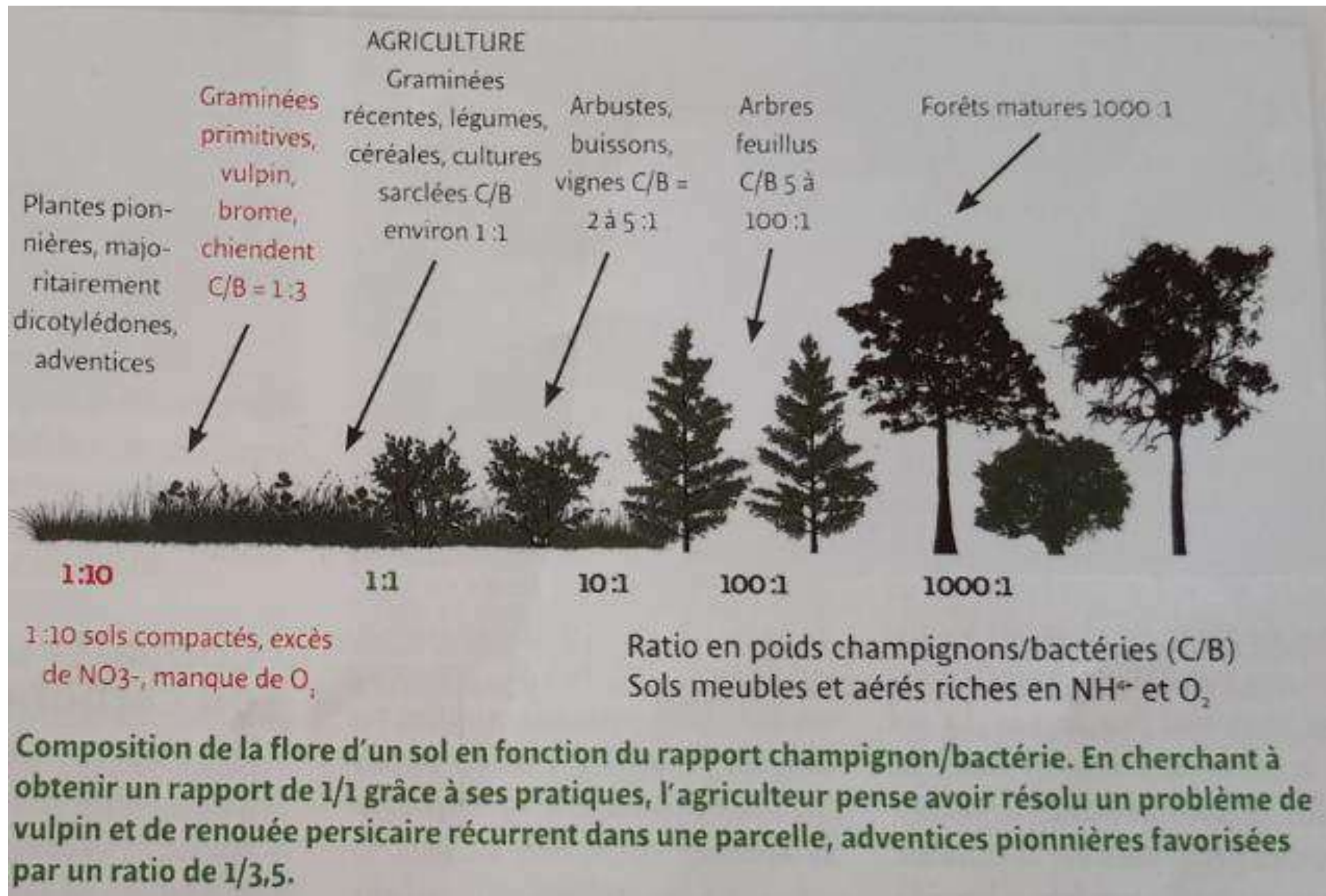
La Faune du sol et ses Fonctions



Caractéristiques comparées des champignons et bactéries

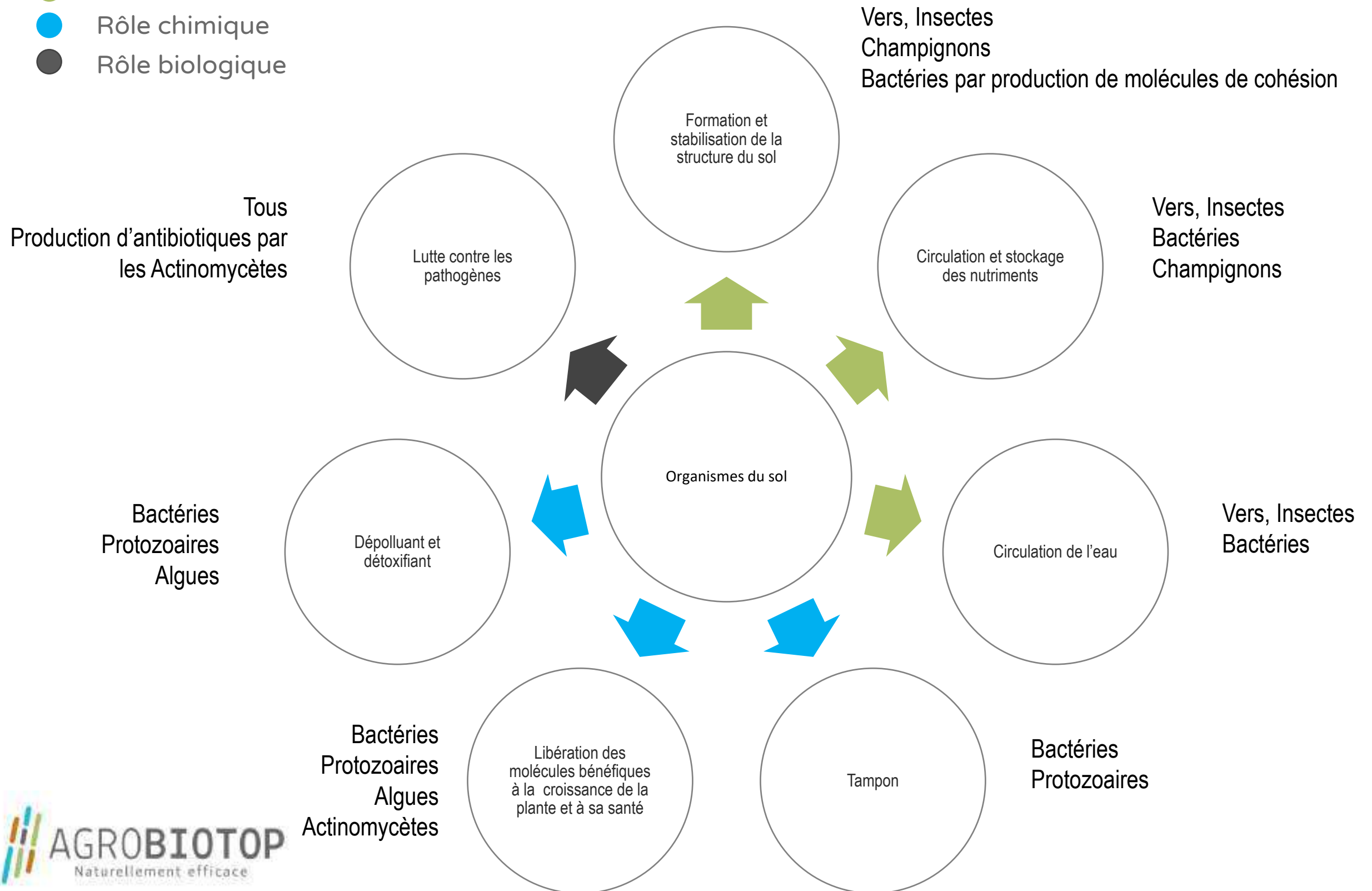
	Champignons	Bactéries
Respiration - métabolisme	Aérobie stricte	Aérobie facultatif ou anaérobie stricte
Impact du travail du sol	Sensible	Stimulation
Non-labour	Très favorable	Indifférent
Utilisation lignine	Oui	Non
Utilisation cellulose	Oui	Oui
MO préférée C/N	C/N > 30 jusqu'à 500	C/N 6 à 25
Efficacité du recyclage du carbone C originel	40-55% Impossible en anaérobiose	5-15% en aérobiose 2-3% en anaérobiose
Effet excès P,N	Inhibition	Stimulation
Effet de la compaction	Inhibition	Modification métabolisme
Effet d'un sol en hydromorphie	Inhibition	Modification métabolisme
Effet Fongicides	Sensibles	Indifférentes
Rapport C/N des tissus	10-25	5-7
Besoins en azote	Min 0,2%	Min 2%
pH préféré	5 à 6,8	5 à 8
Transport minéraux et eau	Jusqu'à 15/20cm	0
Amélioration de la structure	+++	+/-

Microbiologie du Sol



Rôles des organismes du Sol

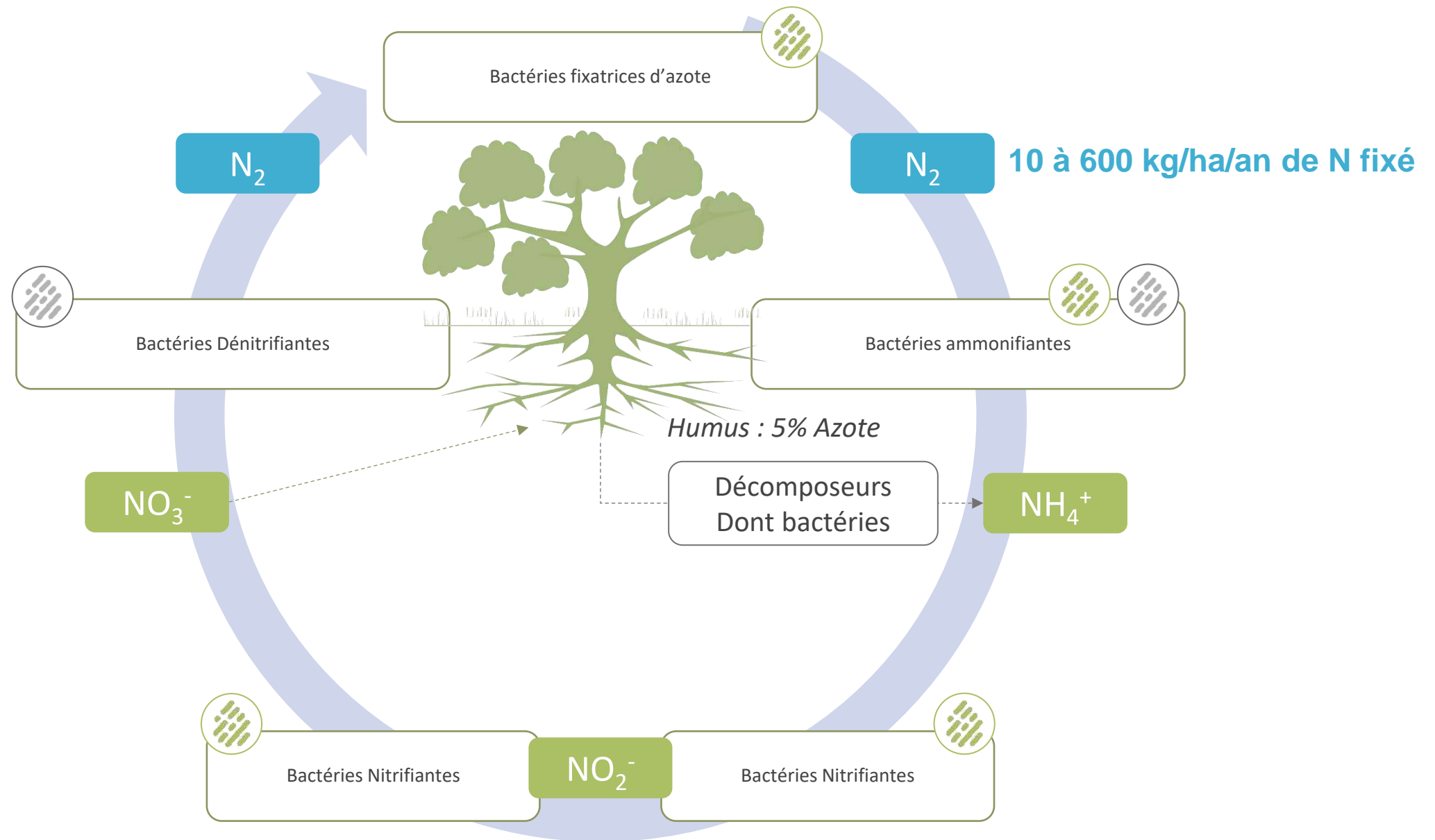
- Rôle physique
- Rôle chimique
- Rôle biologique



