Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

POTENTIEL REDOX (Eh) ET pH: UN CADRE GLOBAL DE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES SOL/EAU/PLANTES/MICROORGANISMES ?

Olivier Husson, Cirad UR SIA

Séminaire du 10 janvier 2012 - Agropolis

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

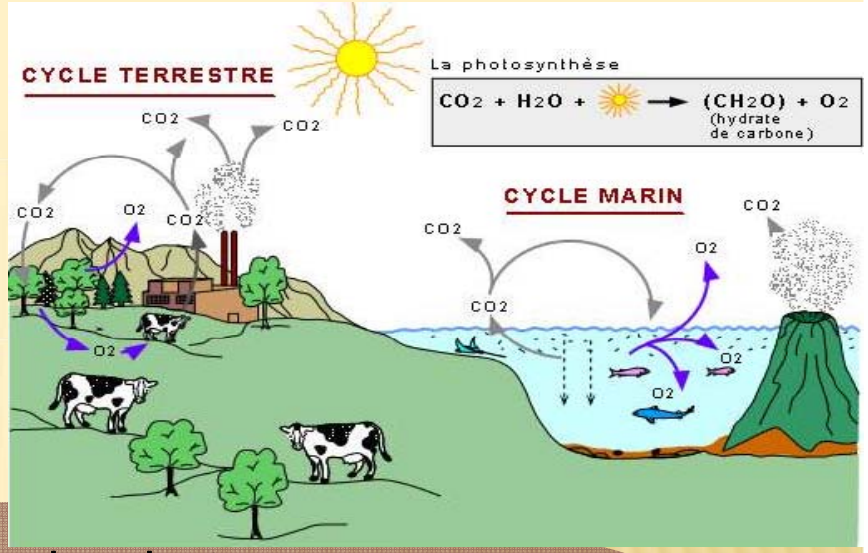
Intensification écologique

Utilisation des processus écologiques pour une production durable

Suppose la compréhension des processus, des structures, des fonctions, des cycles

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Disciplines



BIOLOGIE

Génétique

Protection des plantes

Physiologie

Ecophysiologie

Ecologie

Microbiologie

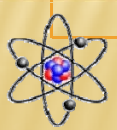
Eco. microbienne

Sciences du sol

Chimie

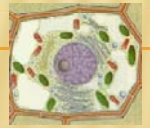
Physique

Echelles



...

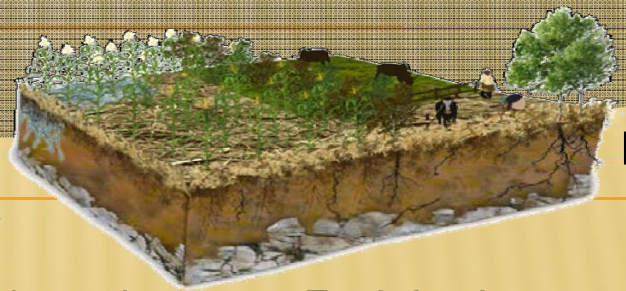
Gène



Cellule

Plante

Parcelle/peuplement



Exploitation

...

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

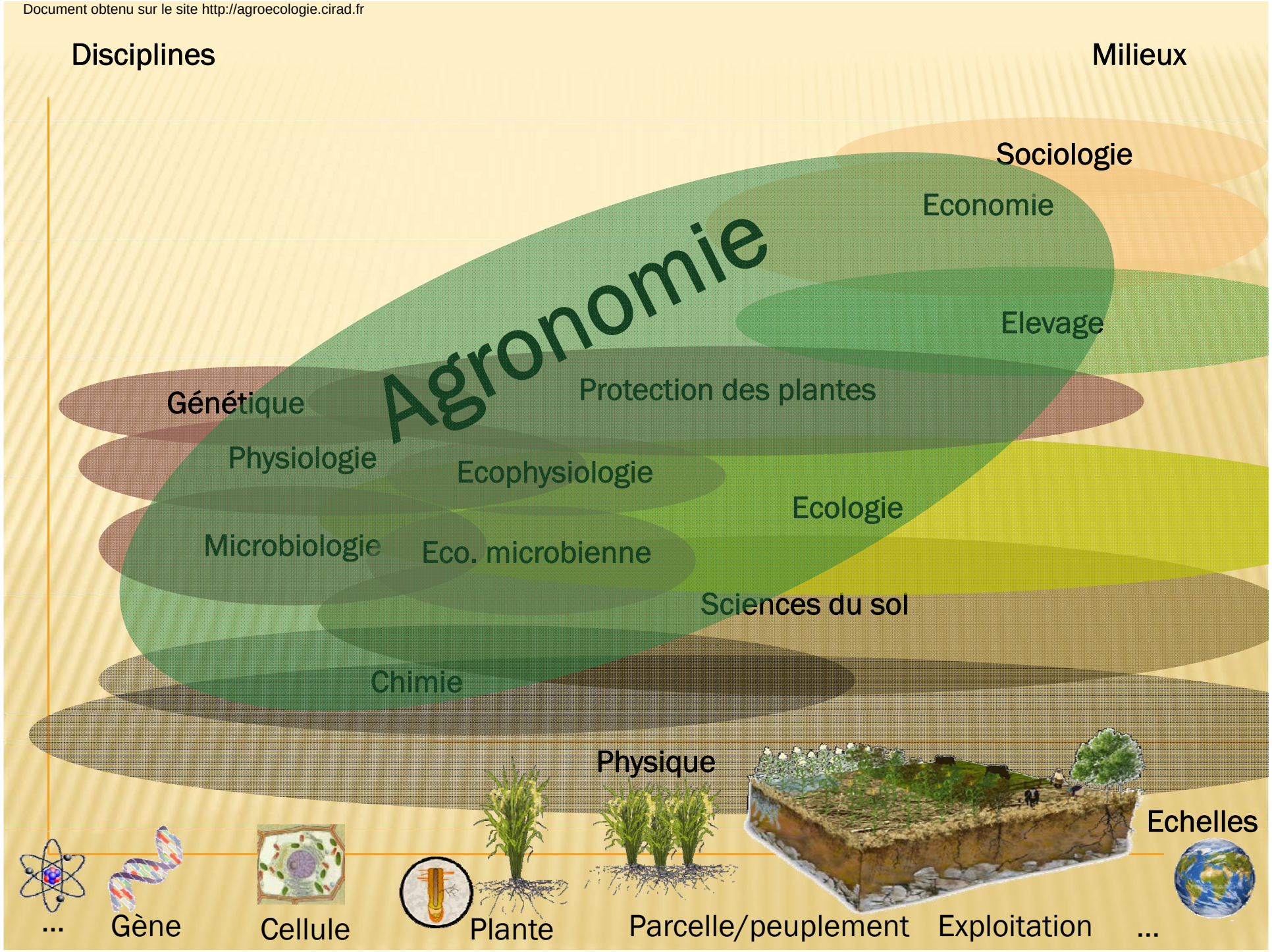
Disciplines

Milieux

Echelles

... Gène Cellule Plante Parcelle/peuplement Exploitation ...

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

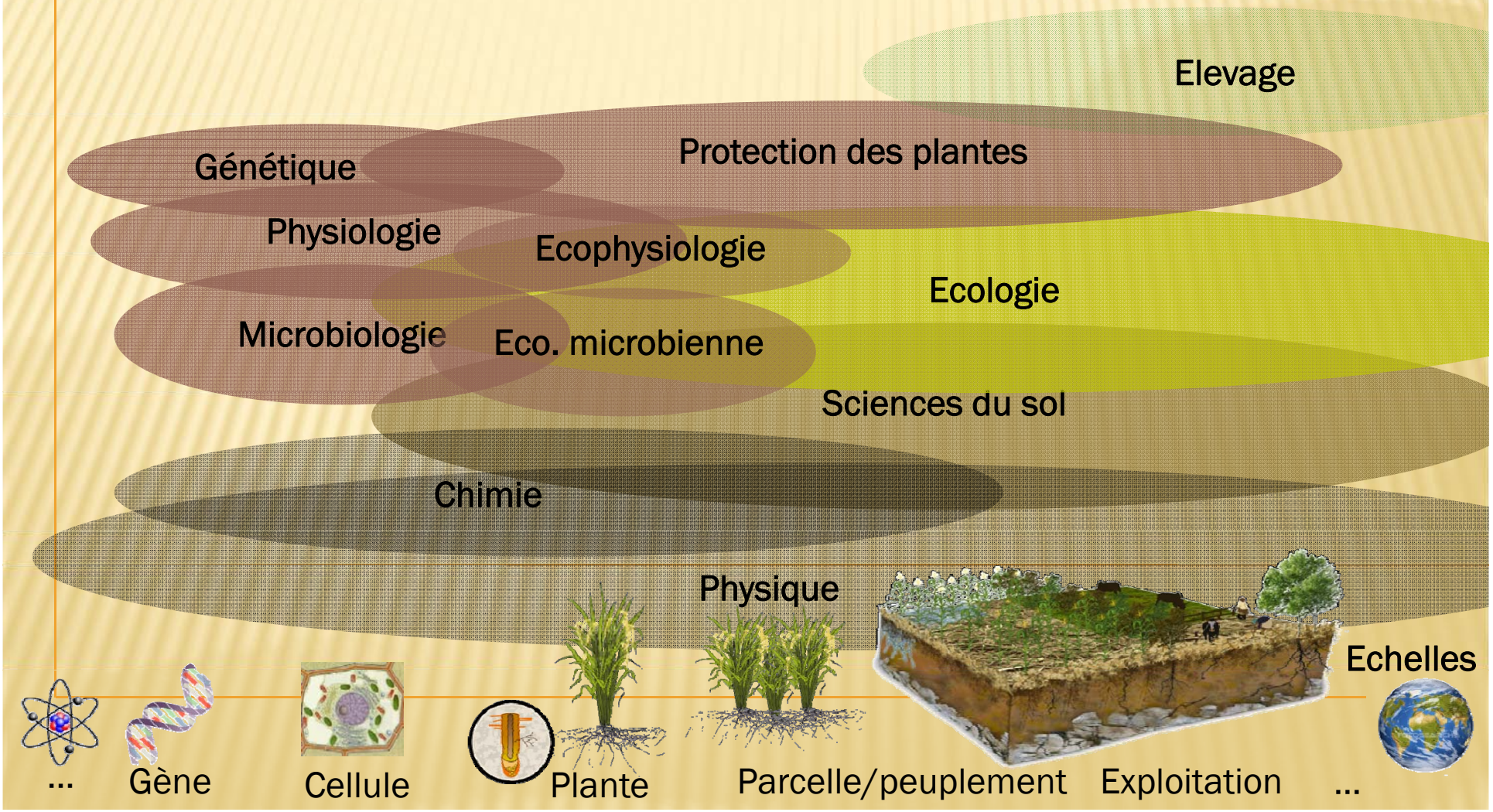


Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Disciplines

Milieux

Ballade entre disciplines, échelles, milieux, cycles sous l'éclairage du Eh et du pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

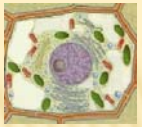
Pourquoi Eh et pH ?

- “What drives life is a little electric current, kept up by the sunshine”

Szent-Gyorgyi A 1960 *Introduction to Submolecular Biology*. Academic press.

- pH: paramètre clef dans de nombreuses disciplines, dont l’agronomie

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr



Cellule

Pourquoi Eh et pH ?

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE

- Gradients et flux d'électrons et de protons

Cycle de Krebs

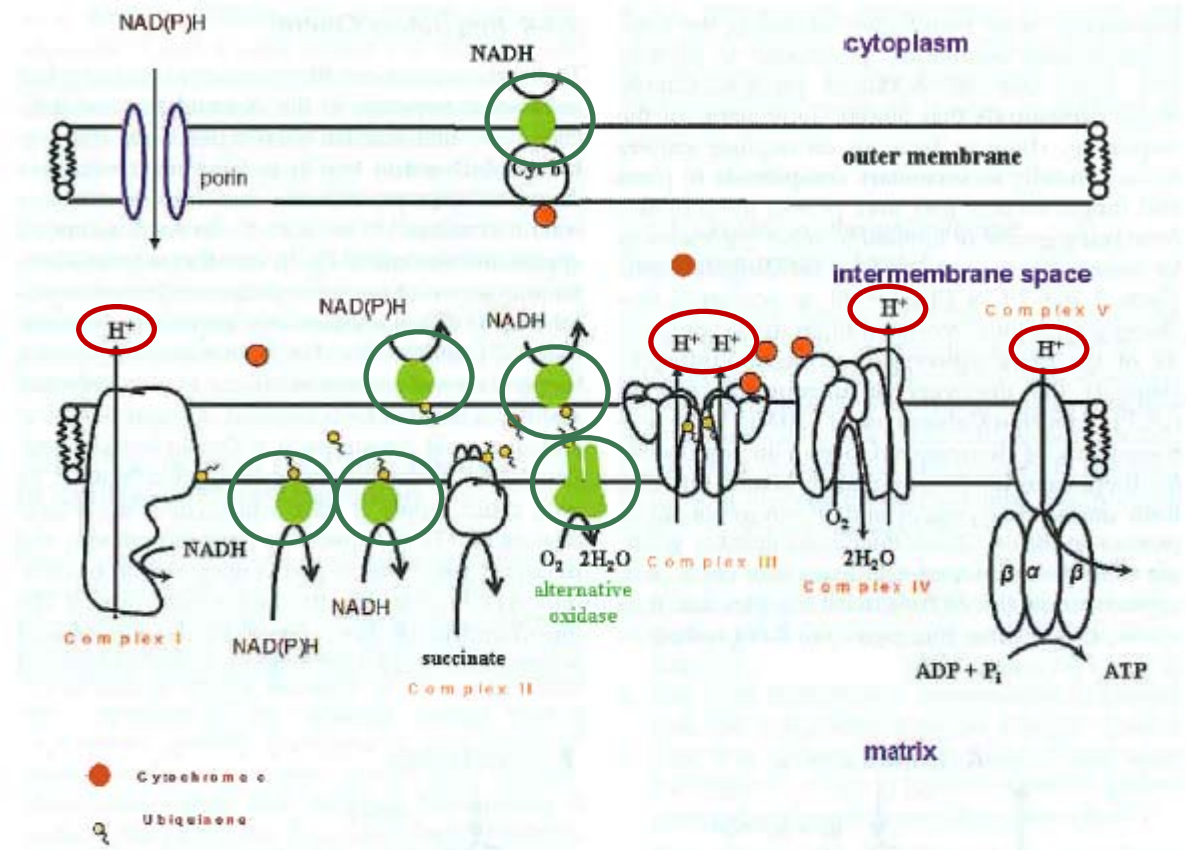
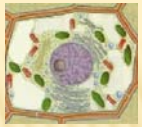


FIGURE 3. The organization of the electron-transporting complexes of the respiratory chain in higher plant mitochondria. All components are located in the inner mitochondrial membrane. Some of the components are membrane spanning, others face the mitochondrial matrix or the space between the inner and the outer mitochondrial membrane. Q (ubiquinone) is a mobile pool of quinone and quinol molecules. Alternative NAD(P)H dehydrogenases and the alternative oxidase are shown in green (Rasmusson et al. 2004). Reprinted, with permission, from the *Annual Review of Plant Biology*, Volume 55 ©2004 by Annual Reviews www.annualreviews.org.

Lambers H, F. S C I and Pons T L 2008. *Plant physiological ecology*. Springer.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr



Cellule

Pourquoi Eh et pH ?

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE

- Gradients et flux d'électrons et de protons

Photosynthèse

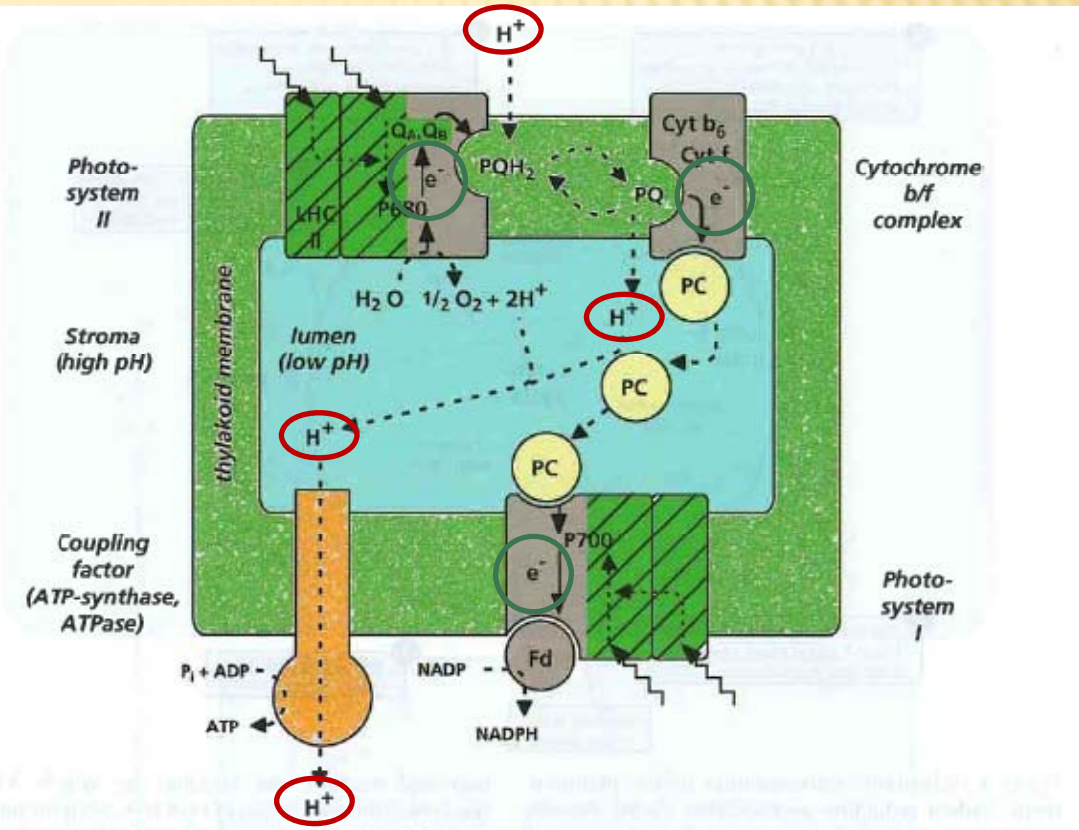
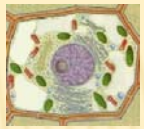


FIGURE 3. Schematic representation of the thylakoid membrane, enclosing the thylakoid lumen, showing the transfer of excitation energy and of electrons, migration of molecules and chemical reactions. P_{700}: reaction center of photosystem I; P_{680}: reaction center of photosystem II; LHC: light-harvesting complex; Q: quinones; PC, plastocyanin; Fd: ferredoxin; cyt: cytochromes.

Lambers H, F. S C I and Pons T L 2008. *Plant physiological ecology*. Springer.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Pourquoi Eh et pH ?


Cellule

Plante

PHYSIOLOGIE/BIOENERGETIQUE

- Photosynthèse = réduction

$$6\ CO_2(gaz) + 6\ H_2O(liq.) \Leftrightarrow C_6H_{12}O_6(sol.) + 6\ O_2(gaz)$$

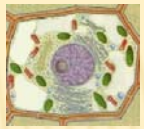
- Protéosynthèse, liposynthèse = réductions

- Fixation d'azote = réduction:

$$N_2(gaz) + 3H_2\ (gaz) \Leftrightarrow 2\ NH_3(gaz)$$

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Pourquoi Eh et pH ?


Cellule

Plante

PHYSIOLOGIE/BIOENERGETIQUE

- Réduction: augmentation du potentiel chimique des molécules.
- L'énergie libérée par l'oxydation des composés réduits est utilisée par les cellules

Lambers H, F. S C I and Pons T L 2008. *Plant physiological ecology.* Springer.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Pourquoi Eh et pH ?

Parcelle/peuplement

SCIENCES DU SOL

- Eh et pH sont des variables clefs affectant les trajectoire de la pédogenèse

Chadwick O A and Chorover J 2001. *Geoderma* 100, 321-353.

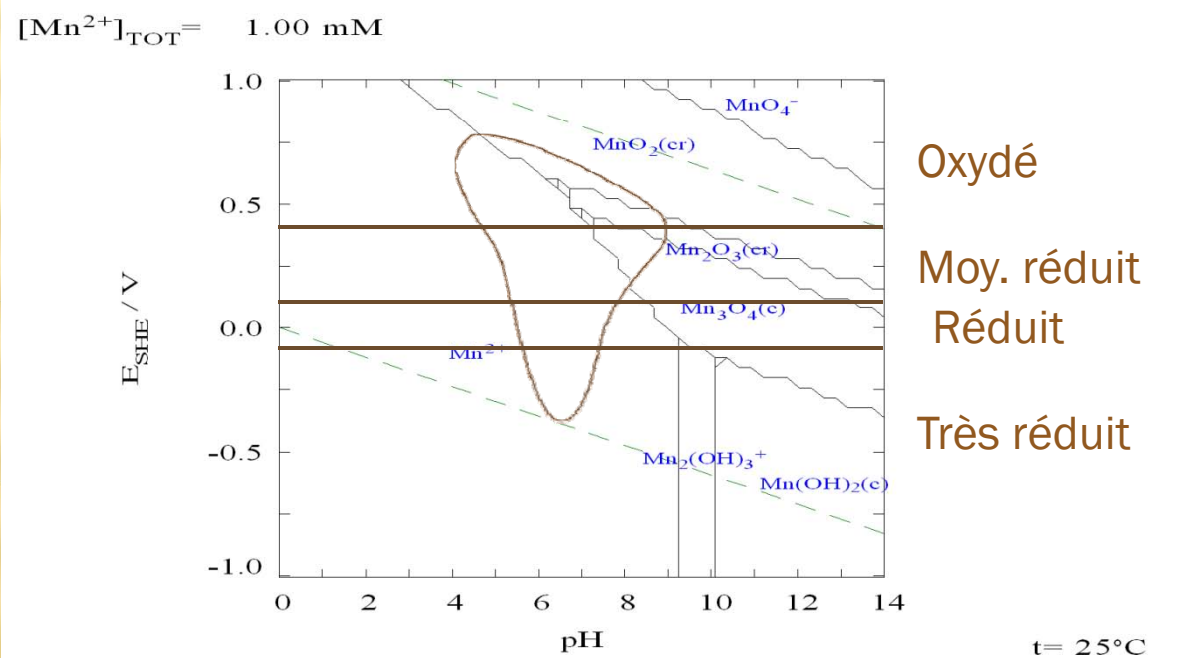
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Pourquoi Eh et pH ?

Parcelle/peuplement

SCIENCES DU SOL/CHIMIE

- Eh et pH sont des variables déterminantes dans la solubilité des éléments



Oxydé

Moy. réduit

Réduit

Très réduit

Pourbaix, M.J.N. 1945. *Thermodynamique des solutions aqueuses diluées. Représentation graphique du rôle du pH et du Potentiel.* PhD Thesis. Delft.

Baas Becking L *et al.* 1960. *Journal of geology* 68, 243-284.

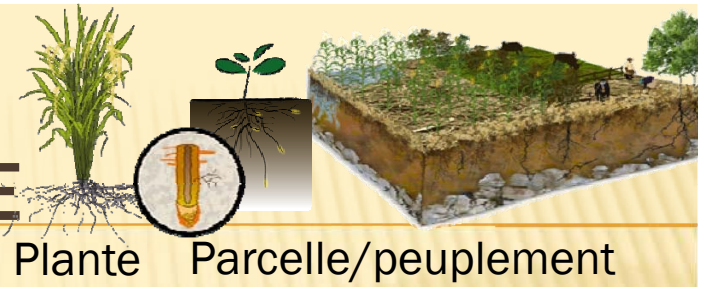
Kaurichev I S and Orlov D S 1982. *Redox Processes and their Role in the Genesis and Fertility of Soils*. Kolos, Moscow.

Pearsall W H and Mortimer C H 1939. *J. Ecol.* 27.

Pezeshki S R 2001. *Environmental and Experimental Botany* 46, 299-312.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL/AGRONOMIE



Utilisation des diagrammes Eh-pH en agronomie:

sols réduits (rizières, sols organiques, sols engorgés)

Déterminants dans la chimie des sols

Très rarement utilisés en sols oxydés

Bartlett R J and James B R 1995. *Geoderma* 68, 211-218.
Kogel-Knabner I, *et al.* 2010. *Geoderma* 157, 1-14.
Ponnamperuma F N 1972. *Advances in agronomy* 24, 29-96.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Pourquoi Eh et pH ?

Plante Parcelle/peuplement ...

SCIENCES DU SOL

Les émissions de gaz à effet de serre (N_2O, CH_4 et CO_2) dépendent du Eh et du pH du sol

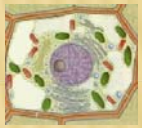
Kralova M *et al.* 1992. *Water Air and Soil Pollution* 61, 37-45.
Li C 2007. *Soil Science and Plant Nutrition* (2007) 53, 344-352.
Masscheleyn P H *et al.* 1993. *Chemosphere* 26, 251-260.
Wlodarczyk T *et al.* 2003. *International agrophysics* 17, 219-227.
Yu K and Patrick W H 2003. *Soil Science Society of America J.* 67, 1952-1958.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Pourquoi Eh et pH ?

