

Sous le haut patronage



Avec le soutien



28 octobre 2020 en distanciel

FERTILITÉ ORGANO-BIOLOGIQUE : IMPACTS DU STATUT ACIDO-BASIQUE SUR L'ABONDANCE, L'ACTIVITÉ ET LA DIVERSITÉ DES ORGANISMES DU SOL



MATTHIEU VALÉ
AUREA AGROSCIENCES

Cette présentation s'appuie sur un travail bibliographique
réalisé par

Maël Aubry, Matthieu Latarte, Chloé Quimeby, Morgane Rollo,
élèves ingénieurs en formation initiale d'Agrosup Dijon
Sous l'encadrement de **Nicolas Chemidlin Prevost-Bouré**



Sous le haut
patronage

Avant-propos



Les organismes du sol et leurs fonctions

Statut Acido-Basique (SAB) et organismes du sol

Impact des organismes du sol sur le SAB

Impact du SAB sur les organismes du sol

Liens SAB – Fertilité organo-biologique : cause ou conséquence ?

Sous le haut patronage



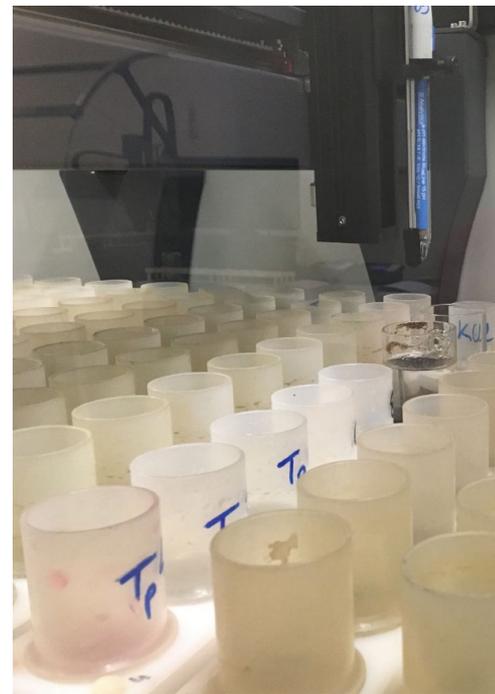
comifer
Comité Français d'Etudes et de Recherches
de la Fertilité Solaire

Indicateurs du Statut acido-basique : **pH** principalement

mais hétérogénéité dans les méthodes de mesure au niveau international (extrait 1/5, 1/2.5, 1/1, non précisé)

→ plage d'incertitude sur les valeurs annoncées (≈ 0.5)

→ Hormis pour les études françaises, il faut plutôt considérer les ordres de grandeur de pH que la valeur précise (rappel incertitude laboratoire : $\approx \pm 0.15$)

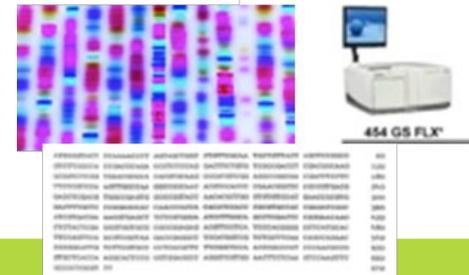
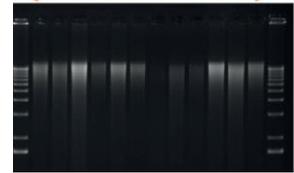


Abondance, activité et diversité des organismes du sol

- Littérature la plus abondante sur les bactéries et les champignons
- Très grande diversité des méthodes d'analyses, liée aux évolutions technologiques (microbiologie moléculaire)
 - Abondance micro-organismes (biomasse microbienne) : fumigation / extraction, acides gras phospholipidiques (PLFA), ADN total
 - Abondance bactéries : qPCR ADNr 16S
 - champignons : ergosterol, qPCR ADNr 18S
 - Activités : respiration, activités enzymatiques, ajout substrats (Leucine, acétate)
 - Diversité : ARISA, profils PLFA, pyroséquençage ADNr 16S et 18S



ADN extrait dans les différents sols



La synthèse réalisée ne tient pas compte des éventuels biais méthodologiques liés à l'une ou l'autre des méthodes

Sous le haut patronage



Avant-propos – diversité des échelles considérées

Les données de la littérature peuvent provenir de dispositifs expérimentaux avec des niveaux de complexité / maîtrise très différents :

- Etudes en laboratoire (milieu de culture, cultures en pots)
- Essais de plein champ (analytiques / comparaison de pratiques, systèmes)
- Observatoires à l'échelle de territoires

→ Attention aux conclusions non consolidées sur différentes échelles



Sous le haut patronage



Avant-propos – Hiérarchisation des facteurs

La vie des organismes du sol est régie par deux facteurs principaux

La qualité de l'habitat (gîte)



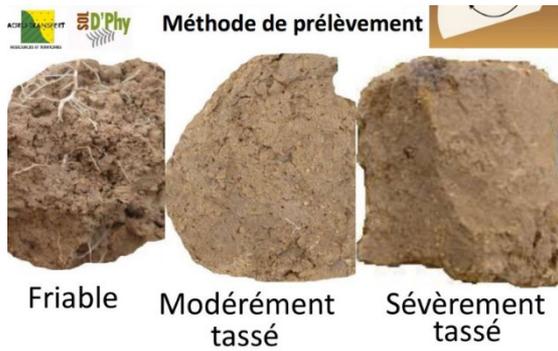
L'accessibilité aux ressources (couvert)