Orge après Xynthia : désalinisation



Place dans le cycle de l'Azote



Blé sans SILIBOOST



Blé avec SILIBOOST

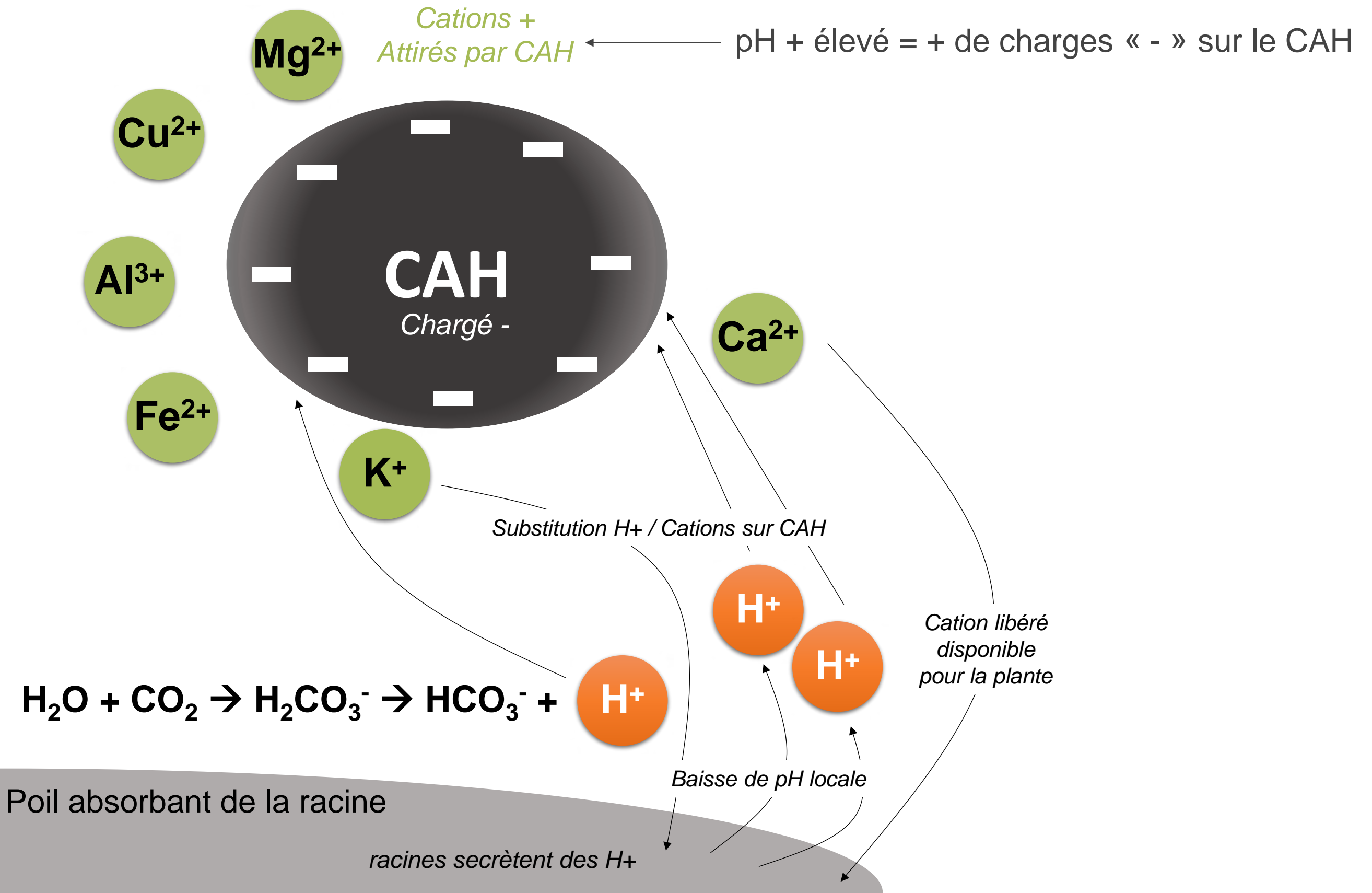
- Enrobage au semis : 250 g/ha





Effets sur les Echanges du SILIBOOST

L'échange de cations



Effets sur l'absorption

SILIBOOST

*Amélioration de la CEC
Régulateur des flux de minéraux
Stimulation de la vie biologique du sol*

Augmentation de la disponibilité des minéraux du sol
surtout K et P par échange au niveau du CAH

Régulation des quantités de minéraux

Réduit l'absorption en cas d'excès de P

Régule l'absorption de Mg et réduit ses effets toxiques

Idem pour Ca et K



Les éléments nutritifs du sol sont plus disponibles pour la plante, lui assurant une meilleure nutrition minérale

Action sur le pH du sol

SILIBOOST

Permet un pH optimal

Zone de pH optimale pour une vie microbienne bénéfique et pour inhiber le développement des espèces pathogènes

Zone de pH optimale pour le développement des cultures

Optimisation des échanges de nutriments sol-plante, dépendants du pH

Régulation du pH du sol

Amélioration des rendements et de la qualité des organismes du sol

Réduction du besoin de chaulage

Effet sur le potentiel Rédox

SILIBOOST

Apporte de l'Oxygène

Favorise un milieu oxydant : conditions optimales de vie du sol

Favorable aux échanges sol/plante dépendants de la forme des ions présents et donc de leur statut oxydé/réduit

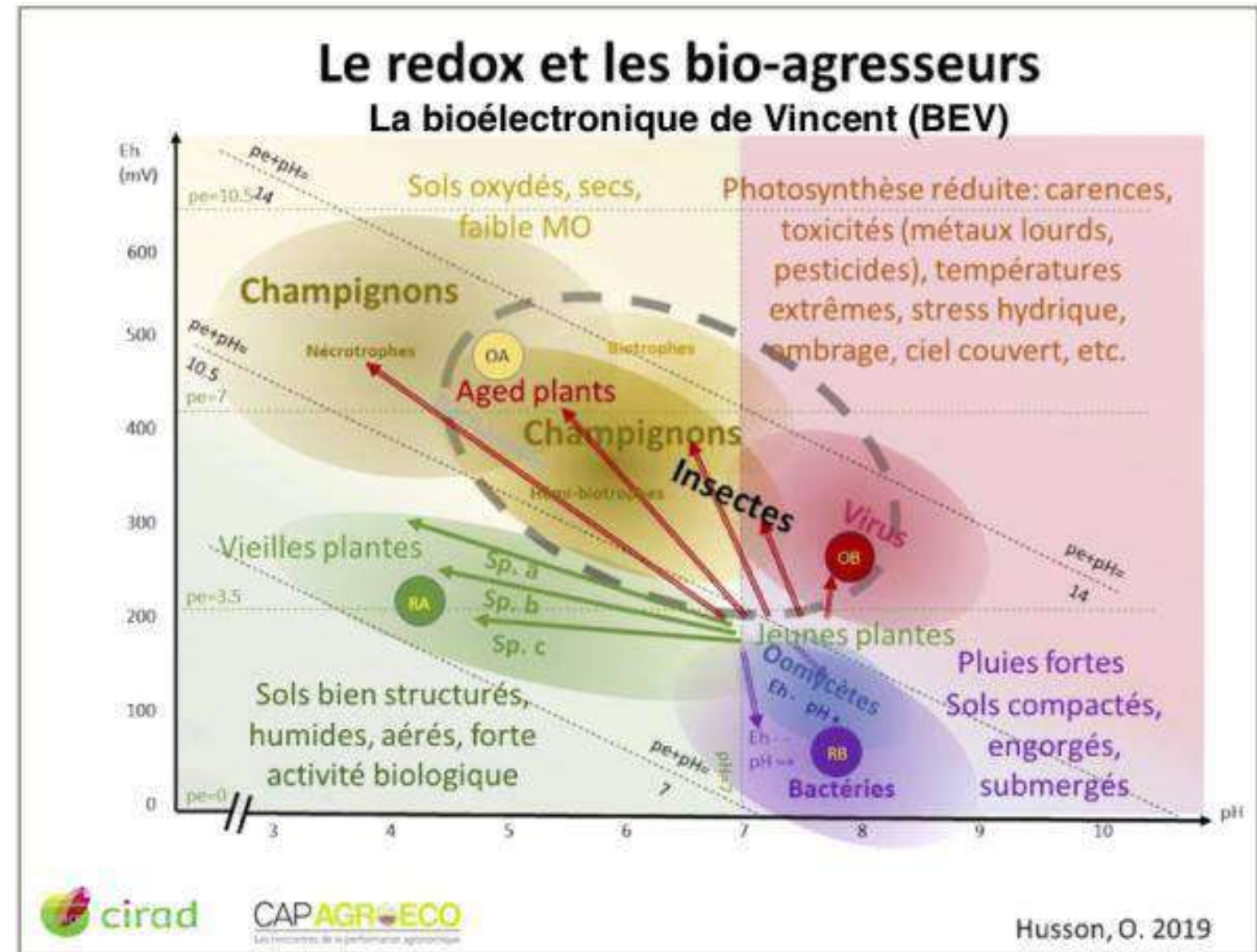
Maintien d'un potentiel Rédox favorable à la nutrition minérale de la plante

Oxydation du Manganèse et lien avec les pathogènes et maladies

Assimilation du Mn par les plantes sous forme Mn^{2+} (réduit) et non Mn^{4+}

Souches de pathogènes (comme *Gaeumannomyces graminis*, responsable du piétin échaudage)

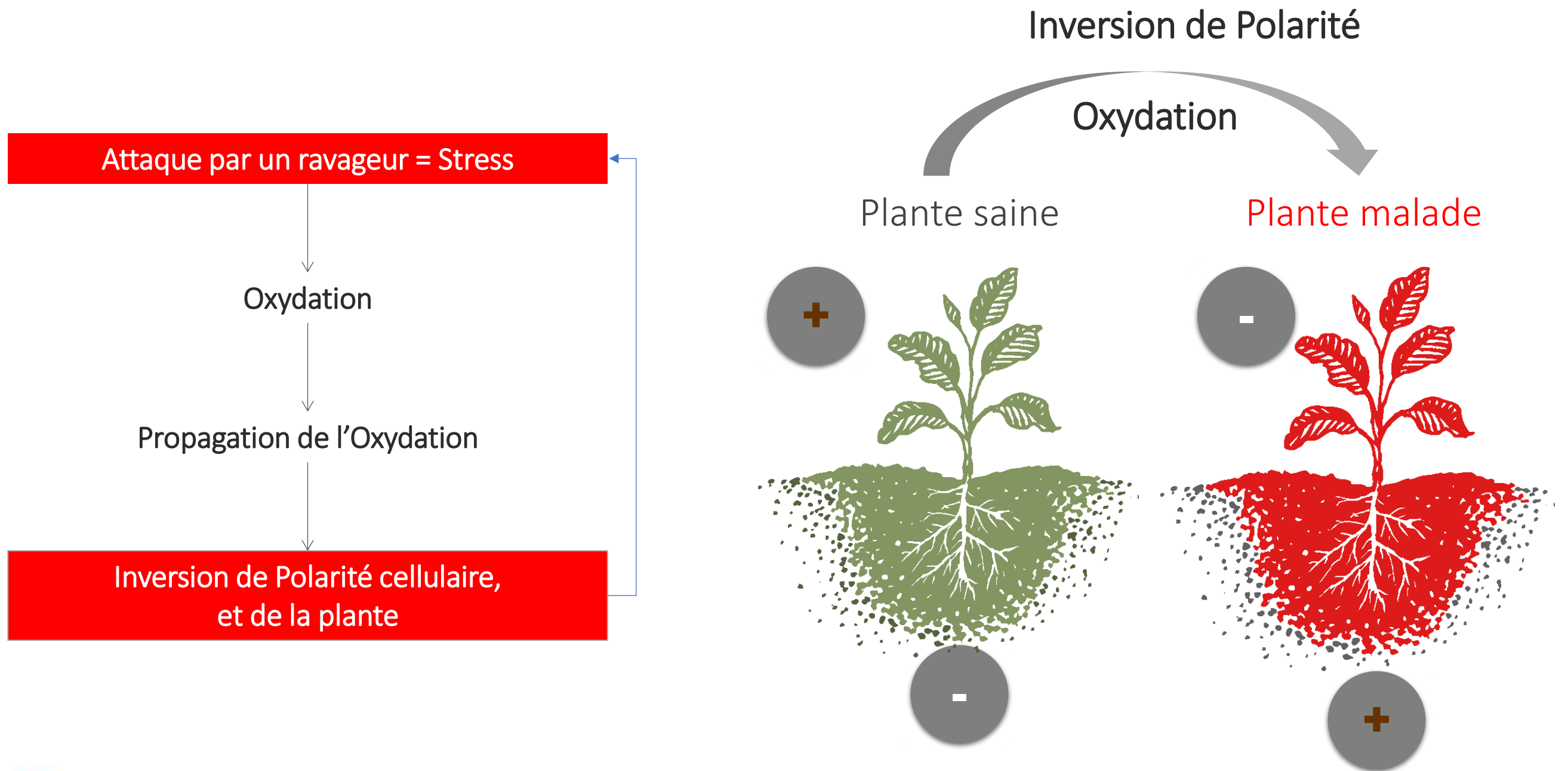
- capacité d'oxyder le manganèse vers la forme Mn^{4+} , non assimilable par les cultures
 - réduction des cultures de la résistance vis-à-vis de ces pathogènes