- Processus essentiels, à la base du fonctionnement énergétique des cellules

e^-, H^+



Cellule

- Formation des sols

Parcelle/peuplement

- Grands cycle biogéochimiques : C, N, P, S

= réactions oxydo-réduction et acide-base

…

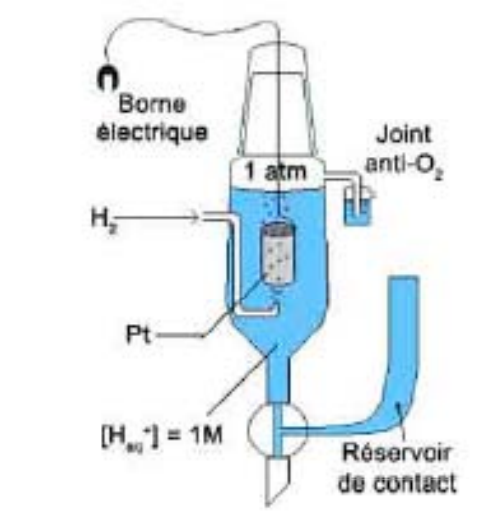
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eh et pH: comment ?

- Suivre les protons: pH

- Suivre les électrons:

Conditions d'oxydation-réduction classiquement caractérisées par le potentiel redox (Eh, en Volts)



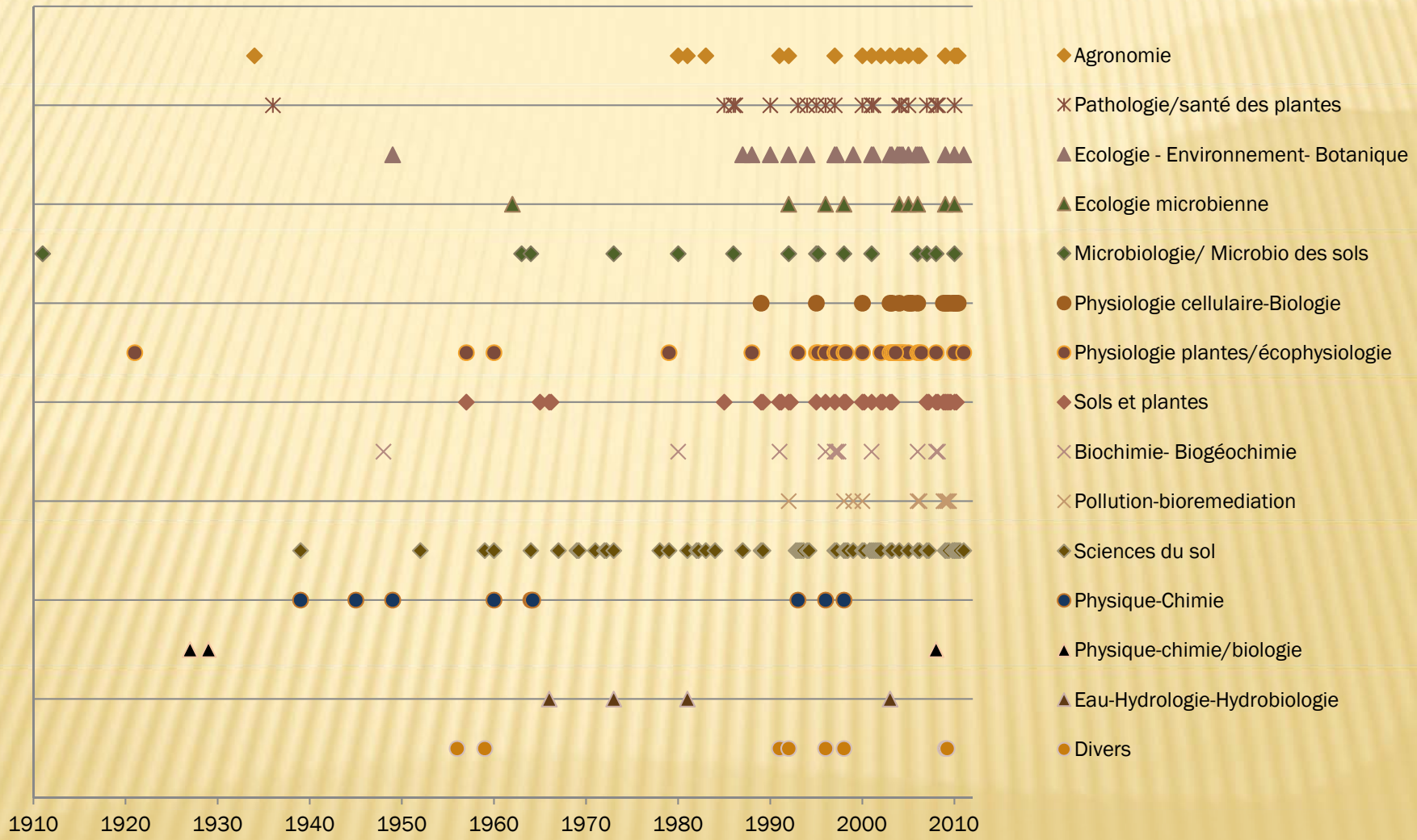
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eh et pH dans la littérature

- Etude bibliographique transdisciplinaire => article soumis à « Plant and Soil »
- 280 références dont 220 articles scientifiques
- 120 journaux scientifiques, 20 disciplines
- De 1911 à 2011, 45% moins de 10 ans, 16% moins de 3 ans

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eh et pH dans la littérature



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eh et pH dans la littérature

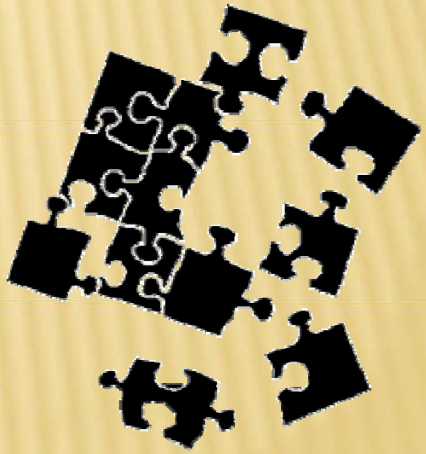
- Ne démontre rien ! Projet de recherche
- Fortes convergences :

Intérêssant de s'intéresser à Eh et pH en agronomie

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eh et pH dans la littérature

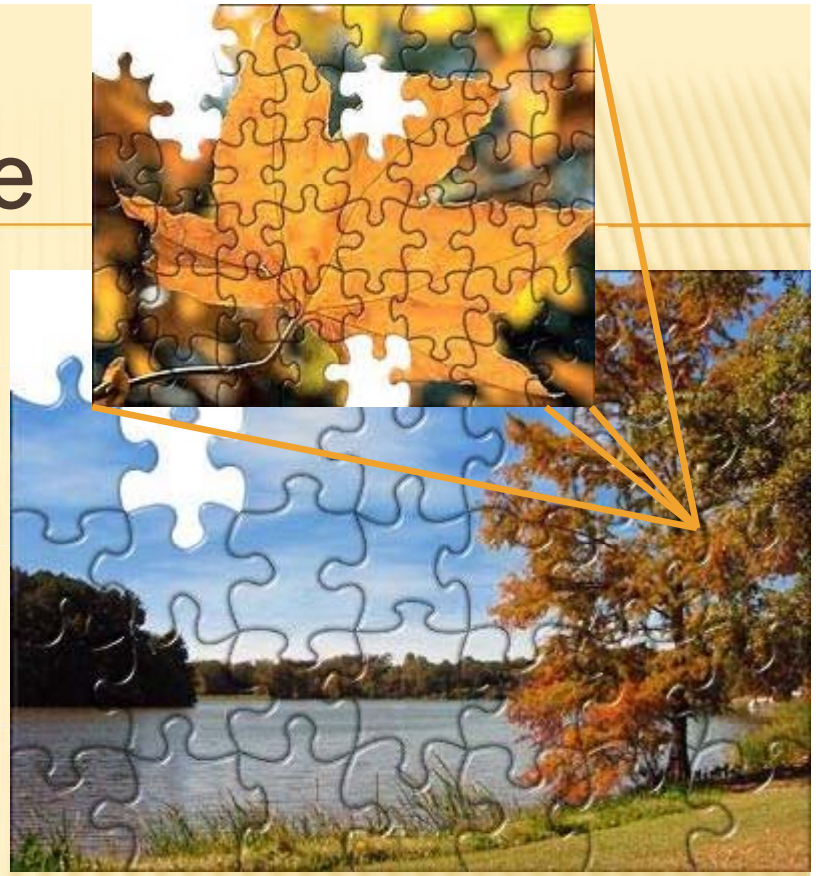
- Littérature: pièces du puzzle



- Assemblage de certaines parties, par discipline

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eh et pH dans la littérature

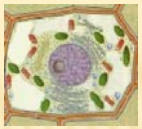


- Propose un assemblage cohérent des différentes pièces du puzzle, entre disciplines et échelles

Cadre global de fonctionnement des systèmes sol/eau/plantes/microorganismes, sous l'éclairage du Eh et du pH

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE



Cellule

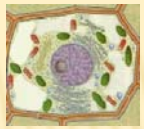
- Les réactions d'oxydation-réduction sont essentielles dans le métabolisme des plantes
  - Régulation et signaux redox
  - Régulation de très nombreuses enzymes, pompages de protons, l'énergisation des membranes, la régulation des canaux ioniques, la réduction du fer, l'assimilation des éléments nutritifs, la régulation de la croissance, etc.

Dietz K J and Pfannschmidt T 2011. *Plant Physiology* 155, 1477-1485.
Ding H *et al.* 1996. *J. Biol. Chem.* 271, 33173-33175.
Ghezzi P 2005. *Free radical research* 39, 573-580.
Pfannschmidt T 2003. *Trends in Plant Science* 8, 33-41.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE-GÉNÉTIQUE

Gène

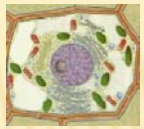

Cellule

- Des signaux redox régulent les interactions protéines-ADN et jouent un rôle clef dans l'expression des gènes, la réplication de l'ADN et la stabilité du génome

Pfannschmidt T 2003. *Trends in Plant Science* 8, 33-41.
Shlomal J 2010. *Antioxid. redox Signal*. 13, 1429-1476.
Turpaev K T and Litvinov D 2004. *Mol. Biol.(Mosk).* 38, 56-68.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE



Cellule

- Suroxydation particulièrement nocive.

  Intégrité des mitochondries, dysfonctionnement cellulaire, destruction des cellules, etc.

Ahmad S 1992. *Biochemical Systematics and Ecology* 20, 269-296.
Sweetlove L J *et al.* 2009. *Advances in Botanical Research*. pp 1-23. Academic Press.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE DES PLANTES

- La phénologie des plantes est liée au redox

Dormance, germination, croissance racinaire, développement reproductif, segmentation foliaire, développement des organes floraux, floraison, photopériodisme, etc.

Bailly C *et al.* 2008. *J. Soc. Biol*. 202, 241-248.
Becker B *et al.* 2006. *Planta* 224, 481-481.
Rosso D *et al.* 2009. *Plant Cell* 21, 3473-3492.
Sanchez-Fernandez R *et al.* 1997. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 94, 2745-2750.
Xing S *et al.* 2006. *Plant Biology* 8, 547-555.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE DES PLANTES

Plante

Signaux redox:

Perception de l'environnement (température, intensité lumineuse) et des stress abiotiques

Huner N P A *et al.* 1996. *Physiologia Plantarum* 98, 358-364.
Wilson K E *et al.* 2006. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique* 84, 1355-1370.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE DES PLANTES/PATHOLOGIE

- Stress biotiques et résistance aux pathogènes : redox

Biocontrôle des pathogènes: activité redox. Production d'espèces réactives à l'oxygène

Oxydant= arme vs antioxydant = défense

Kuzniak E 2010. *In Ascorbate-Glutathione Pathway and Stress Tolerance in Plants*. 115-136. Springer
Blokhina O, *et al.* 2003 . *Annals of botany. 91(2)* 179-194.
Hartmann A *et al.* 2009. *Plant and Soil* (321) 235-257.
Mori I C and Schroeder J I 2004. *Am Soc Plant Biol*. (135) 702-708

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

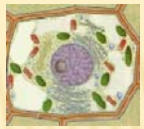
PHYSIOLOGIE DES PLANTES/PATHOLOGIE

Processus d'oxydo-réduction impliqués dans les interactions plantes/insectes herbivores.

Ahmad S 1992. *Biochemical Systematics and Ecology* 20 (1992), 269-296.
Meyer G A and Montgomery M E 1987. *Oecologia* 72, 527-532.
Rossiter M C *et al.* 1988 . *Eco Soc America*. (69) 267-277
Roth S K *et al.* 1994. *Biological Systematics and Ecology* 22. 341-351. Elsevier.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE



Cellule

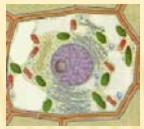
- Homéostasie redox

  - L'état redox est un déterminant critique du fonctionnement cellulaire et des déséquilibres peuvent causer des dommages sévères ou la mort

Dietz K J and Scheibe R 2004. *Physiologia Plantarum* 120, 1-3.
Hansen, J. M *et al.* 2006. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 46, 215-234.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE



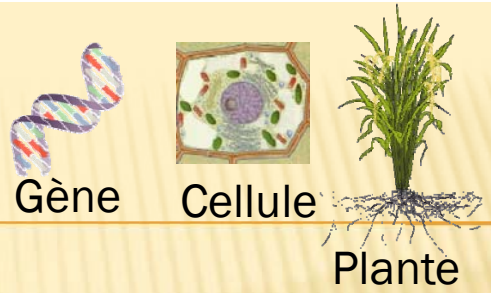
Cellule

- Fluctuations redox de l'environnement = stress
- Niveaux de tolérance physiologique

DeAngelis K M *et al.* 2010. *Environmental Microbiology* 12, 3137-3149.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE

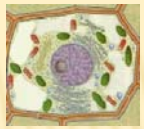


- Réseau très complexe de tampons pour compenser les fluctuations redox.
- Intégrés en cascades dans un plus grand réseau redox pour assurer que les réponses à court-termes soient adéquates
- Si la capacité tampon est dépassée: réponse au niveau de la transcription

Hanke G T *et al.* 2009. *Advances in Botanical Research: Oxidative Stress and Redox Regulation in Plants*, Vol 52. Academic Press .
Scheibe R *et al.* 2005. *Journal of Experimental Botany*. pp 1481-1489.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE CELLULAIRE



Cellule

- Homéostasie cellulaire : tant que les mécanismes d'acclimatation sont présent en capacité suffisantes.

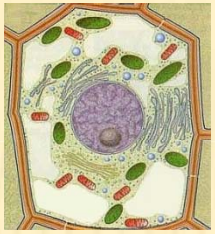
- Si impact trop rapide et que l'acclimatation au niveau des gènes ne peut se faire: dommages cellulaires et mort .

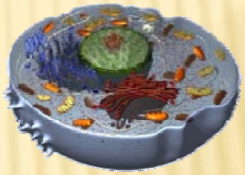
Scheibe R *et al.* 2005. *Journal of Experimental Botany*. pp 1481-1489.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

Fonctionnement de la cellule à Eh et pH spécifiques





Compartimentation

Eh croissant: Mitochondrie < noyau< cytoplasme < réticulum endoplasmique < espace extracellulaire

Transcription ADN dans le noyau à bas redox

Chloroplastes: -600 mV

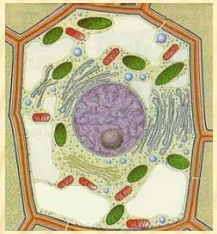
Hansen, J. M *et al.* 2006. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 46, 215-234.

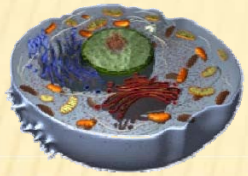
Dietz K J 2003. *International Review of Cytology - a Survey of Cell Biology*, Vol 228. pp 141-193.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

Fonctionnement de la cellule à Eh et pH spécifiques

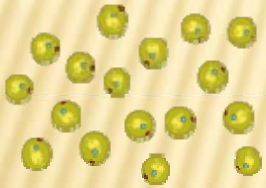




Maintien de l'homéostasie Eh-pH

Microorganismes

Régulation Eh-pH à l'extérieur de la cellule



Régulation du milieu externe
Populations

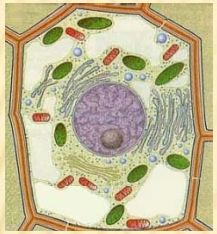
Les microorganismes modifient Eh et pH de leur environnement, selon leurs besoins, à un degré plus élevé que les autres organismes.

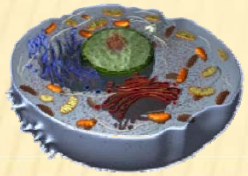
Rabotnova I L and Schwartz W 1962. *The importance of physical-chemical factors (pH and rH2) for the life activity of microorganisms*. VEB Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

Fonctionnement de la cellule à Eh et pH spécifiques





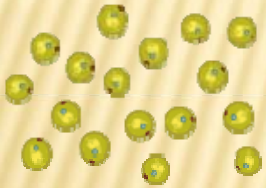
Maintien de l'homéostasie Eh-pH

Microorganismes

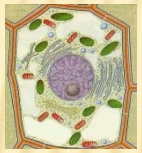
Organismes supérieurs

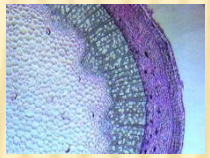
Plantes

Animaux supérieurs

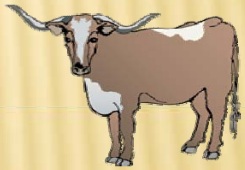


Régulation du milieu externe
Populations





Régulation du milieu interne
et du milieu externe:
cellule -tissus-rhizosphère

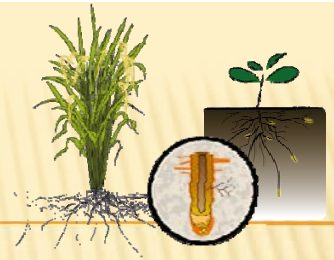


Régulation du milieu interne
+ milieu externe invaginé

Rabotnova I L and Schwartz W 1962. *The importance of physical-chemical factors (pH and rH2) for the life activity of microorganisms*. VEB Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE



Plante-Rhizosphère

Les plantes sont capables de modifier considérablement le Eh et le pH dans la rhizosphère

Effet direct par les exsudats racinaires

Effet indirect via la sélection spécifique de microorganismes

Flessa, H. and Fischer, W. 1992. *Plant and Soil* 143, 55-60.
Hartmann A *et al.* 2009. *Plant and Soil* 321, 235-257.
Hinsinger P *et al.* 2009. *Plant and Soil* 321, 117-152.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOLOGIE MICROBIENNE

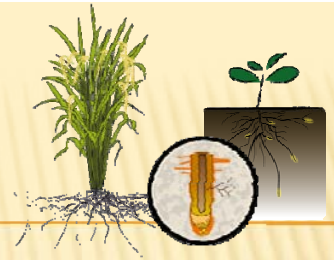
Les microorganismes abaissent le Eh (consommation de l'oxygène)

Les microorganismes abaissent le pH, mais possibilité de neutralisation dans le sol

Garrett S D 1963. *Soil fungi and soil fertility*. Pergamon Press Oxford.
Kralova M *et al.* 1992. *Zbl. Mikrobiol* 147(6), 388-399.
Savant N K and Ellis R J 1964. *Soil Science* 98, 388-394.
Twining J R *et al.* 2004. *Journal of Environmental Radioactivity* 76, 265-272.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE



Plante-Rhizosphère

Les plantes se comportent comme si elles évitaient les valeurs extrêmes de Eh et de pH

DeLaune *et al.* 1998. *Journal of Plant Nutrition* 21, 757-768.
DeLaune R D and Reddy K R 2005. *Redox Potential. In Encyclopedia of soils in the environment*. Ed. D Hillel. pp 366-371. Elsevier.
Flessa H and Fischer W 1992. *Plant and Soil* 143, 55-60.
Gotoh Y and Tai K 1957. *Soil Sci. Plant Nutr.* 2, 198-200.
Hinsinger P *et al.* 2009. *Plant and Soil* 321, 117-152.
Hinsinger P 2003. *Plant and Soil* 248, 43-59.
Youssef R A and Chino M 1989. *Soil Sci. Plant Nutr*. 35, 461-468.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

- Eh de la rhizosphère

Riz en milieu réduit:

remonte vers + 400 mV

Fève en milieu oxydé: baisse du Eh de + 700 à + 380 mV quand l'extrémité de la racine atteint l'électrode

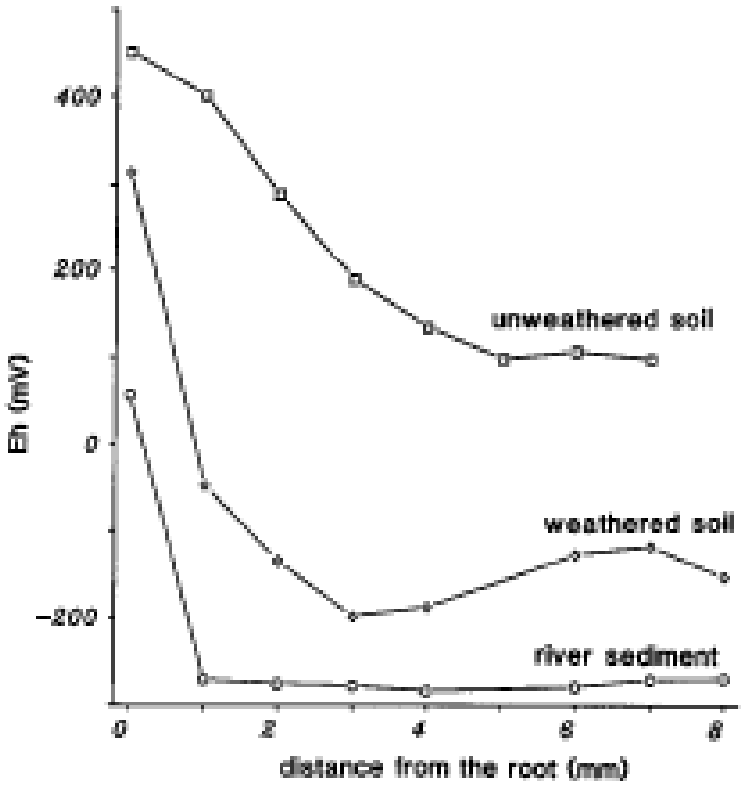


Fig. 5. Eh profiles through the rhizosphere of the primary root tip of rice in three soils differing in reducing capacity.

Fischer W *et al.* 1989. *Z. Pflanzenerm Bodenkd* 152, 191-195.