Diversité du paysage
Structure du sol / physico-chimie



Quantité et qualité des
matières organiques,
disponibilité des nutriments



Le statut acido-basique peut impacter sur ces 2 facteurs mais n'est pas forcément le premier facteur limitant



Les organismes du sol et leurs fonctions

Statut Acido-Basique (SAB) et organismes du sol

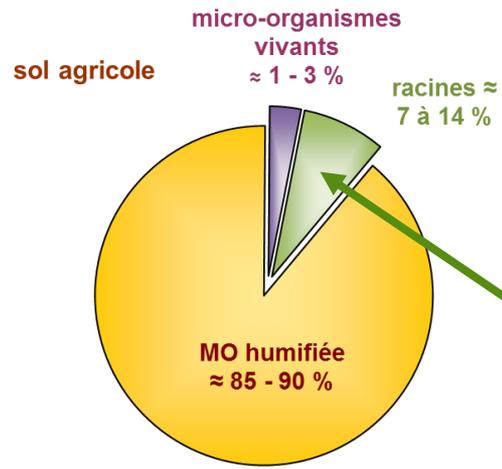
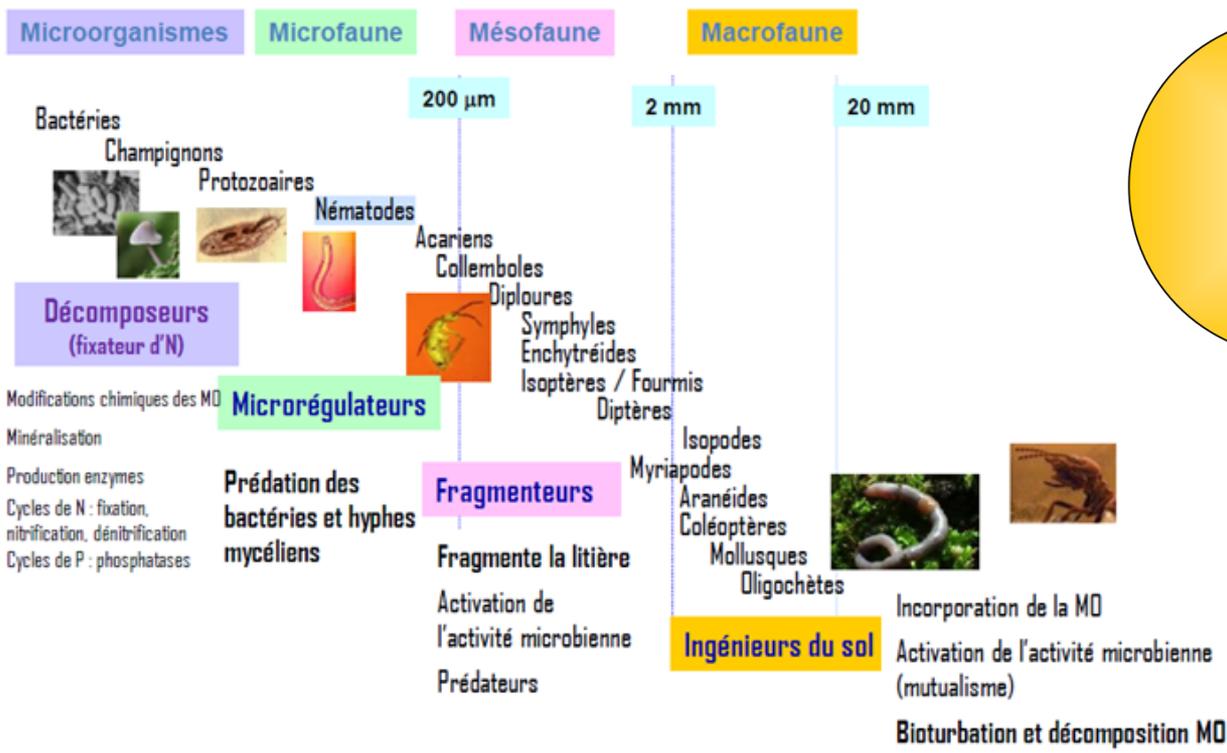
Impact des organismes du sol sur le SAB

Impact du SAB sur les organismes du sol

Liens SAB – Fertilité organo-biologique : cause ou conséquence ?