SILIBOOST

Maintien d'un potentiel Rédox favorable à la forme Mn^{2+} et défavorable aux agents pathogènes

Stress biotique, oxydation et polarité des plantes





Action directe sur la plante du SILIBOOST

Effets sur l'endoderme de la plante

SILIBOOST

Renforce l'endoderme de la plante permettant une résistante mécanique aux agressions

Endoderme renforcé

Barrière mécanique face aux agents pathogènes, aux insectes, champignons et parasites



Les défenses naturelles de la plante face aux agresseurs biologiques sont renforcées par une protection physique

Blé après gel



Effets sur la croissance

SILIBOOST

Augmente la capacité de photosynthèse et l'absorption minérale

Endoderme renforcé qui permet un port érigé des feuilles

La surface recevant les rayons du soleil est augmentée

Activité photosynthétique augmentée, la plante produit plus de sucres



Croissance des racines en longueur et en diamètre

Augmentation de la surface d'absorption dans le sol, donc meilleure absorption de l'eau et des minéraux, en lien avec les capacités d'échanges du sol

La croissance de la plante est favorisée par une synthèse plus importante de sucres et par une absorption optimale d'eau et minéraux par un réseau racinaire plus dense

Economie d'eau

SILIBOOST

Moins de pertes hydriques

Endoderme renforcé qui permet à la plante de mieux résister au stress hydrique et de réduire les pertes en eau par transpiration, que les racines ne pourraient compenser

Réduction des besoins en eau

Meilleur taux d'humidité dans le sol, au niveau des racines

La plante perd moins d'eau, donc résiste mieux à des conditions hydriques difficiles : chocs thermiques, hydriques



Mandariniers au Maroc



Carottes



Carottes irriguées sans
SILIBOOST

Carottes non irriguées
avec SILIBOOST

à 2 x 250g/ha



Données TERRAIN SILIBOOST

Essai sur Blé

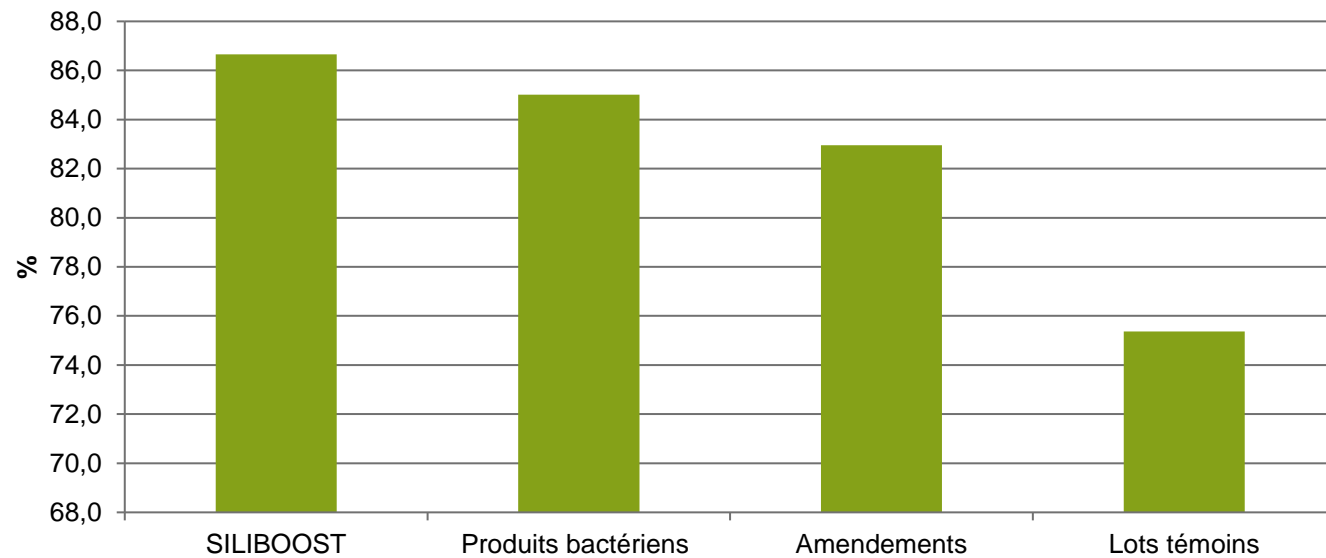


- Ces essais ont été réalisés dans une ferme expérimentale d'un groupe privé. 19 tests ont été réalisés, dont 7 avec des produits concurrents.
- Lieu: Baignes (16) – France - Blé tendre d'hiver - Récolte en juillet 2013
- **SILIBOOST** : 200g/ha au semis + 200g en fin de tallage.

