



Canton de Vaud – Août 2021

Newsletter de La Vache Heureuse pour la



Dream Team ABC



Juillet 2021



Edito

Une lettre pour les adhérents de La Vache Heureuse

- Qui souhaitent travailler ce projet
- Aussi bien en AB qu'en conventionnel
- Bimensuelle
- Aborde toutes les connaissances potentiellement importantes sur le sujet
 - Problématique
 - Modèles à utiliser
 - Couverture des sols
 - Plantes mélangées
 - Complémentarités des plantes
 - Les systèmes racinaires
 - Fertilité organo biologique
 - L'azote et les bactéries
 - Les plantes bio-indicatrices





Canton de Vaud - Août 2021

 Alimentation x2 9 milliards d'êtres Augmentation • Energie x2 obligatoire: LES BESOINS Revenus x2 humains • GES /4 Pollutions agricoles Diminution obligatoire Concurrence alimentation / EnR • 0,45 ha SAU/hab. La SAU en 1950 mondiale par habitant: • 0,13 ha SAU/hab. Division par 3 en 2050

Les défis pour aujourd'hui

Pour relever ces défis et résoudre ces problèmes, l'agriculture doit produire PLUS, MIEUX, avec MOINS et AUTREMENT





Canton de Vaud - Août 2021



"nôtre maison brûle et nous regardons ailleurs" (2002 – J Chirac – Sommet de la Terre – Johannesburg)





Canton de Vaud – Août 2021



L'Urgence de l'Eau

L'eau dégrade les sols...

... Et les sols dégradent l'eau...







Canton de Vaud – Août 2021









Canton de Vaud – Août 2021







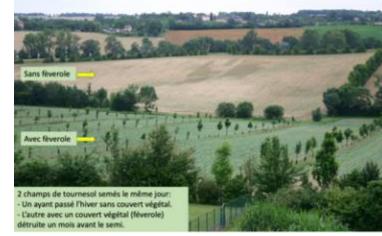


Canton de Vaud – Août 2021

Les **PLANTES** sont la seule solution rentable pour la société pour contrôler le CO₂ sur la **PLANETE**.

sauvons la **PLANETE**

avec



les PLAN TES











Canton de Vaud – Août 2021

Qu'est-ce que l'agroécologie?

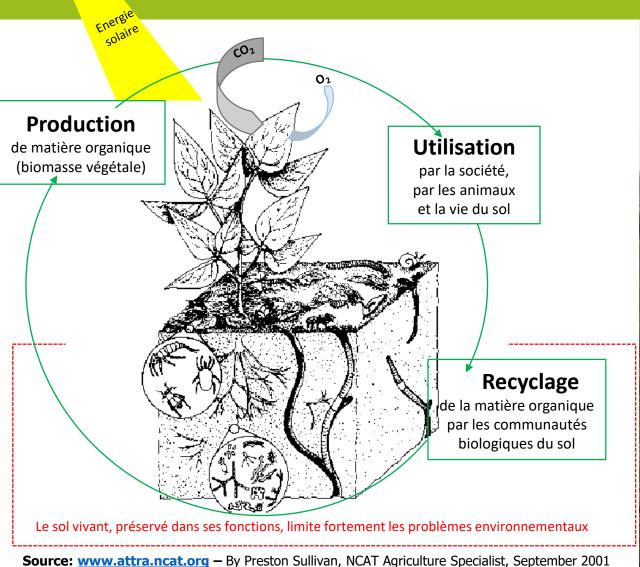
- Agro: Du grec ancien "άγρός", agros (champs)
- **Eco**: Du grec "oikos" (maison)







Canton de Vaud - Août 2021









Canton de Vaud - Août 2021

Nourrir 3 fois:







Copier la nature en agriculture : principes



Sur un sol vivant, ça pousse tout seul

1) Conservation des sols

- -- Le sol, puit de carbone -
 - a) couverture permanente
 - b) intervention minimum

2) <u>Le rendement carboné</u>

- -- Rdt maximum du végétal -
 - a) forte production de biomasse
 - b) biodiversité
 - c) recyclage maximum





Canton de Vaud - Août 2021

Le projet Dream Team ABC

Baisser voire supprimer l'utilisation des intrants chimiques et supprimer le travail du sol.

Deux questions:

Comment gérer la fertilité ? & Comment gérer le désherbage ?

Le fil rouge :

- LA PRAIRIE, elle pousse toute seule, tout le temps, le sol est toujours couvert

Fertilité = diversité d'espèces Désherbage = enherbement

Une prairie bien géré c'est aussi des réponses aux attentes sociales :

- Plus de pollution atmosphérique (séquestration de CO2)
- Plus de pollution des eaux (transferts)
- Plus d'érosion hydrique, éolienne
- Production de Biodiversité







Canton de Vaud – Août 2021

Gestion du désherbage sans chimie et sans travail du sol

En chimie

La lutte par les désherbants ne fonctionne plus : RG, Vulpin, Géranium,

Agriculture Biologique

La lutte par les outils ne fonctionne déjà plus : Datura, Lampourde, Helmintie, RG

Nous y sommes : l'impasse de la lutte contre les plantes adventices est une réalité



<u>Lutter contre les plantes ? Ou faire alliance avec elles ?</u>

L'innovation Majeure : les plantes bio-indicatrices de Gérard Ducerf ou comment gérer les plantes avec ou contre les plantes Les plantes nous donnent l'état de santé du sol : compaction, oxydation, réduction, état de la MO, structure, blocages, ... Les plantes poussent pour restaurer la fertilité organo-biologique du sol et pour contrer ces phénomènes de compaction, blocages, etc.





Canton de Vaud - Août 2021







Canton de Vaud - Août 2021







Canton de Vaud – Août 2021

Le désherbage en question ?

Désherber =
Produire à Manger! =
Pas Évident!



Photo Steve Groff, USA





Canton de Vaud – Août 2021

Le désherbage, changer d'optique ?

Il existe de nombreuses techniques de désherbage dans l'écosystème

Étouffement
Pas de travail du sol
Litières
Concurrence
Humus / carbone
Structure du sol
Allélopathie

Humidité
Lumière / ombre
Température
Dormance
Concurrence aux nutriments

« la nature suit une logique d'écosystème »

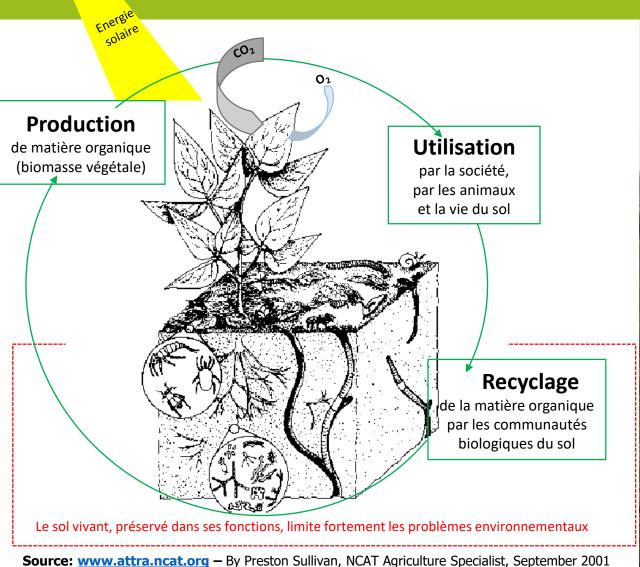
Pour désherber, capter les principes de l'écosystème est le 1^{er} pas, les mettre en œuvre,

le 2^e , 3^e , 4^e , ...