Flessa H and Fischer W 1992. *Plant and Soil* 143, 55-60.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

- pH de la rhizosphère

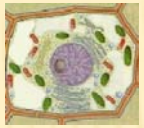
Peut remonter de 2 unités pH en acide

Baisse en milieu alcalin : ramène à 6,9 (tomate et colza)

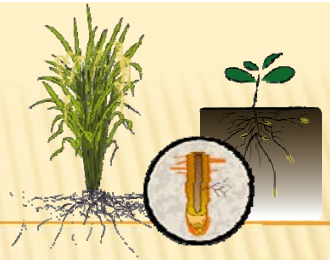
Chaignon V *et al.* 2002. Plant and Soil 243, 219-228.
Hinsinger P *et al.* 2003. Plant and Soil 248, 43-59.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE - ECOLOGIE



Cellule



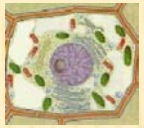
Plante-Rhizosphère

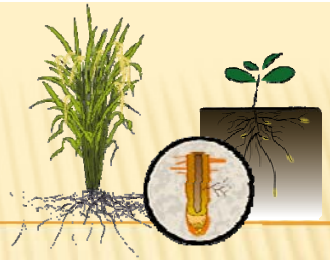
Parce qu'elle ne peuvent fonctionner qu'à un pH spécifique donné (fonctionnement des protéines), les plantes doivent maintenir ce niveau dans leurs tissus/cellules

Cornelissen J H C *et al.* 2011. *Functional Ecology* 25, 449-455.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE - ECOLOGIE



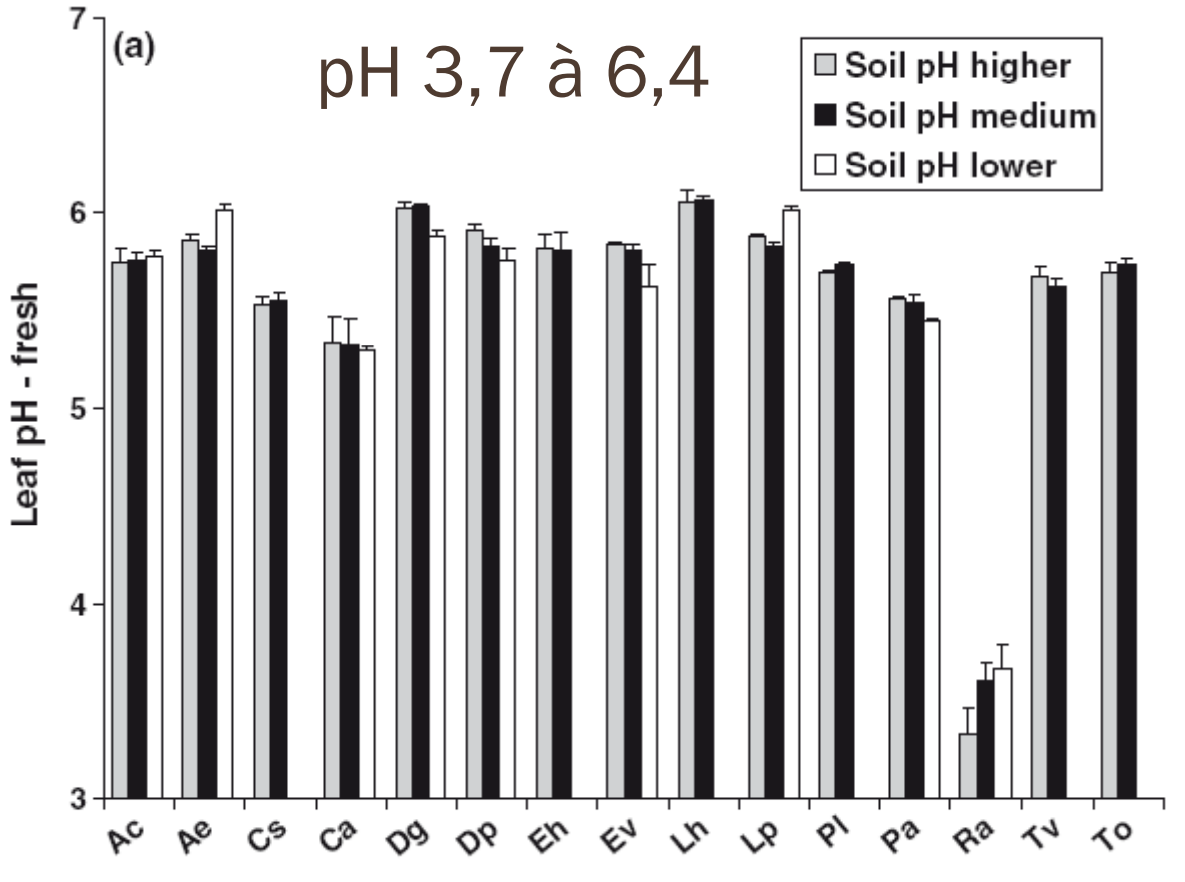


Cellule Plante-Rhizosphère

Le pH des feuilles ne dépend pas du pH du sol, mais est un trait spécifique

23 espèces

tions: Am, *Achillea millefolium*; Ac, *Agrostis capillaris*; Ao, *Anthoxanthum odoratum*; Ae, *Arrhenatherum elatius*; Bp, *Brachypodium pinnatum*; Cs, *Centaurea scabiosa*; Ca, *Chamerion angustifolium*; Dg, *Dactylis glomerata*; Dp, *Digitalis purpurea*; Eh, *Epilobium hirsutum*; Ev, *Eriophorum vaginatum*; Fo, *Festuca ovina*; Ga, *Galium aparine*; Km, Koeleria macrantha; Lh, *Leontodon hispidus*; Lp, *Lolium perenne*; Lc, *Lotus corniculatus*; Pr, *Papaver rhoea*; Pl, *Plantago lanceolata*; Pa, *Poa annua*; Ra, *Rumex acetosella*; Tc, *Tanacetum vulgare*; To, *Taraxacum officinale*.



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE - ECOLOGIE

Cellule Plante-Rhizosphère

Pas d'étude similaire sur le Eh mais fortes convergences

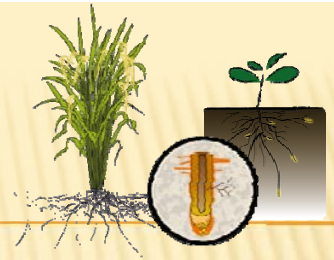
Le fonctionnement physiologique de la plante à un niveau Eh donné fait qu'elle doit assurer l'homéostasie à ce niveau, quel que soit le milieu

La régulation Eh et pH est un élément central dans le métabolisme et le développement des plantes dans un environnement donné

Cornelissen J H C *et al.* 2011. *Functional Ecology* 25, 449-455.
Dietz K J 2003. *In International Review of Cytology - a Survey of Cell Biology*, Vol 228. pp 141-193.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE



Plante-Rhizosphère

La régulation de Eh et de pH représente un coût énergétique élevé pour la plante

Rhizosphère: rhizodéposition = 10 à 80% de la production photosynthétique

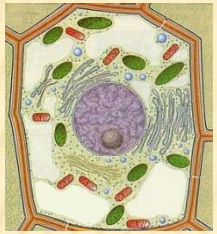
Gobat J-M *et al.* 1998 *Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols.* Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
Gregory P J 2006 *Plant roots: Growth, activity and interaction with soils*. Blackwell Publ.
Hinsinger P *et al.* 2003. *Plant and Soil* 248, 43-59.
Neumann G and Römheld V 2000. *In The Rhizosphere: Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface*. Marcel Dekker.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

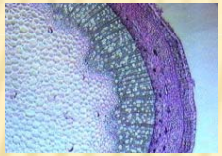
Un cadre conceptuel de fonctionnement

Plantes

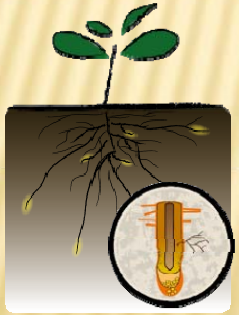
Cellule



Tissus



Rhizosphère



Prédiction : Selon hypothèse, plus le milieu est « éloigné » sur le plan Eh-pH du niveau optimal de fonctionnement physiologique de la plante, plus le coût énergétique pour la plante, et donc les exsudats racinaires, seront importants.

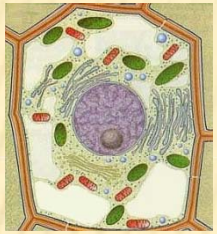
Impossible à vérifier avec la littérature disponible

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

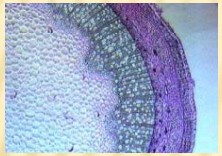
Plantes

Cellule



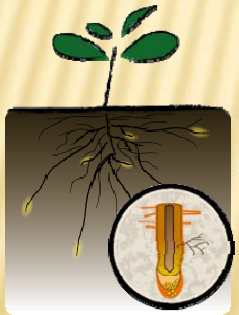
Possible explication à la forte variabilité des exsudats racinaires (10-80%)

Tissus



Possible explication à pourquoi la nature a conservé un processus aussi couteux sur le plan énergétique

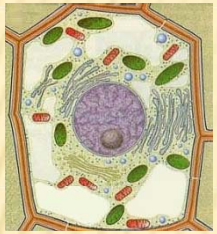
Rhizosphère

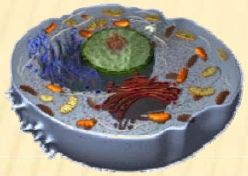


Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

Fonctionnement de la cellule à Eh et pH spécifiques





Maintien de l'homéostasie Eh-pH

Capacités variables de maintien de l'homéostasie

Chaque organisme vivant se développe dans une gamme Eh-pH spécifique

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE

- Microorganismes

Chaque type de microorganisme est adapté à des conditions Eh-pH spécifiques

Caractérisés par aptitude à se développer dans une frange Eh-pH plus ou moins large

Rabotnova I L and Schwartz W 1962 *The importance of physical-chemical factors (pH and rH2) for the life activity of microorganisms.* VEB Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE

Micro-organismes

- Actinomyces et Azotobacter large gamme Eh
- Bactéries anaérobies: frange Eh réduite
- Bactéries vertes: frange Eh-pH très réduite
- Bactéries S-réductrices ou dénitrifiantes: moins réduit
- Algues : frange Eh-pH très large
- Bactéries plus abondantes que champignons à Eh bas (<0mV)

Baas Becking, L. G. M *et al.* 1960. *Journal of Geology*, 68, 243-284.
Rabotnova I L and Schwartz W 1962. The importance of physical-chemical factors (pH and rH_2) for the life activity of microorganisms. VEB Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE

Micro-organismes

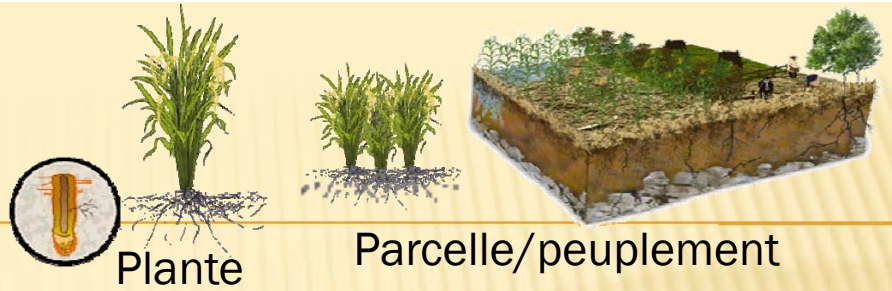
Fortes fluctuations Eh-pH : force de sélection des communautés bactériennes.

Les stratégies d'accommodation ou d'évitement forment la diversité des communautés microbiennes

Pett-Ridge J and Firestone M K 2005. *Applied and Environmental Microbiology* 71, 6998-7007.
DeAngelis K M, *et al.* 2010. *Environmental Microbiology* 12, 3137-3149.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE



- Plantes

Les plantes se développent entre +300 et + 700 mV

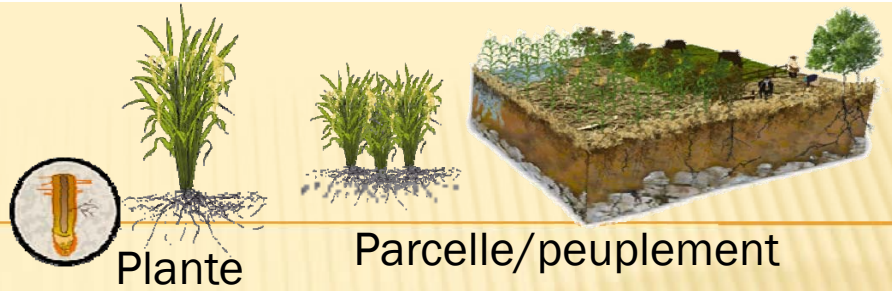
Volk N J 1993 . *Journal Am. Soc. Agron* 31, 665-670.

Eh< +350 mV très limitant pour de nombreuses plantes: baisse: photosynthèse, activité enzymatique, transport des produits de la photosynthèse, etc.

Carter C E 1980. *Transactions of the ASABE* 23, 0924-0927.
Dwire K A *et al.* 2006. *Wetlands* 26, 131-146.
Pezeshki S R 2001. *Environmental and Experimental Botany* 46, 299-312.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE



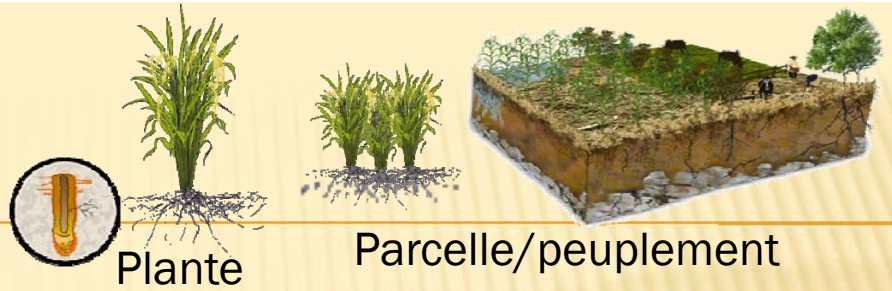
Forte variabilité de tolérance au changement des conditions redox entre espèces.

Espèces adaptées aux bas Eh (riz) transportent de l'oxygène par les aérenchymes et oxydent leur rhizosphère

Gotoh S and Yamashita K 1966. *Soil Science and Plant Nutrition* 12, 24-32
Gilbert B and Frenzel P 1998 .*Soil Biology and Biochemistry* 30, 1903-1916
Dwire K A *et al.* 2006 . *Wetlands* 26, 131-146

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

ECOPHYSIOLOGIE



- Plantes

pH neutre ou légèrement acide

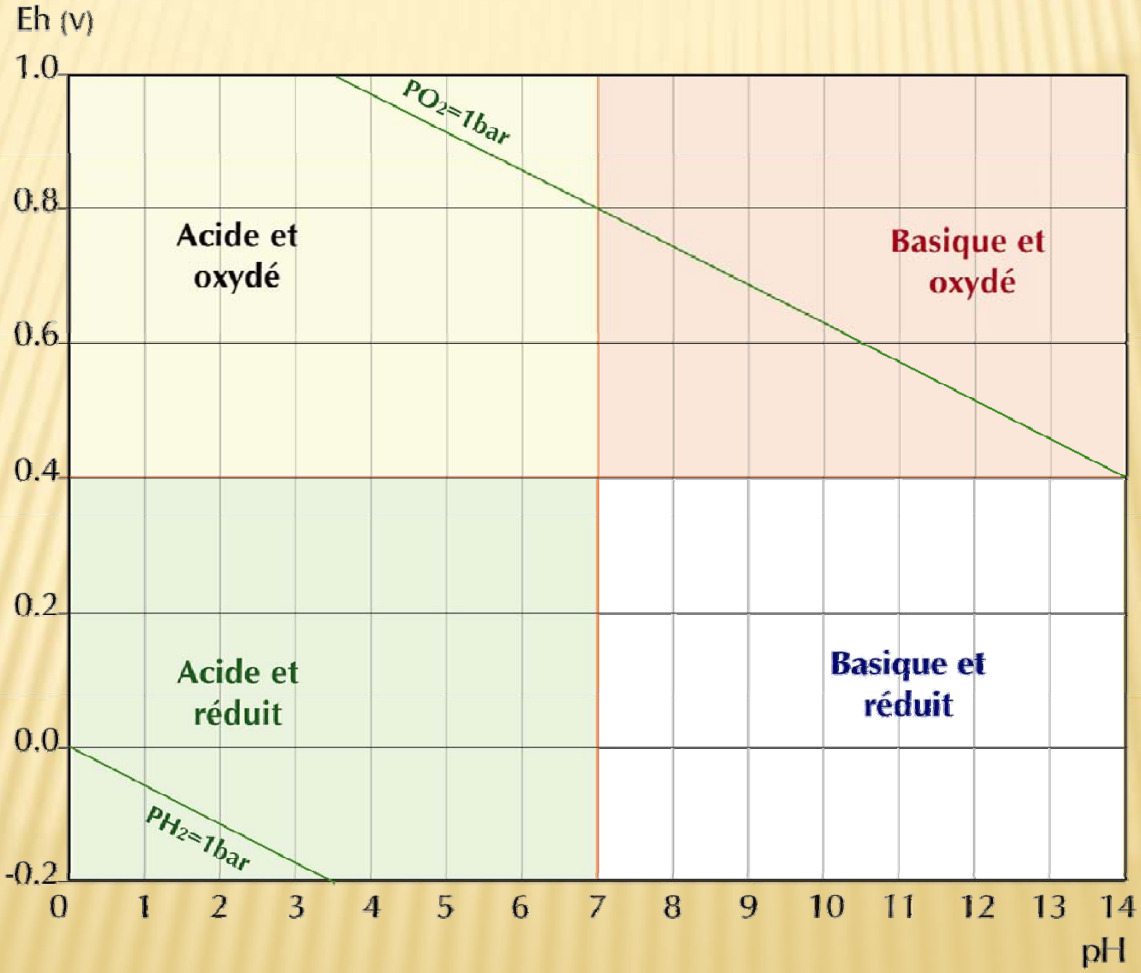
Rare en dehors de la gamme 4.5 à 9

Brady, N. C. and Weil, R. R. *2010 Elements of the nature and properties of soils; Third edition ed.; Pearson Education International: New Jersey, USA,*

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

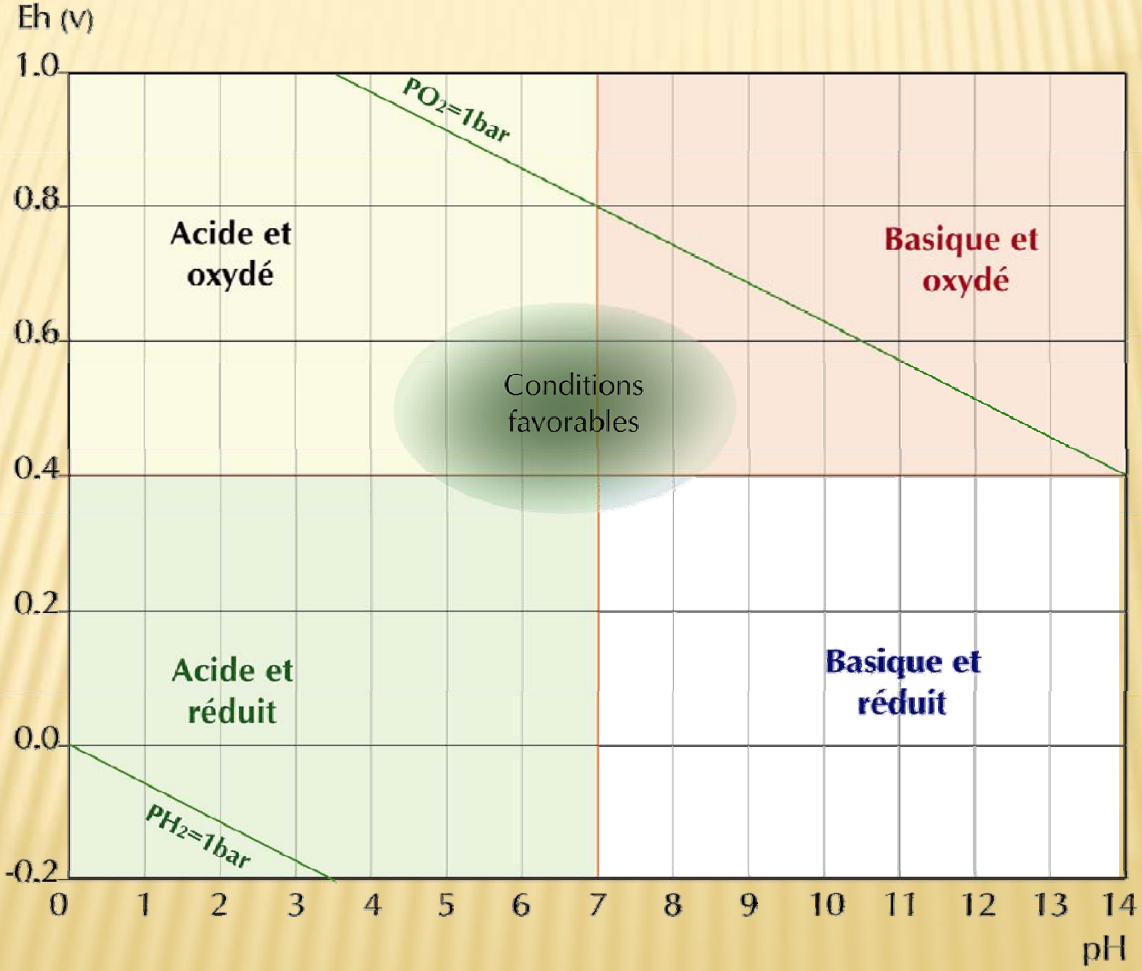
- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

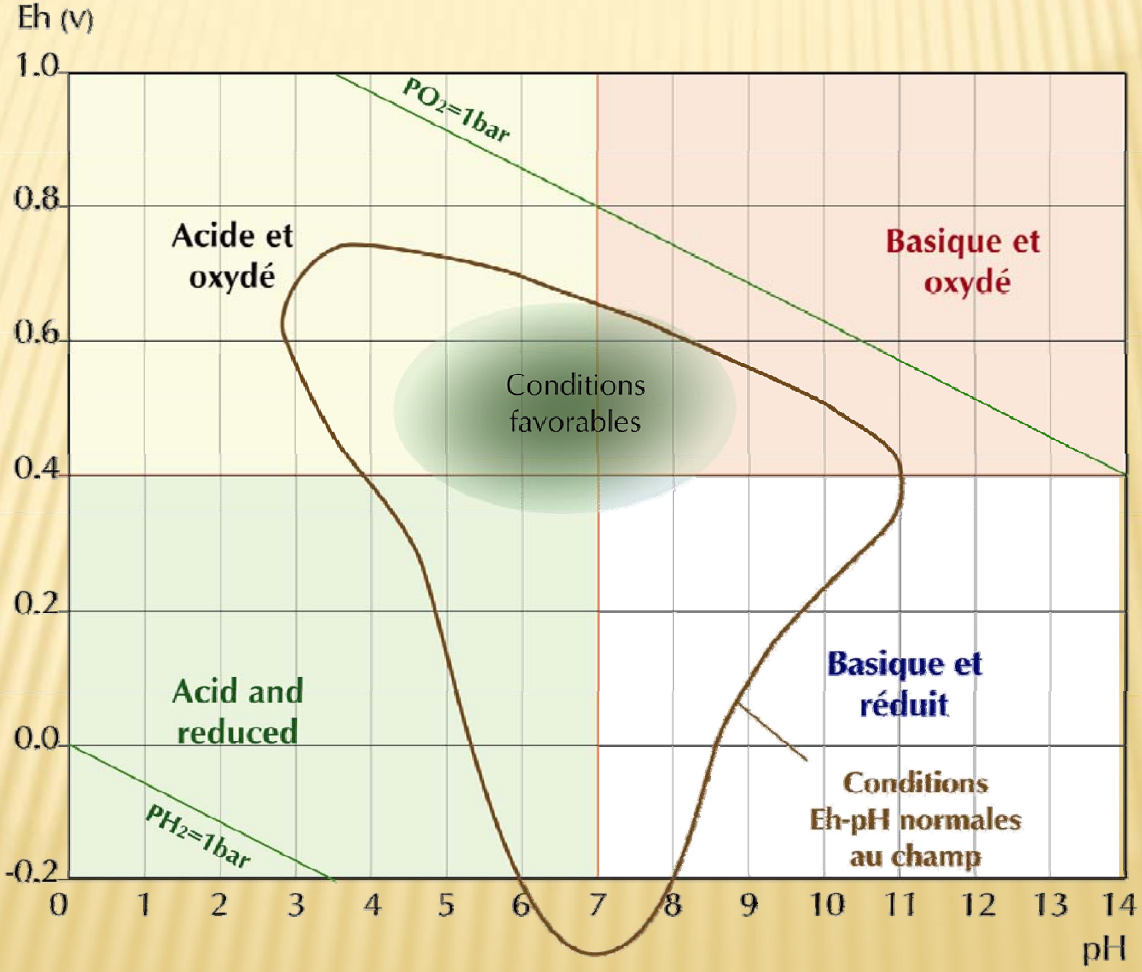
- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

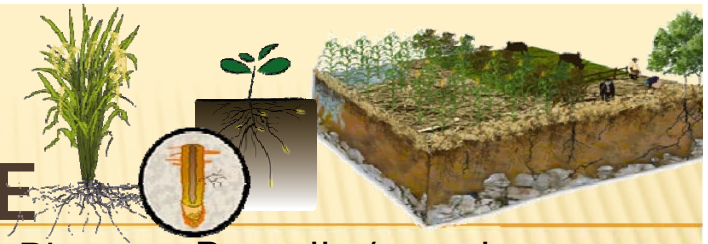
- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



Baas Becking *et al.* 1960. *Journal of geology* 68, 243-284.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL/PHYSIOLOGIE



Plante Parcelle/peuplement

- Eh et pH déterminent la forme chimique des éléments: solubilité et assimilation par les plantes