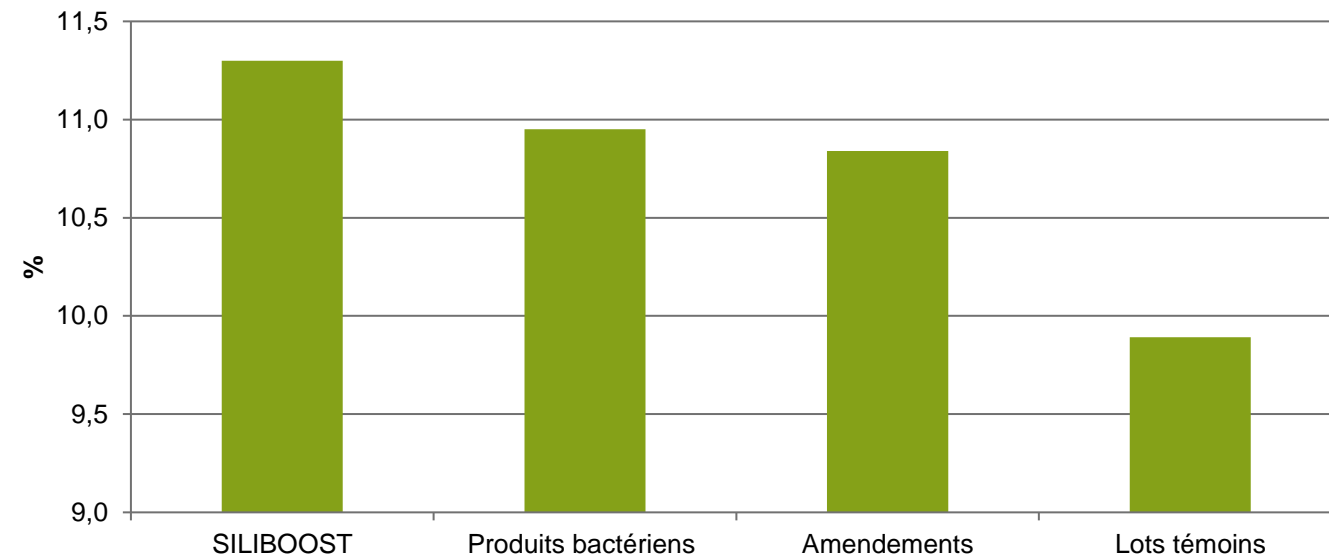
Essai sur Blé



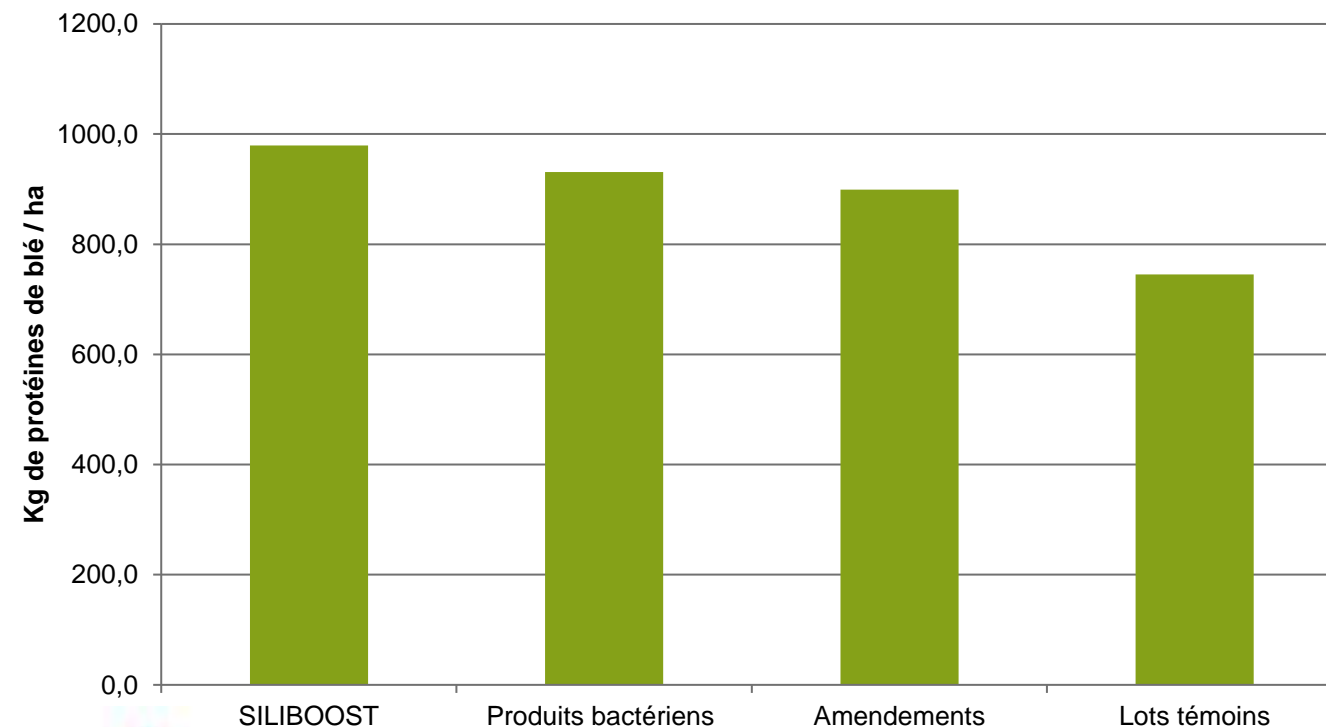
Rendement moyen



Taux de protéines brutes du blé



Bilan protéique par ha

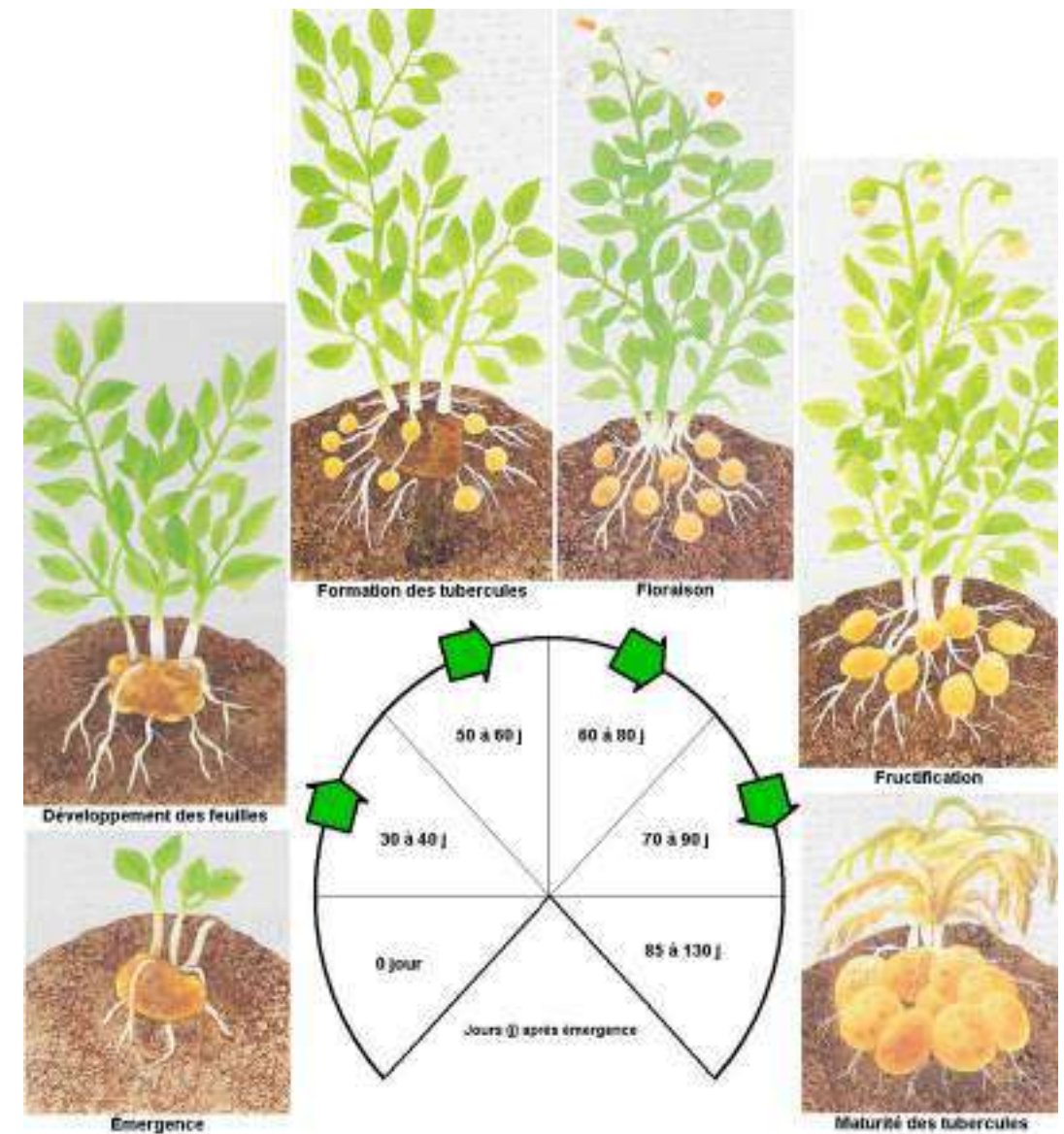


- rendement moyen*: + 8.2 %
- +171.1 kg de protéines/ha *
- Augmentation moyenne du bilan protéique par ha* : + 21 %

Essai sur Pommes de Terre



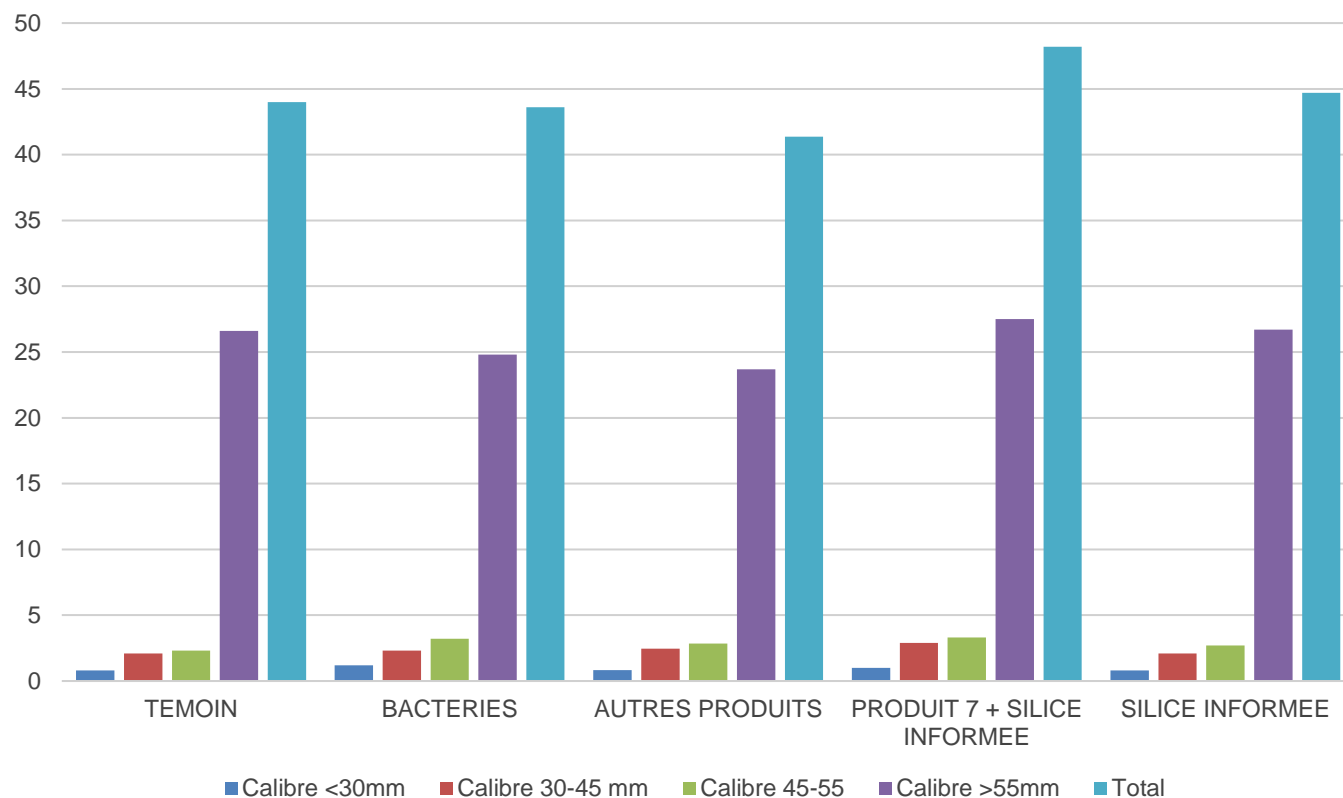
- Essai en plein champ
- Etude de l'intérêt de différents produits de nutrition foliaire et de SILIBOOST
- SILIBOOST : Application de 250g/ha au semis. Le programme d'application recommande normalement 2 passages



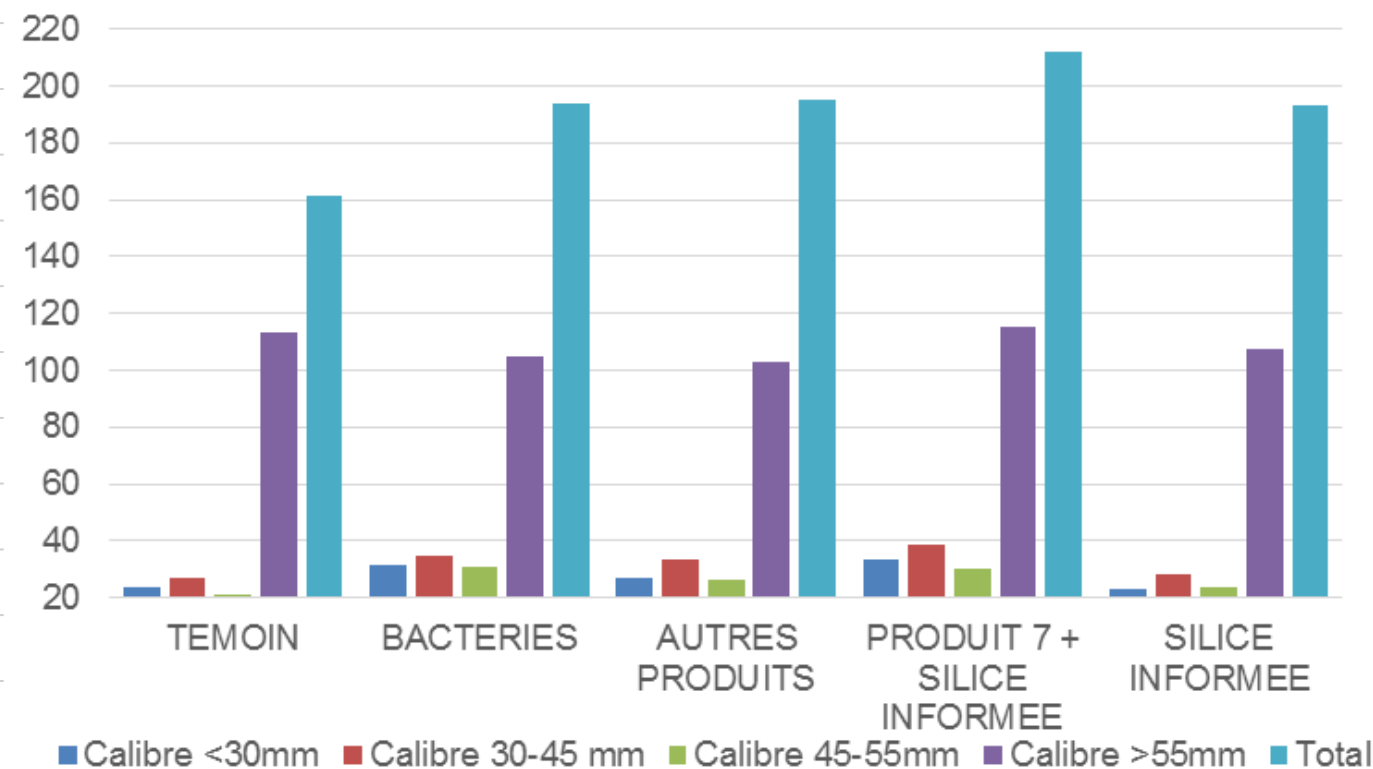
Augmentation du rendement



Rendement global par calibre



Nombre de tubercules par calibre



- Vs le Témoin :
 - +20% avec SILIBOOST seul
 - +31 % avec association SILIBOOST + Produit 7
- Vs les autres produits :
 - +9% avec SILIBOOST seul
 - +16% avec association SILIBOOST + Produit 7