Canton de Vaud - Août 2021

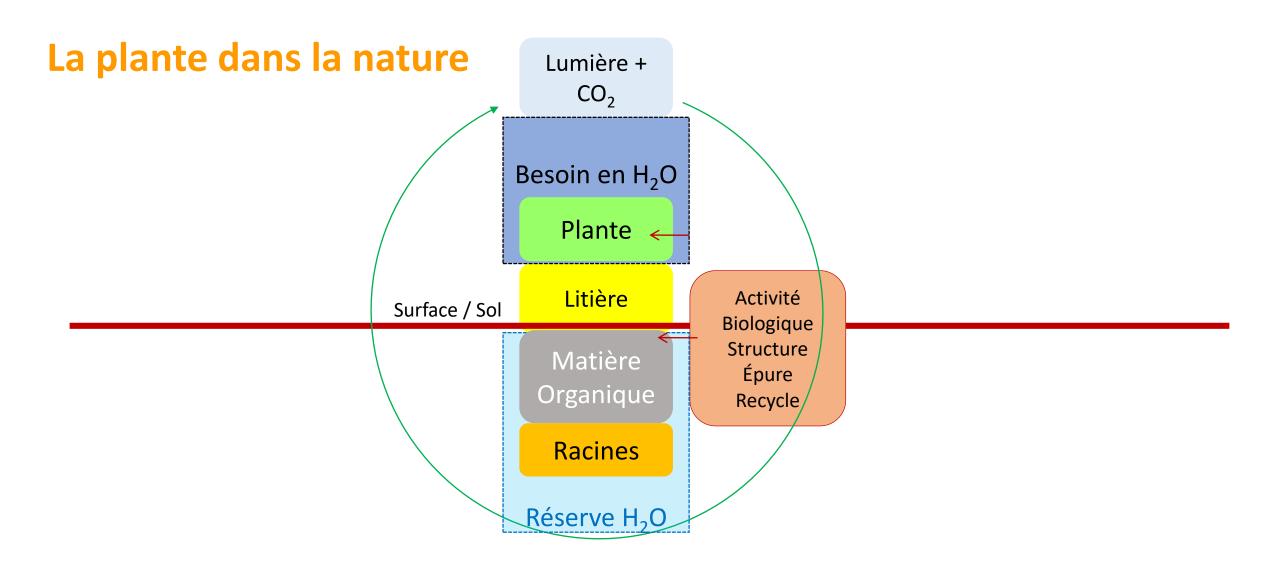








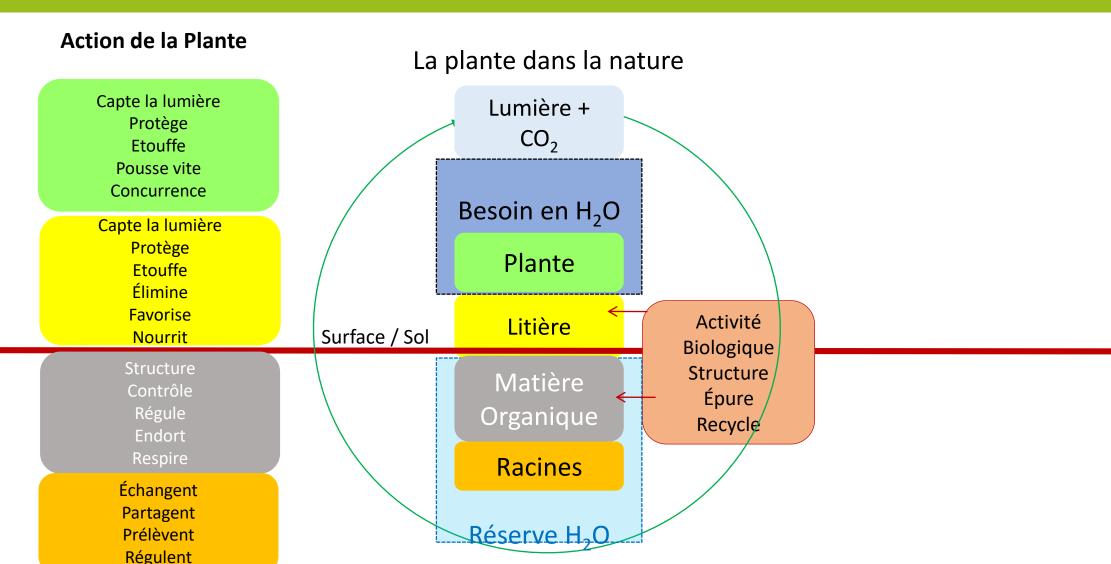
Canton de Vaud – Août 2021







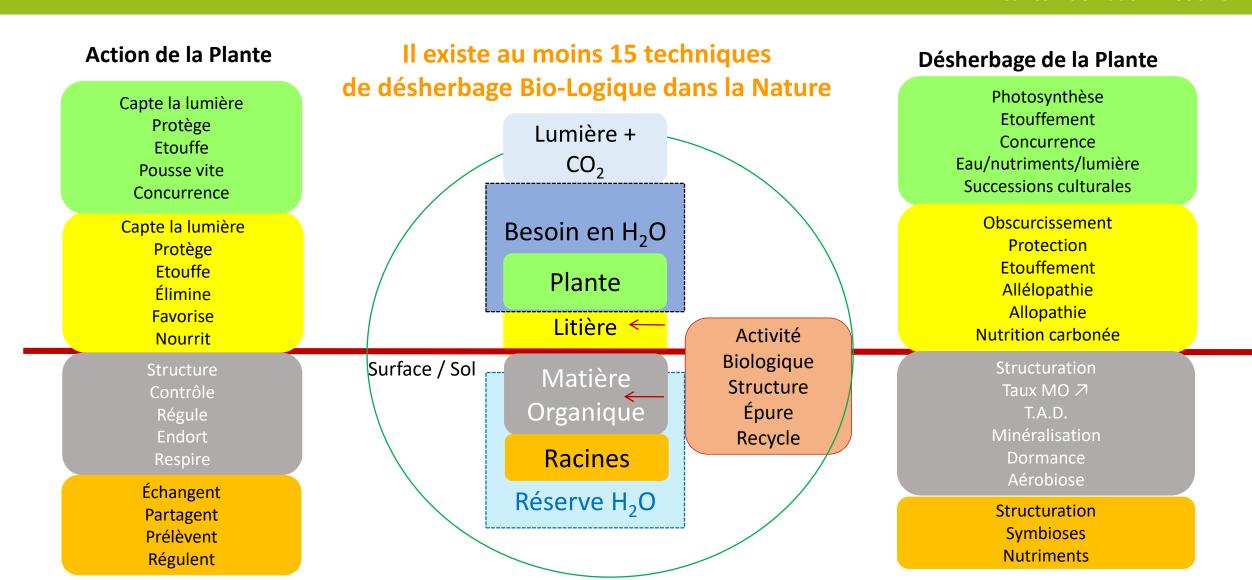
Canton de Vaud – Août 2021







Canton de Vaud - Août 2021

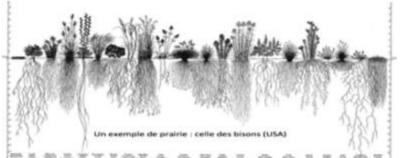






Canton de Vaud – Août 2021





Il existe un seul système agricole productif et « propre »!

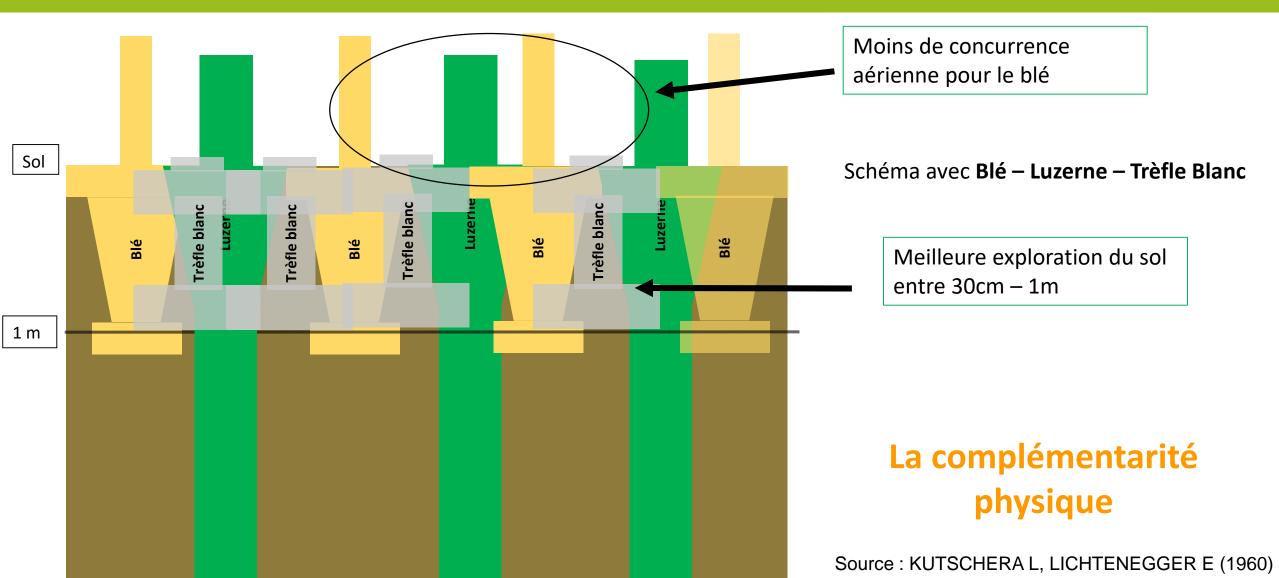
<u>Composition: Graminées + Légumineuses + autre</u>

- Sol toujours couvert : 100 % du temps
- Sol jamais travaillé
- Racines toujours actives
- Jamais de lumière sur le sol
- Ration du sol = 60% du Rdt total
- Autonome en azote = 60% de légumineuses
- Renouvellement rapide des feuilles à la floraison
- → C'est un « moteur azote »
- Forte biodiversité = 3 t de vers de terre
- Recyclage permanent à 100 %
- Forte porosité → 50 % = moteur minéralisation





Canton de Vaud – Août 2021

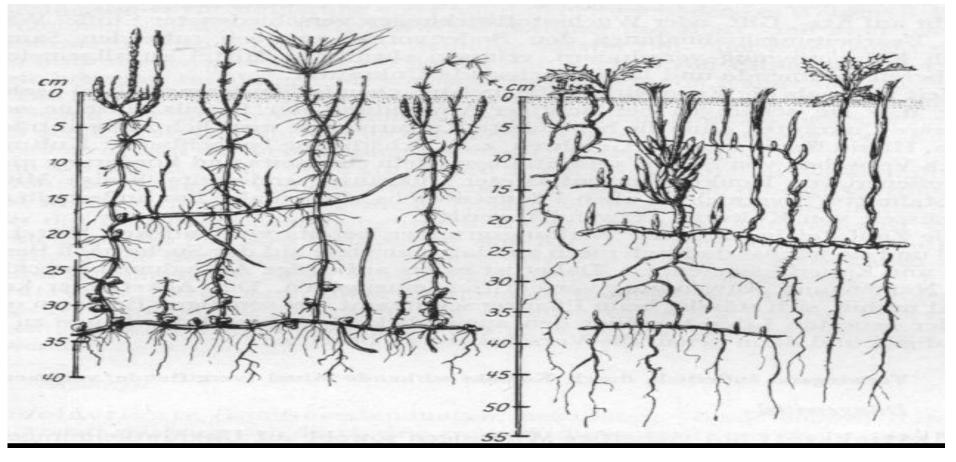






Canton de Vaud - Août 2021

Désherber = structurer le sol



Prêle et Chardon des champs : réduction des semelles d'outils

Source: KLAPP E (1967)





Canton de Vaud - Août 2021

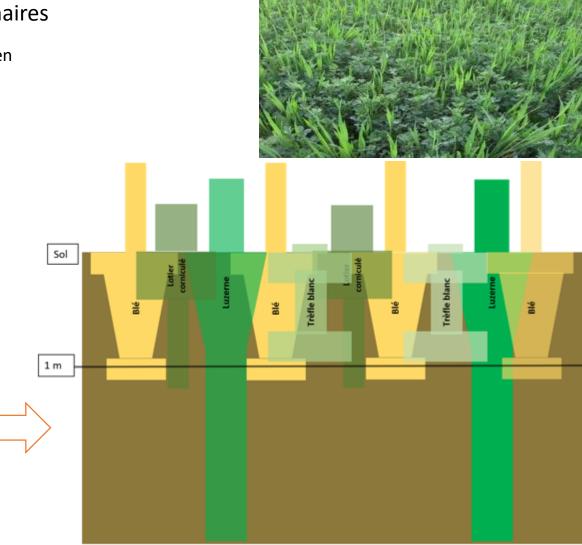
Super base de données pour travailler sur les complémentarités racinaires



Le site de recherche de Wageningen (Pays Bas)

Voici à quoi ressemblent schématiquement les structures racinaires d'un blé et ses plantes compagnes (trèfle blanc et de la luzerne).

Un système racinaire global de cultures mélangées = **explorer** une partie du sol, laissant peu de place à la concurrence.





potasse K⁺

Dream Team ABC Agriculture Bio-Logique de Conservation des Sols



Canton de Vaud - Août 2021

Le Blocage du Phosphore sur la CEC

En présence de calcium, il y a de forts risques de blocages du phosphore, notamment la forme phosphates

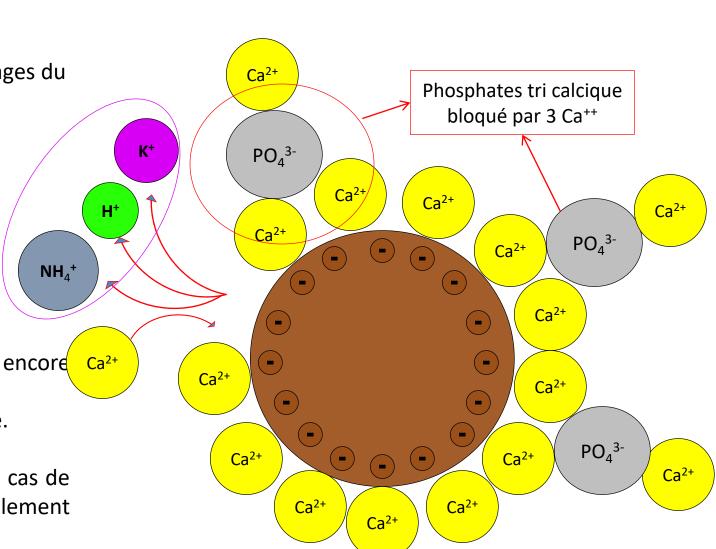
Le chaulage, ou les sols sur roches mères calcaires = saturation de la CEC en calcium

Le chaulage, supprime les ions H⁺ qui sont très mobiles, les plantes prélèvent l'ammonium NH4⁺ et la

Une double liaison est stable. Une triple liaison est encore plus stable.

Pour casser une double ou triple liaison, il faut un acide.

Celui-ci peut être organique (produit par une racine = cas de toutes les légumineuses) ou minéral, produit principalement par le soufre SO_4^- (forme sulfate)





Le cas du Soufre

A quoi sert le soufre ?

Le S élémentaire : 1 S = 2,7 Unité de SO₃

Passage de S à SO₄²⁻:

 $S ----> SO_2 ----> SO_4^{2-}$

Acidifiant

Nécessite de l'eau pour minéraliser

Absorbé Acide

Phénomène lent qui dure toute la saison humide automne – hiver - printemps

SO₄²⁻ va venir se lier au Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ pour faire un Sulfate de calcium Ca⁺⁺SO₄²⁻ ou un sulfate de magnésie Mg++SO₄2- qui sont non lessivables

Source: Comifer

Soufre Elémentaire 40 à 50 kg/ha max

16

32,065







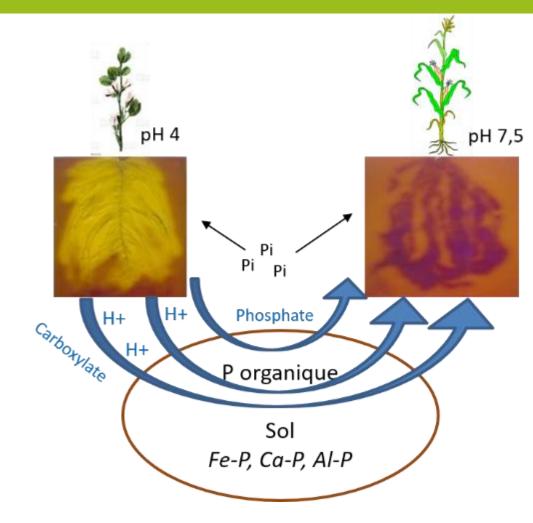
Canton de Vaud – Août 2021

Interaction féverole-Maïs sur le phosphore

Les interactions racinaires interspécifiques entre les deux plantes améliorent l'absorption de P par le maïs, sans influencer l'absorption de P par la féverole.