Sous le haut
patronage

La faune et la flore du sol

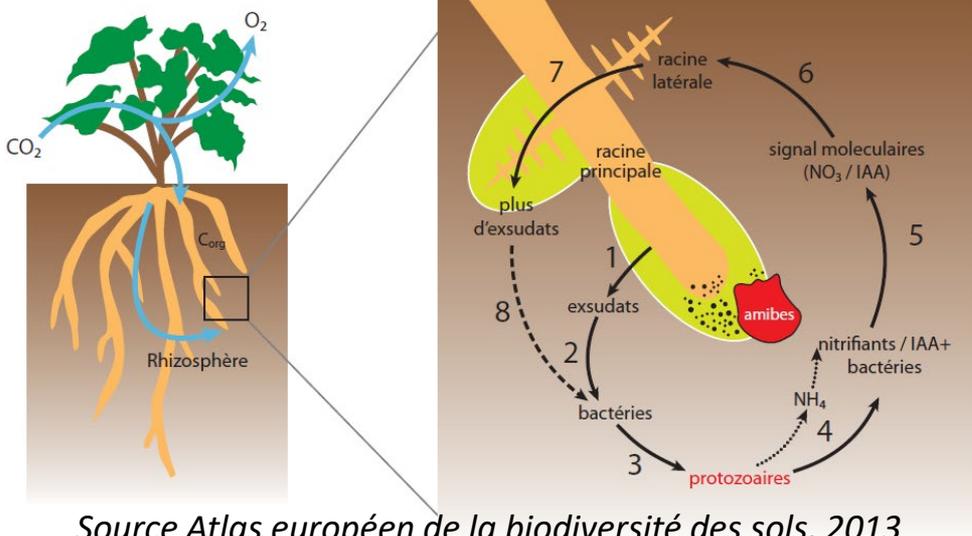


Prise en compte du système racinaire parmi les organismes du sol

Modifié d'après Swift et al. (1979)

(Chevalier et al. 2016. Les organismes des sols, utiles ou futiles ? IRD)

La faune et la flore du sol – prise en compte des racines



Source Atlas européen de la biodiversité des sols, 2013

Par ses exsudats racinaires, la plante est un des principaux facteurs influençant les (micro-)organismes du sol.

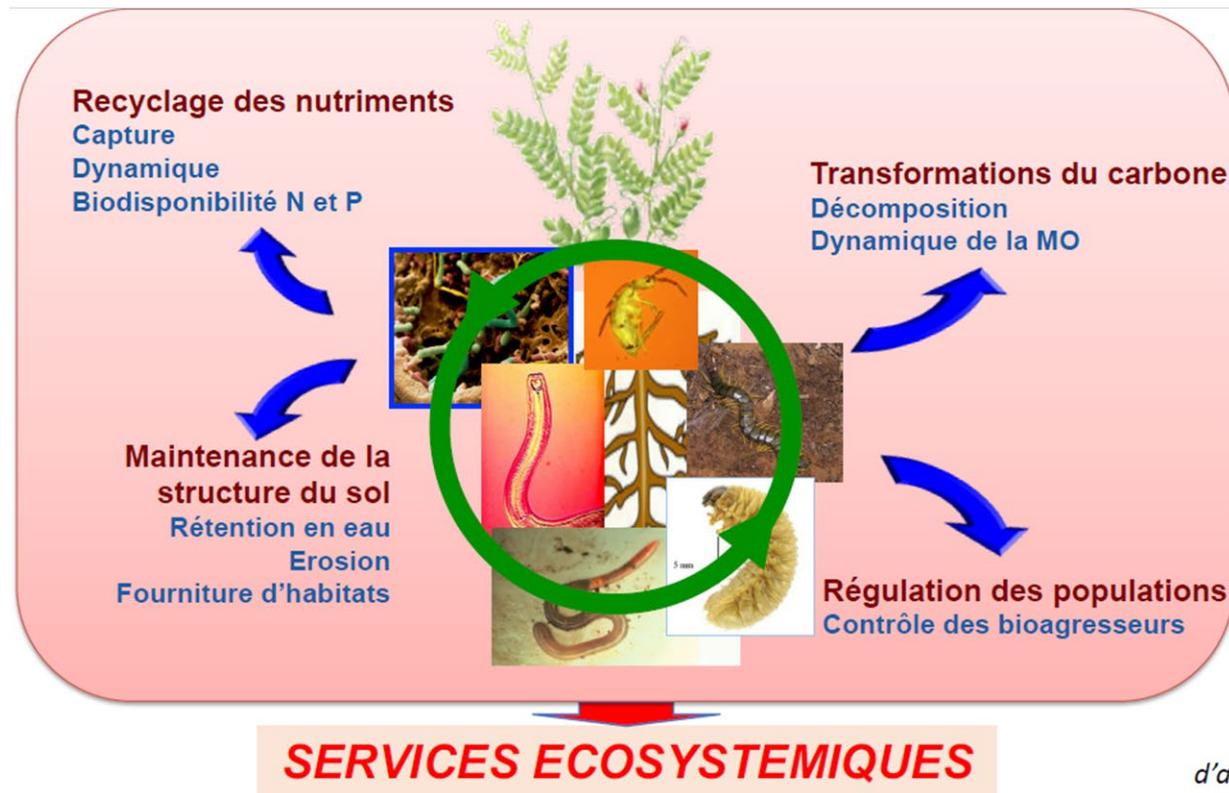
L'activité microbienne est jusqu'à 20 fois plus intense dans le sol rhizosphérique, mais la pression de sélection est également plus forte (compétition pour le fer notamment) → diversité plus faible

Le pH de la rhizosphère diffère souvent de celui du sol avoisinant, cet écart varie selon l'espèce, le stade de croissance, le type de sol et la nature des ions dans la solution du sol.

(Pierre Davet, 1996. Vie microbienne du sol et production végétale)

Sous le haut patronage

Fonctions assurées par les organismes du sol



d'après Blanchart et al.