Eléments nutritifs : carence

Métaux : toxicité

Biorémédiation

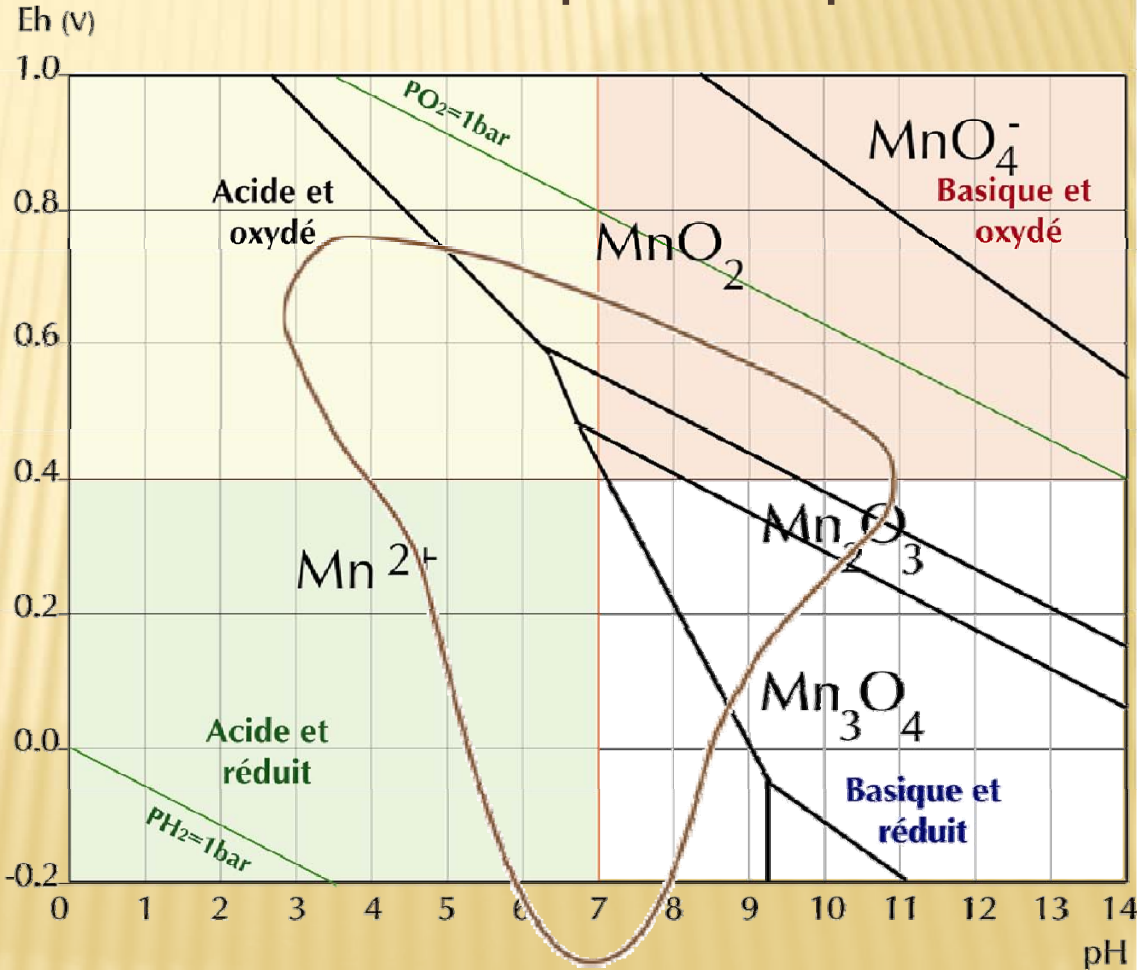
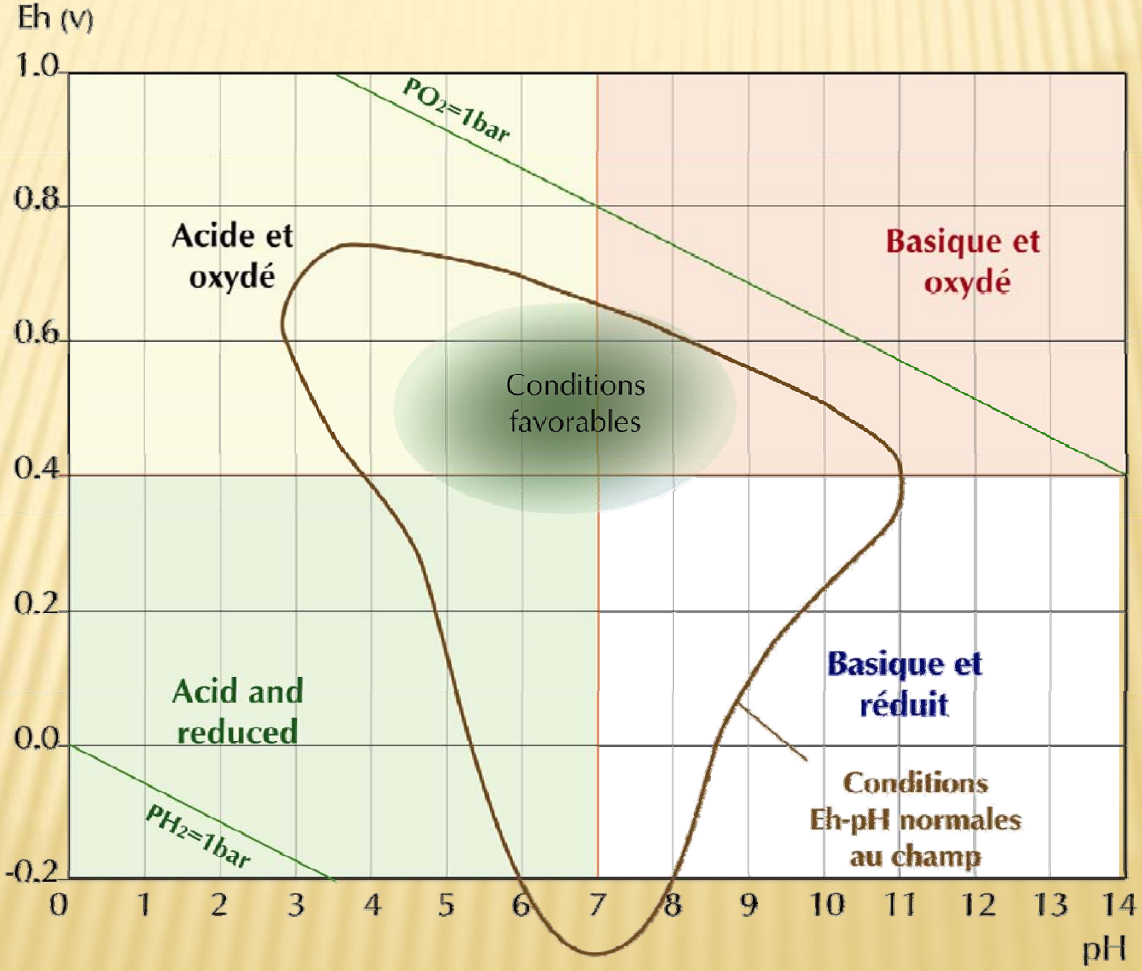


Diagramme de Pourbaix pour le Mn

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

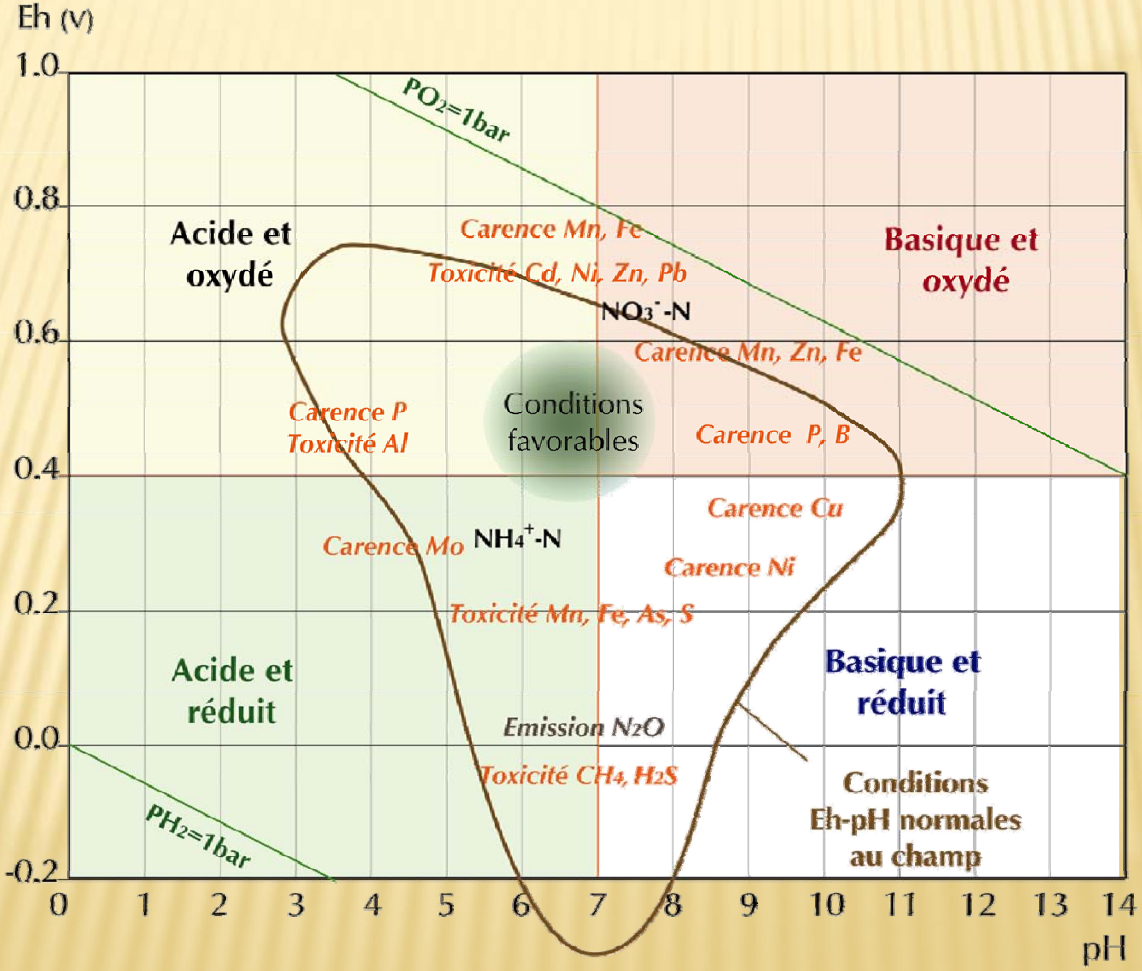
- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

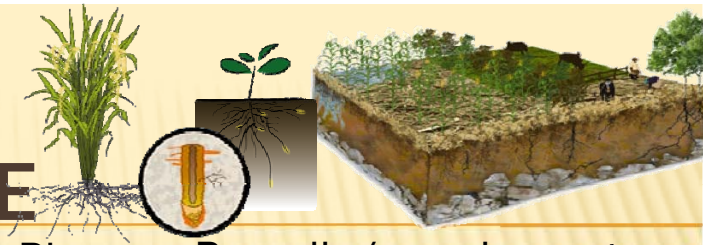
Un cadre conceptuel de fonctionnement

- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL/PHYSIOLOGIE



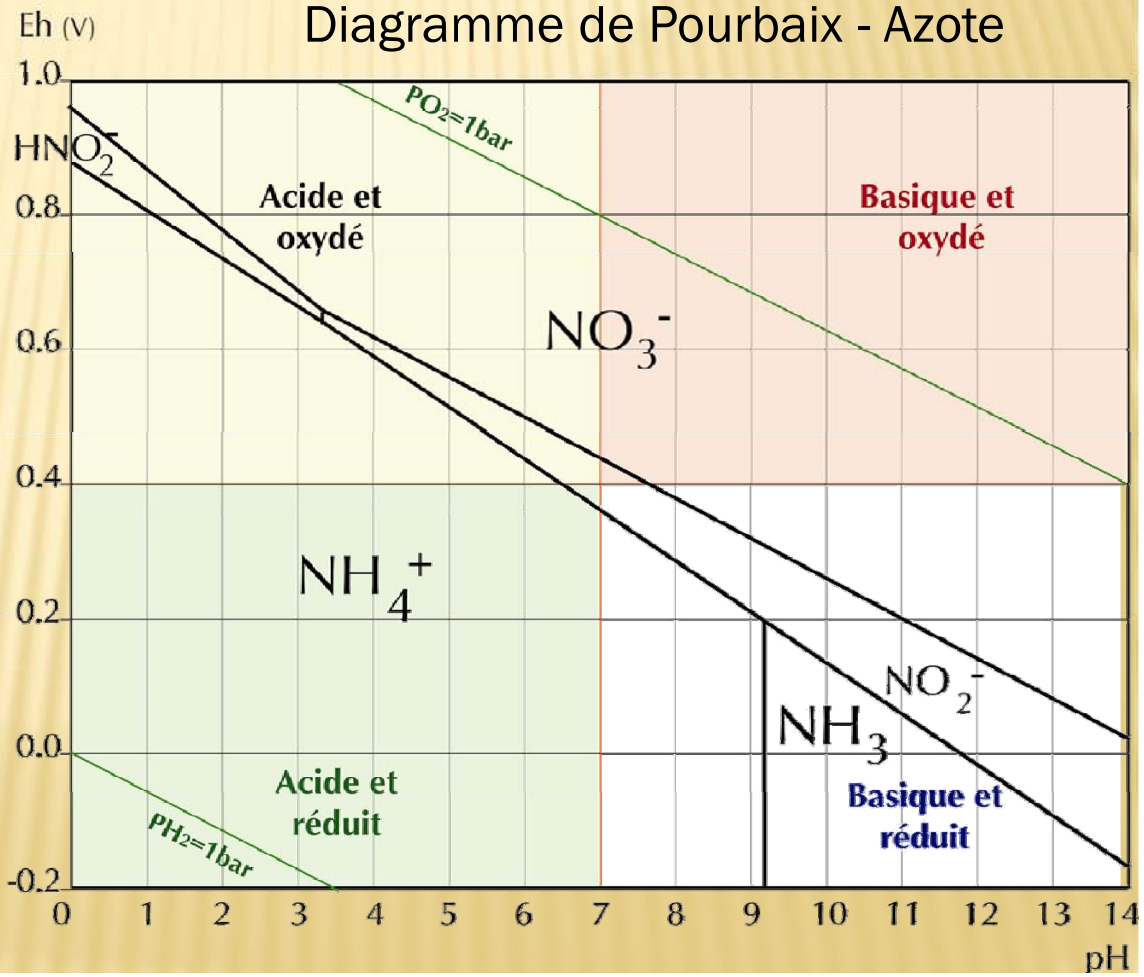
Plante Parcelle/peuplement

Azote: NO_3^- et NH_4^+ assimilables

La forme d'azote assimilé dépend de Eh et pH

Impacte la physiologie de la plante: régulation du pH cellulaire

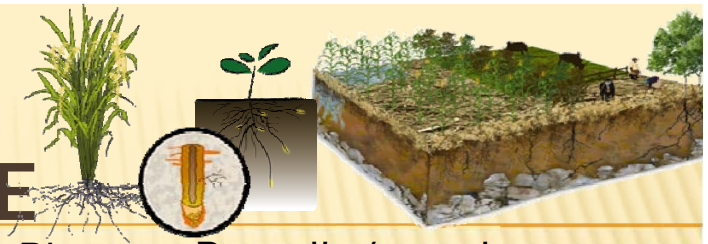
Diagramme de Pourbaix - Azote



Marschner H 1995 *Mineral nutrition of higher plants*. Academic press Publishing.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL/PHYSIOLOGIE



Plante Parcelle/peuplement

Rejet d'un H^+ en cas d'absorption d'un NH_4^+

Rejet d'un OH^- en cas d'absorption d'un NO_3^-

NH_4^+ et NO_3^- représentent 80% des ions absorbés

Modification du pH de la rhizosphère: impact sur l'absorption des autres ions

Régulation Eh-pH dans la plante

Cycle redox dans les mitochondries: taux d'absorption de NO_3^- par la plante

Absorption N par le riz baisse à bas Eh

Marschner H 1995 *Mineral nutrition of higher plants*. Academic press.

Foyer, C. H. *2010.* In *Annual Plant Reviews Volume 42287-304.*

Jugsujinda, A *et al.* 1996. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, 103-109.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

PHYSIOLOGIE DES PLANTES

Plante

L'état nutritionnel des plantes: => statut redox, de manière spécifique (N=> acid ascorbic, S=> glutathion).

Des carences limitent la capacité de contrôle du redox de la plante

Chen J *et al.* 1997. *Plant and Soil* 188, 131-137.
Kandlbinder A *et al.* 2004. *Physiologia Plantarum* 120, 63-73.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL

Parcelle/peuplement

Fe et S influencent fortement Eh et pH du sol

Fer:

Nombre redox: un seul électron de Fe^{2+} à Fe^{3+}

mais forte teneur dans les sols

Baas Becking L G M *et al.* 1960. *Journal of geology* 68, 243-284.
Frohne T *et al.* 2011. *Geoderma* 160, 414-424.
Tanaka A *et al.* 1966. *Soil Science and Plant Nutrition* 12, 32-37.
Chadwick, O. A. and Chorover , J. 2001. *Geoderma* 100, 321-353.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL

Parcelle/peuplement

Fe et S influencent fortement Eh et pH du sol

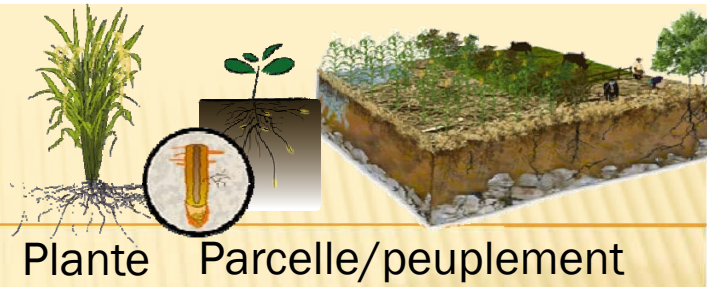
Soufre:

- Nombre redox: 8 électrons de SO_4^{2-} à H_2S
- Influence dans les redox bas
- Production d'acide sulfurique par oxydation de FeS_2

Baas Becking L G M *et al.* D 1960. *Journal of geology* 68, 243-284.
Chadwick, O. A. and Chorover, J. 2001. *Geoderma* 100, 321-353.
Dent D L 1993. *Catena* 20, 419-425.
Lefroy R D B *et al.* 1993. *Australian Journal of Soil Research* 31, 493-508.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL



- Matière organique = tampon Eh-pH

Principal facteur de régulation du Eh: réservoir d'électrons

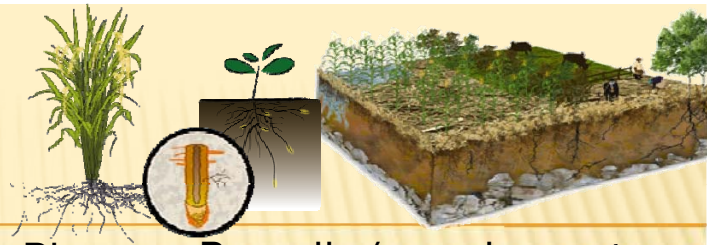
Abaisse Eh (quinones)

Qualité et quantité de MO => Eh et pouvoir tampon

Chadwick O A and Chorover J 2001. *Geoderma* 100, 321-353.
Klupfel L 2009. PhD Thesis. Institute of Biogeochemistry and Pollutant Zurich.
Chesworth W and Macias F 2004. *In Volcanic soil resources in Europe*. Eds.
Lovley D R *et al.* 1998. *Acta Hydrochim. Hydrobiol*. 26 (1998), 152-157.
Oglesby J P 1997. *Abst. of Papers of the American Chem. Soc.* 213, 147-GEOC.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL



- Matière organique = tampon Eh-pH

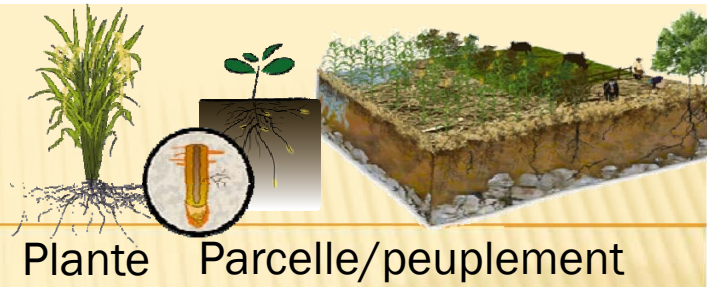
Qualité et quantité de MO : pH du sol et pouvoir tampon

MO favorise sols neutres ou légèrement acides

Chadwick O A and Chorover J 2001. *Geoderma* 100, 321-353.
Chesworth W and Macias F 2004. *In Volcanic soil resources in Europe*. Eds.
Brady, N. C.; Weil, R. R. *2010. Elements of the nature and properties of soils; Third edition ed.; Pearson Education International.*
Magdoff F and Bartlett R 1984. *Soil Science Society of America J.* 49, 145-148.
Skyllberg U *et al.* 2001. *Biogeochemistry* 56, 51-74.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL



- Eh-pH : régulation la matière organique

  Vitesse et l'intensité des processus d'humification

  Dégradation de la MO: plus rapide en conditions oxydantes.

  Le temps de résidence du carbone dans la MO : un an (sols oxydés) à x 1000 ans (conditions très réduites)

Chesworth W **2004**. *Edafologia* 11, 37-43.
Macías F and Camps Arbestain M **2010**. *Soil carbon sequestration in a changing global environment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 511-529.
Reddy K R *et al.* **1986** In *The role of organic matter in modern agriculture.* 117-160. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
Rusanov A M and Anilova L V **2009**. *Eurasian Soil Science* 42, 1101-1108.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

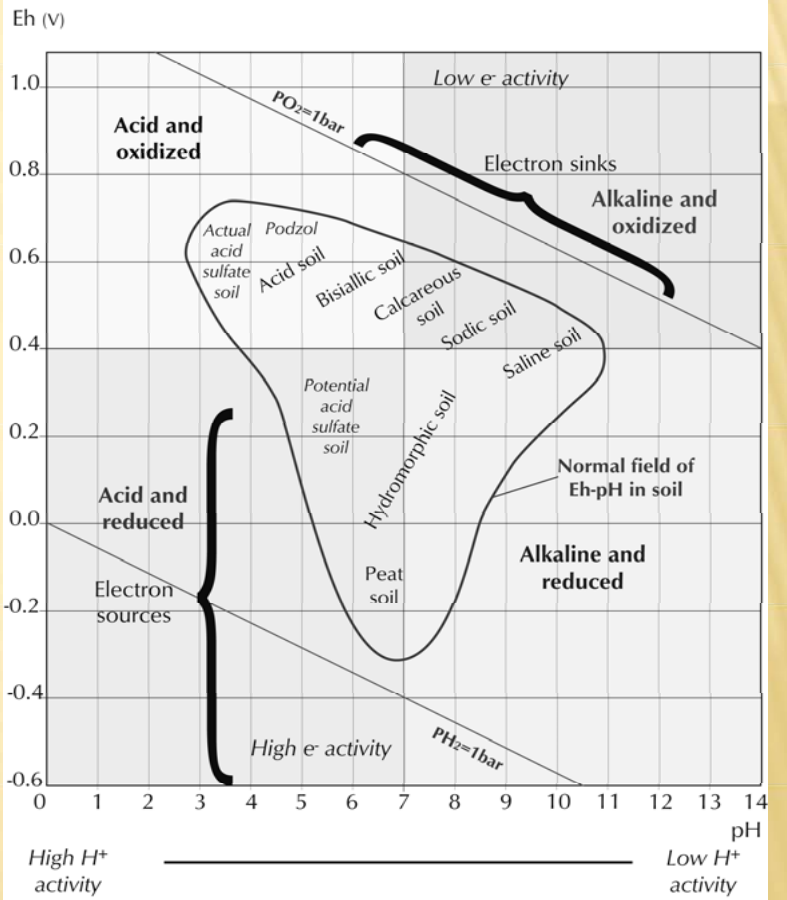
SCIENCES DU SOL

Parcelle/peuplement

- Eh-pH et genèse des sols

L'évolution chimique d'un sol est essentiellement déterminée par les flux d'électrons et de protons

Andosolisation: axe acide

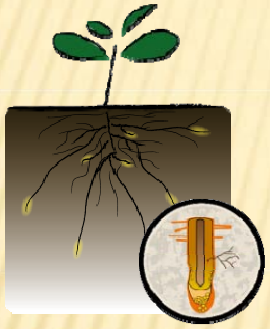


Chadwick O A and Chorover J 2001. Geoderma 100, 321-353.
Chesworth W and Macias F 2004. *In Volcanic soil resources in Europe*. Eds. Oskarsson H and Arnalds O. RALA/ Agricultural Research Institute. Reyjavik.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

Correction du milieu Eh-pH par les plantes:



Court terme dans la rhizosphère

Exsudats + microorganismes

Long terme par la pédogénèse:

production de biomasse/humification

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

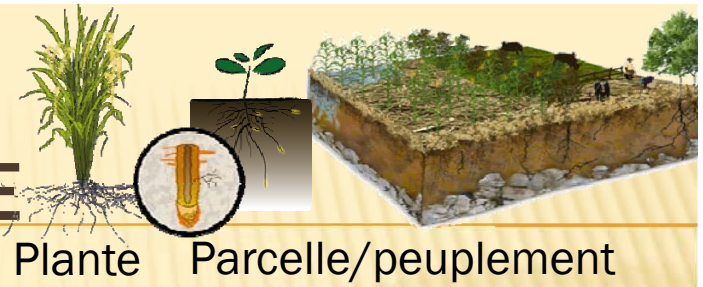
Impact du milieu (sol) sur les organismes vivants

Co-évolution
plantes/microorganismes/sols?