Pour casser une double ou triple liaison, il faut un acide organique, ou minéral.

Les légumineuses injectent de l'hydrogène dans les sols, hydrogène (H⁺) qui leur vient de la biotransformation de l'ammoniac NH₃.



Source: LI L et al. (2007)





Canton de Vaud - Août 2021

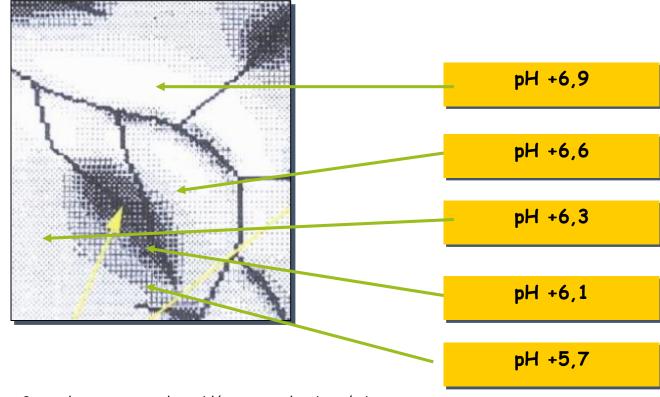
Plantes et acidité du sol

L'activité d'échange de la racine modifie le pH :

- Les apex (radicelles) acidifient le milieu pour prélever les nutriments
- Les parties basales (racines âgées et lignifiées) alcalinisent le milieu

Un couvert adapté tamponne le pH du sol.

Carte du pH de la rhizosphère d'une racine de colza carencée en P



Carte obtenue par analyse vidéo-spectrodensitométrique d'un indicateur coloré à pH inclus dans le milieu. RUIZ, 1992





Canton de Vaud – Août 2021



Le gel d'agarose + violet de bromocrésol : observation des changements de pH autour des racines. En présence de phosphore (+P) les plantes ne réagissent pas. En carence de phosphore (-P) la féverole acidifie sa rhizosphère par exsudation de protons à partir des racines, alors que le maïs ne produit pas ce phénomène.

Source: LI L et al. (2007)





Canton de Vaud - Août 2021







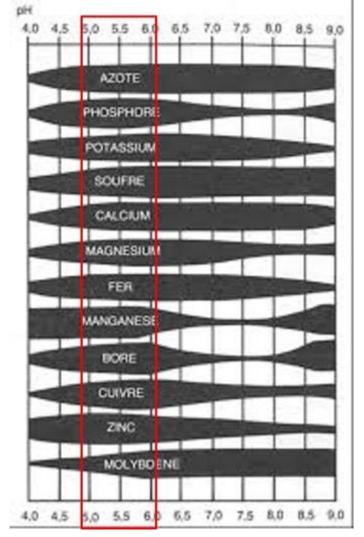
Canton de Vaud – Août 2021

Disponibilité des éléments minéraux en fonction du pH

Si la rhizosphère tend vers un pH acide alors la plante est capable d'assimiler tous les éléments dont elle a besoin

Dans les sols calcaires il faut s'épauler d'éléments acidifiants :

- comme le soufre élémentaire
- les acides organiques sont produits par la dégradation des **litières riches en carbone**. La pluie dilue ces acides et les fait pénétrer dans les sols.







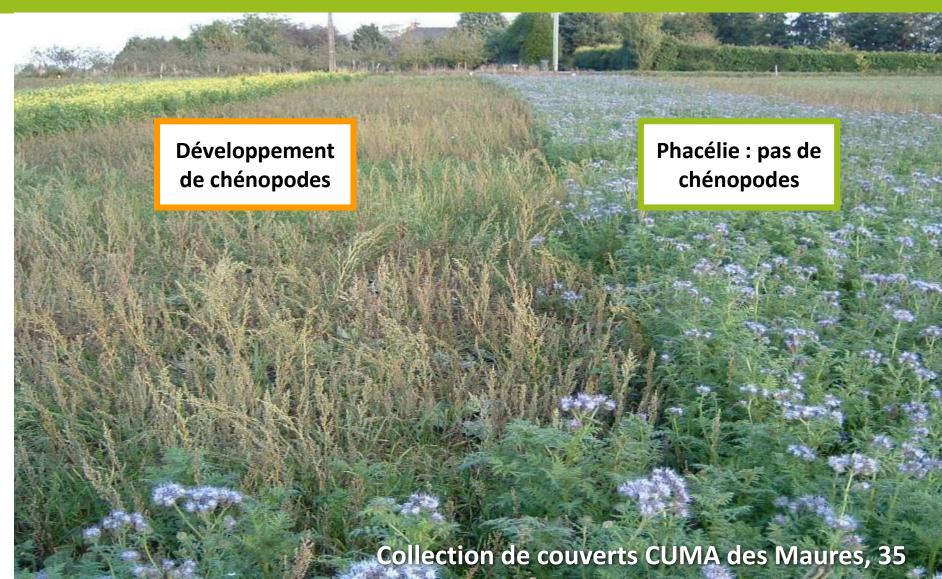
Canton de Vaud - Août 2021

Désherber

=

couvrir le sol

Les plantes couvrent le sol : levée de dormance par la lumière sur le sol nu
Les Couverts Végétaux étouffent les adventices = désherbage!







Canton de Vaud – Août 2021

Impact de la litière sur la population de ray-grass

Depuis 4 ans, dans le système « maïs épi // méteil ensilage »

À gauche la paille du maïs est exportée À droite la paille du maïs est restituée







Canton de Vaud - Août 2021

Les oligo-éléments sont indispensables au bon fonctionnement de la biologie

Les pesticides ainsi que les engrais chimiques perturbent le métabolisme de fabrication des protéines (protéosynthèse) à l'intérieur des plantes = plus de sucres solubles

Les sucres solubles sont le plat parfait pour les parasites À l'inverse ils sont incapable de digérer des sucres complexes

Les enzymes nécessitent la présence d'oligoéléments (Cu, Mn, Zn, Fe, Mo, ...) pour leurs constructions moléculaires

Source: WIKIPEDIA (2021)

Rôle des enzymes dans une réaction chimique sans enzyme énergie d'activation sans enzyme avec enzyme énergie d'activation avec enzyme réactants Energie totale libérée lors de p.ex. C₆H₁₂O₆ + O₂ la réaction produits CO2+H2O Coordonnées de la réaction





Canton de Vaud - Août 2021

Rôle des enzymes dans une réaction chimique

Les oligo-éléments sont indispensables au bon fonctionnement de la biologie

Les enzymes:

- 1. Produites par l'activité biologique
- 2. Nécessitent la présence d'oligoéléments
- 3.Interviennent dans l'humification et la minéralisation

4.Un rôle important :

- Baissent l'énergie nécessaire à 1 réaction chimique
- Accélèrent des millions de fois les réactions chimiques
 - Agissent par faible concentration

sans enzyme énergie d'activation sans enzyme avec enzyme énergie ≣nergie d'activation avec enzyme réactants Energie totale p.ex. C₆H₁₂O₆ + O₂ libérée lors de la réaction produits CO2+H2O

Source: WIKIPEDIA (2021)

Coordonnées de la réaction





Canton de Vaud – Août 2021

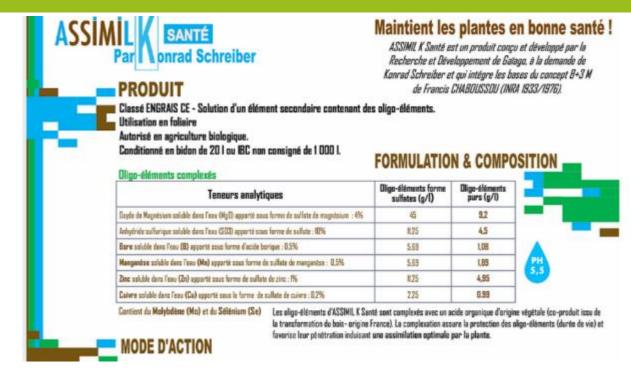
Source: La Vache Heureuse

Les oligo-éléments s'associent à différents agents, dans le but de faciliter leur entrée dans la plante.

> Oligo + Acides aminés = Chélate Oligo + Soufre = Sulfate Oligo + Glucose = Gluconate

Utilisations:

En production animale la forme chélate En végétal les formes sulfate et gluconate



A LVH nous utilisons l'assimil K santé, une formule d'oligo.

Retour d'expérience

Un test avec et sans Assimil a été mené. Il en ressort un effet très positif contre la jaunisse de la betterave grâce à l'apport d'oligo-éléments. Le témoin reste sans amélioration de résultats.

- Est-ce lié aux oligos ? Est-ce lié à la bonne gestion du sol ? Ou est-ce lié aux bonnes pratiques du paysan ?





Canton de Vaud - Août 2021

Fiche disponible sur le site de La Vache Heureuse



Rôle/Intervention

Augmentation du nombre de grain par épi Constituant des enzymes Meilleure résistance aux maladies Elève le taux de protéine

Cu^{2+}

Dans le sol

Assimilé sous forme Cu++ Assez abondant dans le sol Forte liaison avec la MO Peu mobile

Cuivre

Symptôme carence

Jaunissement du bord de la feuille Stérilité du pollen (épis vides) Attention au taux de germination des futures graines



Maladies

Ergot Fusariose

Déficience

MO> 3% surveiller la disponibilité Sols gorgés en eau Sols sableux Forte application d'azote



Gestion

Application foliaire ou sur le sol Acidifier l'environnement de la racine Attention à l'écoulement de l'eau

Source: http://ephytia.inra.fr/; https://fertilisation-edu.fr/; https://plantprobs.net/





Canton de Vaud - Août 2021

Le magnésium dans les sols

C'est un constituant essentiel de la chlorophylle, 20% Cause de problème en cas d'excès Solubilise les minéraux dont le **Fe et Al**

Le Mg++ est un ion hydraté



Forte capacité de rétention en eau



Sol avec trop de Mg

=

Sol hydromorphe Forte concentration de Fe et Al

Comment extraire le magnésium ?

Soufre élémentaire ou gypse

+

Très bonne gestion du lisier-fumier

+

Apport minéral de K







Canton de Vaud - Août 2021

La silice est un élément important souvent sous-estimé

La silice permet de lutter contre :

Sécheresse

Résistance aux maladies

Résistance face aux insectes

Maintien de l'équilibre minéral

Les mécanismes influencés :

- Transpiration de la plante moins importante
- Renforcement des cellules végétales
- Stimulation des systèmes antioxydants
- Renforcement de la photosynthèse
- Augmentation de l'efficacité de l'eau
- Stimulation des défenses biochimiques



Effet d'une application de silice sur du riz



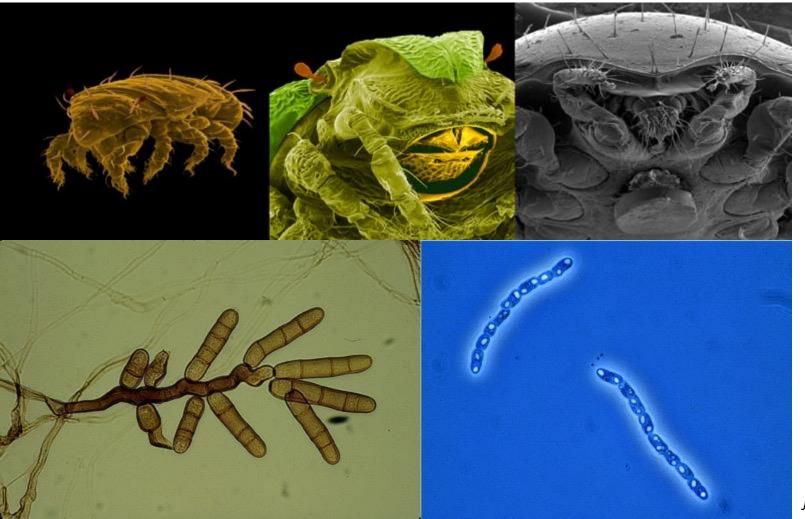
Source: PUPPE D, SOMMER M (2018)

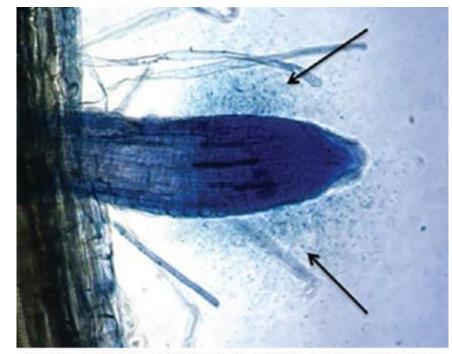




Canton de Vaud – Août 2021

Ces êtres vivants que l'on nourrit par le carbone et qui peuplent nos sols mais que l'on connait pas





Nuage de bactéries (flèches) autour de l'extrémité du méristème des racines de Phragmites australis (White et al., 2019^b).