Sous le haut patronage



Les organismes du sol et leurs fonctions

Statut Acido-Basique (SAB) et organismes du sol

Impact des organismes du sol sur le SAB

Impact du SAB sur les organismes du sol

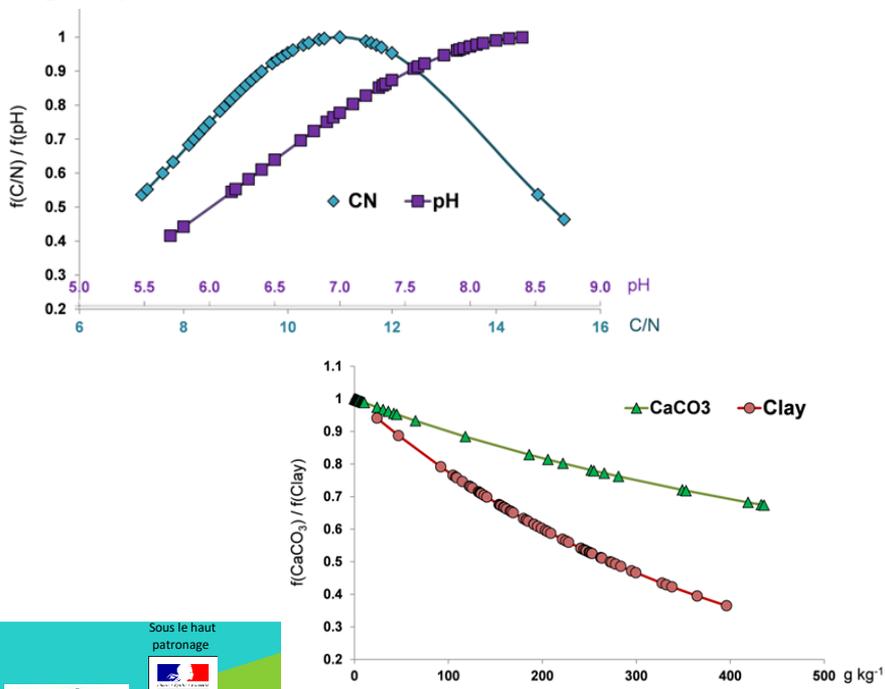
Liens SAB – Fertilité organo-biologique : cause ou conséquence ?

Sous le haut
patronage



Approche statistique / modélisation

Effet des paramètres sol sur la minéralisation de l'azote organique (Clivot et al., 2017)



Étude des processus biologiques

- Compétition pour le fer (co-facteur de nombreuses enzymes) à pH > 6.5 : sidérophores produits par les champignons (ex fusarinine de *Fusarium oxysporum*) ont généralement moins d'affinité avec le fer que ceux produits par les bactéries (ex : pseudobactine de *Pseudomonas*).
- Toxicité des Eléments Traces Métalliques : effet inhibiteur plus fort sur les champignons que sur les bactéries (capsules polysaccharidiques autour des cellules bactériennes : chélation des cations métalliques).

(Pierre Davet, 1996. *Vie microbienne du sol et production végétale*)

Nématodes et collemboles : présents à tous les pH mais semblent préférer les pH acides (6,0), la diversité diminuant en pH basique pour les collemboles.

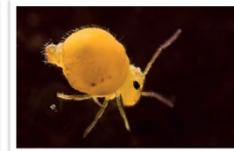


Photo 1. Collemboles (crédit photographiques Philippe Lebeaux)

Loranger et al., 2001 Does soil acidity explain altitudinal sequences in collembolan communities

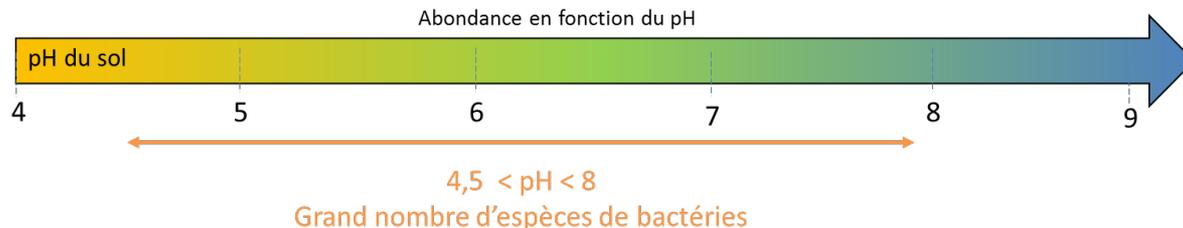
Vers de terre : La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5,0 et 7,5, et peuvent tolérer des pH entre 4,5 et 8,0. Il existe par ailleurs un pH optimal pour chaque espèce.



Les espèces épigées sont beaucoup plus tolérantes à l'acidité (pH<6,0) que les espèces anéciques et endogées, qui préfèrent des pH de 6,0 à 7,0.

Pelosi, 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre Lumbricus terrestris au champ. Contribution à l'étude de l'impact des systèmes de culture sur les communautés lombriciennes

Préférences écologiques des bactéries du sol



Les bactéries ont généralement une croissance limitée en dessous de pH 6,5. Chaque genre va avoir des préférences spécifiques.



ex *Rhizobium Meliloti* : un optimum de croissance entre 7,0 et 7,5.