Autre Essai sur Maïs



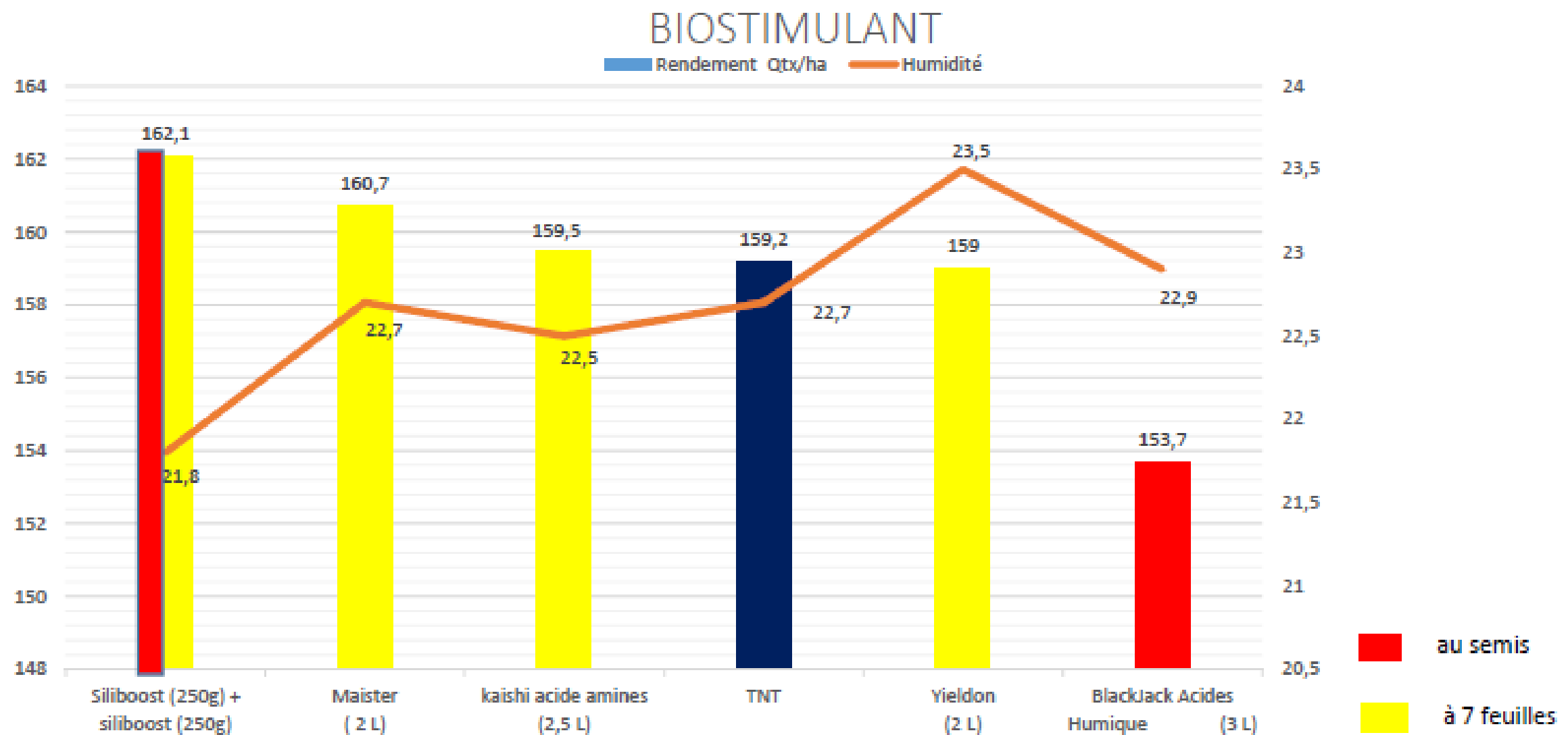
- Essai Région Charentes (Mansle)
- Applications de Siliboost au semis et au stade BBCH 16-18 à 250g/ha
- Campagne 2020 (semis 15/04 et récolte le 09/10)
- Variété dkc 5141 à 88000g/ha

T1: AU SEMIS																
MICRO-INSECTICIDE		EN LOCALISE				EN PLEIN				T2: BBCH 16-18				Classement		
PRODUIT	DOSE	PRODUIT	DOSE				PRODUIT	DOSE	PRODUIT	DOSE	Humidité	Rendement	Statistique			
		18/46+ AVAIL FERTISURE	150 KG								21,6	148,5	a			
				SILLIBOOST	250 G				SILLIBOOST	250 G	21,8	144,2	a			
		12-40+25 SO3+Zn	150 KG								21,6	143,1	a			
		18/46	150 KG								21,5	141,4	a			
DAXOL	12 KG	18/46	150 KG								21	139,8	a			
		NERGETIC C PRO	150 KG								22,2	139,3	a			
				BACTIPI	20 L						22,3	139,1	a			
				14/48	150 L	73 CSP.6.18	0,75 L				22	138,5	a			
				18/46	150 KG						21,7	136,5	a			
									KAISHI	2 L	22,3	136,4	a			
		14-30-0-15 Zn (HUMIPHOS)	150 KG								22,2	134,2	a			
TRIKA XPERT	15 KG										21,8	133,9	a			
				BACTIPI	50 L						21,9	133,5	a			
				14/48	150 L						21,5	132,1	a			
DAXOL	12 KG										22,1	130,8	a			
SOLIEA PROTEO	10 KG										22,4	130,1	a			
TEMOIN											22,3	129,0	a			
											21,9	137,1				

Autre Essai sur Maïs



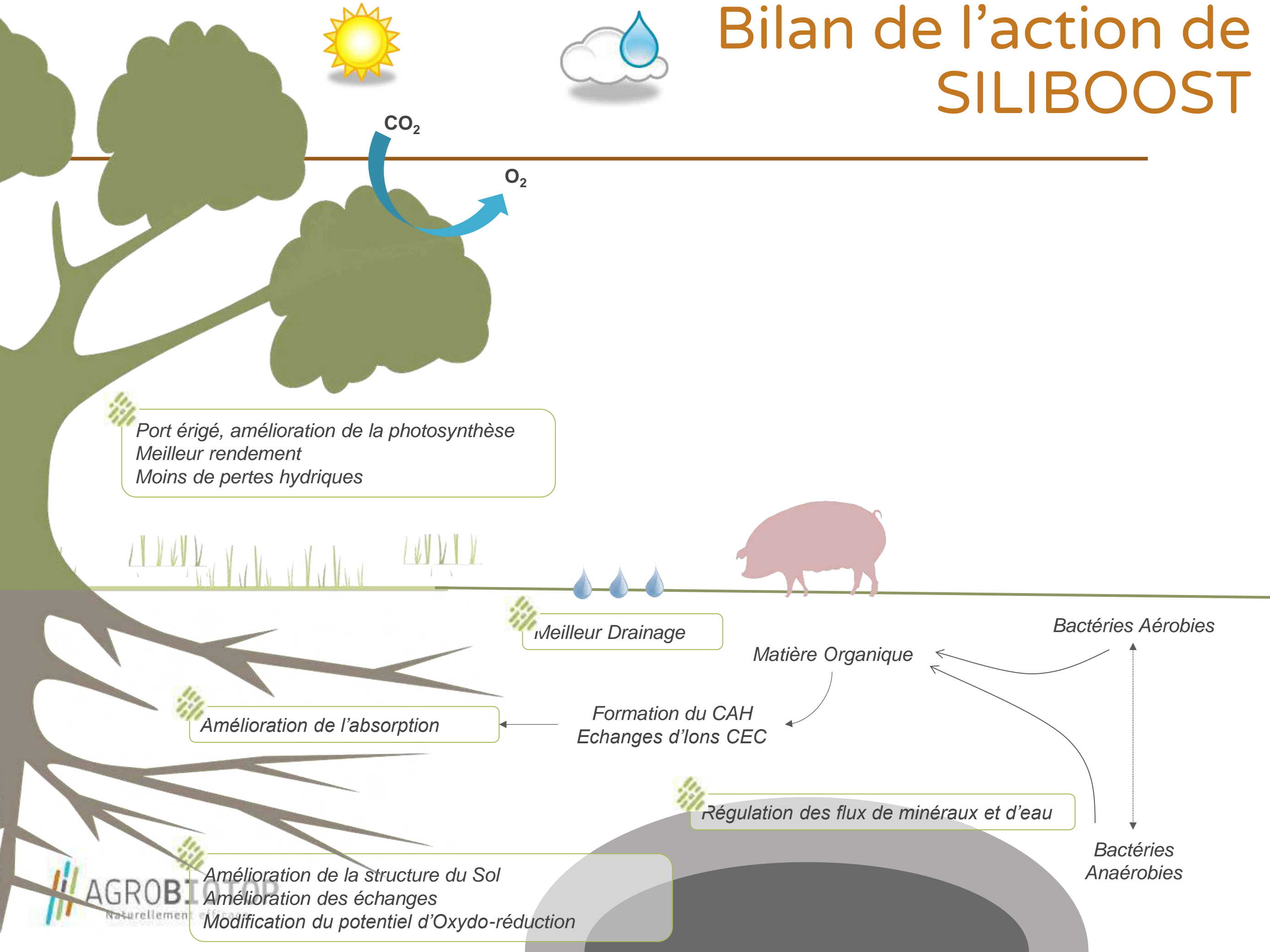
- Essai Région Charentes (Mansle)
- Applications de Siliboost au semis et au stade 7 feuilles à 250g/ha





Bilan de l'Action SILIBOOST

Bilan de l'action de SILIBOOST



Port érigé, amélioration de la photosynthèse
Meilleur rendement
Moins de pertes hydriques

Meilleur Drainage

Amélioration de l'absorption

Formation du CAH
Echanges d'ions CEC

Régulation des flux de minéraux et d'eau

Amélioration de la structure du Sol
Amélioration des échanges
Modification du potentiel d'Oxydo-réduction

Bactéries Aérobie

Bactéries Anaérobies

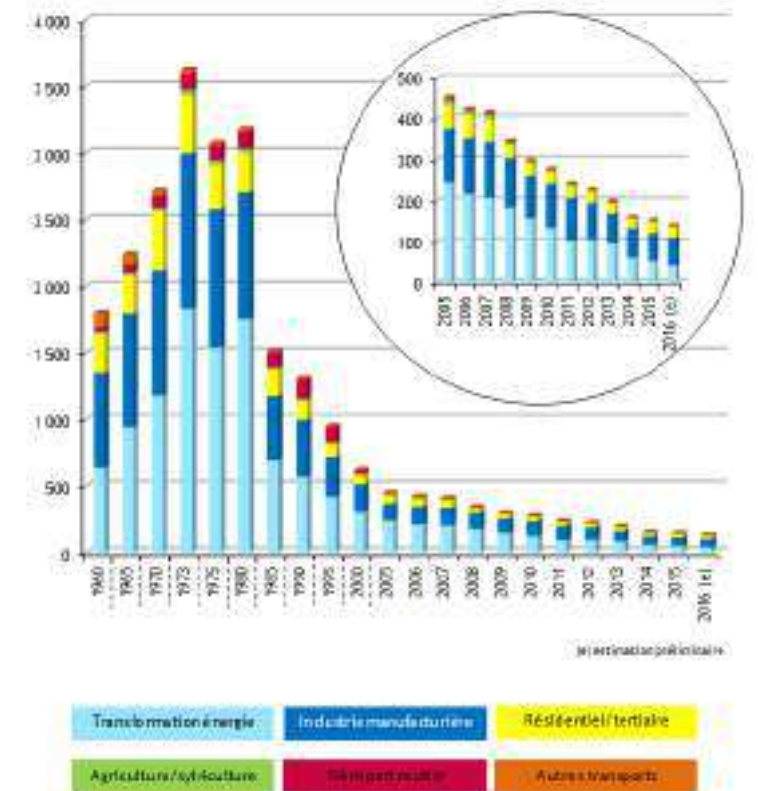
Matière Organique



SOUFREL

Problématique du Soufre dans le monde agricole aujourd'hui

- Remplacement des engrais contenant du soufre par des engrais à haut dosage en NPK ne contenant plus de soufre
 - Superphosphate, Sulfate d'ammonium remplacés par urée, superphosphate triple, nitrate d'ammonium et phosphates d'ammoniac
- Mesures environnementales d'amélioration de la qualité de l'air
 - Diminution des retombées atmosphériques de Soufre
- Augmentation des rendements et de la qualité des récoltes
 - Augmentation des exportations et besoins en Soufre des cultures



Emissions atmosphériques de SO₂ par secteur en France métropolitaine en kt

- Déficience en S dès les années 80
- Regain d'intérêt pour le Soufre en fertilisation



Le Soufre dans le sol

Elément Soufre dans le sol

- Composition du sol en Soufre
 - 20 à 2000 mg S / kg (sols européens) – Freney et Williams, 1983
- Formes de Soufre dans le sol
 - S minéral
 - Fonction du potentiel redox :
 - Sulfure H_2S ou S^{2-}
 - Soufre élémentaire S
 - Thiosulfate $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
 - Sulfite H_2SO_3 ou SO_3^{2-}
 - Sulfate SO_4^{2-}
 - S organique (acides aminés, protéines)
 - 60 à 95% du S
 - Humus, résidus de culture, biomasse microbienne