Canton de Vaud - Août 2021

Les azotobacters

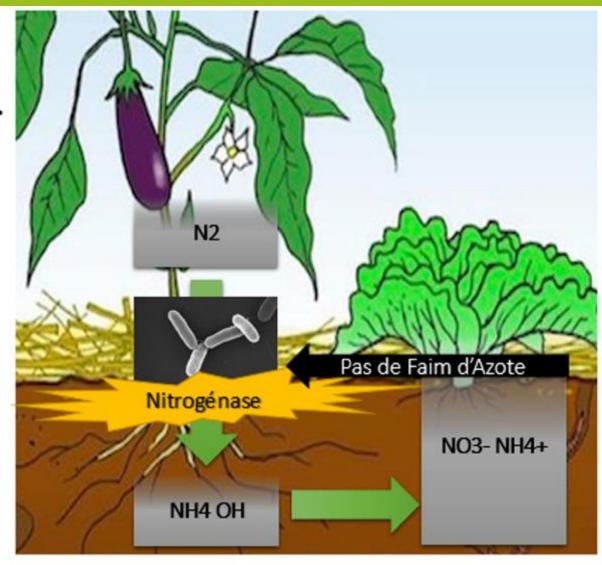
Importance de positionner la MO en surface.

Fixation biologique d'Azote depuis l'air (N₂) Pas de Faim d'Azote en surface Il y a assez d'azote dans l'air!

Minéralisation de l'humus

Succion d'azote dans la rhizosphère

Le sol digère de la paille (feuilles mortes, bois, racines,...)







Canton de Vaud - Août 2021

1 tonne de paille à C/N de 150 contient :

- ≈ 3 unités d'azote
- ≈ 400 unités de carbone

+ 13 UN/t Gain d'azote de l'air

Dans l'air, le carbone est digéré par des fixateurs libres d'azote

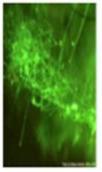
1 tonne de bouillie de paille à C/N de 24 contient

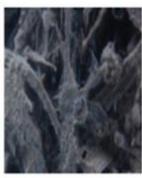
- ≈ 16 unités d'azote
- ≈ 400 unités de carbone

Cette bouillie végétale nourrit l'activité biologique dans le sol











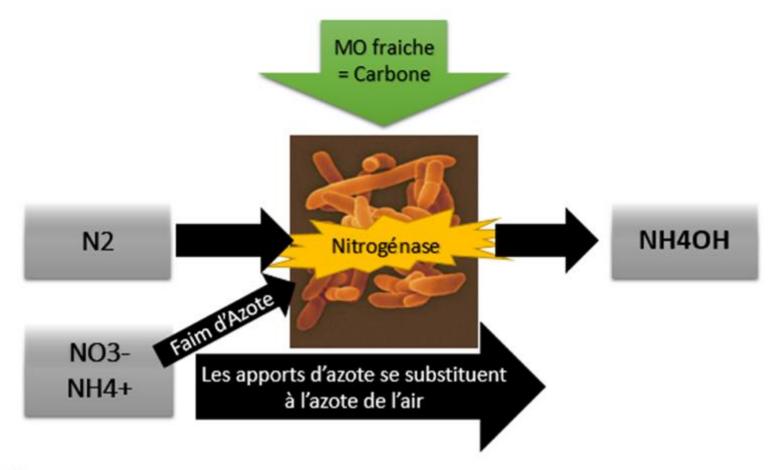


Canton de Vaud - Août 2021

Les fixateurs libres comprennent des genres très divers :

Azotobacter, Nitrobacter,
Azospirillum, Acetobacter,
Diazotrophicus, Clostridium,
Klebsiella, Bacillus,
Pseudomonas, Rhodobacter,
Rhodospirillum,
Synechococcus.

Dynamique des populations conditionnée par la nutrition carbonée



Références:

Lydie Suty: Les végétaux, Les relations avec leur environnement

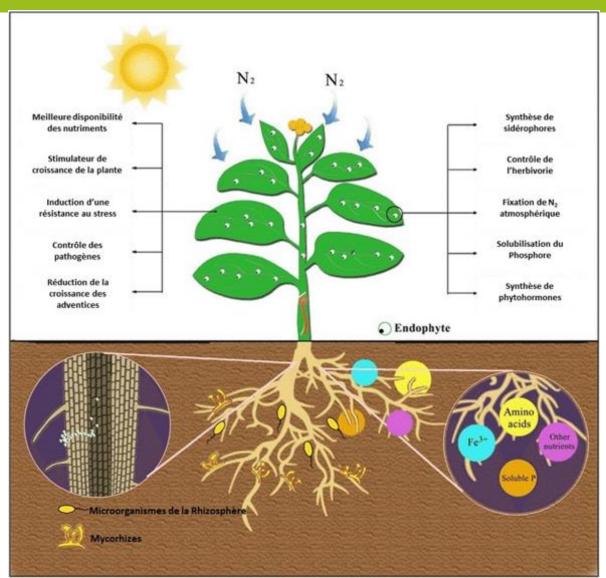




Canton de Vaud - Août 2021

Les endophytes sont des bactéries qui vivent autour des racines

Les fixatrices libres d'azote se trouvent principalement sur le sol et sous les litières.



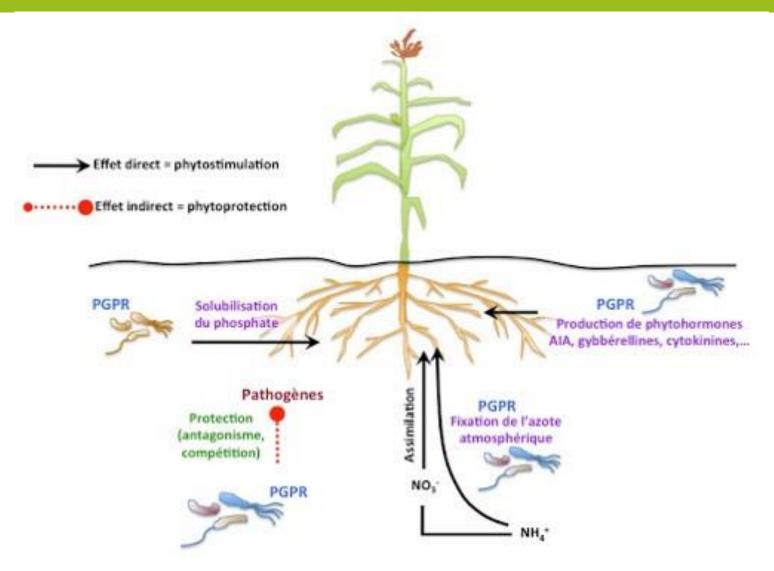




Canton de Vaud - Août 2021

Les PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), sont définies comme des bactéries présentes dans la rhizosphère.

Les PGPR sont aujourd'hui vendues comme bactéries « starter »







Canton de Vaud – Août 2021

1 tonne de vers de terre = 25 vers de terre / m²

Québec 🕯 🕏

100 tonnes de tortillons

1,5 cm d'application de fumier

1 300 m de drain de 15 cm \emptyset = 1 drain de 15 tous les 7,7 m/ha

10 kg d'azote

65 kg de phosphore

160 kg de potasse

200 kg de magnésium

1100 kg de calcium







Canton de Vaud - Août 2021

Galerie de vers de terre

Reste opérationnelle 30 ans après la mort du vers.

Ne pas détruire!







Canton de Vaud - Août 2021

Les autres ravageurs

Jill Claperton

Nématodes, les hyphes mycéliens contrôlent naturellement les nématodes en les encerclant (lasso étrangleur).

Le saviez vous ? L'apport de bois et de BRF permet aux champignons de se développer et de contrôler les nématodes

Limaces, elles cultivent des champignons qu'elles sèment en mangeant les jeunes feuilles

- Période de semis (Très tôt ou très tard mais moins favorable au rendement)
- Démarrage rapide, pour passer les stades de sensibilité rapidement
- Plantes compagnes, pour troubler les ravageurs et limiter les dégâts sur la culture
- Décoction de laurier, beaucoup utilisé par les vignerons sur les escargots





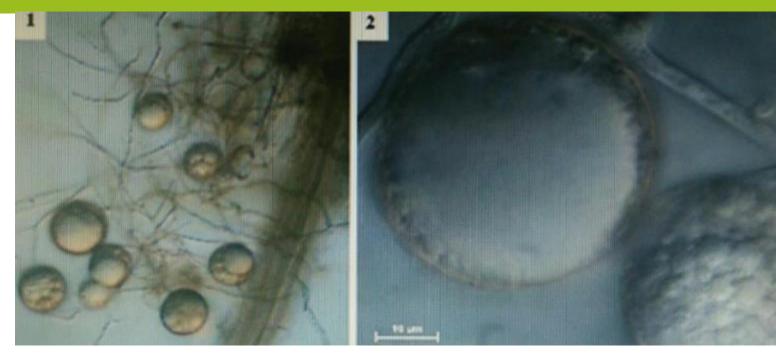


Canton de Vaud - Août 2021

Le *Glomus* iranicum var. tenuihypharum

Un Glomus est un micro-organisme de la famille des champignons, formateur de mycorhizes arbusculaires. Grâce à son abondant mycélium extra matriciel (grand volume de sol exploré), elle permet des échanges de sucres, de nutriments et d'eau.

Il contribue à améliorer les conditions physicochimiques du sol, à stimuler la croissance et la productivité de la majorité des plantes.



Les biostimulants agricoles faits à partir de ce Glomus présentent les caractéristiques suivantes:

- Forte production de mycélium extra-racinaire donne lieu à un échange plus important de nutriments et d'eau entre le sol et la plante.
- Augmentation de la capacité d'absorption d'eau chez la plante
- Action positive sur le bilan hormonal de la plante : augmentation du système racinaire, meilleurs nouaison, grossissement et qualité du fruit, nutrition équilibrée garantie.

Source: SYMBORG (2021)





Canton de Vaud - Août 2021

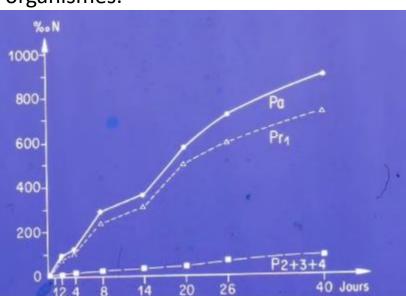
Vers de terre : 600 UN/ha/an assimilée par les plantes

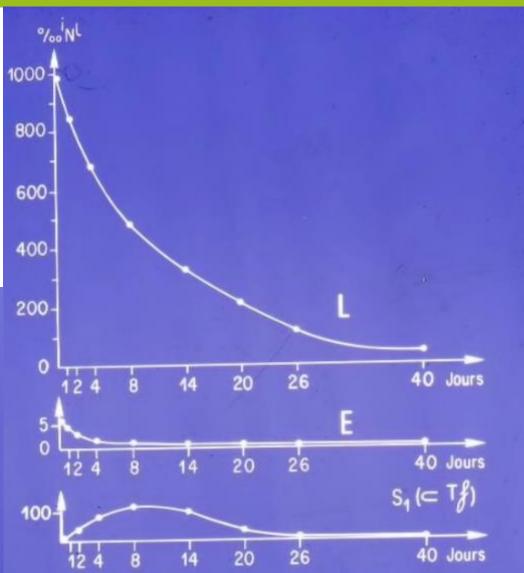
Azote lombricien marqué au N_{15} en ‰ (L) quitte le ver de terre vers le tube digestif (E), le sol (S) puis les plantes (racines « Pr » et parties aériennes « Pa »).