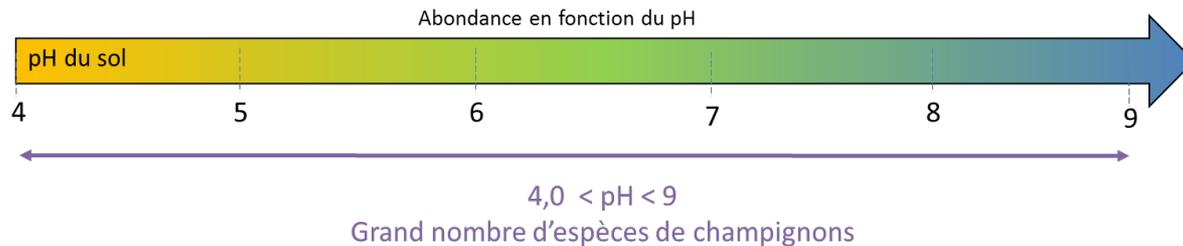
En milieu trop acide la luzerne ne produit pas suffisamment de molécules signal pour attirer le rhizobium. De plus, la formation des nodules par la racine nécessite du calcium et du molybdène, moins disponibles / présents en sol acide. Enfin la toxicité aluminique et manganique est plus forte.

Pierre Davet, 1996. Vie microbienne du sol et production végétale

Fernández-Calviño et Bååth, 2010. Growth response of the bacterial community to pH in soils differing in pH

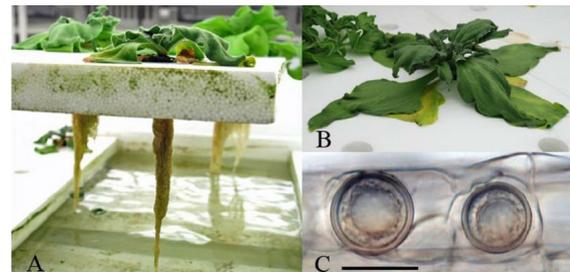
Rousk, et al., 2010 Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil

Préférences écologiques des champignons du sol



Les champignons supportent des pH plus acides que les bactéries (immobilisation des métaux comme Al^{3+}) et sont plus compétitifs que les bactéries pour l'exploitation d'un substrat. Mais ce ne sont pas des organismes acidophiles.

L'optimum pH pour la sporulation et la germination des spores est différent. Pour *Pythium aphanidermatum*, la croissance est optimum entre pH 5 et 6 mais la germination des oospores est optimale pour un pH 7 à 8 (Adams, 1971).



Pierre Davet, 1996. Vie microbienne du sol et production végétale

Fernández-Calviño et Bååth, 2010. Growth response of the bacterial community to pH in soils differing in pH

Rousk, et al., 2010 Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil

Sous le haut patronage

Avant-propos



Les organismes du sol et leurs fonctions

Statut Acido-Basique (SAB) et organismes du sol

Impact des organismes du sol sur le SAB

Impact du SAB sur les organismes du sol

Liens SAB – Fertilité organo-biologique : cause ou conséquence ?

Sous le haut patronage



Activités métaboliques des organismes du sol

(Pierre Davet, 1996. *Vie microbienne du sol et production végétale*)



Respiration (racines, micro-organismes, ...) = production de CO_2

Concentration CO_2 de l'air du sol : 1 à 5 %, à comparer au 0.04 % de l'atmosphère

→ Formation d'acide carbonique (H_2CO_3)

Nitrification = acidification si les nitrates sont lixiviés

Synthèse d'acides organiques, ex : acide oxalique produit par *Sclerotinia minor* qui abaisse le pH à un niveau favorable à l'action de leurs hydrolases (Bateman et Beer, 1965)

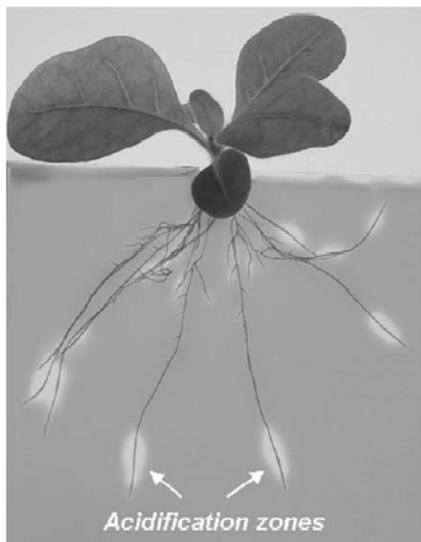
Oxydation du soufre en polythionates puis en sulfates par les bactéries et les champignons
→ impact négligeable en milieu tamponné sauf si apport massif de soufre ou assèchement des sols hydromorphes (tourbe riche en soufre)

Sous le haut patronage

(Pierre Davet, 1996. *Vie microbienne du sol et production végétale*)

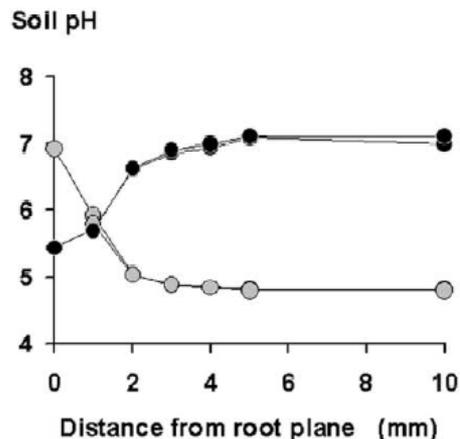
Excrétion de protons par les cellules méristématiques lors de l'élongation racinaire

→ acidification jusqu'à 1 point de pH (Pilet et al, 1983)



Hissinger et al. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review

Impact des racines sur le pH du sol rhizosphérique (quelques mm autour des racines) dépend de l'espèce, du stade de croissance, du type de sol et du pH.