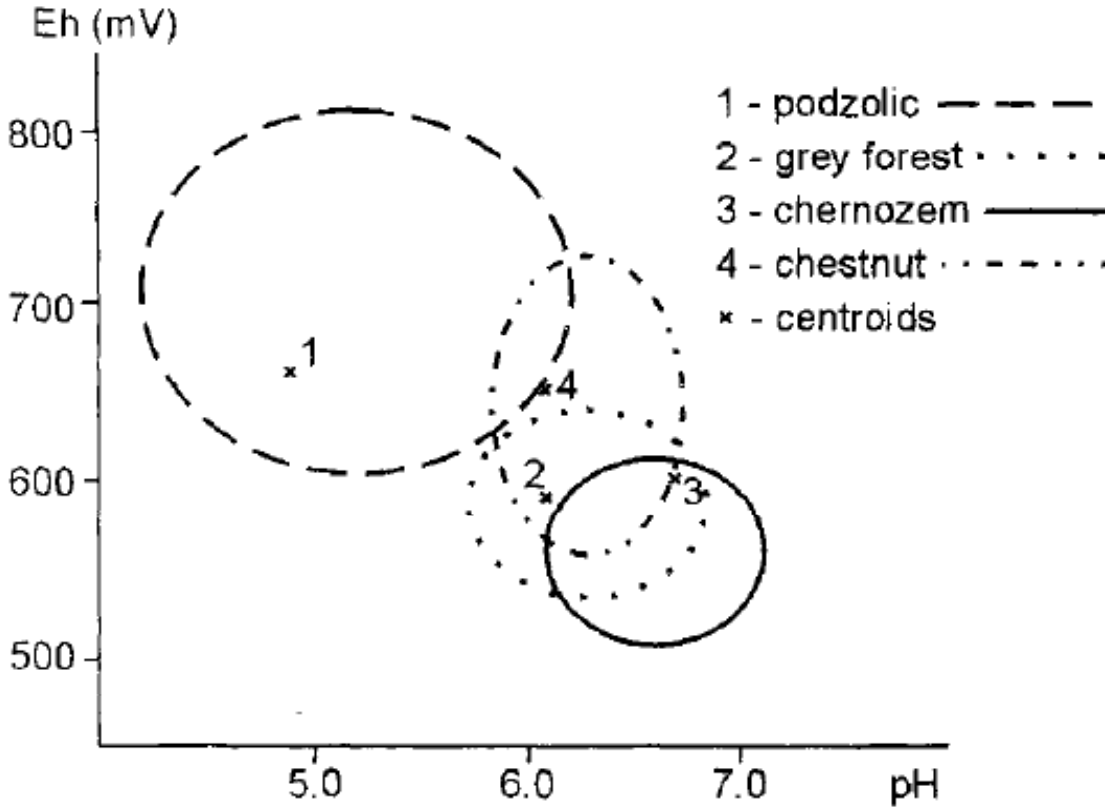
Modification du milieu par les organismes vivants

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL/AGRONOMIE



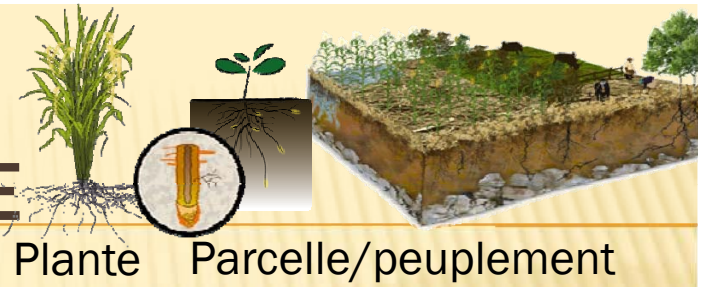
Utilisation Eh-pH en agronomie sur sols aérés (très rare) permet de différencier des sols



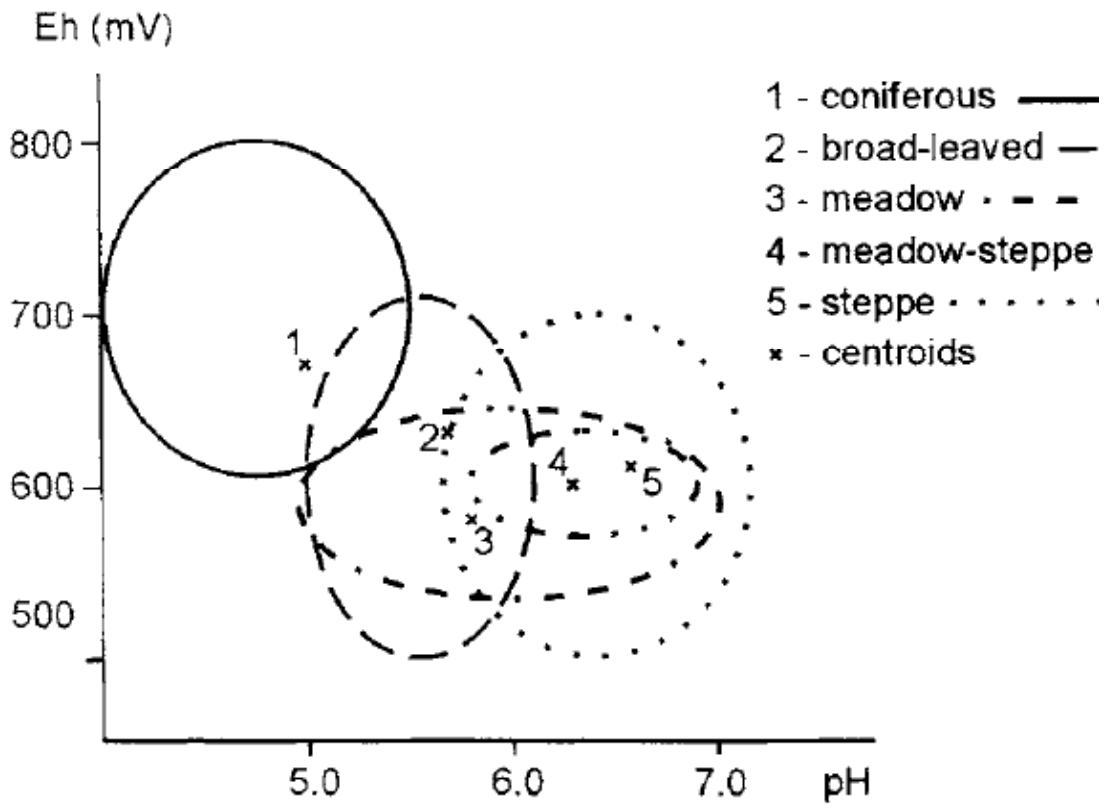
Snakin V V *et al.* 2001 *Soil liquid phase composition*. Elsevier Science B.V., Amsterdam

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL/AGRONOMIE



Utilisation en agronomie sur sols aérés permet de différencier des types de végétation



Snakin V V *et al.* 2001 *Soil liquid phase composition*. Elsevier Science B.V., Amsterdam

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE PATHOLOGIE

Microorganismes adaptés à des conditions spéciales (ex. bactéries pathogènes): frange Eh-pH très réduite

Rabotnova I L and Schwartz W 1962 *The importance of physical-chemical factors (pH and rH_2) for the life activity of microorganisms*. VEB Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE PATHOLOGIE

Micro-organismes

De nombreux champignons pathogènes (Aphanomyces, Pythium, Fusarium, etc.): pH légèrement acide

Höper H *et al.* 1995. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 955-967.
Minuto A *et al.* 2008. *Phytoparasitica* 36, 294-303.
Payne P A *et al.* 1994. *Plant Pathology* 43, 300-308.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE PATHOLOGIE

Micro-organismes

Inversement, de nombreux virus (flétrissement de la tomate, mosaïque du tabac, etc.): pH élevé

Best E J and Samuel G 1936. *Annals of Applied Biology* 23, 509-537.
Guan H *et al.* 2003. *Ground Water* 41, 701-708.
Kyle J E *et al.* 2008. *Geomicrobiol. J.* 25, 338-345.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

MICROBIOLOGIE & ÉCOLOGIE MICROBIENNE PATHOLOGIE

Quelques indications:

Champignons pathogènes et virus (Mosaïque du tabac, Rhizoctonia, etc.) se développent à Eh élevé

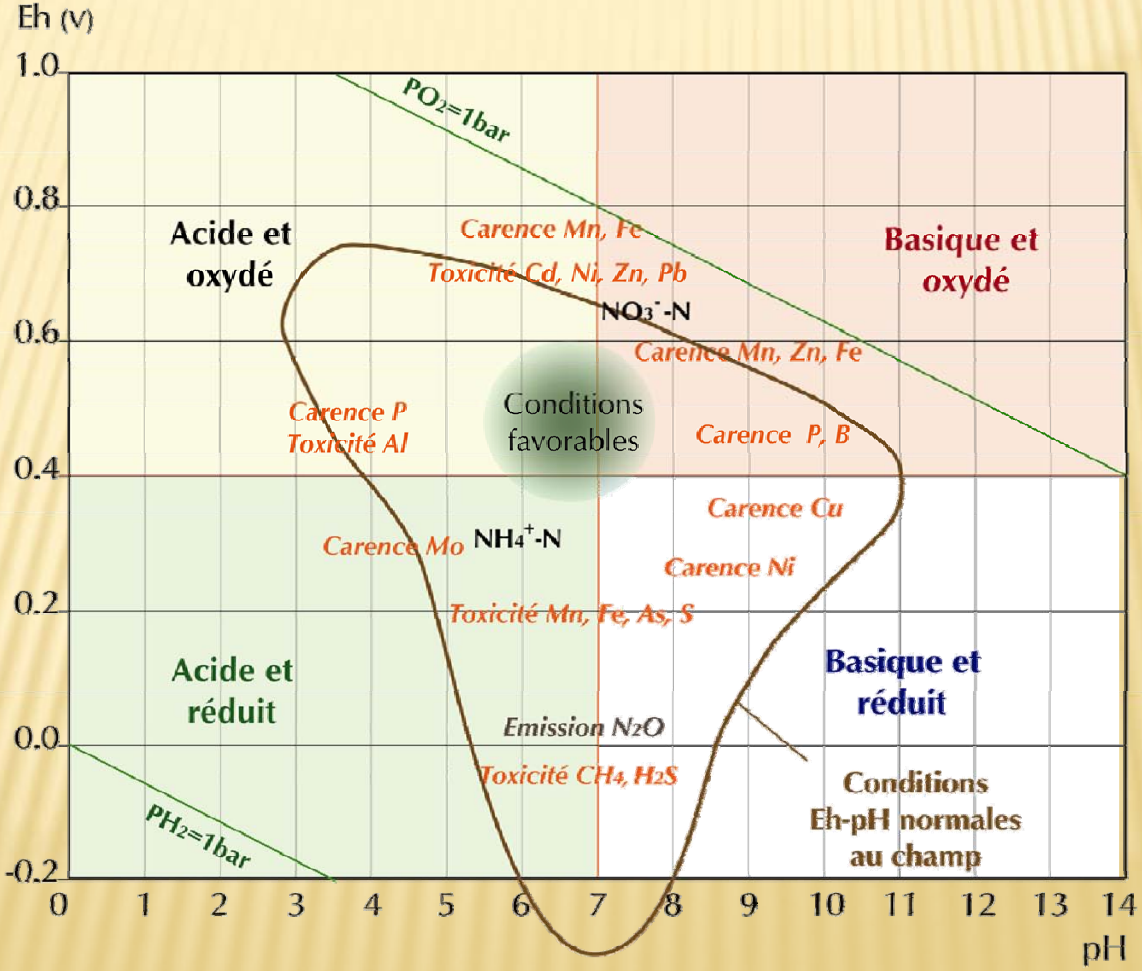
Bactéries pathogènes à Eh bas

Patsoukis N and Georgiou C D 2007. *Mycopathologia* 163, 335-347.
Yamafuji K and Cho T 1948. Biochemische Z. 318, 95.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

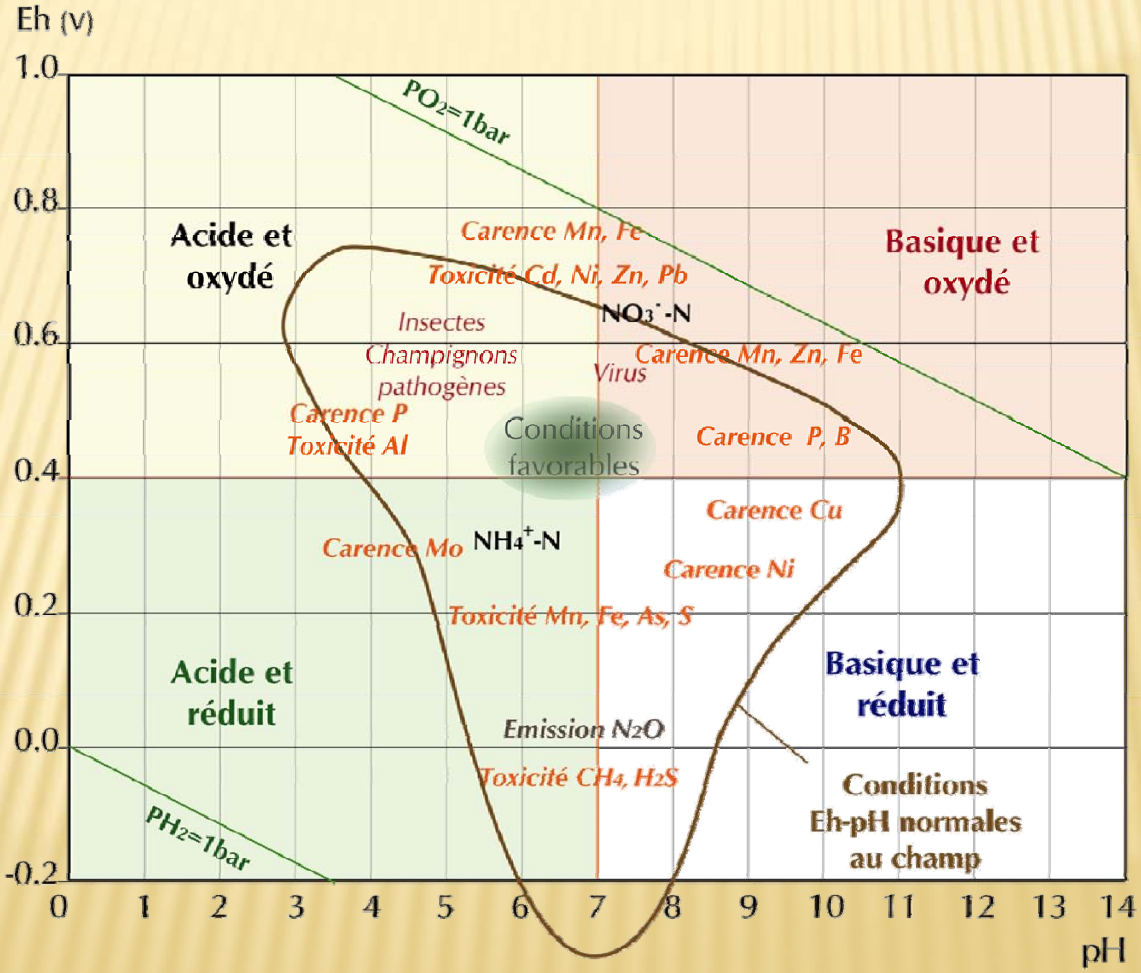
- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



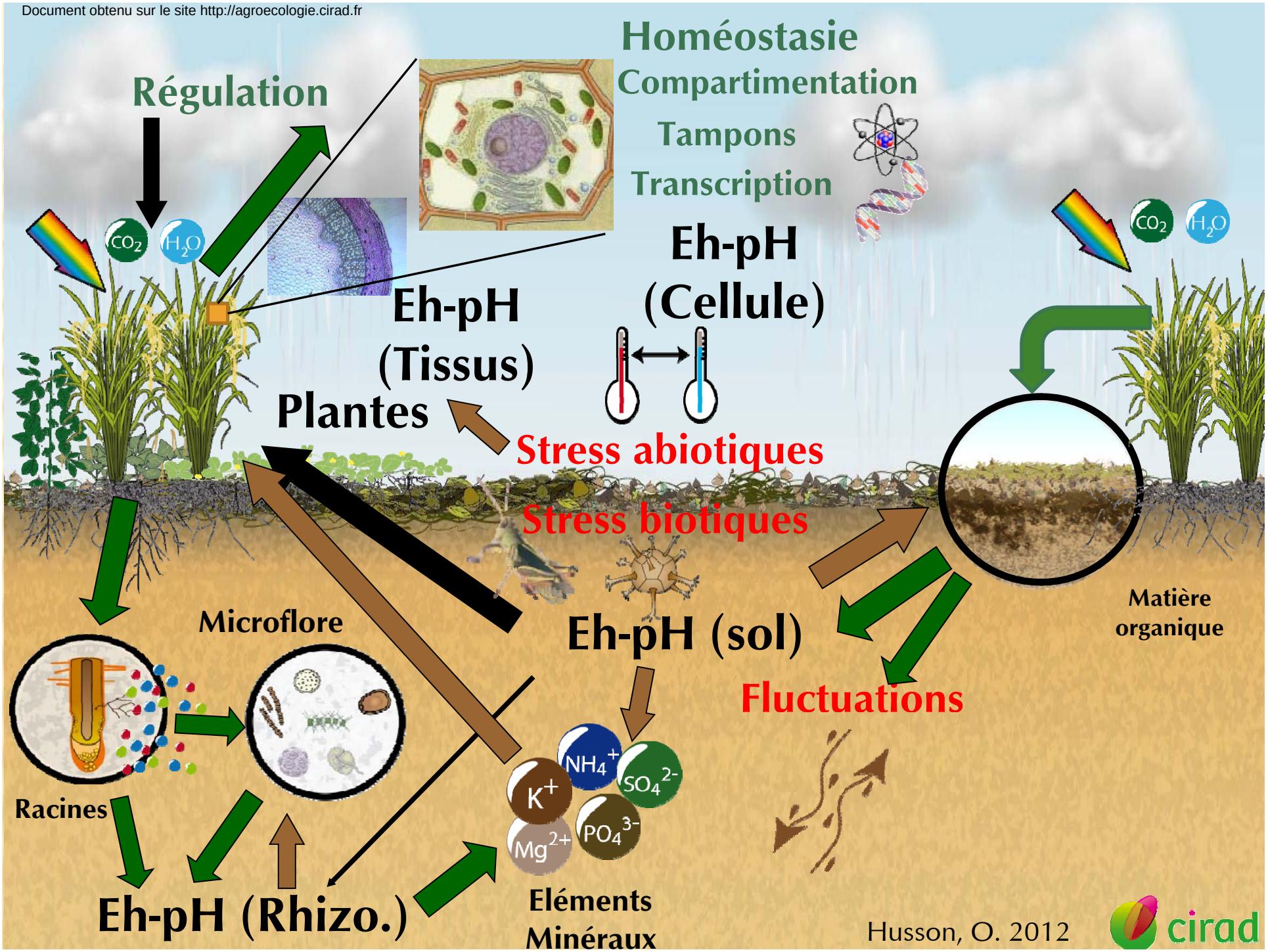
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un cadre conceptuel de fonctionnement

- Milieu optimal pour la croissance définit par Eh-pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr



Husson, O. 2012

cirad

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

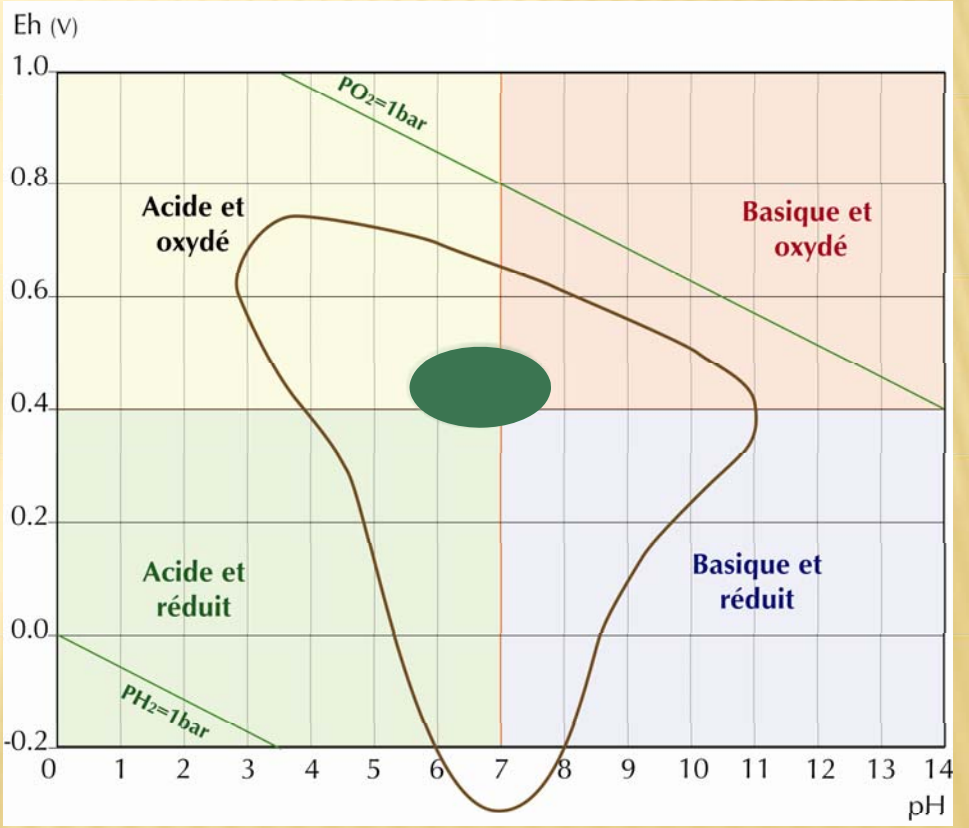
AGRONOMIE

Fonctionnement en milieu optimal

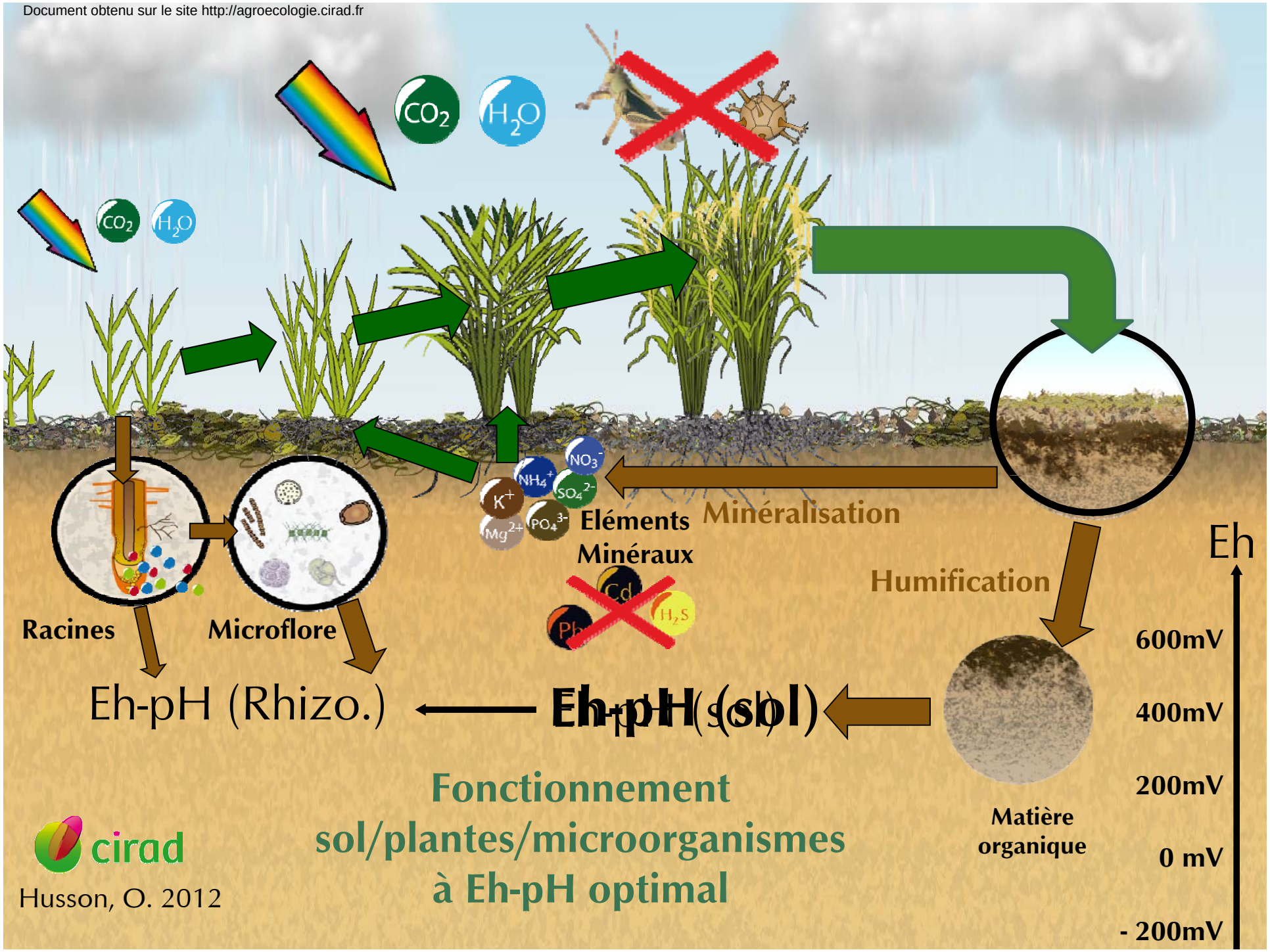
Eh:~+400 mV

à +450 mV

pH: 6,5-7



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Fonctionnement en milieu réduit