Le mucus et les turricules sont disponibles pour les plantes après 12-14j de décomposition par les micro-organismes.

L'azote circule des vers jusqu'aux plantes!











Canton de Vaud – Août 2021

Bilans des transits intestinaux et métaboliques lombriciens

Azote:

Ingéré : 2 300 kg/ha

Assimilé par les plantes : 583 kg/ha soit 16,5% d'ingéré

Déféqué : 1 767 kg/ha soit 85,3% d'ingéré

Carbone organique:

Ingéré : 10 t/ha/an

Assimilé : 2 750 kg/ha/an

• Digéré : ~2 250 kg/ha/an

Déféqué : ~5 000 kg/ha/an

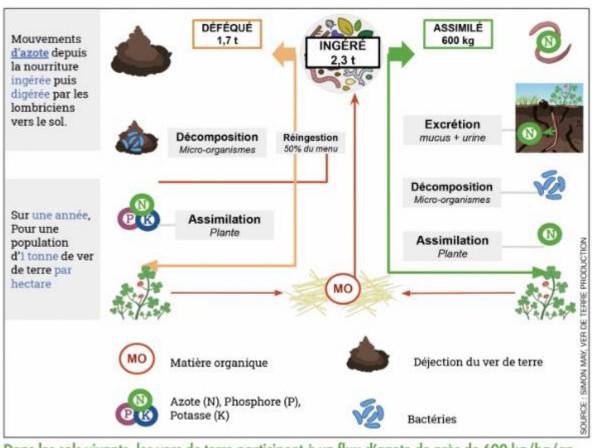
soit 27,5% d'ingéré

soit 22,5% d'ingéré

la moitié sera réingérée

sous forme de

lombrimix



Dans les sols vivants, les vers de terre participent à un flux d'azote de près de 600 kg/ha/an.

Source: BOUCHE M. (2018)





Canton de Vaud – Août 2021

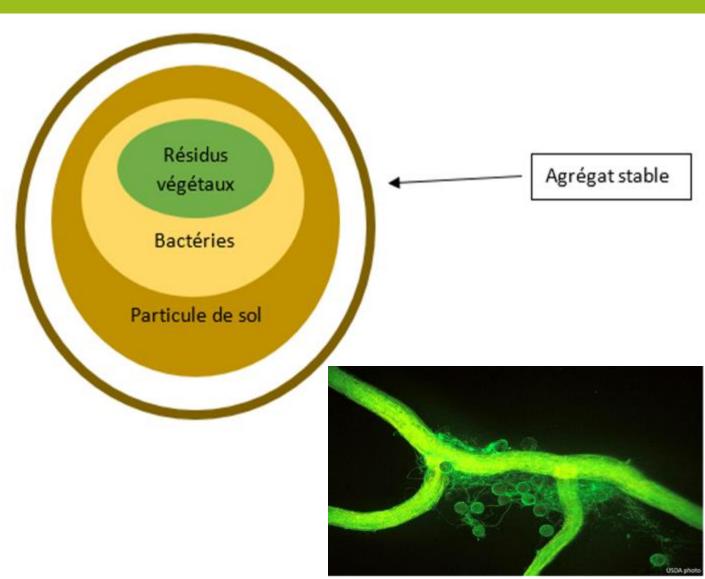
Le rôle des bactéries dans l'état structurale du sol

Les bactéries sont efficaces dans la disponibilité des éléments minéraux pour les plantes, mais aussi dans le bon état structural du sol.

Stabilisation des microagrégats grâce à la texture collante produite par les bactéries Les hyphes de champignons permettent de stabiliser les macro-agrégats.

ľeau

Structure grumeleuse, bonne capacité à stocker de







Canton de Vaud – Août 2021

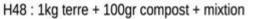
Pas de litière carbonée

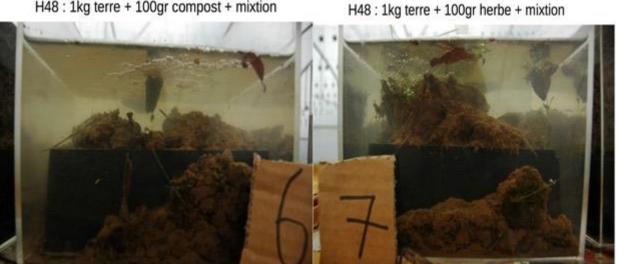
pas de nutrition des bactéries

Litière carbonée apportée

nutrition des bactéries

entretien du bon état structural





H48: 1kg terre + 100gr paille + mixtion

H48: 1kg terre + 100gr BRF + mixtion







Canton de Vaud – Août 2021

Le sol une mixture de composants

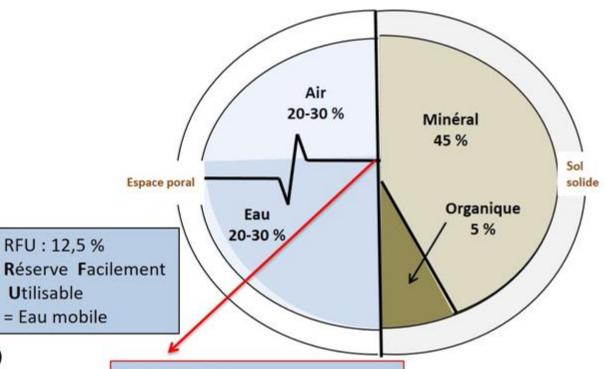
Macro agrégat = une motte naturelle (sous bois) 50% de vide et 50% de matériaux

La partie vide ≈ 50 %

- eau ≈ 20 à 30 %
- air ≈ 20 à 30 %

La partie solide ≈ 50 %

- minéral ≈ 45 %
- M.O. ≈ 5 %



RDU: 12,5 %

Réserve Difficilement Utilisable

= Eau liée au sol





Canton de Vaud - Août 2021

La composition de l'air du sol n'est pas la même que celle de l'air ambiant

Constituant	Air du sol (%)	Atmosphère extérieure (%)
Oxygène	18 à 20,5 en sol bien aéré 10 après une pluie	21
Azote	78,5 à 80	78
Gaz carbonique	0,2 à 3,5 5 à 10 dans la zone autour des racines	0,03

Jean-François Ponge & Michel Bartoli

Le fonctionnement des racines et de leurs mycorhizes est très sensible à l'accessibilité de l'oxygène dans le sol. Quand le taux d'oxygène du sol est inférieur à 1% les racines meurent.



Bonne porosité = bonne remontée capillaire, qui peut devenir un problème

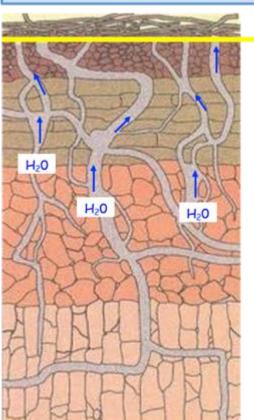






Canton de Vaud - Août 2021

Garder l'eau du sol en créant une rupture de capillarité : pourquoi ?



Naturellement, l'activité biologique du sol organise une continuité de la porosité dans laquelle circule l'air et l'eau qui sera stockée dans la microporosité produite par l'activité biologique

Cette continuité de la porosité biologique permet la remonté capillaire de l'eau

Les passages d'outils en général créent une rupture dans cette continuité stoppant les remontées d'eau à la profondeur travaillée

Objectif : créer une rupture de capillarité peu profonde afin de conserver un maximum de Réserve Utile aux périodes les plus critiques (été)

Du matériel peu coûteux pour se donner une idée de l'état structural du sol







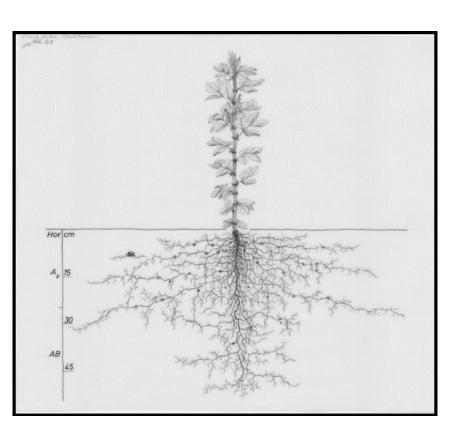


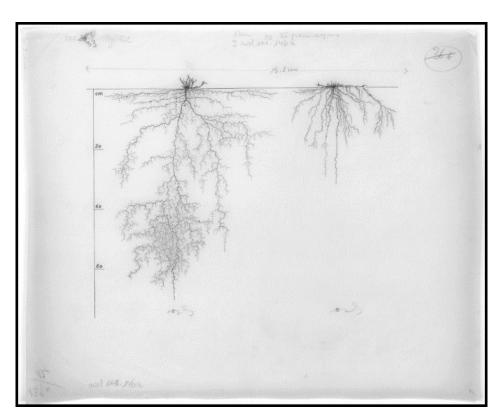




Canton de Vaud – Août 2021

Quelques exemples...





Trèfle blanc (Trifolium repens)

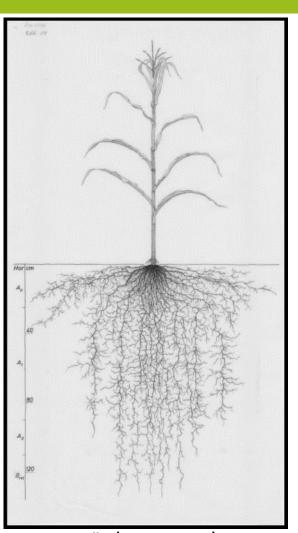
Luzerne (medicago sativa)

Féverole (Vicia faba)
Source : KUTSCHERA L, LICHTENEGGER E (1960)

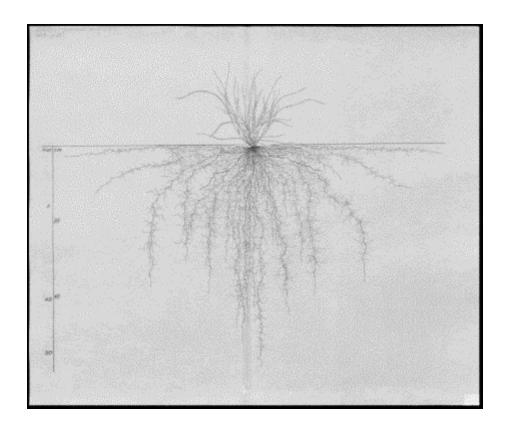




Canton de Vaud – Août 2021



Quelques exemples...



Ray grass (lolium perenne)

Avoine (Avena sativa)

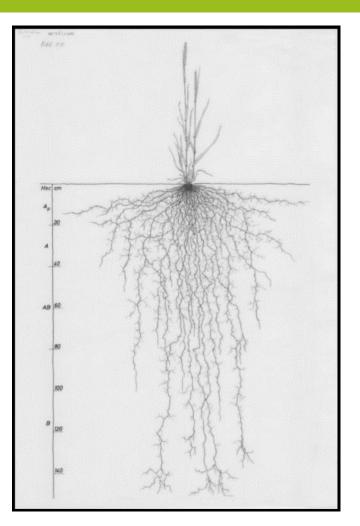
Maïs (Zea mays)

Source: KUTSCHERA L, LICHTENEGGER E (1960)

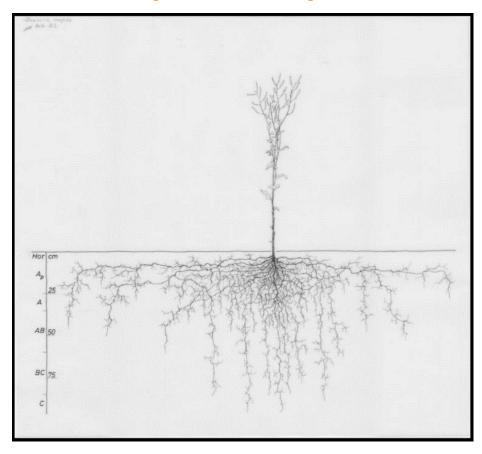




Canton de Vaud – Août 2021



Quelques exemples...