*Évolution du pH en fonction de la distance aux racines d'orge, en sol argilo-limoneux acide avant (points gris) et après chaulage (points noirs)
D'après Youssef and Chino, 1989, repris dans Hissinger et al. 2003*

Sous le haut patronage

Avant-propos



Les organismes du sol et leurs fonctions

Statut Acido-Basique (SAB) et organismes du sol

Impact des organismes du sol sur le SAB

Impact du SAB sur les organismes du sol

Liens SAB – Fertilité organo-biologique : cause ou conséquence ?

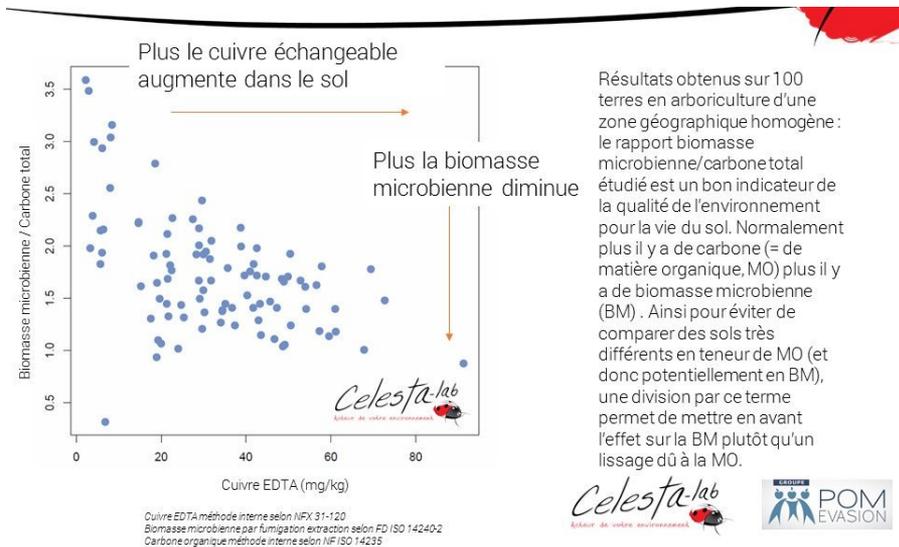
Sous le haut patronage



Les protons H_3O^+ perturbent la perméabilité des membranes cellulaires des micro-organismes, altèrent la production d'enzymes et limitent la division cellulaire.

L'effet inhibiteur du pH est également lié à la plus grande disponibilité des métaux en sol acide. La toxicité des métaux est due à leur affinité avec les groupements $-SH$ des enzymes, qui s'inactivent après liaison avec le métal. L'effet inhibiteur est fort sur les champignons mycorhizogènes ou les rhizobiums, les bactéries s'adaptent mieux (capsules polysaccharidiques).

Pierre Davet, 1996. Vie microbienne du sol et production végétale



Sous le haut patronage

Expression du pouvoir pathogène en fonction du pH

Favorisée en milieu acide	Favorisée en milieu neutre ou alcalin
Aphanomyces euteiches Fusarium oxysporum Plasmodiophora brassicae (hernie du chou) Pythium	Chalara elegans (pourriture noire des racines d'endives) Gaeumannomyces graminis var. tritici (piétin échaudage) Fusarium solani Phymatotrichum omnivorum (pourriture racine fruitiers) Streptomyces scabies (gale Pomme de Terre) Verticillium albo – atrum, Dahliae

Pierre Davet, 1996. *Vie microbienne du sol et production végétale*

Impacts de l'acidité sur l'activité parasitaire

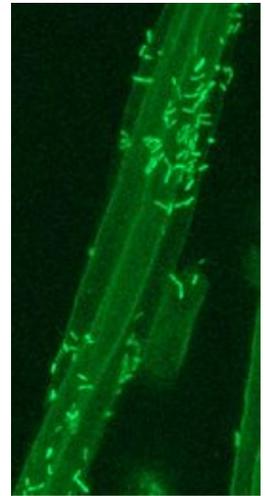


Fusarium oxysporum a un besoin élevé en fer, zinc et Mn. Leur faible solubilité en milieu basique explique la moindre incidence de la maladie dans les sols chaulés.



La gravité du piétin échaudage (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) augmente quand le pH s'élève (ex : chaulage trop important)

- Réduction de l'efficacité de la microflore antagoniste (action antibiotique de *Pseudomonas fluorescens* dans la rhizosphère du blé est cent fois plus faible à pH 7.2 qu'à pH 5.2 (Brisbane et Rovira, 1988)
- Le piétin échaudage oxyde le Mn^{2+} en Mn^{4+} , favorisant la carence pour la plante et donc la sensibilité à l'attaque du pathogène. Les bactéries protégeant le blé contre le piétin sont capables de réduire le Mn.