Eh:< 350 mV

Baisse photosynthèse

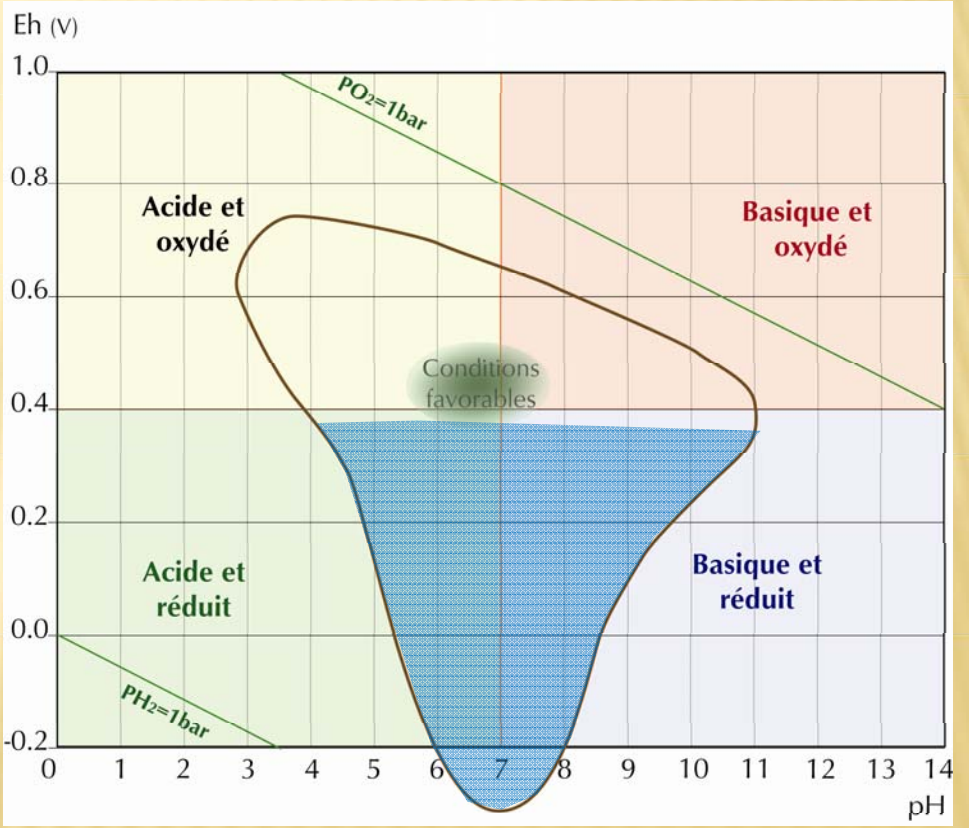
Fermentation (6% énergie)

Blocage MO

Toxicités

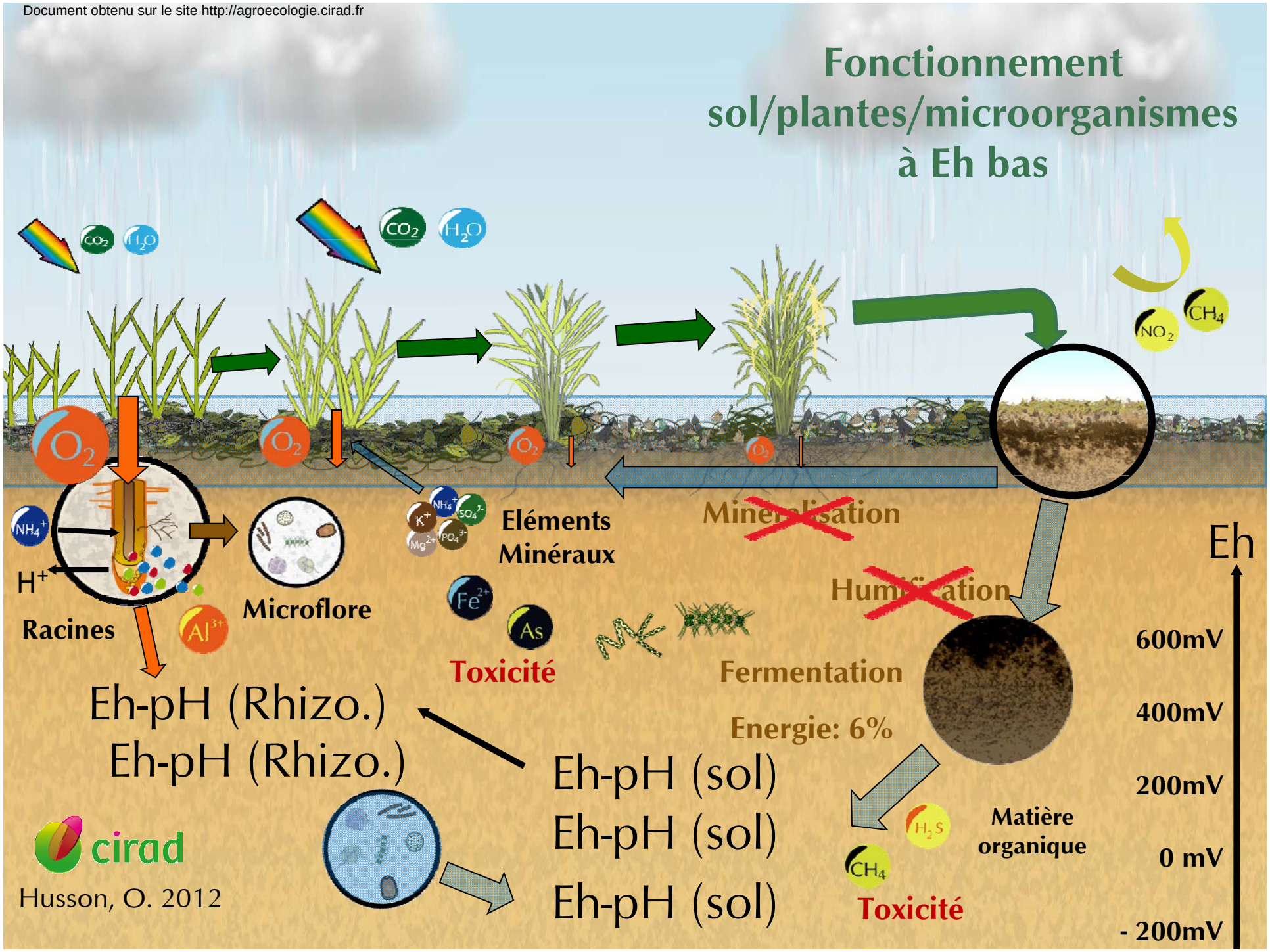
Pathogènes

Bactéries anaérobies



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Fonctionnement sol/plantes/microorganismes à Eh bas



Husson, O. 2012

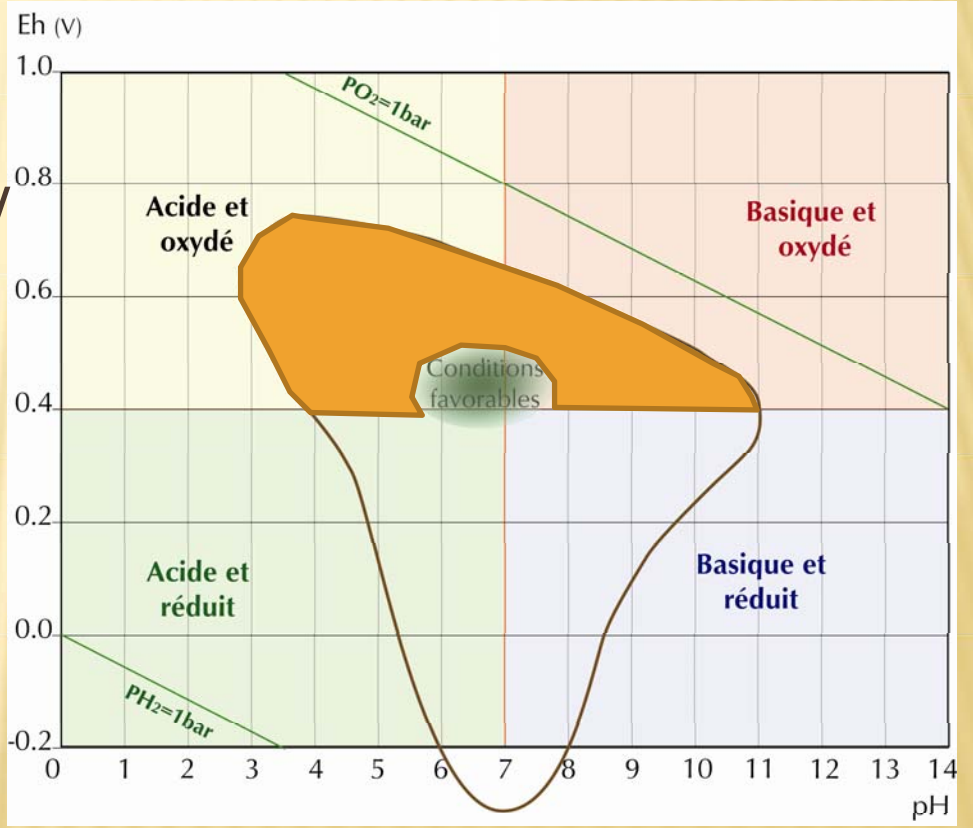
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

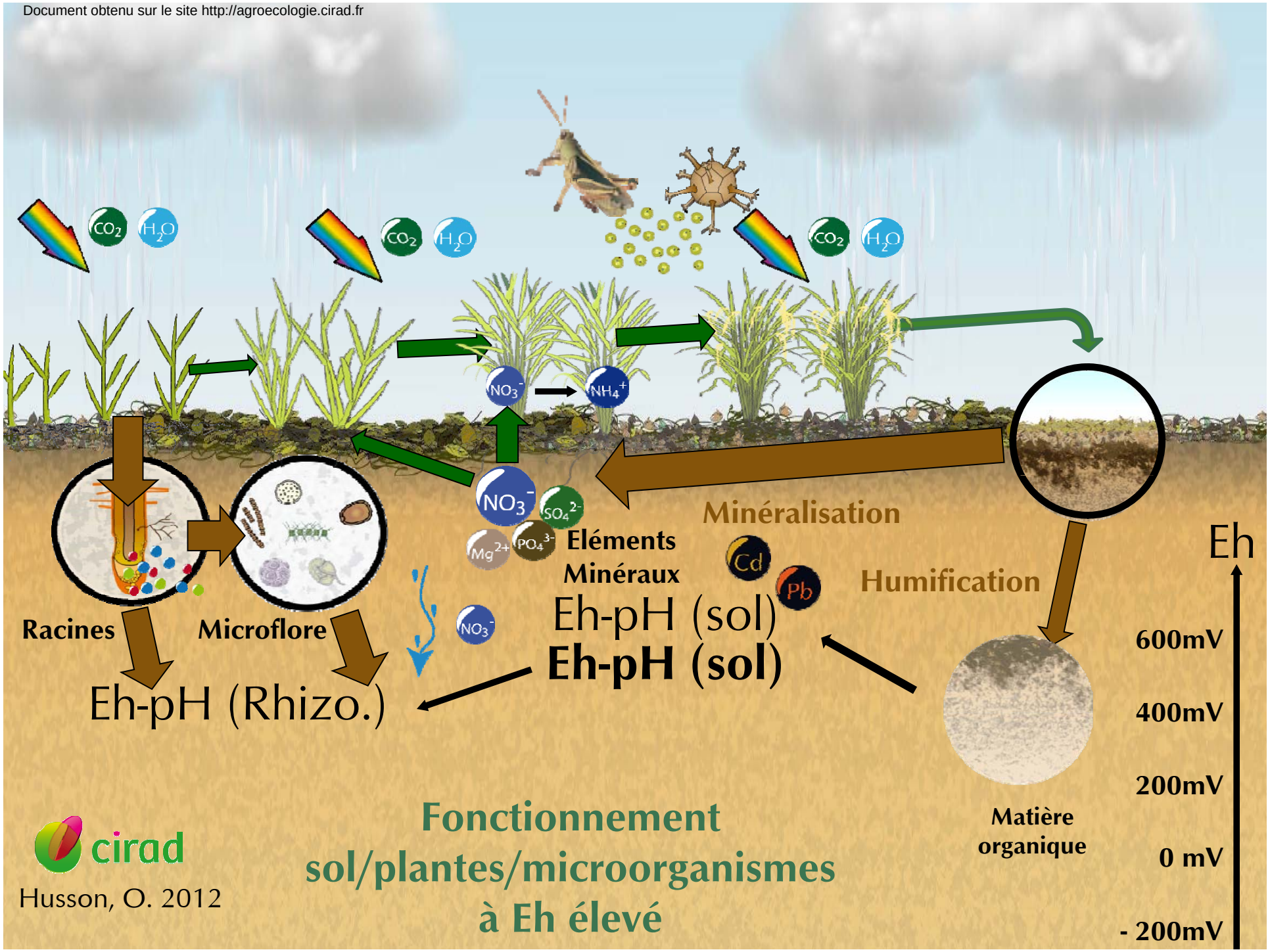
Fonctionnement en milieu trop oxydé

Eh: > +450 mV à +500 mV

pH: acide ou basique



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Propose un nouvel éclairage et des pistes de recherche pour expliquer des phénomènes mal compris.

* La forte variabilité des exsudats racinaires?

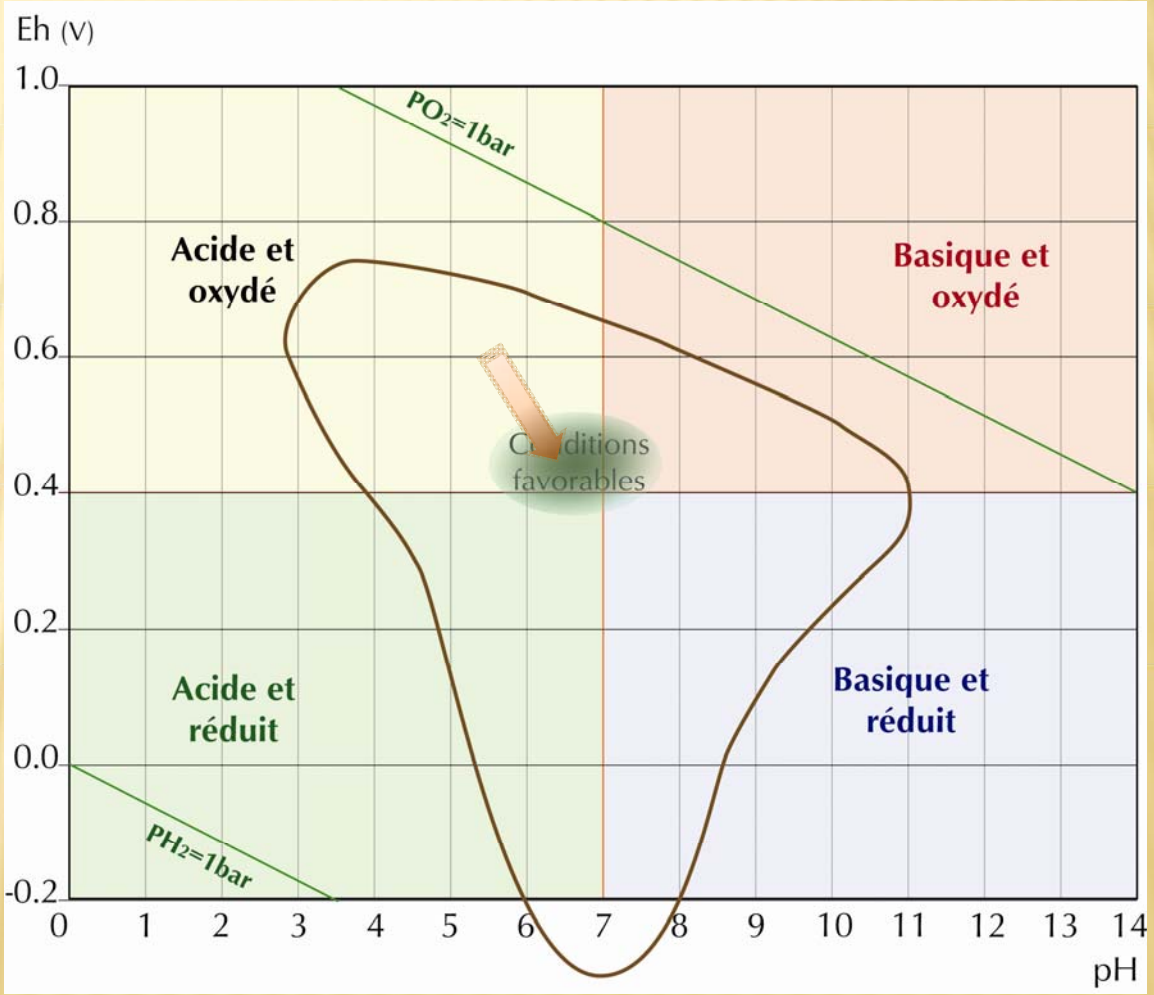
* Pourquoi la nature a conservé un processus aussi couteux?

* La co-évolution des sols/plantes/microorganismes?

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

L'hystérésis durant la restauration de la productivité des sols?

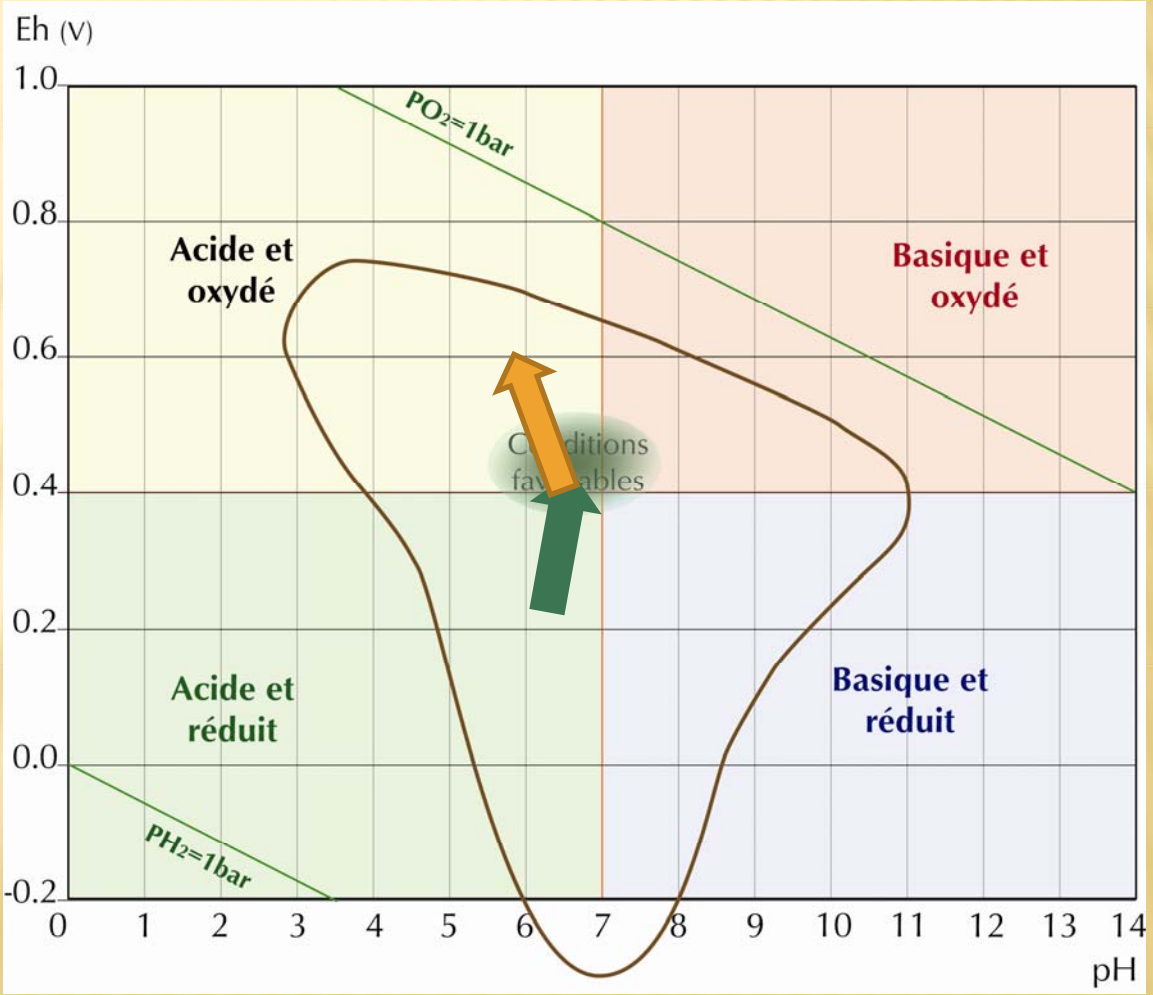


Tittonell P *et al.* 2008.
Plant and Soil
313, 19-37.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

Le succès de la révolution verte et la stagnation ou le déclin des rendements à long terme?

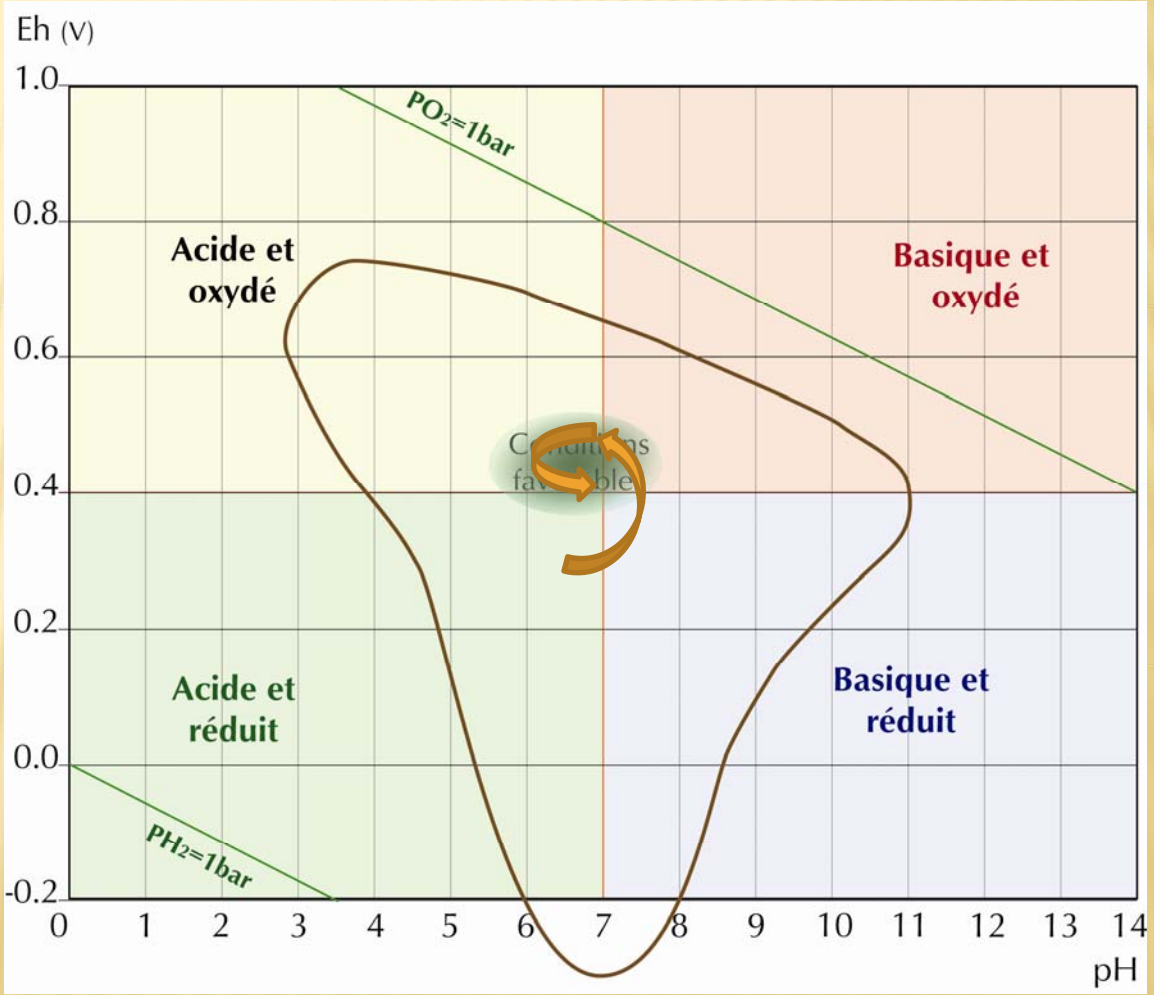


Ladha J K *et al.* 2003
Field Crops Research 81, 159-180.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

Les performances du Système de Riziculture Intensive (SRI)?