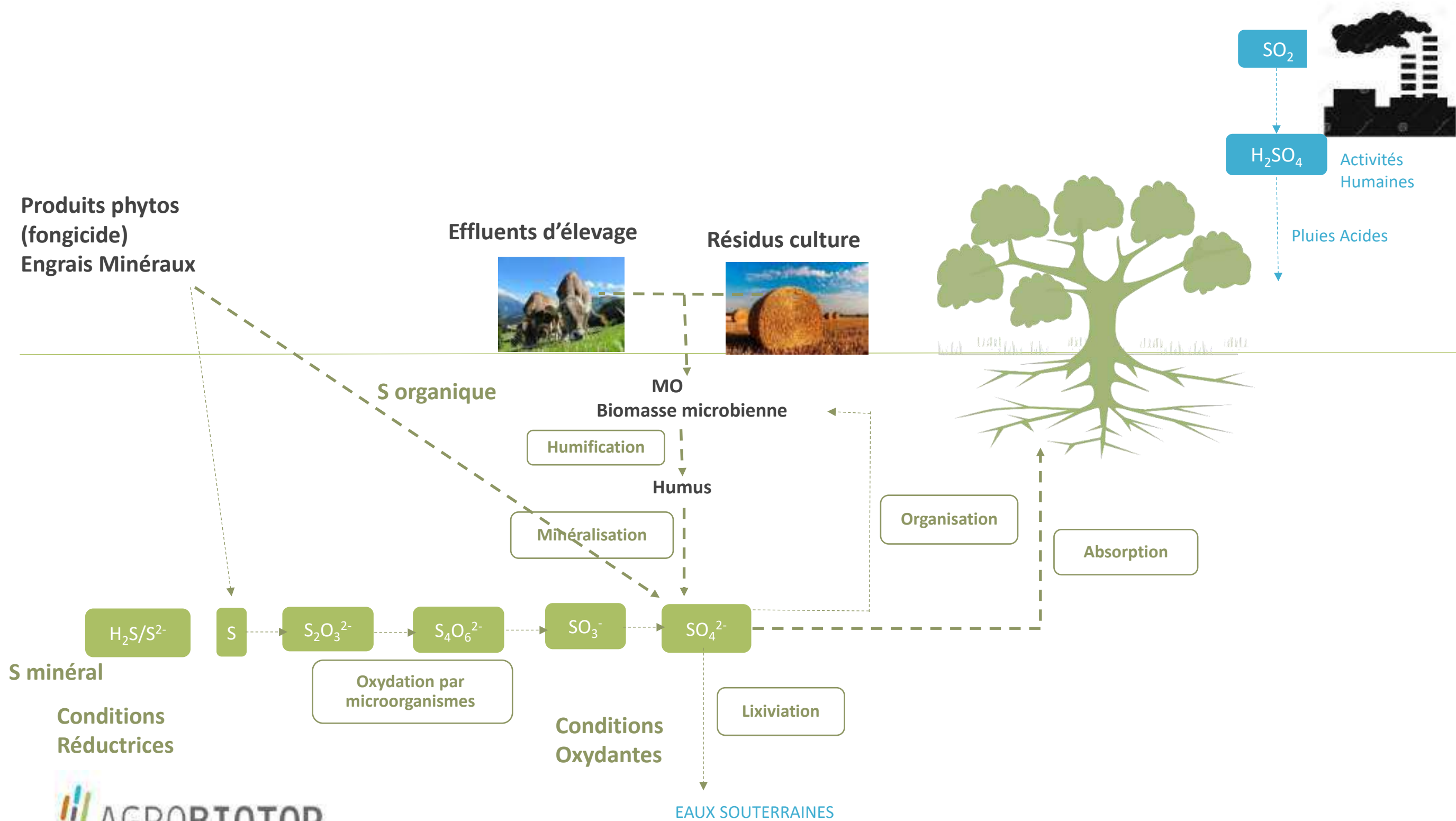
Rôles du Soufre dans le sol

- Constituant des substances humiques et du CAH
- Enrichissement de la terre en MO

➤ **Fertilité du sol**

- Rapport C/N/S dans le sol = 100/10/1

Cycle du Soufre en agriculture





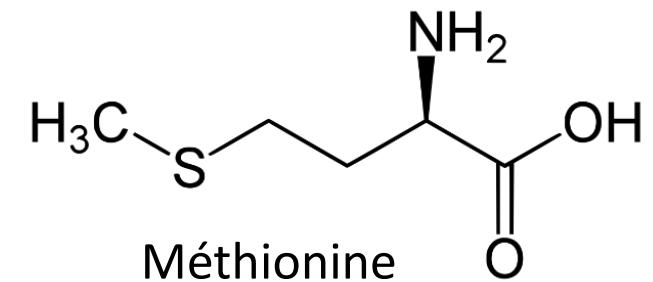
Le soufre dans les plantes

Élément Soufre dans les plantes

- Composition des plantes en Soufre
 - 0,1 – 0,5%
 - Classé quantitativement dans les plantes juste après N,P,K
- Absorption du S par les plantes
 - Uniquement sous forme Sulfates SO_4^{2-}

Rôles du Soufre pour les plantes

- Synthèse des protéines (constituant des Acides Aminés Soufrés)
 - Méthionine
 - Cystéine
 - Cystine
- Constitution des chlorophylles
 - Donc indispensable à la photosynthèse
- Constitution d'enzymes, de vitamine (biotine, thiamine, glutathione)
- Activation d'enzymes des processus métaboliques de l'énergie des acides gras
- Formation des nodosités de légumineuses
- Intervient dans mécanismes de protection des plantes
 - présence dans les glucosinolates, les alliins
 - composés soufrés volatils émis par les feuilles ayant des effets fongicides



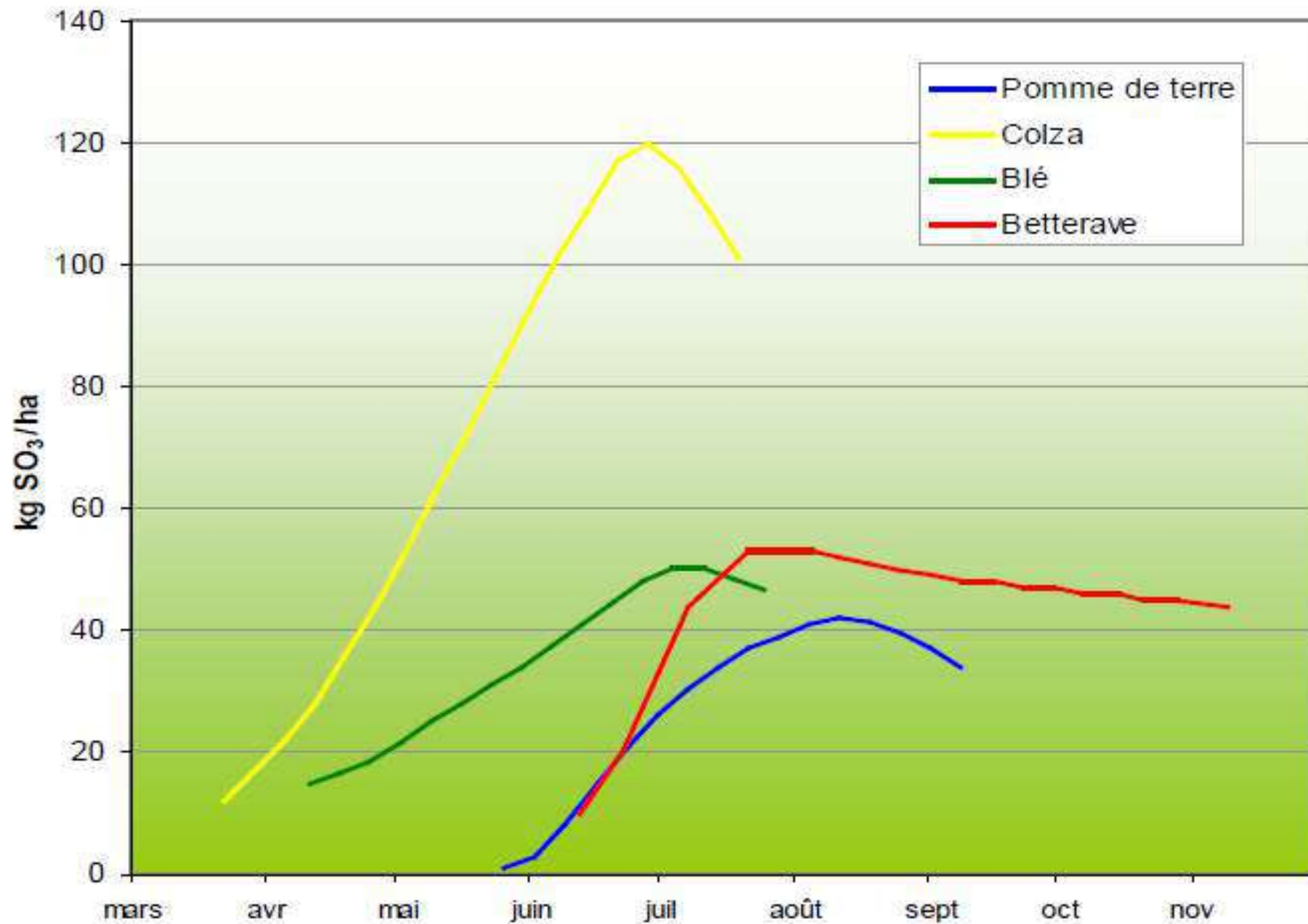
Besoins des cultures en Soufre

Exigences	Cultures	Besoins en S élémentaire en kg/ha	Equivalent en kg SO ₃ /ha
Forte	Colza, choux, moutarde, ail, oignon, luzerne, trèfle, graminées fourragères	40 à 80	200 à 100
Moyenne à Forte	Verger Vigne	40	80
Moyenne	Céréales à paille, maïs, pomme de terre, betterave sucrière et fourragères	20 à 40	100 à 50
Faible	Toutes les autres	8 à 20	50 à 20

Mobilisation en Soufre des cultures

Mobilisation en soufre de différentes cultures

source: SADEF Pôle d'Aspach





Les formes d'engrais soufrés

Les principales formes de Soufre sur le marché

- Sulfates de K, de Mg
- Superphosphates simples
- Engrais Azotés Soufrés
 - Ammonitrates Soufrés
 - Sulfates d'ammonium
- Soufre Élémentaire
 - Assimilation lente
- Fumier
 - 1 à 3 kg/T de soufre selon l'origine animale du fumier
 - Assimilation lente



Soufrel : S élémentaire intérêt et utilisation

Intérêt d'un apport en Soufre Elémentaire

- Sulfate

- Directement assimilable par les racines des plantes
- Fortement lessivable dans les sols
- pollution des nappes phréatiques, surtout en conditions de fortes pluviométries
- Apport d'engrais sulfatés : + de 50% de l'apport de S sous forme sulfate est organisé (converti par les microorganismes en S organique) en 1 semaine

- Soufre élémentaire

- Nécessite une oxydation par les micro-organismes du sol
 - Action plus lente que les sulfates
 - Effet acidifiant optimisant le pH racinaire
- Soufre (S) + Oxygène ($\frac{2}{3} O_2$) + Eau (H_2O) >
(microorganismes) > H_2SO_4
- Stratégie de fertilisation soufrée à long terme

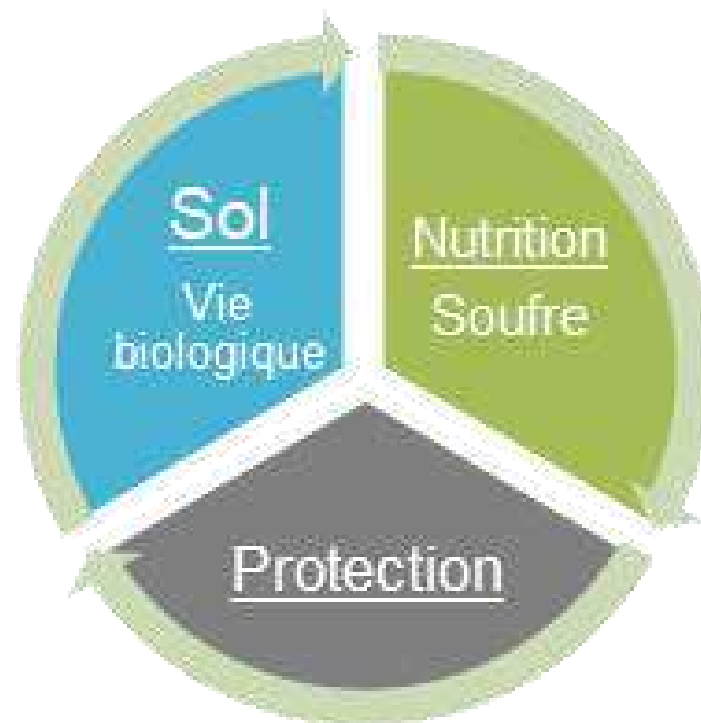
Utilisation de Soufrel

- Utilisation entre 20 et 60 kg / ha au semis (en localisé ou non)
- A mélanger dans la trémie du semoir, dans le micro granulateur ou au distributeur à engrais
- Présentation produit et conditionnement :



La synergie entre Soufrel et Siliboost

- SILIBOOST : renforcement de l'effet du SILISOUFRE
 - Action de stimulation de la vie biologique du sol
 - Stimulation des bactéries qui transformeront le soufre élémentaire en sulfate assimilable par la plante



Et d'autres produits en complément...