Colza (Brassica napus)

Tournesol (Helianthus annuus)

Blé tendre (Triticum aestivum)

Source: KUTSCHERA L, LICHTENEGGER E (1960)





Canton de Vaud - Août 2021

Ex : Chardon Crispé dans une prairie dans le Calvados



Adventices: Chardon Crispé, Carduus Crispus: base+, Ca+, Air-, MO(C)+, MO(N)-, Foss+, Min+, BP+, AB-

Remarque:

Le Chardon crispé (Carduus Crispus) ressemble à d'autres chardons, type Chardon à Capitules Denses (Carduus Pynocephalus) ou chardon à petites fleurs (Carduus Tenuiflorus) qui présentent tous les mêmes caractéristiques de développement et prolifèrent à partir de 3 phénomènes spécifiques : un sol riche en **bases+** (Ca++, Mg++, K+, Na+, NH4+, Cu++, Zn++, Mn++, ...), ou la totalité du phosphore est bloqué à cause des pratiques agricoles (**BP+**) et une activité biologique très réduite (**AB-**) souvent liée à un problème de compaction des sols. Dans cette parcelle, nous sommes sur une prairie.

Conclusion:

Le sol est asphyxié (Air-), suite au travail du sol pour la préparation du lit de semences et probablement par un surpâturage et un tassement liée aux pieds des animaux. Le sol est riche en matière organique équilibrée (MO(C)+) de type humus avec une carence en matière organiques animales (MO(N)-) qui induisent une faible minéralisation et un manque probable de potasse. Au niveau des bases, c'est donc sur un excès de calcium (Ca+)de la magnésie qu'il faut porter son attention (voir une analyse de sol). Cette situation introduit une fossilisation de la matière organique (Humus) présent (Foss+), avec un fonctionnement du sol axée sur la minéralisation des limons et des argiles plutôt que celle de l'humus (Min+).

D'autre part, le chardon crispé est réactif à une activité biologique faible (AB-) et au blocage du phosphore (BP+) qui surviennent systématiquement avec des sols ayant été chaulés (trop) ou sur roches mères calcaires et compactés.

Moyens de lutte :

En AB, il est quasi impossible de lutter contre une attaque envahissante de chardon crispé. Le seul moyen de lutte consiste à :

- Laisser pousser et réaliser un roulage lorsque la plante fait sa fleur, c'est à dire en fin mai et début juin. Le roulage à floraison permet à la plante de corriger de nombreux défauts du sol, notamment le déblocage du phosphore et la mise en aérobie via les très puissantes racines
- Le roulage à floraison permet également de profiter de la biomasse produite et de restituer beaucoup d'activité biologique
- Le roulage à floraison doit se faire par temps sec, et il faudra sans doute passer 2 fois à quelques jours d'intervalles

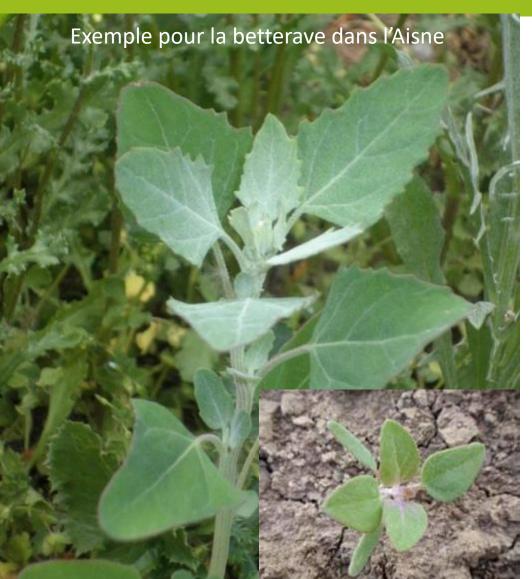
En conventionnel, il reste les désherbants sélectifs, mais ils n'arrangent pas les défauts initiaux

- Apporter un lisier ou un fumier traité aux bactéries lactiques en automne,
- réaliser la fauche tardive pendant quelques années pour laisser les systèmes racinaires se régénérer,
- supprimer le chaulage,
- Une fertilisation au soufre + oligo éléments est particulièrement indiquée.





Canton de Vaud - Août 2021



- Adventices: Chénopode Blanc, Chenopodium album: base+, MO(N)+, Nit +P, Sali +K
- Remarque: Le chénopode blanc n'est peut être pas la seule variété de chénopode qui pousse dans les parcelles. Ses cousins, chenopodium ficifolium et chenopodium opulifolim sont encore plus réactifs à l'excès d'azote MO(N)+. Cependant, tous les chénopodes ont une affinité pour l'azote, et particulièrement pour les nitrites (Nit+P) qui sont le signe d'une anaérobiose totale provoquant la dissociation du complexe argilo humique et la solubilisation de l'aluminium et du fer qui peuvent être toxiques lorsqu'ils sont en excès dans les plantes (présence de métaux lourds)
- Conclusion :
- Le sol est asphyxié, suite au travail du sol pour la préparation du lit de semences. La herse rotative va affiner la surface, ou l'affinage pour le semoir. Cette terre fine, trop pauvre en MO se prend en croûte de battance dès la première pluie. Le travail du sol produit des nitrates NO3- qui, en absence d'air, vont être réduit en nitrites NO2 toxique pour les plantes. C'est alors que le chénopode commence à pousser. Les nitrites sont produits de la manière suivante : l'activité biologique nécessite de l'oxygène pour fonctionner. Quand le sol s'asphyxie pour cause de croûte de battance, les microorganisme récupèrent de l'oxygène à partir des nitrates. NO3- auquel on enlève 1 oxygène donne du NO2 (des nitrites toxiques).
- D'autre part, le chénopode blanc est également TRES réactif à la présence de bases. Une base est un minéral classé +. La potasse est une base K+. Et c'est bien un excès de potasse qui pose problème dans le champs. En effet, un excès de potasse est en train de saliniser le sol (Sali+K). Cette salinisation des sols par la potasse est liée au travail du sol qui détruit les agrégats et qui libère de la potasse en excès. Il y en a sans doute beaucoup à l'analyse de sol qui doit afficher « très riche ». La création d'une croûte de battance n'arrange rien. Le soleil chauffe la terre et la potasse remonte du sol affiné pour se piéger en excès dans la croûte de battance.

Moyens de lutte :

Changer les techniques de préparation des lits de semences qui sont beaucoup trop fins, provoquent la battance, et produisent des nitrates et la salinisation des sols par la potasse (une base). Il s'agit de ne travailler que légèrement la ligne de semis ou pas du tout (faire du semis direct). La présence de déchets sera aussi bénéfiques. Il faut générer de l'humification avec des couverts à floraison restitués au sol. Il faudrait sans aucun problème supprimer la gestion au nitrates et passer à une autre forme d'azote : de l'urée dès l'automne dans le couvert et le solde tôt au printemps (15 à 30 janvier) avec des acides aminés dans la ligne du sillon. Ce type de stratégie pourrait être payante.





Canton de Vaud – Août 2021

Nom Français :

Ray-grass

Nom Kerguelen:

Lolium perenne

Indicateurs:

- Richesse du sol en bases non actives (K Mg Ca), pH entre 5,5 et 6,5
- Engorgement du sol en eau, risque d'hydromorphisme
- Travail du sol par temps humide
- Sol riche en nitrate
- Risque de dissociation du complexe argilo-humique provoquant la libération de Al, Fe et nitrites







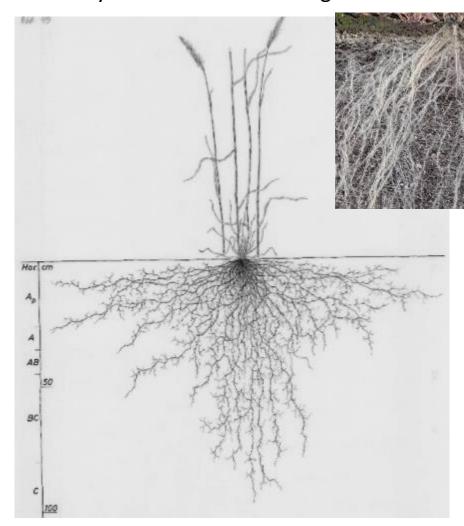
Canton de Vaud - Août 2021

Les moyens de lutte

Ray-grass:

- Face au calcium et à la magnésie, rapport K⁺/Mg⁺⁺
 - => le chaulage est à réfléchir et à supprimer, garder l'équilibre K⁺/mg⁺⁺ autour de 1
- Nitrates (NO3⁻)
 - => passer à l'urée et/ou organique
- Dissociation du CAH, système racinaire très puissant dans les 0-20cm
 - => Mettre une racine qui remplace le travail du sol et facile à maitriser → seigle
- Hydromorphie, mettre des racines pivots
 - => radis, trèfle violet, trèfle blanc

Système racinaire du seigle



Source: KUTSCHERA L, LICHTENEGGER E (1960)





Canton de Vaud – Août 2021

Stratégies de substitution

Les plantes non désirées peuvent être remplacées par des plantes qui ont plus d'intérêt.

Notamment en s'intéressant aux systèmes racinaires, et à leurs similitudes.



Seigle

Source: KUTSCHERAL, LICHTENEGGER E (1960)





Canton de Vaud - Août 2021

Nom Français:

Vulpin

Nom Kerguelen:

Alopecurus

Indicateurs:

- Présence de calcaire
- Asphyxie du sol par battance, compactage
- Activité biologique bloquée, minéralisation faible ou difficile
- Sol possiblement hydromorphe
- Nitrites produits par les pratiques agricoles Risque de dissociation du complexe argilo-humique provoquant la libération de Al, Fe et nitrites







Canton de Vaud – Août 2021

Les moyens de lutte

<u>Vulpin</u>:

- Plante qui adore le calcaire, ne pas chauler
 - → apport de gypse si besoin de calcium assimilable, apports de soufre
- Prolifère avec les déchaumages, battance et nitrites
 - → minimiser le travail du sol
- Sol hydromorphe et faible activité biologique
 - → besoin de plante à racines pivots, restitution des pailles et couverts végétaux de qualité



Source: TROMMENSCHLAGER S (2021)





Canton de Vaud - Août 2021





Photo: Paul Isler



Photo: Sylvain Trommenschlager

Il existe des blés qui étouffent le RG et le Vulpin car ils ont été croisés avec des seigles pour améliorer leur résistance au froid. Il possèdent donc les racines du seigle.

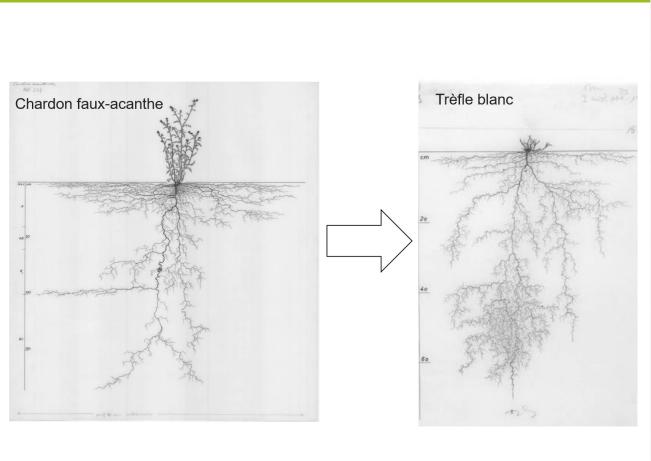
Vulpins étouffé

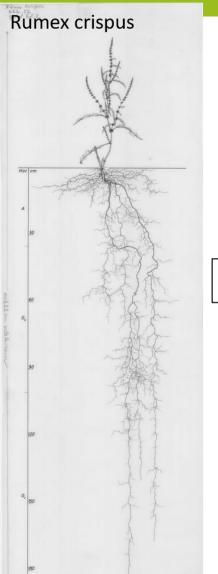
par le blé

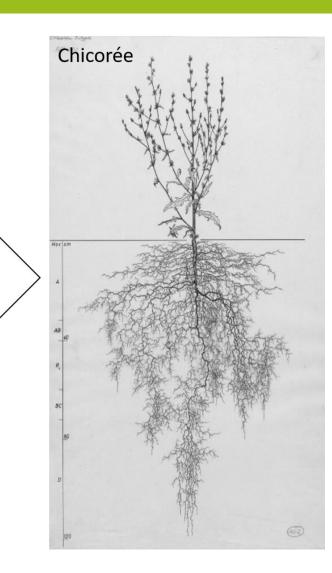




Canton de Vaud – Août 2021







Source: KUTSCHERAL, LICHTENEGGER E (1960)





Canton de Vaud – Août 2021

Trèfle blanc Radis fourrager Trèfle violet

Source: KUTSCHERA L, LICHTENEGGER E (1960)





Canton de Vaud – Août 2021

Le fil rouge à suivre pour construire un système de culture se base sur l'assurance « MMA » MMA est la démarche à suivre pour :

- Maximiser les plantes compagnes
- Minimiser le travail de sol
- Adapter la fertilisation

Maximiser les plantes compagnes

C'est couvrir le sol à 100% Couverture agressive



Pour le choix des espèces des plantes compagnes, il faut réfléchir sur :

- le trèfle blanc nain qui est agressif
- Luzerne qui se rapproche au mieux des caractéristiques de la Luzelle
- le lotier dont la seule variété valable est « Norton »





Canton de Vaud - Août 2021

Minimiser le travail du sol

L'ordre stratégique pour un semis sous couvert permanent serait :

- 1 semis direct, les semoirs à dents fines sont les mieux adaptés pour le semoir à disque est possible le broyage des pailles et la répartition des menus pailles est une étape importante;
- 2 broyage (broyeur à marteaux), désherbage sélectif, Roll N Sem, et utilisation de glyphosate
- 3 Roulage qui doit être fait par temps sec. C'est pour cela qu'il est important de semer très tôt, à partir de fin août.