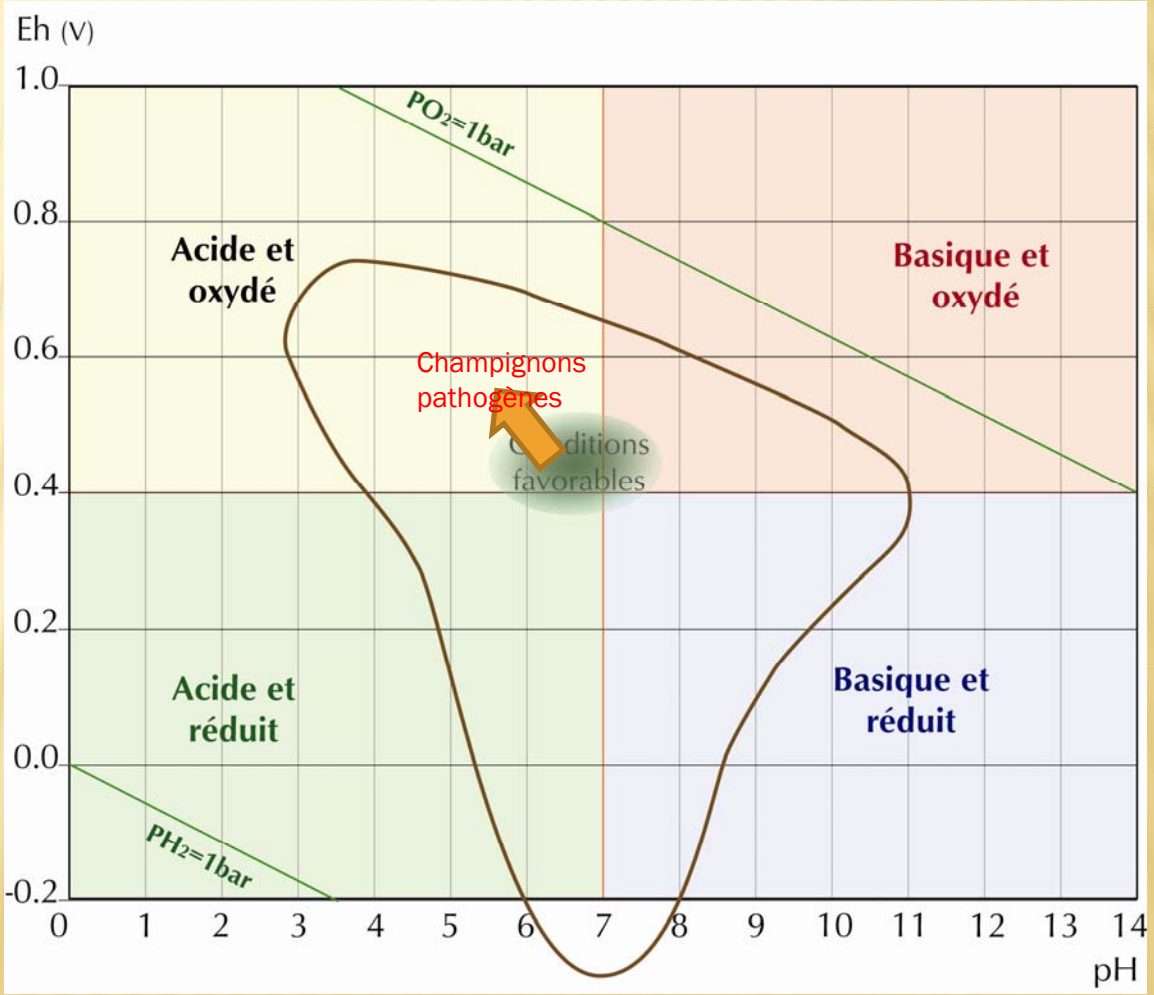
Stoop, W. A et al. 2002. *Agricultural Systems*, 71, 249-274.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

L'augmentation des champignons pathogènes après application de pesticides?

(Fusariose après Glyphosate)



Fernandez M R *et al.* 2009. *European Journal of Agronomy* 31, 133-143.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

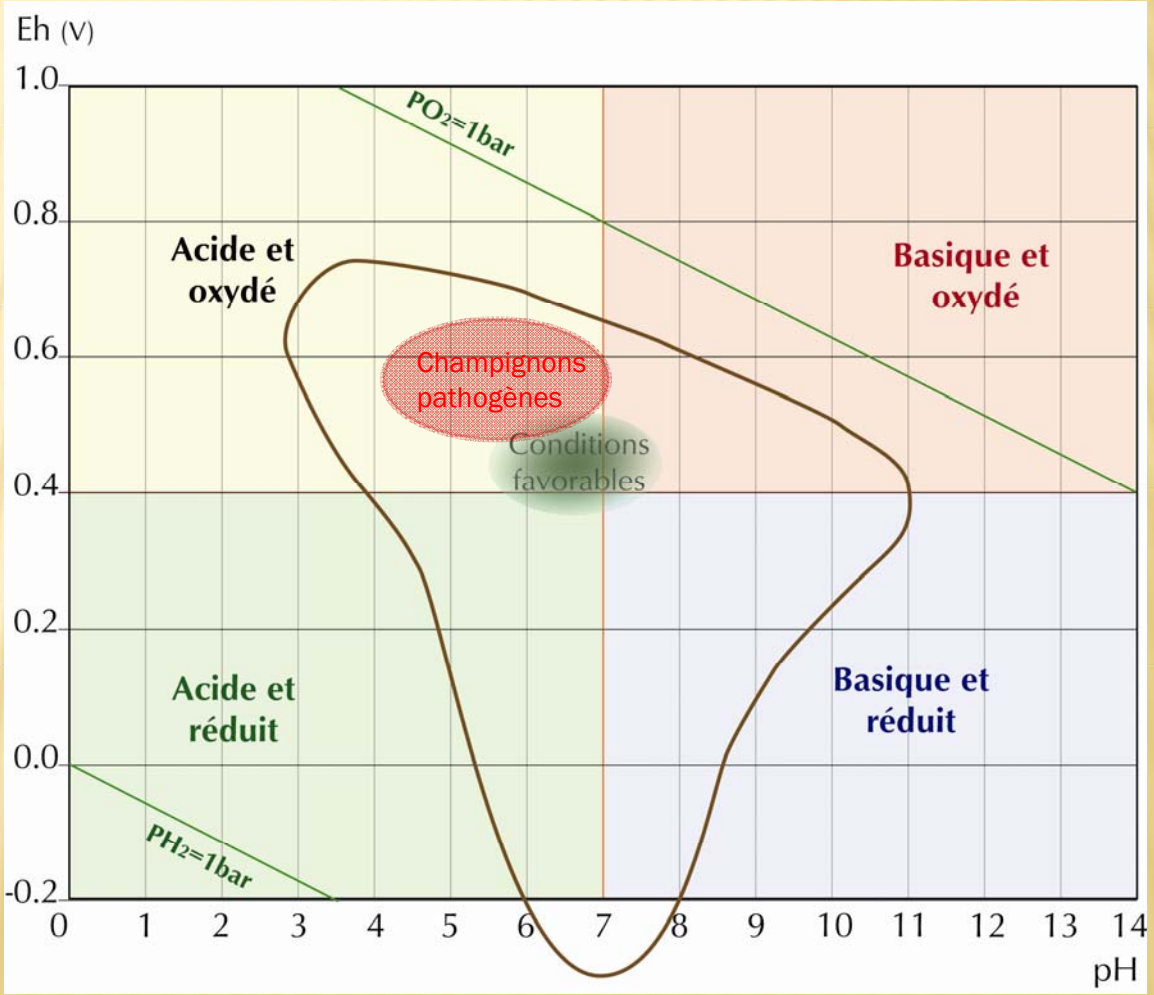
AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

Un cadre pour l'étude de la pyriculariose du riz?

Pluvial/irrigué

NO_3^-/NH_4^+

Sols suppressifs de la pyriculariose: organiques, pas acides

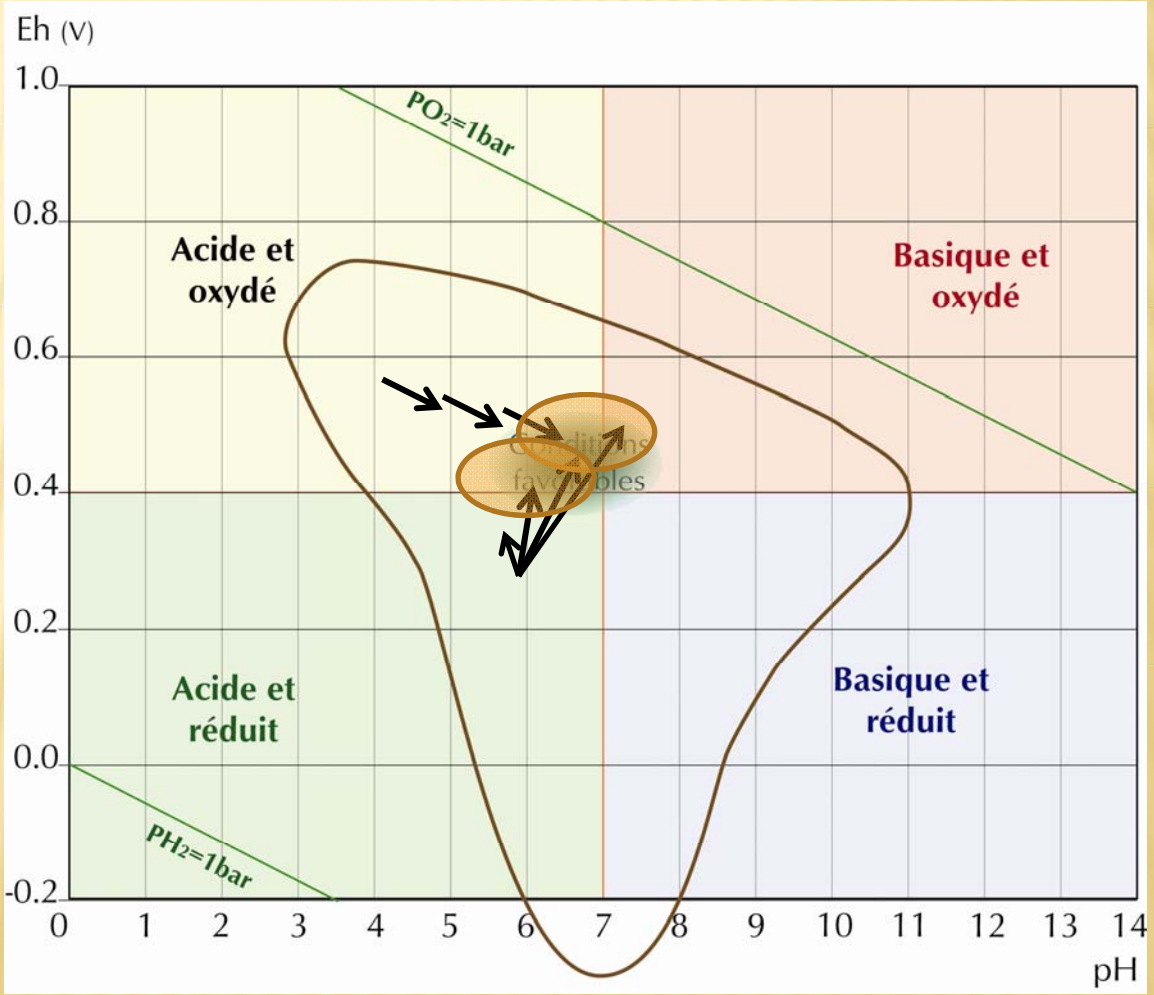


Osuna-Canizalez, F *et al. 1991. Plant and Soil,* 135, 223-231.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

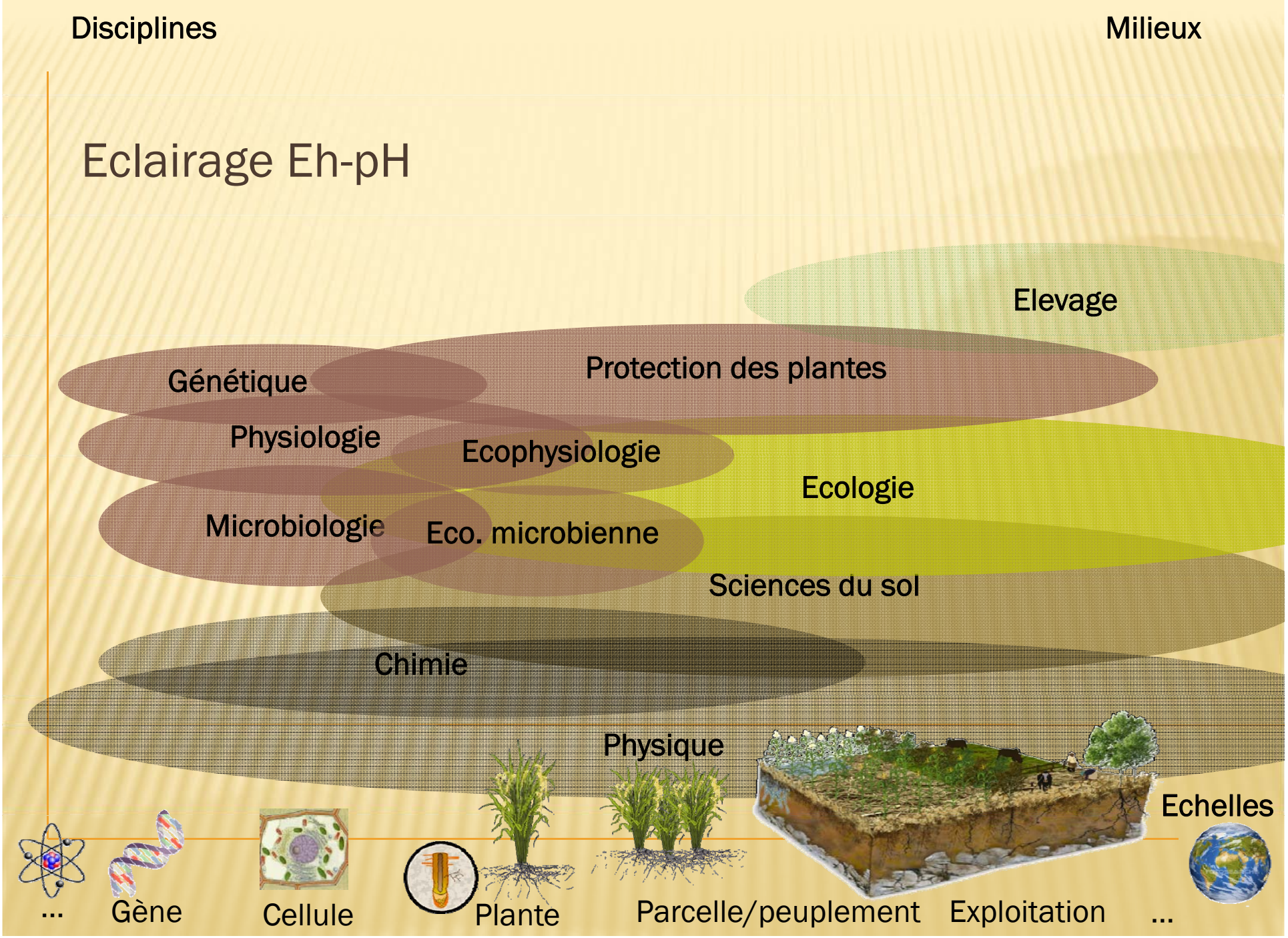
AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

Un cadre pour l'interprétation des interactions génotype x environnement?



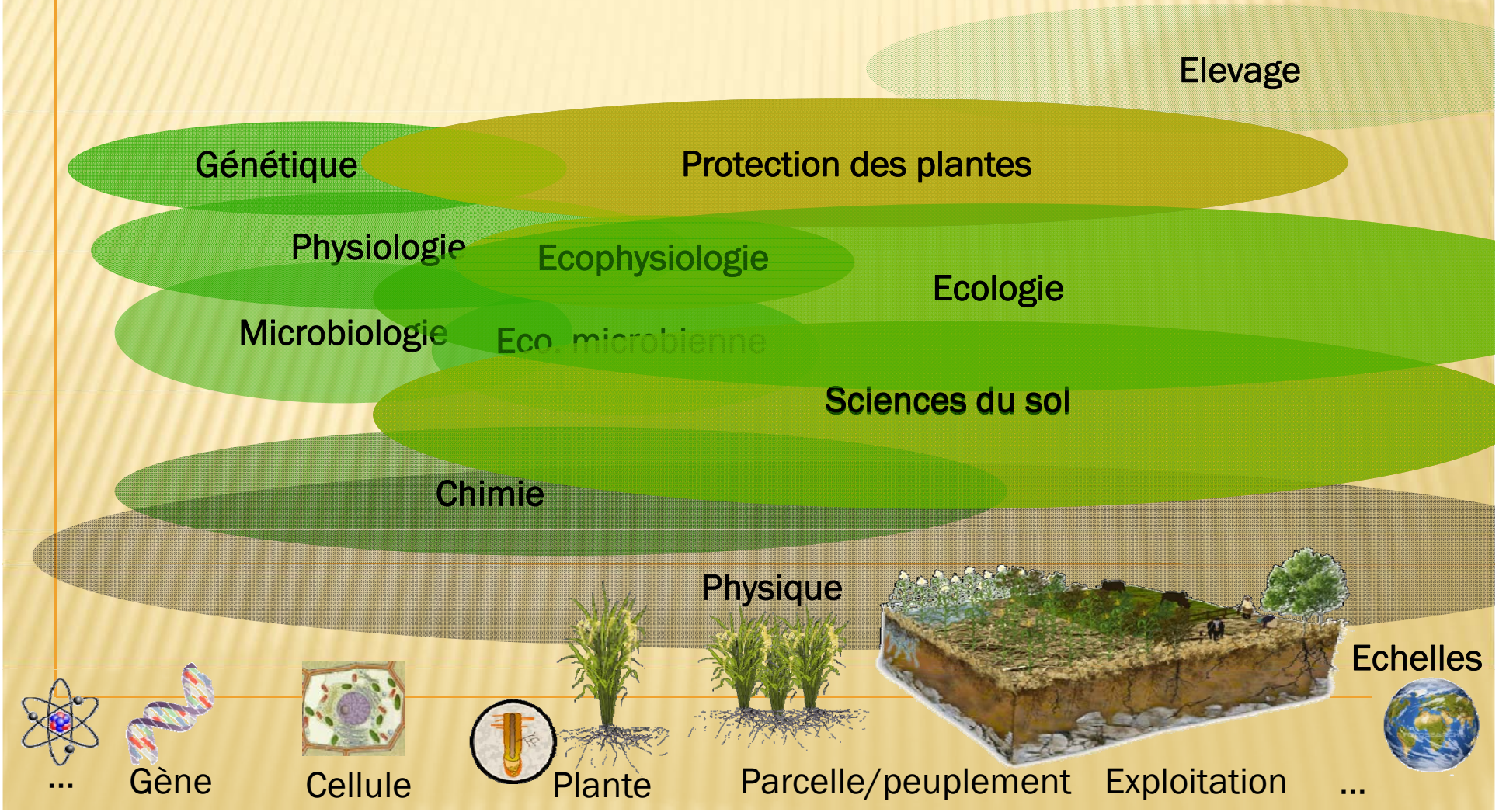
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Eclairage Eh-pH



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Un outil d'intégration des disciplines



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Un nouvel éclairage ?

- Converge avec les dernières avancées de la science de l'eau

Eau structurée dans la cellule:

Réseau

Transfert des électrons entre protéines et entre protéines et d'autres molécules

Diffusion rapide des protons

Ball P **2008.** Water as an active constituent in cell biology. *Chemical Reviews* 108, 74-108.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

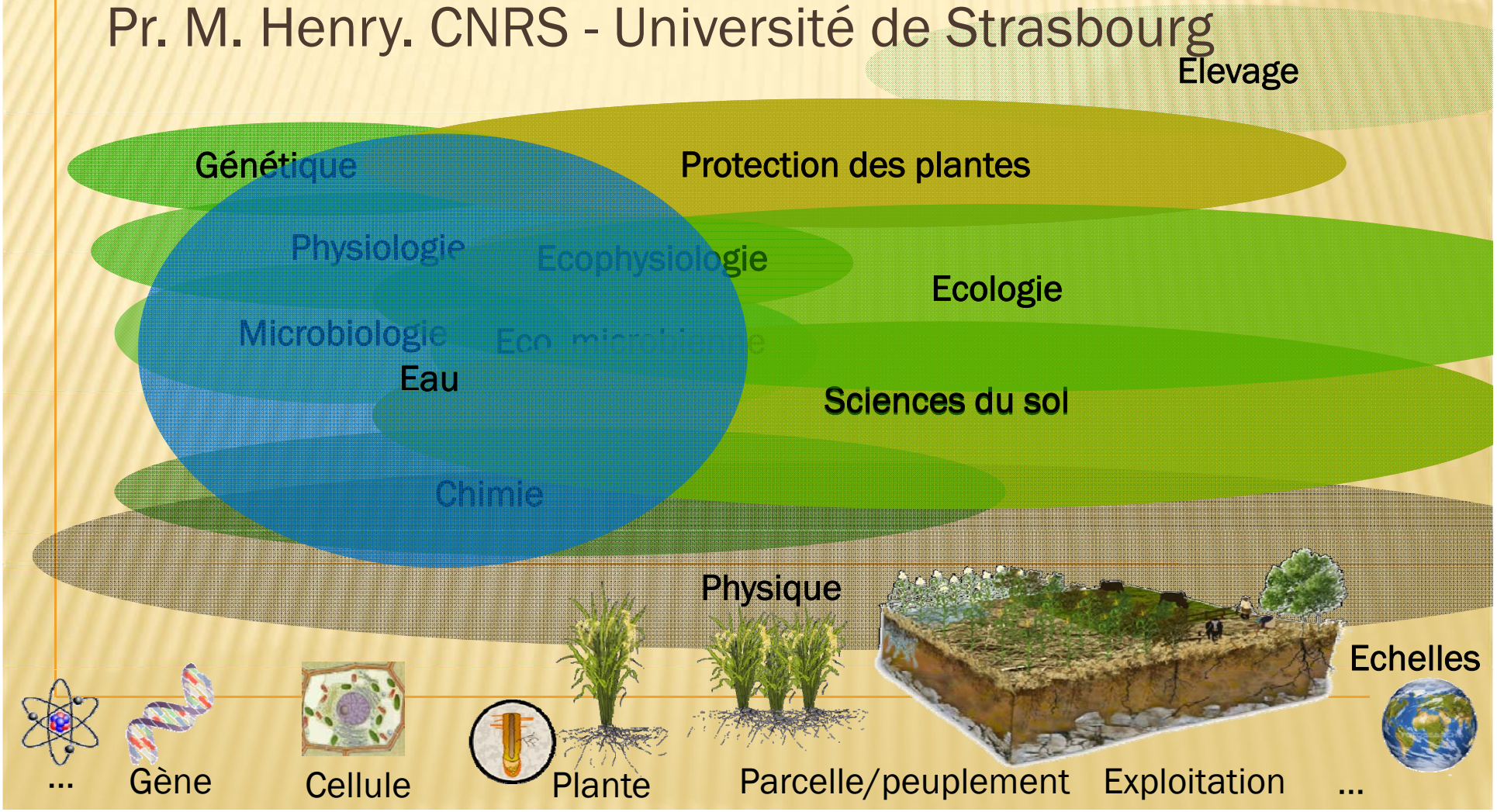
Disciplines

Milieux

Rapproche biologie et physique-chimie

Eau dans la cellule.

Pr. M. Henry. CNRS - Université de Strasbourg



Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Parcelle/peuplement

- Les pratiques agricoles modifient Eh et pH du sol

  Amendements pour corriger pH ou Eh

  Engrais

  Herbicides et pesticides

Blokhina O *et al.* 2003. *Annals of botany* 91, 179-194.
Cocheme H M and Murphy M R 2009. *Methods in Enzymology*, Vol 456: 395-417.
Dietzel K A *et al.* 2009. *Soil Science Society of America Journal* 73, 443-448.
Herbel M J *et al.* 2007. *Soil Science Society of America Journal* 71, 927-939.
Whalen J K *et al.* 2000. *Soil Science Society of America Journal* 64, 962-966.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Parcelle/peuplement

Irrigation-submersion-drainage

Flessa H and Fischer W R 1992. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* 155, 373-378.
Glinski J and Stepniewski W 1985 . *Soil Aeration and its Role for Plants*. CRC press, Boca Raton, Florida.
Ponnamperuma F N 1972. *Advances in agronomy* 24, 29-96.
Stolzy L H and Letey J 1964. *Hilgardia* 35, 567-576.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Parcelle/peuplement

Le type de travail du sol impacte le Eh
des différents horizons du sol,
en relation avec les précipitations

Clay D E *et al.* 1992. *Soil and Tillage Research* 22, 211-219.
Czyz E A 2004. *Soil and Tillage Research* 79, 153-166.
Olness A *et al.* 1989. *Soil Science* 148(4), 265-274.
Snakin V V *et al.* 2001 *Soil liquid phase composition*. Elsevier Science B.V.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Parcelle/peuplement

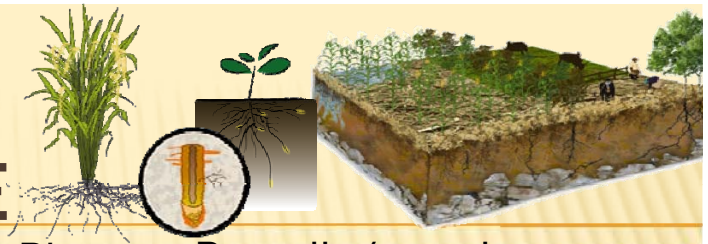
Les plantes cultivées/rotations de culture modifient les caractéristiques Eh du sol

Ex: Eh plus élevé sur rotation blé/luzerne que sur betterave/orge

Bohrerova Z *et al.* 2004. *Soil & Tillage Research* 77, 25-33.
Cornelissen J H C *et al.* 2011. *Functional Ecology* 25, 449-455.
Paustian K *et al.* 1997. *Soil Use and Management* 13, 230-244.

