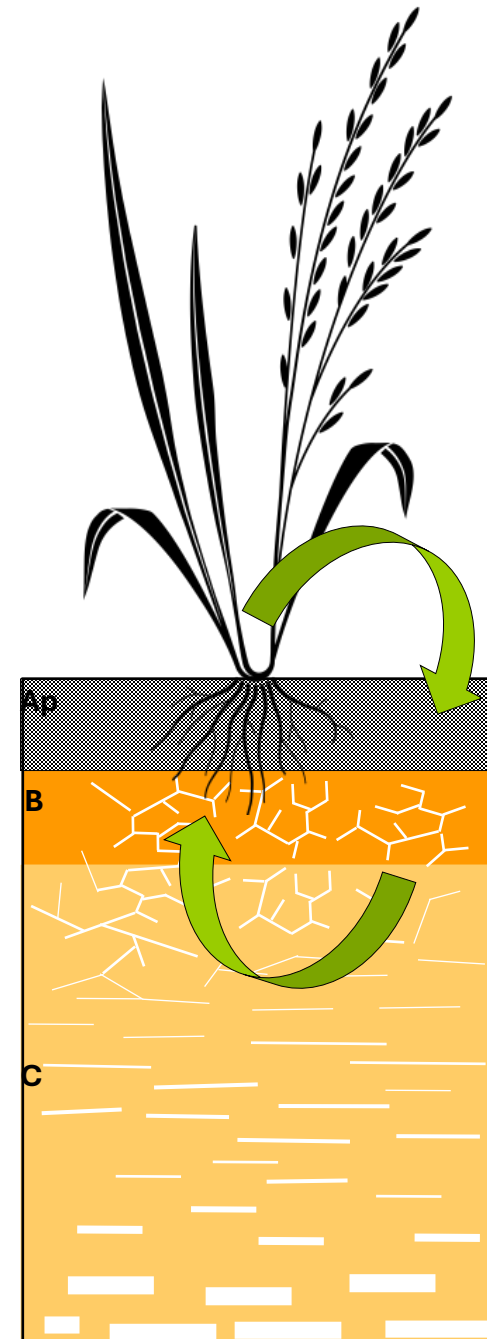


Le cycle sol-plante du silicium

Bruno Delvaux

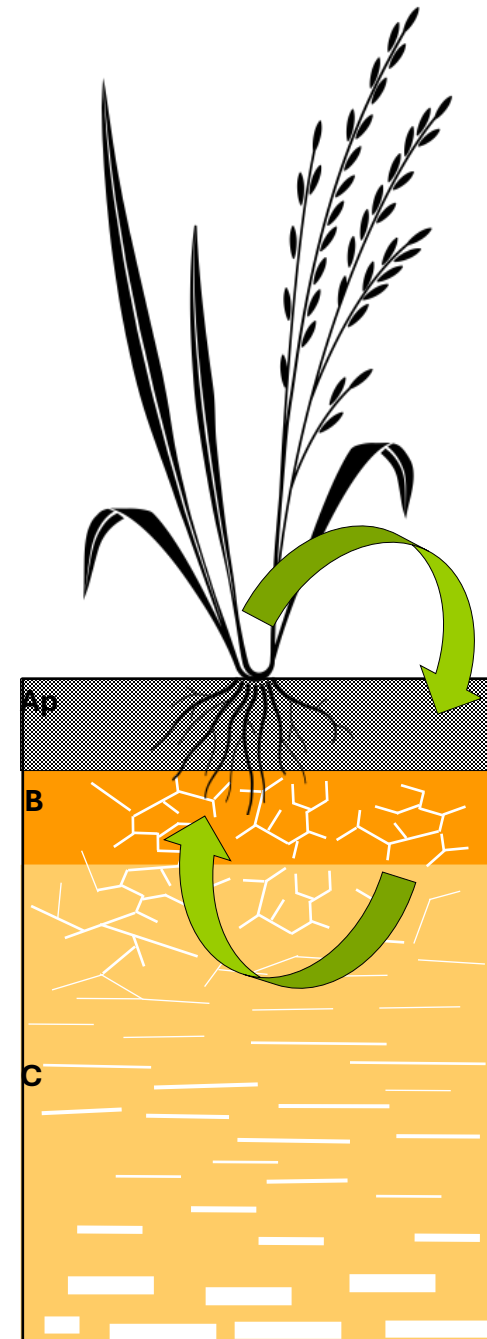
Earth and Life Institute, Soil Sciences

bruno.delvaux@uclouvain.be