PRINCIPES AGRONOMIQUES FONDAMENTAUX DE FONCTIONNEMENT DES SOLS

Objectif de Sol Idéal

25% d'air / 25% d'eau

- Activité Biologique

Pour atteindre cet objectif :

Qualité de l'habitat des microorganismes

1^{er} levier



- **Minéraux et équilibre (répartition) des cations sur la CEC**



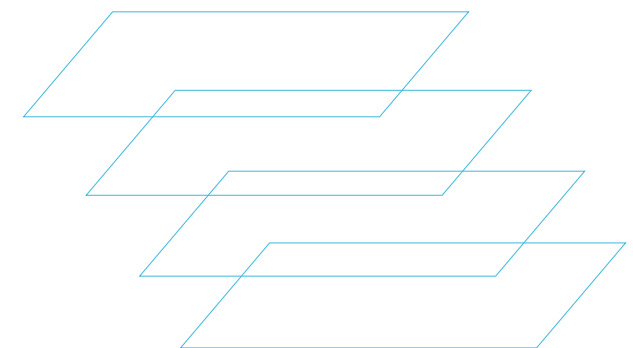
Pilotage du comportement des argiles

Feuillet
Espace interfoliaire



Effet cohésif

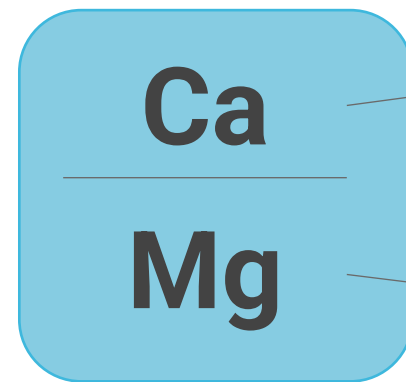
Effet « lâche »



Proportions idéales des cations sur la CEC :
68% Ca²⁺, 12% Mg²⁺, 4% K⁺, 1,5% Na⁺, 10% H⁺

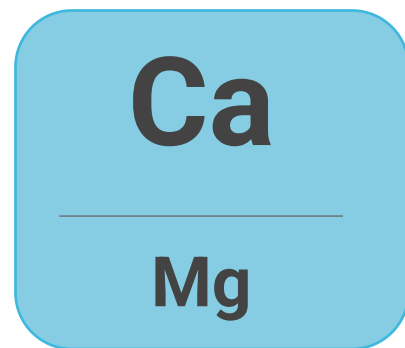
Le Ratio Ca/Mg dans la CEC

Idéal :
68:12



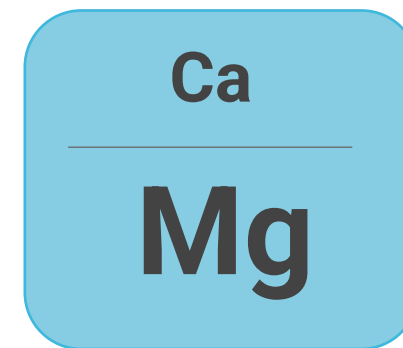
Souplesse / Aération

« Colle » / Retient l'eau



Porosité

Eau retenue



Porosité

Eau retenue

- A adapter en fonction de la CEC (du type de sol) en maintenant $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 80\%$ de la CEC :

	Sols légers		Sols argileux
CEC (meq/100g)	<5,4	8,31 - 19	>45,01
Ratio %Ca/%Mg	60/20	68/12	70/10

Analyse de sol



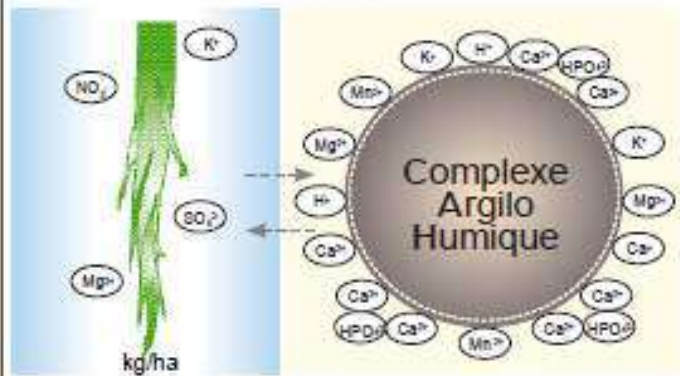
ANALYSE RÉALISÉE POUR :
LEROUX DIDIER
 10 RUE RIMBERTOT
 76930 CAUVILLE
 N° échantillon: 26573732

Analyse de terre

DISTRIBUTEUR :
ETS DUMESNIL
 1 BIS ROUTE DE ROUMARE
 76150 SAINT JEAN DU CARDONNAY

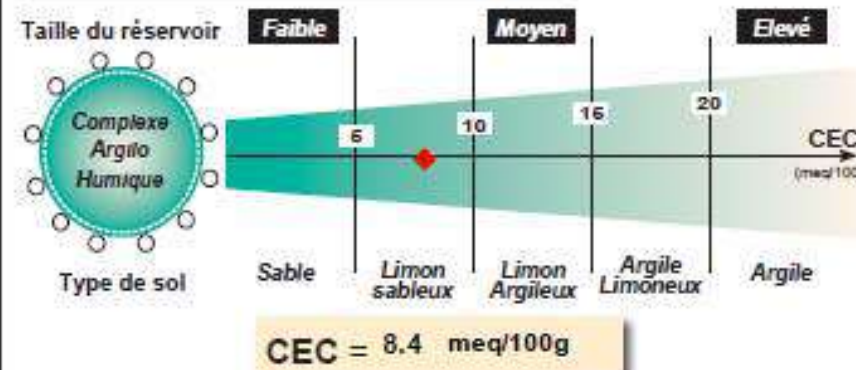
Parcelle : **COLZA (7.5ha)**
 N° échantillon : 26573732 N° îlot :
 Reçu le : 12/11/2021 Expédié le : 25/11/2021
 Technicien : Régis CHAMPION

Equilibre chimique



L'équilibre chimique permet de vérifier si les proportions d'éléments nutritifs (% Ca⁺⁺, % K⁺, % Mg⁺⁺) sont optimum sur le complexe argilo-humique (voir tableau ci-contre).

Capacité d'Échange en Cations (CEC)



EQUILIBRE CHIMIQUE	H ⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Taux de saturation	
Répartition des cations en % de la CEC	Actuelle	0	91.7	4.5	4.1	1	>100
	Optimum	0 à 5	90.6	4.3	5.1	<=5	

MO et activité biologique

	Résultats	Valeur souhaitable	Azote Total (%): 0.12		
			Faible	Moyen	Elevé
MO %	2.3	2.3			
IAB	15 / 20	> 15/20			
C/N	11.1	8 à 10			

Le taux de matière organique est satisfaisant (%MO = 2.3). Veillez à maintenir ce capital organique afin de préserver les propriétés physiques du sol (stabilité structurale, réserve en eau...).

La CEC correspond à la taille du complexe argilo-humique, réservoir en éléments nutritifs du sol. Elle est déterminée par la teneur et la qualité des argiles et de la matière organique.

Le taux de saturation correspond au niveau de remplissage de la CEC. Il est obtenu en faisant la différence "100 - % H⁺".

H⁺ (taux d'hydrogène) représente l'acidité de réserve (en sol acide). En sol alcalin, le taux de saturation est généralement supérieur à 100 %.

Analyse chimique

(1) exprimés en ppm pour tous les éléments nutritifs	Résultats (1)	Normes (2)	très faible	faible	un peu faible	moyen	élevé	très élevé	excessif
BILAN ACIDE BASE									
pH eau	7.2								
pHKcl	6.3								
Calcaire total (%)	0.1								
Calcium (CaO)	2157	2130							
ÉLÉMENTS MAJEURS									
Phosphore (P ₂ O ₅ total)	55	50 / 80							
Phosphore (P ₂ O ₅ ad)									
Potasse (K ₂ O)	175	170 / 250							
Magnésie (MgO)	69	85 / 125							
Sodium (Na ₂ O)	25	<130							
OLIGO-ÉLÉMENTS									
Zinc (Zn)	1.9	3.5							
Manganèse (Mn)	56	14							
Cuivre (Cu)	1.9	1.8							
Fer (Fe)	79.5	10.8							
Bore (B)	0.22	0.4							

Assimilabilité des réserves :
 ■ faible (risque de blocage élevé)
 ■ moyenne (risque de blocage moyen)
 ■ élevée (risque de blocage faible)

Assimilabilité	Facteur de blocage
P	/
K	/
Mg	/

Assimilabilité	Facteur de blocage
Zn	/
Mn	/
Cu	/
Fe	/
B	/

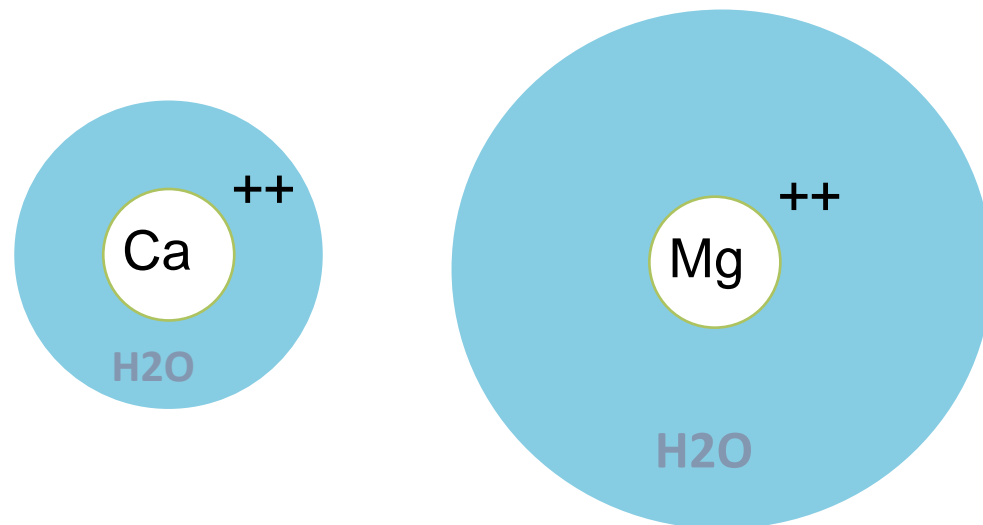
Bilan acide base :

Le pH ainsi que la teneur en CaO sont satisfaisants. Le statut acido-basique du sol est donc optimum.

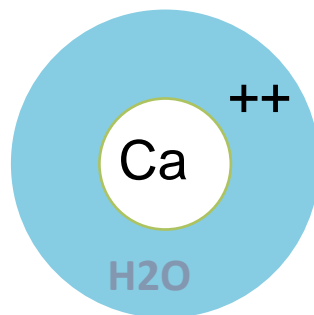
Ratios d'équilibre

	Résultats	Valeur souhaitable	Trop faible	Normal	Trop élevé
K ₂ O/MgO	2.5	2			
CaO/MgO	31.3	25.1			
Cu/MO	0.83	0.80			
P ₂ O ₅ /Zn	28.8	14.3		Non significatif	

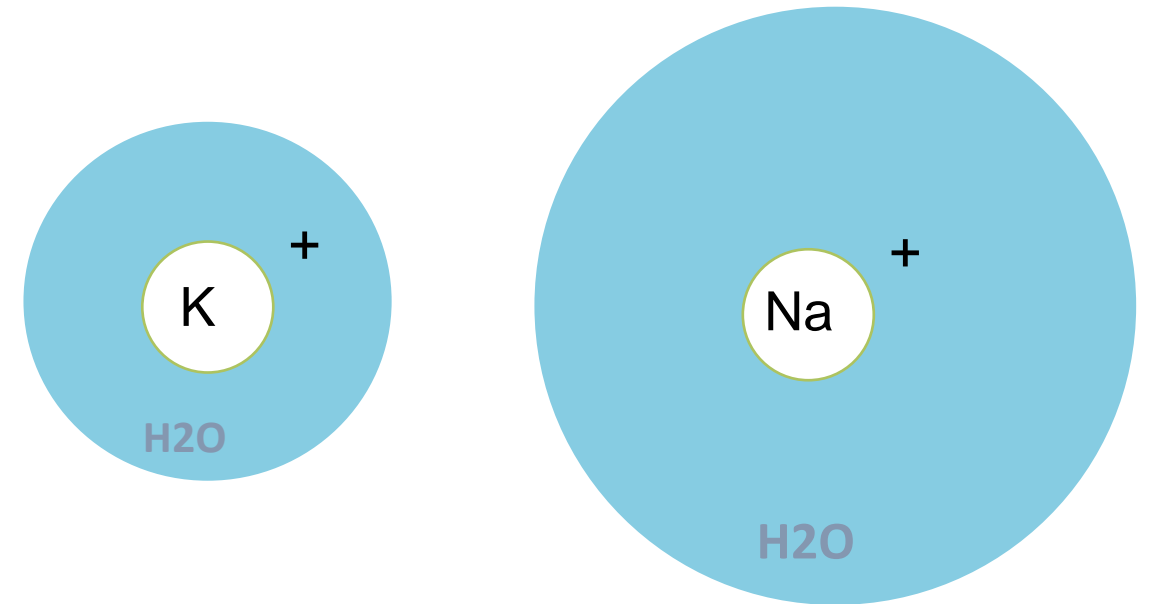
Pourquoi Ca^{2+} et Mg^{2+} ? Et quelle différence entre les deux?