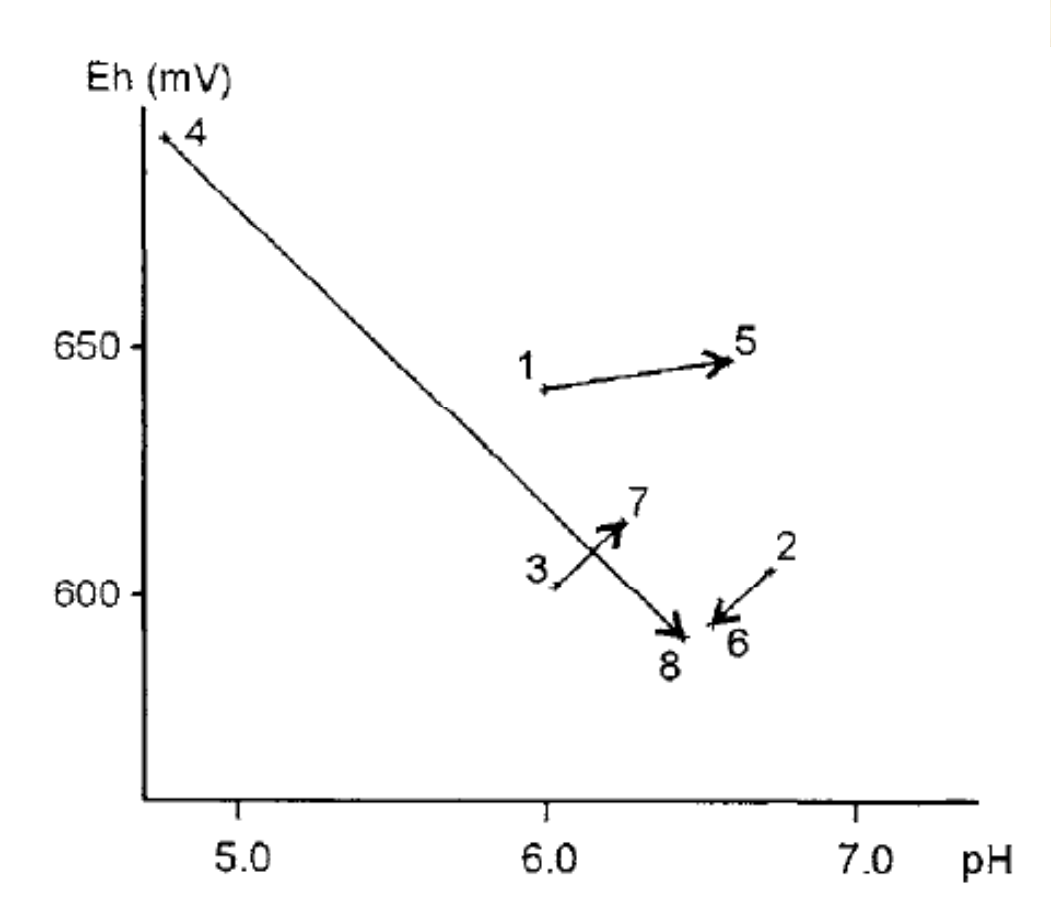
Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

SCIENCES DU SOL-AGRONOMIE



Plante Parcelle/peuplement

Utilisation en agronomie sur sols aérés permet de caractériser l'évolution après mise en culture

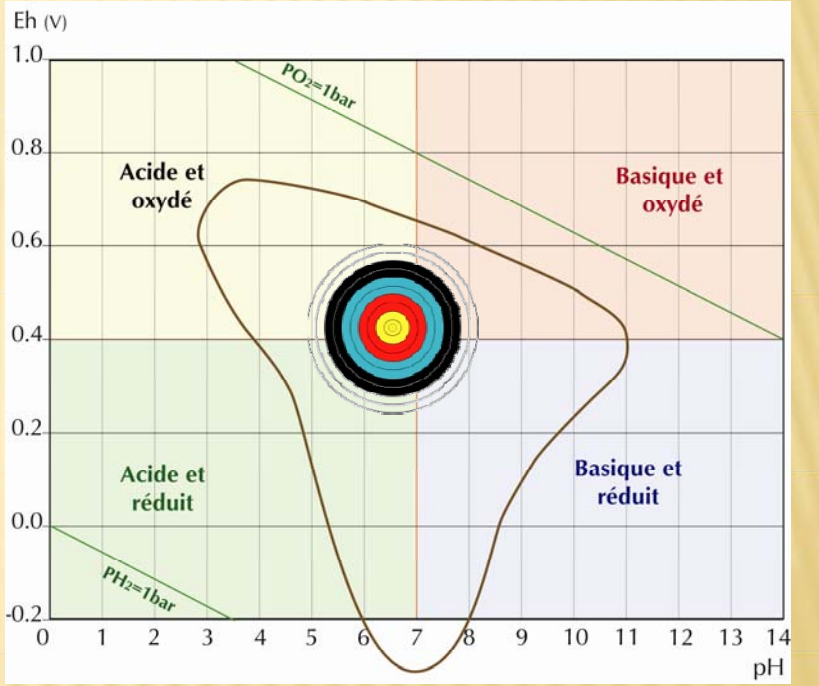


Snakin V V, Prisyazhnaya A A and Kovacs-Lang E Eds. 2001 *Soil liquid phase composition*. Elsevier Science B.V., Amsterdam.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

- Ingénierie et pilotage de systèmes
  - Utiliser le secteur Eh-pH optimal comme « cible »

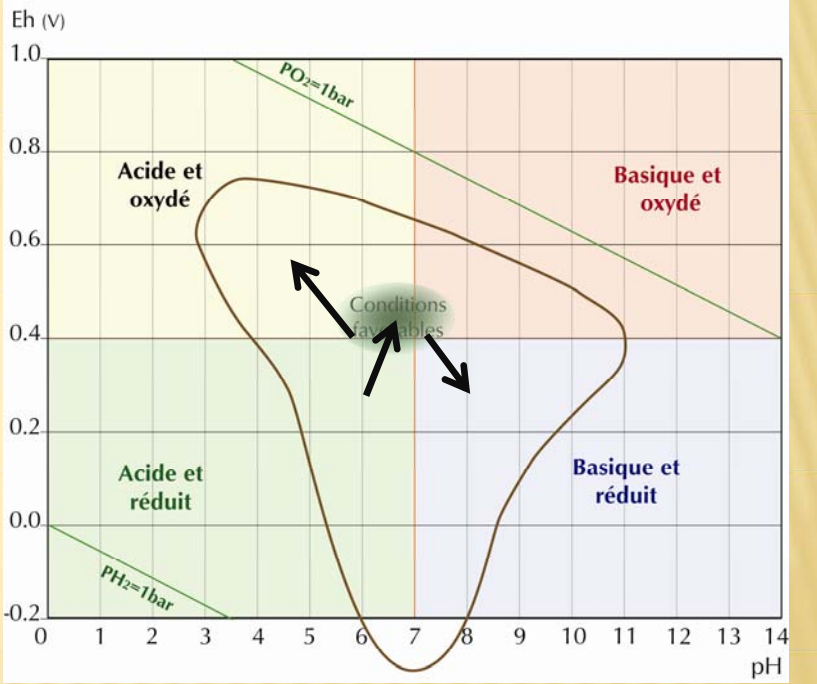


Peut on associer un potentiel de production par secteur Eh-pH et par plante?

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

- Ingénierie et pilotage de systèmes
  - Utiliser ces paramètres et leur évolution pour comparer des pratiques et la durabilité des systèmes



Intensification écologique?

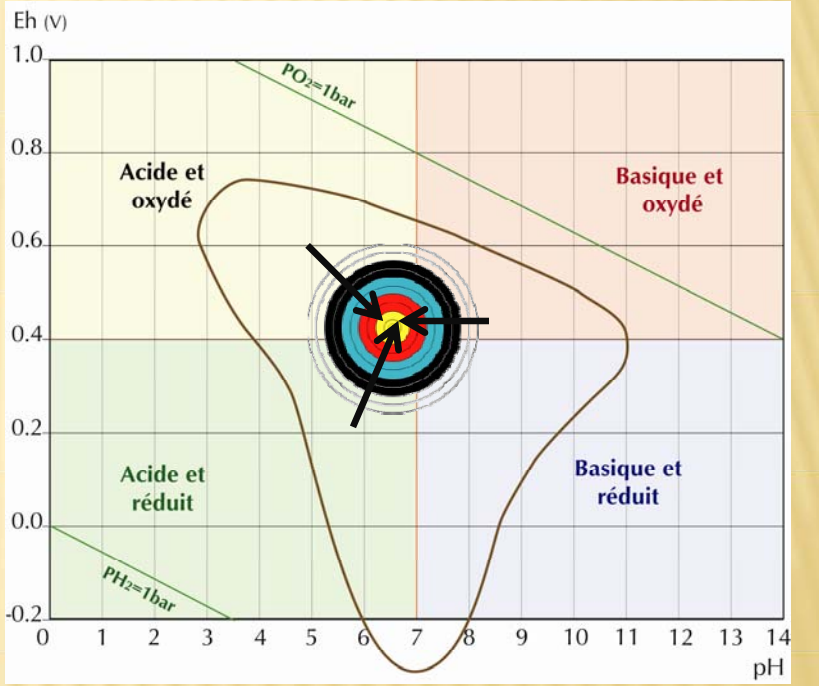
Agriculture de Conservation-Agriculture biologique-Agriculture conventionnelle

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

- Ingénierie et pilotage de systèmes

  - Piloter les pratiques agricoles vers cette « cible »



Ex. : bassins aquacoles (Logiciel Vortex)

Outil de pilotage des SCV?

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Pourquoi on ne l'a-t-on pas vu avant?

- Difficultés de mesure: appareillage, polarisation…
- Difficultés de mesure: variabilité à courte distance
  - 200 mV de différence entre surface et centre d'un agrégat de 6-7 mm
  - 80 mV entre surface et horizon à 1 m
  - Effet de la rhizosphère > 500 mV en 4 mm

Bohrerova Z *et al.* 2004. *Soil & Tillage Research* 77, 25-33.
Flessa H and Fischer W 1992. *Plant and Soil* 143, 55-60.
Hinsinger P *et al.* 2009. Plant and Soil 321, 117-152.
Kaurichev I S and Tararina L F 1972. *Pochvovedenie* 10, 39-42.
Snakin V V *et al.* 2001. *Soil liquid phase composition*. Elsevier Science B.V.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Pourquoi on ne l'a-t-on pas vu avant?

- Difficultés de mesure: variabilité dans le temps
  - Eh : maximum journalier à 3 h après midi, hausse rapide entre 6 h et 11 h du matin.
  - Baisse en automne
  - 50 mV plus haut en année sèche
- pH: même difficultés: variations inverses
- Comprendre cette structure et en tirer de l'information

Kashem M and Singh B 2001. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61, 247-255.
Sabiene N *et al.* 2010. *Zemdirbyste-Agriculture* 97, 15-24.
Snakin V V *et al.* 2001 *Soil liquid phase composition*. Elsevier Science B.V.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

Pourquoi on ne l'a-t-on pas vu avant?

- Etudes déconnectées. Eh et pH rarement étudiés ensemble, pas en interaction: études dissociées ne permettent pas de comprendre
- Assemblage d'études récentes: difficilement possible de le faire plus tôt
- Jamais vraiment regardé sous cet angle: étude du pH des feuilles en fonction du pH du sol: juin 2011

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE

- On n'a peut être pas regardé comme il faut: Problèmes liés à la caractérisation du niveau d'oxydo-réduction par le Eh

Eh et pH : pas indépendants!

Eh : électronisation et protonisation des solutions.

Ne permet pas de dissocier les facteurs

Utiliser la notion chimique de rH_2

Fougerousse, A. 1996. *Bulletin de l'union des physiciens,* 90. 319-331.
Orszagh, J. *1992. Sciences du vivant* 4, 45-62.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

CHIMIE

Notion de rH_2: équivalent du pH pour les électrons

$rH_2 = 1/\log [H_2]$ $\qquad$ $pH = 1/\log [H_3O^+]$

$2\ H_2O \Leftrightarrow 2H_2 + O_2$ $\qquad$ $2\ H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + OH^-$

Auto-électrolyse de l'eau $\qquad$ Auto-protolyse de l'eau

Principe d'égalité des potentiels chimiques

$rH_2 = 10080/T \times Eh + 2\ pH$

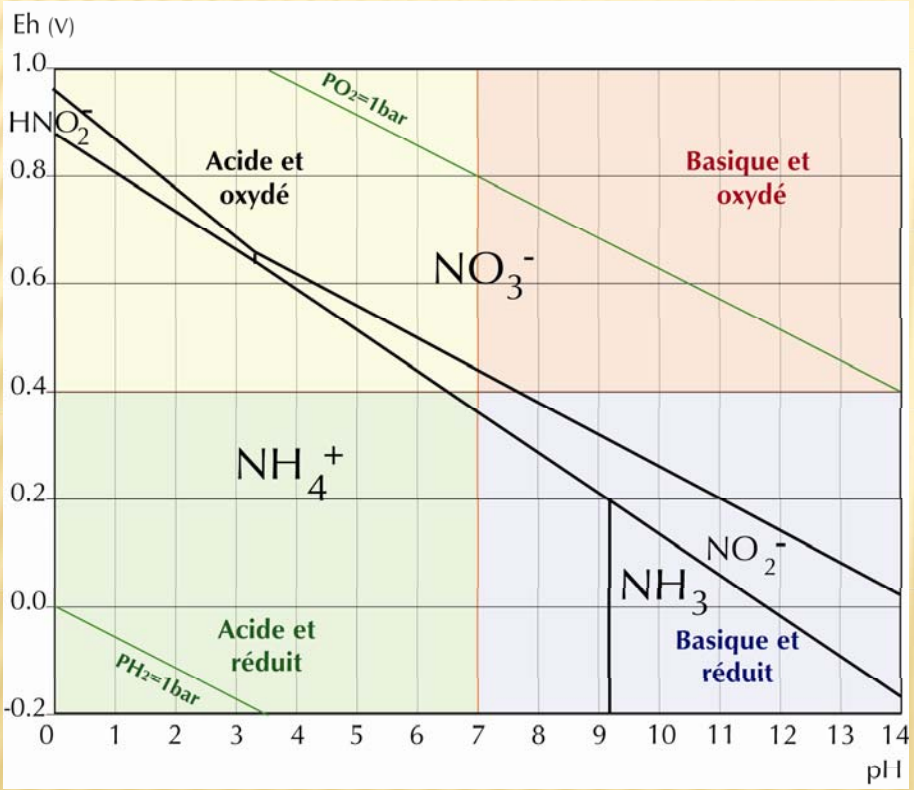
Echelle: 0 à 42. Neutralité électrique: 27, 6 à 25°C

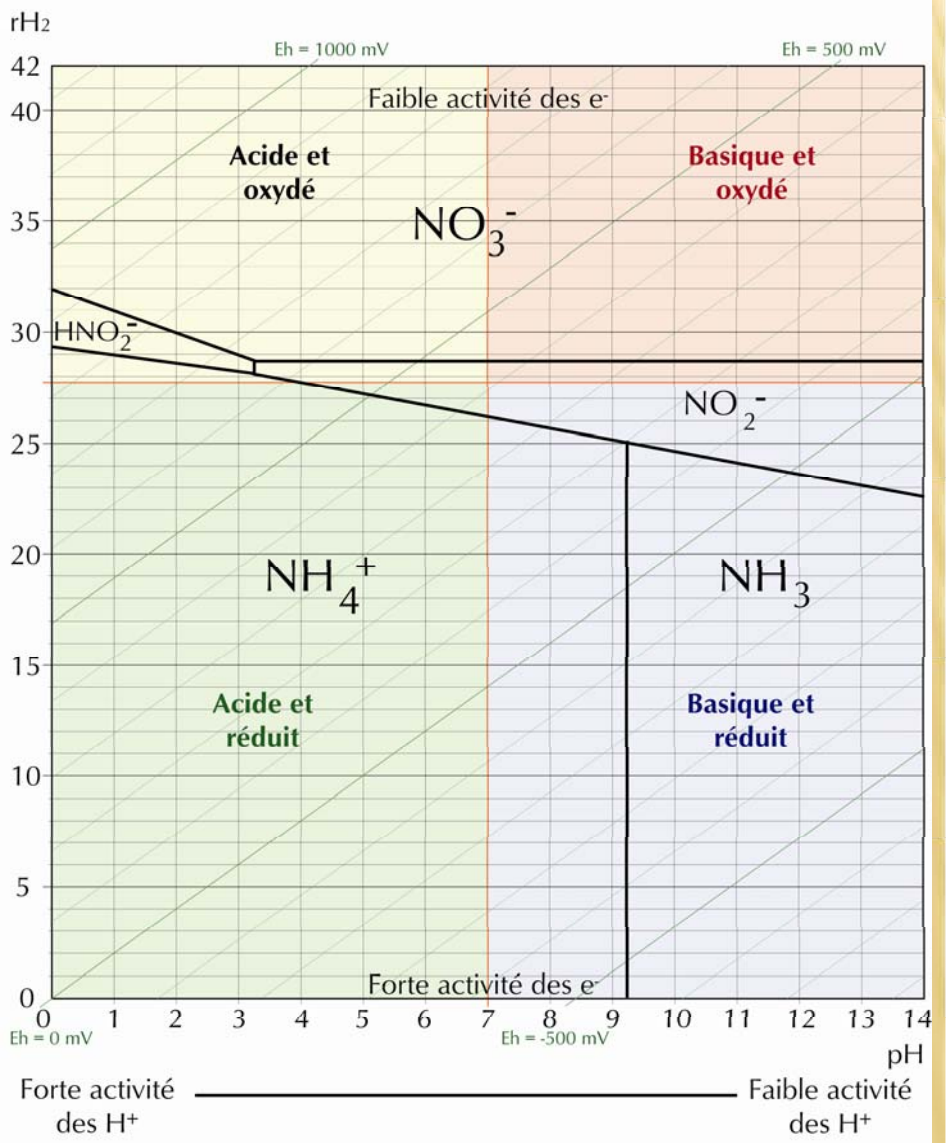
Fougerousse, A. 1996. *Bulletin de l'union des physiciens,* 90. 319-331.
Orszagh, J. *1992. Sciences du vivant* 4, 45-62.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE/CHIMIE

Diagramme de Pourbaix (Eh-pH)
Vs Diagramme de Vincent (rH_2-pH)





Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE/PHYSIQUE

- Le Eh n'est sans doute pas suffisant pour intégrer les paramètres

« What drives life is a small electric current.... »

Les systèmes sol/plantes/microorganismes peuvent ils être appréhendés comme un circuit électrique?

Analogie: Eh(Volts) = U (Tension)

Système électrique ne se décrit pas seulement avec la tension. Résistance (R, en Ohm), qui permet de calculer l'intensité (I en Ampère) et la puissance ($P= U^2/R$, en Watt)

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE/CHIMIE/PHYSIQUE

La résistivité en agronomie (inverse de la conductivité)

- Paramètre clef en agriculture de précision

- Caractérisation CEC, salinité, nutriments, humidité, texture du sol (et couches de sables ou d'argiles), densité et zones compactées, etc.

Paillet, Y et al. 2010. *Biology and Fertility of Soils*, 46, 451-460.
Samouëlian, A *et al.* 2005. *Soil and Till. Res.* 83, 173-193.
Seladji, S *et al.* 2010. *European Journal of Soil Science* 61, 1043-1055.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE/CHIMIE/PHYSIQUE

La résistivité en agronomie

- La résistivité baisse quand la compaction du sol augmente, surtout sur sol sec

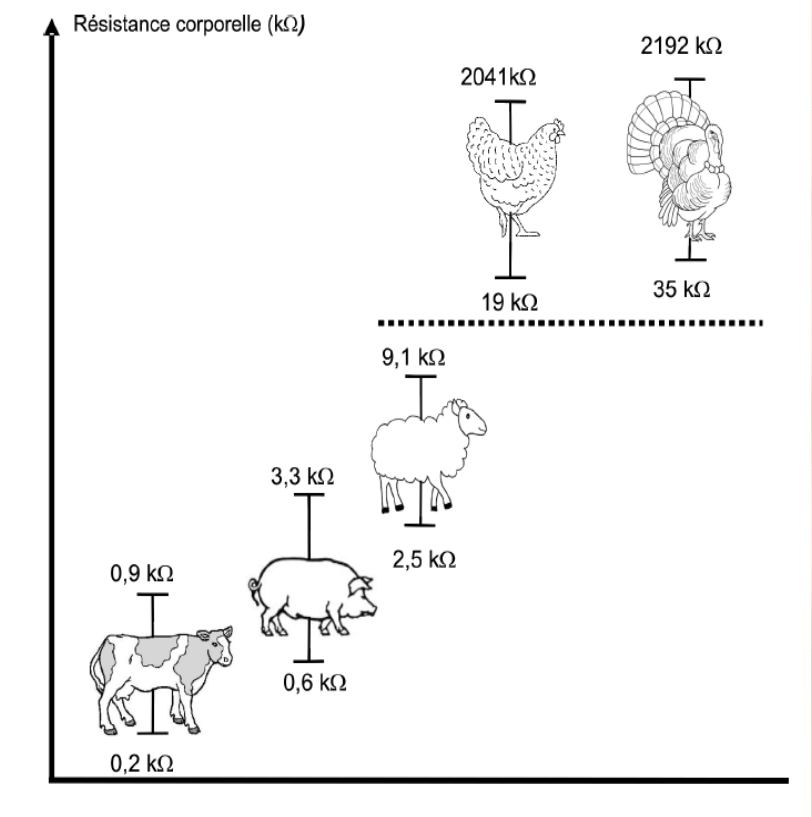
- La résistivité baisse quand la température augmente (intégration de l'effet du climat?)

Seladji, S *et al.* 2010. *European Journal of Soil Science* 61, 1043-1055.
Hayley, K *et al.* 2007. *Geophysical research letters* 34, L18402.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE/CHIMIE/PHYSIQUE

Analogie Physique/Production animale



Rigalma, K *et al.* ***2009.*** *Inra Prod. Anim., 22, 291-302.*

Vache : 2 mA: trouble du comportement, sévère si >6 mA

10 mA entre pattes: augmente rythme cardiaque de 25 %

Production aquacole (poissons, coquillages, crevettes) pilotée par rH_2, pH et Puissance (Vortex, Ideeaquaculture)

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Et maintenant ?

- Validation de ce cadre conceptuel

- Nombreux faisceaux convergents

- Assemblage cohérent dans un cadre potentiellement très intéressant, encore à développer

- Recherche de contre-exemple: pas de référence en contradiction avec ce cadre global sur plus de 700 articles sur Eh et pH.

- Pas d'opposition/contradiction/rupture avec les connaissances actuelles. Intégration de connaissances.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

AGRONOMIE Et maintenant ?

Mais rien de prouvé…

- Assemblage d'études déconnectées
- Etudes simultanée Eh et pH (x interactions) exceptionnelles
- Hypothèse à tester: Exsudats racinaires sont fonction de la « distance » entre le Eh-pH-résistivité du sol et celui du fonctionnement physiologique optimal de la plante

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

CONCLUSION

- ATP redox?

  - Mettre au point méthodes de mesure:

  US 49, Qualisud

  - Tester le cadre global: Mesures Eh-pH-Résistivité dans feuilles et exsudats racinaires pour différentes espèces sur des sols à Eh et pH variés (Eco&sol)

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

CONCLUSION

- ATP redox?

- Etudes conjointes Eh-pH-résistivité x pathogènes; Eh-pH-résistivité x génotype x environnement, …

- Base de données sols sur ces 3 paramètres/ performance agronomiques- potentiel de production

- Etc.

Document obtenu sur le site http://agroecologie.cirad.fr

Merci pour votre attention!

« Science is to see what everyone else has seen but think what no one else has thought »

Albert Szent-Gyorgyi
1893-1986
Prix Nobel de physiologie