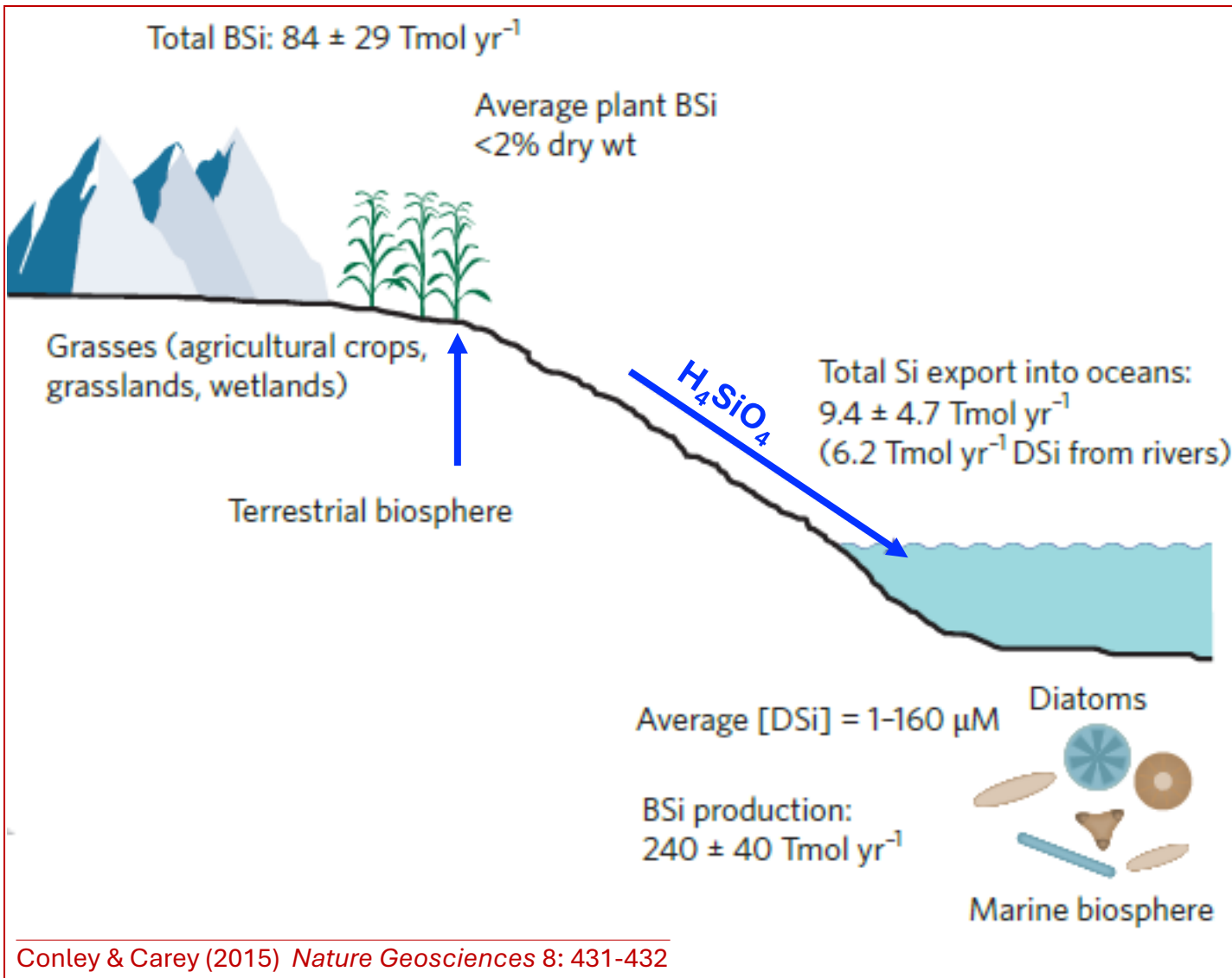


Le cycle sol-plante du silicium

- remarques préliminaires
- 1. Sources et puits
- 2. Processus pédologiques
- 3. Si dans la plante
- 4. Biodisponibilité