Sous le haut patronage



Pierre Davet, 1996. *Vie microbienne du sol et production végétale*

Essai chaulage de Rothamsted (GB) sur orge (1962-1996) (pH eau 1/2.5)

La respiration microbienne chute fortement à pH < 4,5

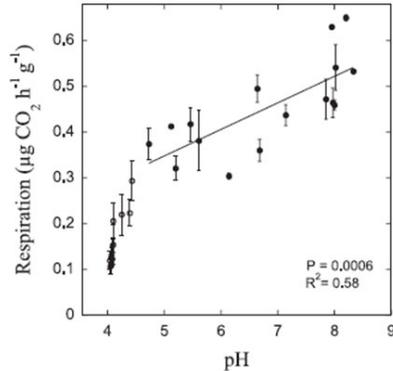


FIG. 6. Effect of pH on respiration. Data for pHs less than pH 4.5 (open circles) were not used in the regression analyses (see Discussion). The error bars indicate ± 1 standard error ($n = 2$).

La croissance bactérienne est plus élevée en pH > 7, contrairement à la croissance fongique

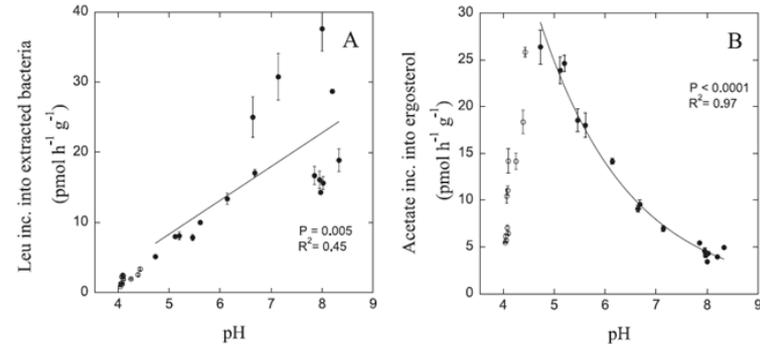


FIG. 2. Effect of pH on bacterial growth as measured by leucine incorporation (A) and on fungal growth as measured by acetate incorporation into ergosterol (B). Data for pHs less than pH 4.5 (open circles) were not used in the regression analyses (see Discussion). The error bars indicate ± 1 standard error ($n = 3$). inc., incorporation.

J.C. Aciego Pietri P.C. Brookes 2008 Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil

Rousk et al 2009 Contrasting Soil pH Effects on Fungal and Bacterial Growth Suggest Functional Redundancy in Carbon Mineralization

Sous le haut patronage

Impacts de l'acidité sur la diversité des micro-organismes du sol

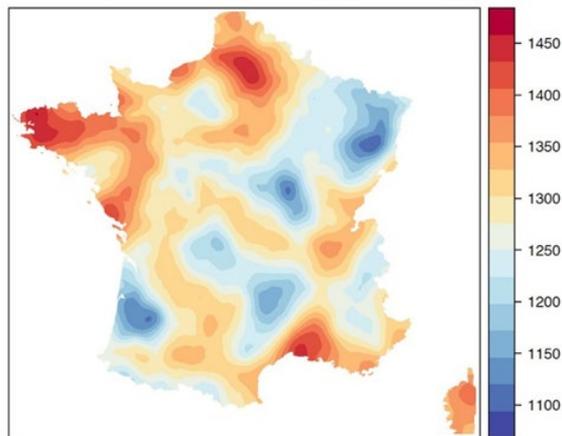


Essai chaulage de Rothamsted (GB) sur orge (1962-1996) (pH eau 1/2.5)

Le pH influence la richesse spécifique des bactéries, mais pas celle des champignons

Rousk et al 2010 Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil

Cartographie nationale de la diversité bactérienne des sols de France
(nombre de taxons bactériens par gramme de sol)



Source : © GIS Sol, UMR Agroécologie – équipe BIOCOM, plateforme GenoSol

Données issues du RMQS : hiérarchisation des facteurs ayant le plus d'influence sur la diversité microbienne : pH > Texture > rapport C/N

Influence du pH sur la diversité microbienne (mais pas l'abondance) mis en évidence par d'autres études utilisant le séquençage ADN :

Wang, et al. Soil pH is the primary factor driving the distribution and function of microorganisms in farmland soils in northeastern China

Lauber et al 2009 Pyrosequencing-Based Assessment of Soil pH as a Predictor of Soil Bacterial Community Structure at the Continental Scale

Sun et al 2015 Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw

Terrat S et al 2018 la caractérisation des communautés microbiennes du sol à l'échelle de la France pour évaluer l'effet de l'usage des sols

Sous le haut patronage

Avant-propos



Les organismes du sol et leurs fonctions

Statut Acido-Basique (SAB) et organismes du sol

Impact des organismes du sol sur le SAB

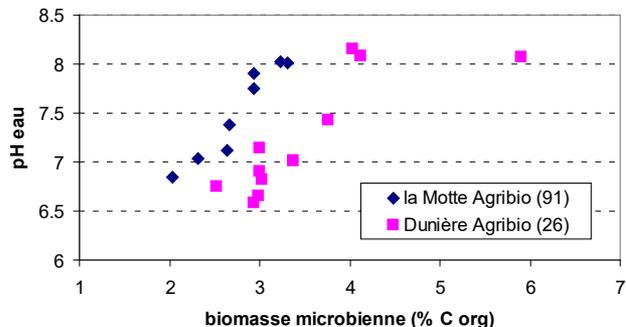
Impact du SAB sur les organismes du sol

Liens SAB – Fertilité organo-biologique : cause ou conséquence ?