Canton de Vaud - Août 2021

Adapter la fertilisation

La meilleure fertilisation = amendement organique Pour garder la bonne vigueur des plantes compagnes apporter à l'automne, du soufre soit par le gypse, kiésérite, ...

Le starter est l'élément indispensable pour un semis sous couvert, starter type CMV, aliment pour porcelet.

LVH travaille sur une nouvelle gamme de starter enrichi en azote.

Le starter peut aussi être complété par un enrobage de ferme type, vitamine C, TCO, ...





La protection des plantes à l'automne et au printemps se fait par les oligo-éléments, et l'augmentation des quantités de bore s'avère très efficace contre les insectes.





Canton de Vaud - Août 2021

Cycler la biologie pour gagner en autofertilité

Pour cycler la biologie le moyen simple et utile est la gestion en monoculture.

La gestion de la monoculture n'est possible que par la bonne gestion des plantes compagnes.

Essai de culture

Monoculture de maïs pendant 21 ans

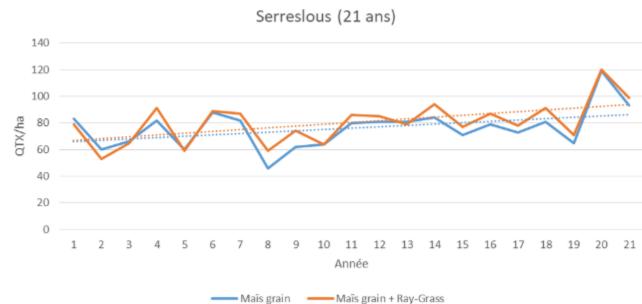
Avec couvert

Sans couvert

Gain notable à partir de la 5eme année

Source: LUBET E, PLENET D, JUSTE C (1993)









Canton de Vaud - Août 2021

Expérience de Nicolas Hallégouët paysan en Bretagne

Octobre 2020 : couvert de chénopode blanc + renouée après pommes de terre et semis direct de blé Zéro désherbage. Le trèfle blanc sera semé en mars à la volée avant un petite pluie.







Canton de Vaud – Août 2021







Canton de Vaud - Août 2021

Expérience de Nicolas Hallégouët paysan en Bretagne

SAU: 33 ha

Rotation 4 ans \rightarrow 3 ans de monoculture avec trèfle blanc en couvert

permanent

Sol à 6% de MO

Fumure

5 m3 de lisier de bovin /an/ha 100 UN/ha sous forme d'urée

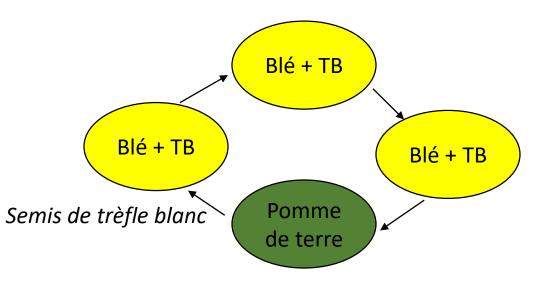
90 quintaux en blé



Octobre 2020 : couvert de chénopode blanc + renouée après pommes de terre et semis direct de blé Zéro désherbage. Le trèfle blanc sera semé en mars à la volée avant un petite pluie.



Rotation







Canton de Vaud – Août 2021







Canton de Vaud – Août 2021

Le Roll'N'Sem

- Principe : la machine rippe la litière et abîme les plantes en les pinçant ce qui retarde la repousse
- Usage : destruction de couverts, gestion des adventices et des plantes compagnes

Machine (version finale):

- Chassis pliable, trainé derrière le tracteur (variante = poussé sur le relevage avant (sur demande)
- Largeur adaptable à tout type de culture, interrang réglable grâce à un système débrayable individuellement
- Machine standard = 6 rangs avec 80cm interrang (maïs) = 5m de large















Canton de Vaud - Août 2021

Les oligo-éléments sont indispensables au bon fonctionnement de la biologie

Les pesticides ainsi que les engrais chimiques perturbent le métabolisme de fabrication des protéines (protéosynthèse) à l'intérieur des plantes = plus de sucres solubles

Les sucres solubles sont le plat parfait pour les parasites À l'inverse ils sont incapable de digérer des sucres complexes

Les enzymes nécessitent la présence d'oligoéléments (Cu, Mn, Zn, Fe, Mo, ...) pour leurs constructions moléculaires

Source: WIKIPEDIA (2021)

Rôle des enzymes dans une réaction chimique sans enzyme énergie d'activation sans enzyme avec enzyme énergie d'activation avec enzyme réactants Energie totale libérée lors de p.ex. C₆H₁₂O₆ + O₂ la réaction produits CO2+H2O Coordonnées de la réaction





Canton de Vaud - Août 2021

Les oligo-éléments sont indispensables au bon fonctionnement de la biologie

Les enzymes:

- 1. Produites par l'activité biologique
- 2. Nécessitent la présence d'oligoéléments
- 3.Interviennent dans l'humification et la minéralisation

4.Un rôle important :

- Baissent l'énergie nécessaire à 1 réaction chimique
- Accélèrent des millions de fois les réactions chimiques
 - Agissent par faible concentration

Rôle des enzymes dans une réaction chimique sans enzyme énergie d'activation sans enzyme avec enzyme énergie ≣nergie d'activation avec enzyme réactants Energie totale p.ex. C₆H₁₂O₆ + O₂ libérée lors de la réaction produits CO2+H2O

Source: WIKIPEDIA (2021)

Coordonnées de la réaction





Canton de Vaud – Août 2021

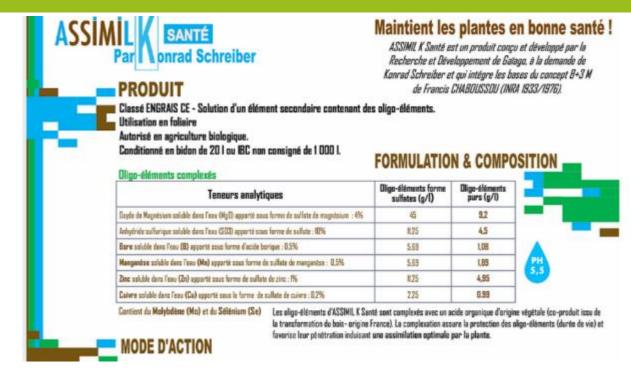
Source: La Vache Heureuse

Les oligo-éléments s'associent à différents agents, dans le but de faciliter leur entrée dans la plante.

> Oligo + Acides aminés = Chélate Oligo + Soufre = Sulfate Oligo + Glucose = Gluconate

Utilisations:

En production animale la forme chélate En végétal les formes sulfate et gluconate



A LVH nous utilisons l'assimil K santé, une formule d'oligo.

Retour d'expérience

Un test avec et sans Assimil a été mené. Il en ressort un effet très positif contre la jaunisse de la betterave grâce à l'apport d'oligo-éléments. Le témoin reste sans amélioration de résultats.

- Est-ce lié aux oligos ? Est-ce lié à la bonne gestion du sol ? Ou est-ce lié aux bonnes pratiques du paysan ?





Canton de Vaud - Août 2021

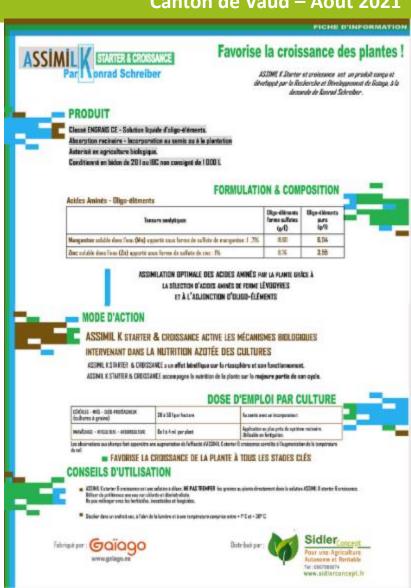
Les acides aminés

- Assimil Starter
 - 13% d'acides aminés microbiens
 - Utiliser entre 40 et 70L/ha
 - 1kg d'acides aminés = 20 UN
 - Absorption racinaire
 - Doit être lavé par la pluie
 - Utiliser à l'abri du soleil



Ne pas mélanger avec des produits phytosanitaires

Source : La Vache Heureuse







Canton de Vaud - Août 2021

Source: La Vache Heureuse

A propos des Acides Aminés



https://www.sidlerconcept.fr commande@sidlerconcept.fr

Pour en savoir plus

http://www.biostimulants.fr/produitsutilisation/types-de-produits/les-biostimulantsorganiques-lexemple-des-hydrolysats-de-proteines

Fonction	Acide aminé
Assimilation des nutriments	Aspartate
	Alanine
	Asparagine
	Glutamine
Production d'énergie	Leucine
	Isoleucine
	Cystine
	Valine
Signalisation en cas de stress	Proline
	Glutamate
	Sérine

Tableau 1 : Effets de certains acides aminés sur les plantes (Heller, *et al.*, 2004 ; Hildebrant *et al.*, 2015)



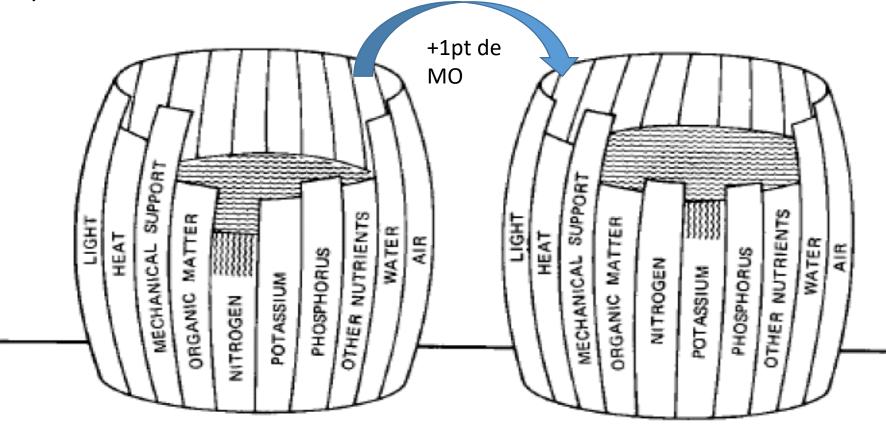


Canton de Vaud - Août 2021

Principe des facteurs limitants

Justus von Liebig (1803-1873)

L'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments, et, par suite, diminue le rendement des récoltes. Les recherches du « père de l'agriculture chimique » ont démontrées l'importance de la matière organique.