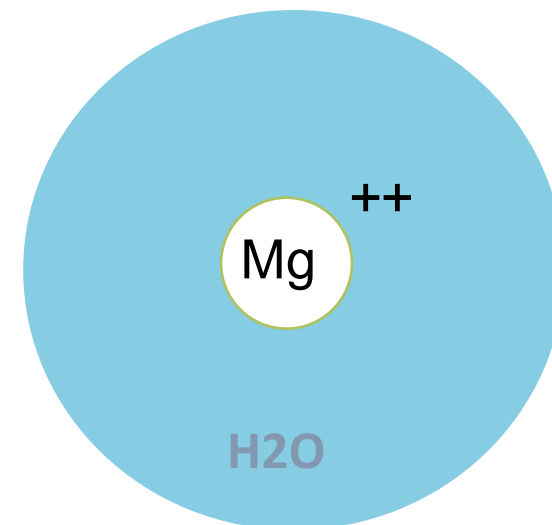
- **Cations bivalents = 2 charges +**
= floculation / retient ensemble les humus et les argiles
= rôle structurant pour le sol



- **Couche d'eau fine quand hydraté**
= capacité à conserver l'eau faible
= réserve un maximum de place à l'air dans le sol

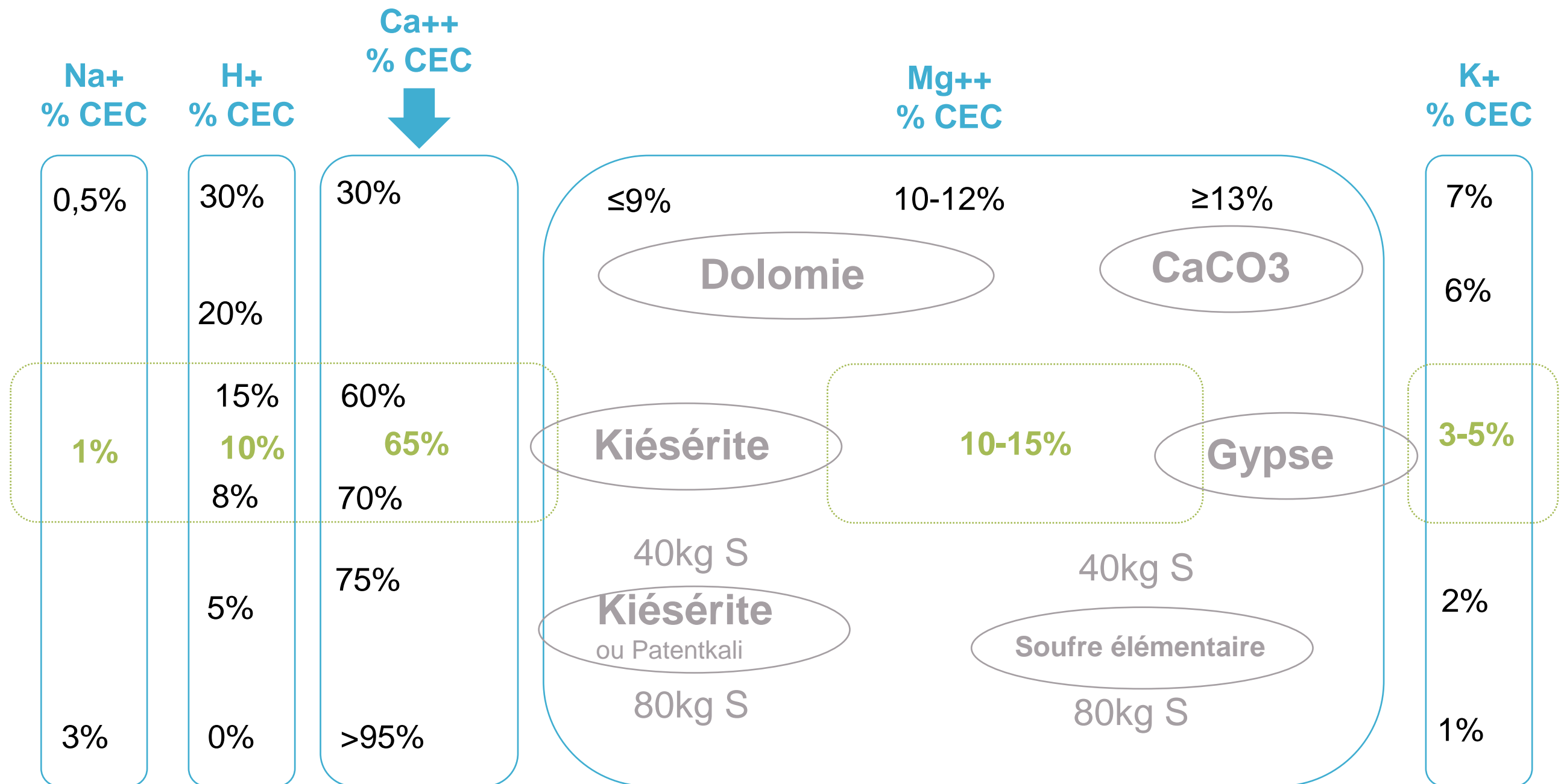


- **Cations monovalents = 1 charges +**
= dispersants

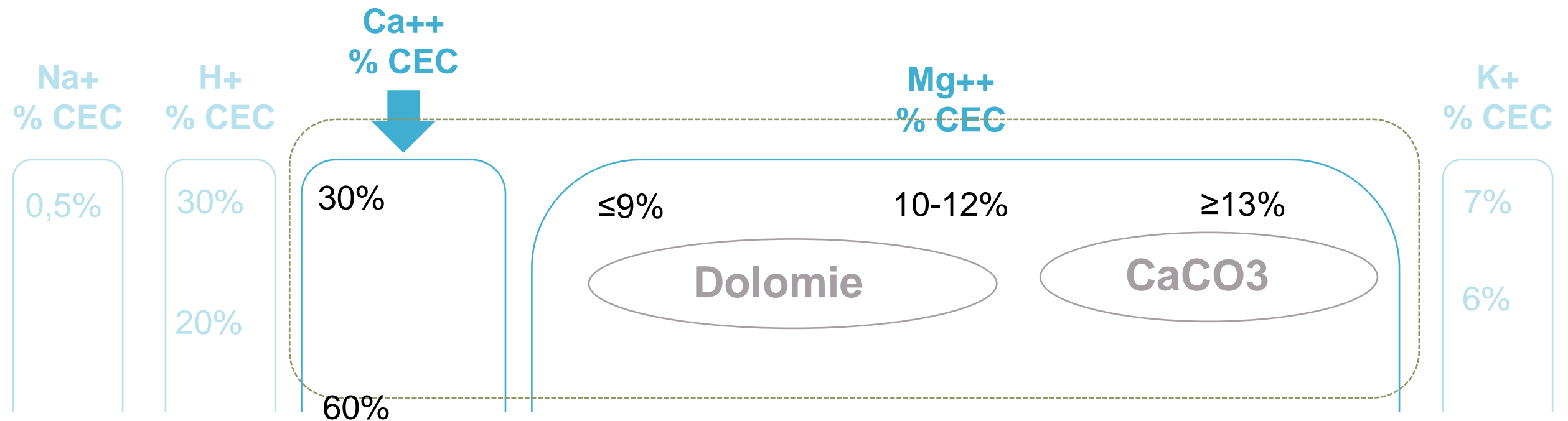


- **Couche d'eau importante quand hydraté**
= capacité de stocker l'eau
MAIS si excès : compaction, hydromorphie

Pilotage des amendements calciques en fonction de la répartition des cations sur la CEC du sol



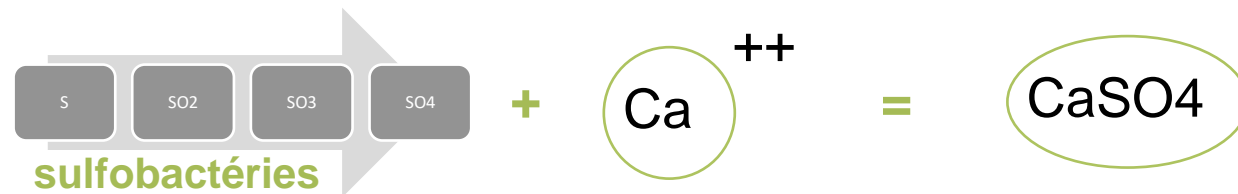
En cas de déficit de Ca



- Dolomie : si CEC déficitaire en Ca et Mg
- Carbonate de Calcium : si CEC déficitaire qu'en Ca
- Gypse : qu'à partir de 60% de saturation de la CEC en Ca
- Chaux : à proscrire

En cas d'excès de Ca

- Voie de neutralisation du Ca en excès
 - Voie chimique minérale
 - Patentkali : si besoin de Mg et K simultanément
 - Kiésérite : si besoin de Mg
 - en complément : Soufre élémentaire :



Sel soluble, stable, sans influence sur le pH, biodisponible, sans interférence avec les oligo



- Voie biologique – champignons du sol



Sel insoluble, stable, sans influence sur le pH, biodisponible

Complément d'Action de SILIBOOST

- Sur le Ratio Champignons / Bactéries :
 - Favorise formation d'Oxalate de Ca pour neutraliser le Ca en excès
- Sur l'action des sulfobactéries transformant le S en SO₄:
 - Favorise formation de Sulfate de Ca pour neutraliser le Ca en excès
- Réduit l'acidité de surface qui peut être causée en TCS ou semi direct par un apport de S
- Régule les flux minéraux
 - Réduit l'absorption du P quand il est en excès, Mg, Ca
- Augmente la disponibilité des minéraux du sol par échange au niveau du CAH
- Effet complémentaire sur la structure du sol
 - Favorise aération sol
- Régulation du pH et du potentiel redox du sol

Perte d'efficacité de l'N et antagonismes

- Impact d'un excès de Mg sur la CEC sur la perte d'efficacité de l'N

Dépassement/Mg idéal calculé (Mg/CEC)	Consommation N supplémentaire pour un même rendement
Mg/CEC +1	+18%
Mg/CEC +3	+35%
Mg/CEC +5	+45%

- Sol lourd avec $Mg/CEC > 18\%$: la quantité d'N nécessaire sera supérieure de 50%
- Interactions N :
 - Excès d'N = mauvaise assimilation du Cu, Mn, K, Zn, Ca

Autres exemples d'interactions entre nutriments

- Interactions P
 - Rôle des mycorhizes dans l'absorption du P
 - Antagonisme avec le Na : carence en P possible quand Na/CEC >5%
 - Antagonisme Zinc-Phosphore : très fort
 - Ratio Zn:P à ne pas dépasser : 1:25 (P Dyer) ou 1:10 (P Olsen) (Zn<50ppm)
- Interactions K
 - Au-delà de 5%K/CEC (cultures annuelles) et 7%K/CEC (plantes pérennes, fruitiers, vigne): compétition pour l'absorption du Ca et du Mg
 - Importance de l'antagonisme K/Ca pour plantes qui ont des besoins qualitatifs de présentation, de conservation et de goût

Et maintenant...

- ... Interprétez vos analyses de sol en fonction de ces principes, plutôt qu'eu égard uniquement aux besoins des plantes
- ... Apportez les nutriments nécessaires au sol et non aux plantes