Sous le haut patronage



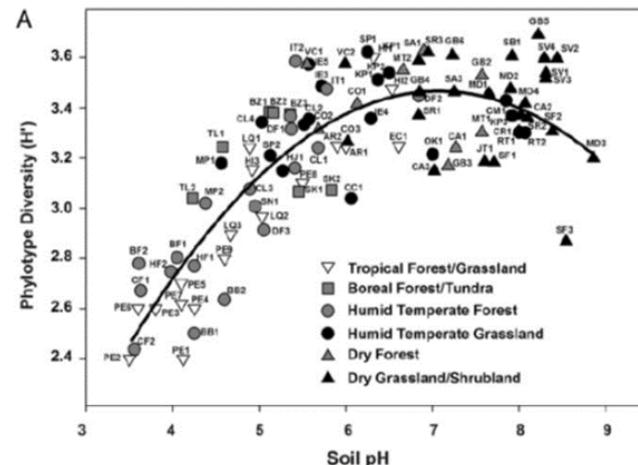
Le pH est un intégrateur de différents paramètres



Essais ARVALIS en agriculture biologique en **sol non calcaire**
(différentes rotations et systèmes de fertilisation)

L'effet pH cache un effet rotation différencié, et est peut-être plus la conséquence de ces différences de rotation que la cause première des variations de biomasse microbienne

Le pH semble modifier la structure des communautés bactériennes, mais cela peut également être un indice intégrateur des conditions du sol (disponibilité des éléments nutritifs, solubilité des métaux, qualité de la MO, régime d'humidité du sol, conductivité).



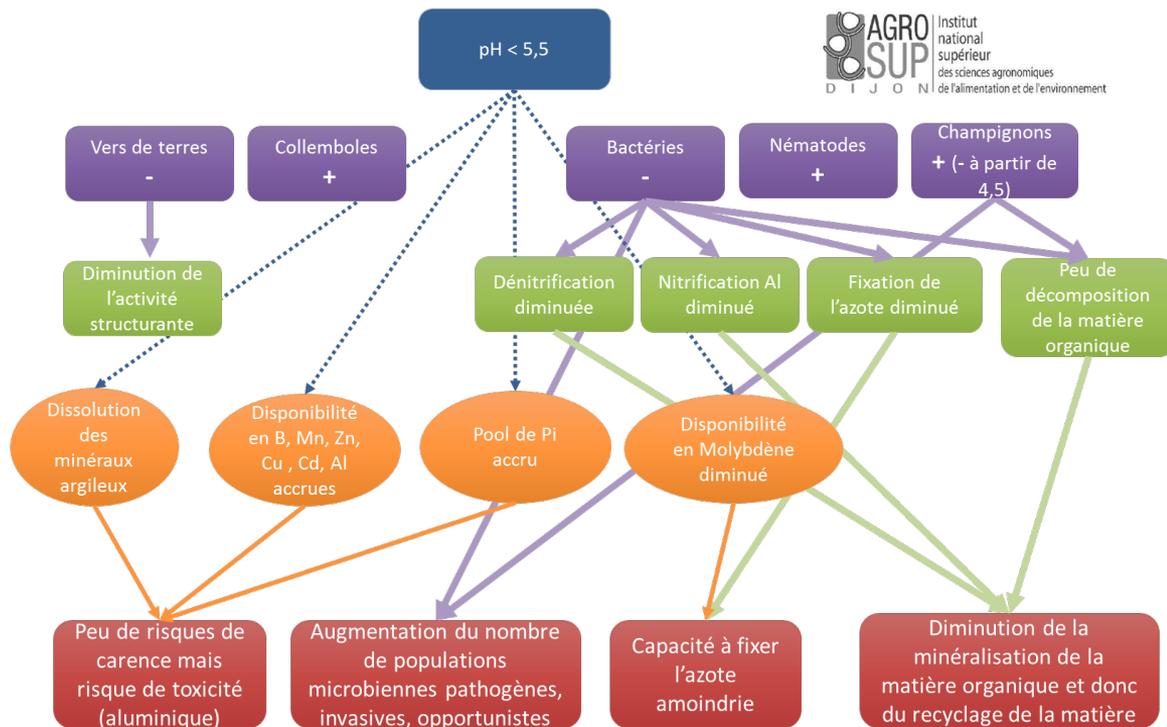
Fierer et Jackson 2005 *The diversity and biogeography of soil bacterial communities*

Sous le haut patronage

L'acidité (pH < 5,5) est défavorable à la fertilité organo-biologique



Conséquences de l'acidité sur la fourniture et recyclage des nutriments



Merci
pour
votre
attention

Gamme de pH

Abondance des Organismes

Activités des Organismes

Action sur la chimie du sol

Impact sur la plante et les fonctions/services de l'agroécosystème

Sous le haut patronage