Source: LIEBIG J (1840)





Canton de Vaud - Août 2021

1 tonne de paille à C/N de 150 contient :

- ≈ 3 unités d'azote
- ≈ 400 unités de carbone

L'équivalence d'1t de paille :

+ 13 UN/t Gain d'azote de l'air

Dans l'air, le carbone est digéré par des fixateurs libres d'azote

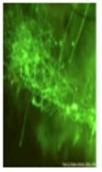
1 tonne de bouillie de paille à C/N de 24 contient

- ≈ 16 unités d'azote
- ≈ 400 unités de carbone

Cette bouillie végétale nourrit l'activité biologique dans le sol













Canton de Vaud - Août 2021

ITK Blé en Agriculture Bio-Logique de Conservation

Maximiser la couverture du sol

Se préparer à l'installation du couvert permanent

Pour le choix des espèces des plantes compagnes, il faut réfléchir sur :

(quantités données pour semis en pur)

- 10kg **trèfle blanc nain** agressif (aran, olwen, barblanca, alice)

Il y a aussi d'autres trèfles plus productifs pour récolter en fourrage :

- Trèfle violet
- Trèfle intermédiaire (frosty)
- 30 kg **Luzerne** qui se rapproche au mieux des caractéristiques de la Luzelle
- 20 kg lotier dont la seule variété valable est « Norton »

Critères	Paille restituée	Paille exportée
Matière organique	2 500 kg/ha	40 kg/ha
Carbone	1 460 kg /ha	20 kg/ha
Azote	140 kg/ha	0 kg/ha

Minimiser le travail du sol

--- Si couvert **NON** implanté ---

- 1) Objectif = **niveler le sol**, car c'est le dernier travail du sol.
- 2) Semis de la céréale (semoir à dents avec disque ouvreur) avec starter fortement conseillé sur la ligne de semis
- Le semoir à dents = qualité du semis → terre fine, propreté du sillon
- Le semoir à disques = praticité de semis → stolon du trèfle coupé (moins de risque de bourrage et baisse de la vivacité du trèfle)
- 3) Semis du couvert à la volée
- 4) Roulage doit être fait par temps sec. C'est pour cela qu'il est important de semer tôt

--- Si couvert **DEJA** implanté ---

- 1) Semis (semoir à dents avec disque ouvreur) avec starter fortement conseillé sur la ligne de semis
- 2) Ralentir le couvert après semis :
- Broyage (broyeur à marteaux)
- Roll N Sem
- Déchaumage superficiel
- Désherbage sélectif et si utilisation de glyphosate, préférer
 l'application sur les plantes peu développées sinon il y a un risque de phytotoxicité pour la plante compagne
- 3) Roulage qui doit être fait par temps sec. C'est pour cela qu'il est important de semer tôt

Adapter la bonne fertilisation

La restitution des pailles permet l'autofertilité

Prendre en compte les paramètres de restitutions pour apporter la bonne fertilisation. Il peut y avoir +100UN déjà présent dans la parcelle ou il peut y avoir 100% de besoin.

Fertilisation organique à privilégier

Fertilisation de la culture

Conventionnelle

Ammonitrate soufrée sortie d'hiver + solde à l'urée le même jour

Tout à l'organique

Matières fermières ou achat extérieur (fumier/fiente de volaille à 5t/ha peut apporter +150UN/ha)

Fertilisation du couvert

Les légumineuses sont friandes de calcium et soufre :

• Si pH< 6,5

150kg de Polysulphate, kiésérite 150kg gypse (30 CaO + 38 SO₃)

Si pH≥ 7

40kg Soufre élémentaire



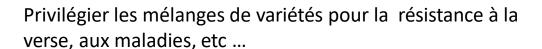


Canton de Vaud - Août 2021

Choix de la variété

Les critères recherchés (par ordre de priorité):

- Paille haute
- Très hiver
- Tardive à montaison
- Précoce à maturité



Liste des variétés conseillées :

GRAZIARO WIWA	ROYAL TENGRI	Blé non-barbus
ENERGO	EHOGOLD	Blé barbus
EDELMAN	CAPO	DIC Dal Dus

Densité de semis entre 350 et 450 grains/m2

Mélanges simples pour se familiariser avec le semis sous couvert permanent :

Triticale « vuka » (quantité classique) – Pois fourrager (10 kg/ha)

Blé (quantité classique) – Féverole (30 kg/ha)

Orge (quantité classique) – Pois (10 kg/ha)

Ces mélanges nécessite de trier la récolte pour la vente, si le mélange n'est pas utilisé pour l'élevage







Canton de Vaud - Août 2021

Protection du végétal d'automne

A l'automne, stade 4 feuilles

- <u>Assimil K Santé</u>, pour renforcer l'immunité de la plante avant l'hiver
- Cuivre et acides humiques (2 à 15 l/ha) pour éviter la fusariose et le piétin
- Bore, toujours intéressant pour la fécondité et la santé du végétal à ajouter si la plante est en difficulté. Bore en solide possible
- Si pucerons : insecticide huile d'olive
- 3L/ha d'huile d'olive
- 3L/ha de lait
- Un peu de liquide vaisselle

Protection du végétal de printemps

Fin tallage, épi 1cm:

- Assimil K Santé (3L/ha)
- Bore, toujours intéressant pour la fécondité et le tallage. A ajouter si la plante est en difficulté. Bore en solide possible
- Extrait d'algues (Kelpak, ou autre pour la biostimulation du végétal à base de phyto-hormones)

En fonction du potentiel de rendement, un ou deux passages supplémentaires. Possibilité d'essayer d'autres formules à base de purins ou autre. Place à votre imagination, tenez-nous au courant de vos résultats!

Verse : La <u>silice organique</u> peut être utilisé comme raccourcisseur et surtout durcisseur de la plante (2g/ha).

Si besoin, appliquer l'insecticide :

- 3L/ha d'huile d'olive
- 3L/ha de Lait
- Un peu de liquide vaisselle





Canton de Vaud - Août 2021

Post-récolte

Les résidus

- Broyage des chaumes et pailles ou récolte des pailles (éparpiller les menus-paillles autant que possible)
- Roulage des chaumes, pour casser l'effet mèche (préserver l'eau du sol)

Gestion des mulots : un mulot stressé ne se reproduit pas ou mal

- Fauches des chaumes (Pour favoriser la prédation et stresser l'animal)
- Herse à paille (production de vibrations)
- Roulage pour perturber les mulots qui n'aiment pas les faucheuses, ils ont peur des vibrations et du bruit.

Post-récolte / pré-semis

- Laisser repousser les légumineuses
- Répéter le même schéma ou avec une autre céréale que l'on pourra semer directement dans les légumineuses
- Apport de fumure organique dès que le temps est plus frais
- Semer directement les céréales (plus ou moins tôt selon les céréales, entre le 15 septembre (blé, seigles) et jusqu'au 10 octobre selon région (orge et triticale)
 - + starter
- Réduire le développement végétatif de la plante compagne
- Roulage





Canton de Vaud – Août 2021

- BAIZE D (2000). Guide des analyses en pédologie. 2^e édition. INRA, Paris. 257p. ISBN: 2738008925
- BOUCHE M, FERRIERE G, SOTO P (1987). The role of earthworms in the decomposition and nitrogen nutrition of plants in a grassland. 17p.
- BOUCHE M (2018). *Marcel BOUCHE Vers de terre et agriculture* [vidéo en ligne]. Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=J0h40xDMwxw&t=6366s (consulté le 23/07/2021)
- BOUCHE M (2018). Des vers de terre et des hommes. Actes Sud 2014. 321p. ISBN: 9782330028893
- BRADY, N C (1974). The nature and properties of soils. 15^e édition.
- COMPANT S, CLEMENT C, SESSITSCH A (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizoand endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. Soil Biol Biochem. 42:669-678
- DUCERF G (2015). Fascicule des conditions de levée de dormance des plantes bio-indicatrices. Briant : édition PROMONATURE. 44p. ISBN : 9791091115018
- DUCERF G (2005). L'encyclopédie des plantes bio-indicatrices alimentaires et médicinales : Guide de diagnostic des sols. 3 tomes. Briant : éditions Promonature. 351p. ISBN : 2951925875
- DUCERF G (2019). Relation entre l'état d'oxydation du sol et la présence flore adventice. (K. Schreiber, intervieweur)
- GERSHUNY G, SMILLIE J (1999). The soul of soil. Chelsea Green Publishing. 173p. ISBN: 9781890132316





Canton de Vaud – Août 2021

- GOBAT M, ARAGNO M, MATTHEY W (1998). Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 519 pp.
- HUSSON O et al. (2021). Soil and plant health in relation to dynamic sustainment of Eh and pH homeostasis: A review. 57p.
- KANDEL SL, JOUBERT PM, DOTY LS (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. Microorganisms. 5:77.
- KLAPP E (1967). Lehrbuch des Acker und Pflanzenbaus. 6e édition (1941)
- KUTSCHERA L, LICHTENEGGER E (1960). *Collections d'images* [en ligne] Disponible sur : https://images.wur.nl/digital/collection/coll13/search (consulté le 22/07/2021)
- LI L et al. (2007). Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. Minnesota. 5p.
- LIEBIG J. (1840). Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 352 p. (consulté le 16/07/2021)
- LUBET E, PLENET D, JUSTE C (1993). Effet à long terme de la monoculture sur le rendement en grain du maïs en condition non irrigués.

 Agronomie, EDP Sciences, 1993, 13 (8), pp.673-683. ffhal-00885585f





Canton de Vaud – Août 2021

- Patricia Mérigout. Étude du métabolisme de la plante en réponse à l'apport de différents fertilisants et adjuvants culturaux. Influence des phytohormones sur le métabolisme azoté. Sciences of the Universe [physics]. INAPG (AgroParisTech), 2006. English. ffNNT: 2006INAP0019ff. ffpastel-00002273f
- PONGE JF, BARTOLI M (2010). L'air du sol, c'est la vie de la forêt. La Forêt Privée revue forestière européenne, La Forêt Privée, 2009, 307, pp.63-70. ffhal-00494582f
- PUPPE D., SOMMER M. (2018). Experiments, uptake mechanisms, and functioning of silicon foliar fertilization A review focusing on maize, rice, and wheat. Advances in Agronomy, Volume 152, ISSN 0065-2113
- RIGOU L., MIGNARD E. (1994). Facteurs d'acidification de la rhizosphère par les plantes endomycorhizées Mesure de la pCO2 et de l'émission de protons dans la rhizosphère, Acta Botanica Gallica, 141:4, 533-539, DOI: 10.1080/12538078.1994.10515195
- SELOSSE et al (2007). Plantes et champignons : l'alliance vitale. *La recherche*. n° 411. pp.58-61 SIEGENTHALER G.. *Le sol de la vigne* [en ligne] Disponible sur : < https://www.domainedevens.com/le_sol.pdf> (consulté le 27/07/2021)
- SOLTNER D (1996). Les bases de la production végétale. Tome I. Soltner. 27^e édition. 472p. ISBN: 2907710001
- SOLTNER D (2015). Agroécologie : guide de la nouvelle agriculture. Sans labour, avec couverts, légumineuses et rotations. 2e édition. 120p. ISBN : 555-2-00-306807-5





Canton de Vaud - Août 2021

- SVISTOONOFF S et al. (2013). Ectomycorrhizal diversity enhances growth and nitrogen fixation of Acacia mangium seedlings. Soil Biology & Biochemistry. Edition Pergamon. pp. 468-476
- SYMBORG (2021). *Produits biostimulants* [en ligne] Disponible sur : < https://symborg.com/fr/biostimulants/> (consulté le 21/07/2021)
- VER DE TERRE PRODUCTION (2021). Désherber avec les plantes bio-indicatrices, par Sylvain Trommenschlager [en ligne]. Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=tOnU3bXWiMs> (consulté le 28/07/2021)
- UNIFA. *Le cycle du phosphore* [en ligne] Disponible sur : https://fertilisation-edu.fr/cycles-bio-geo-chimiques/le-cycle-du-phosphore-p.html
- WIKIPEDIA (2021). Glomus iranicum var. tenuihypharum [en ligne] Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Glomus iranicum var. tenuihypharum.jpg (consulté le 19/07/2021)