• Le cycle sol-plante du Si impacte son cycle global

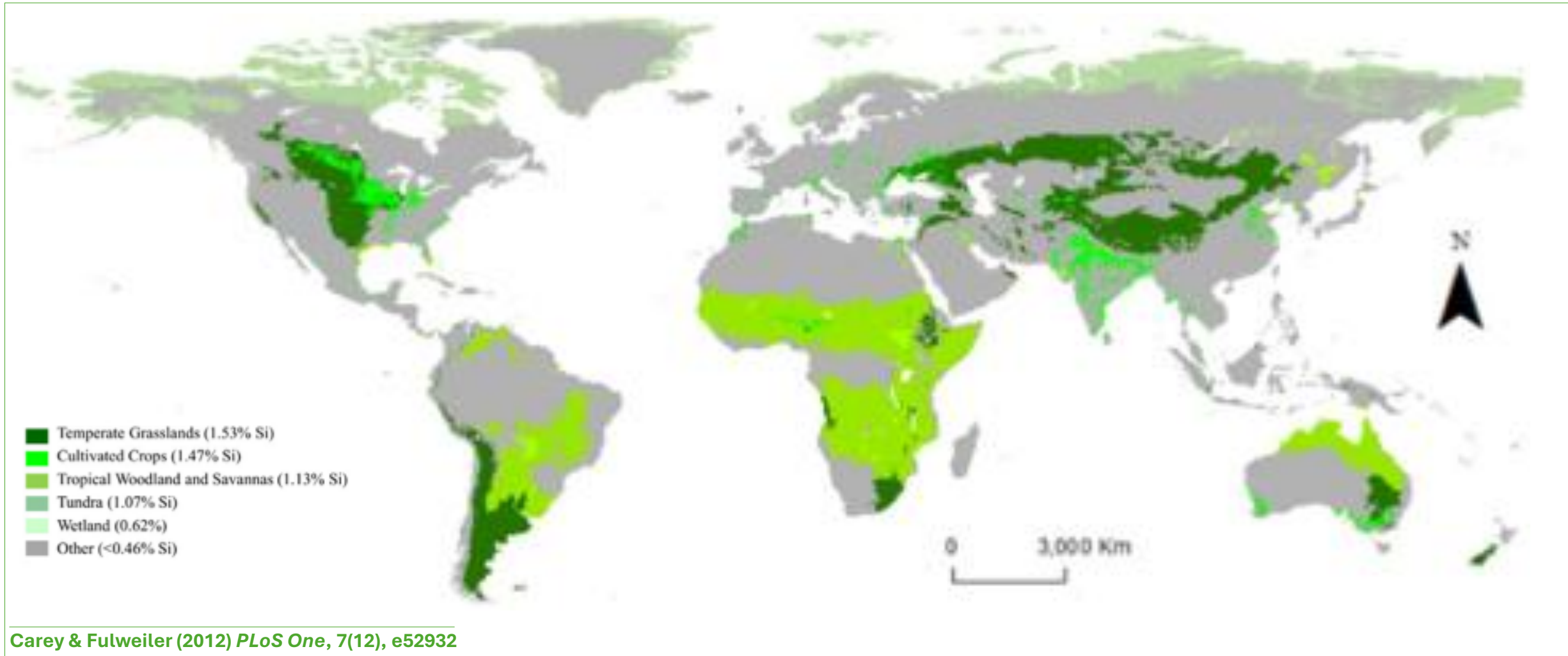


Les diatomées marines dominent le cycle global du Si.

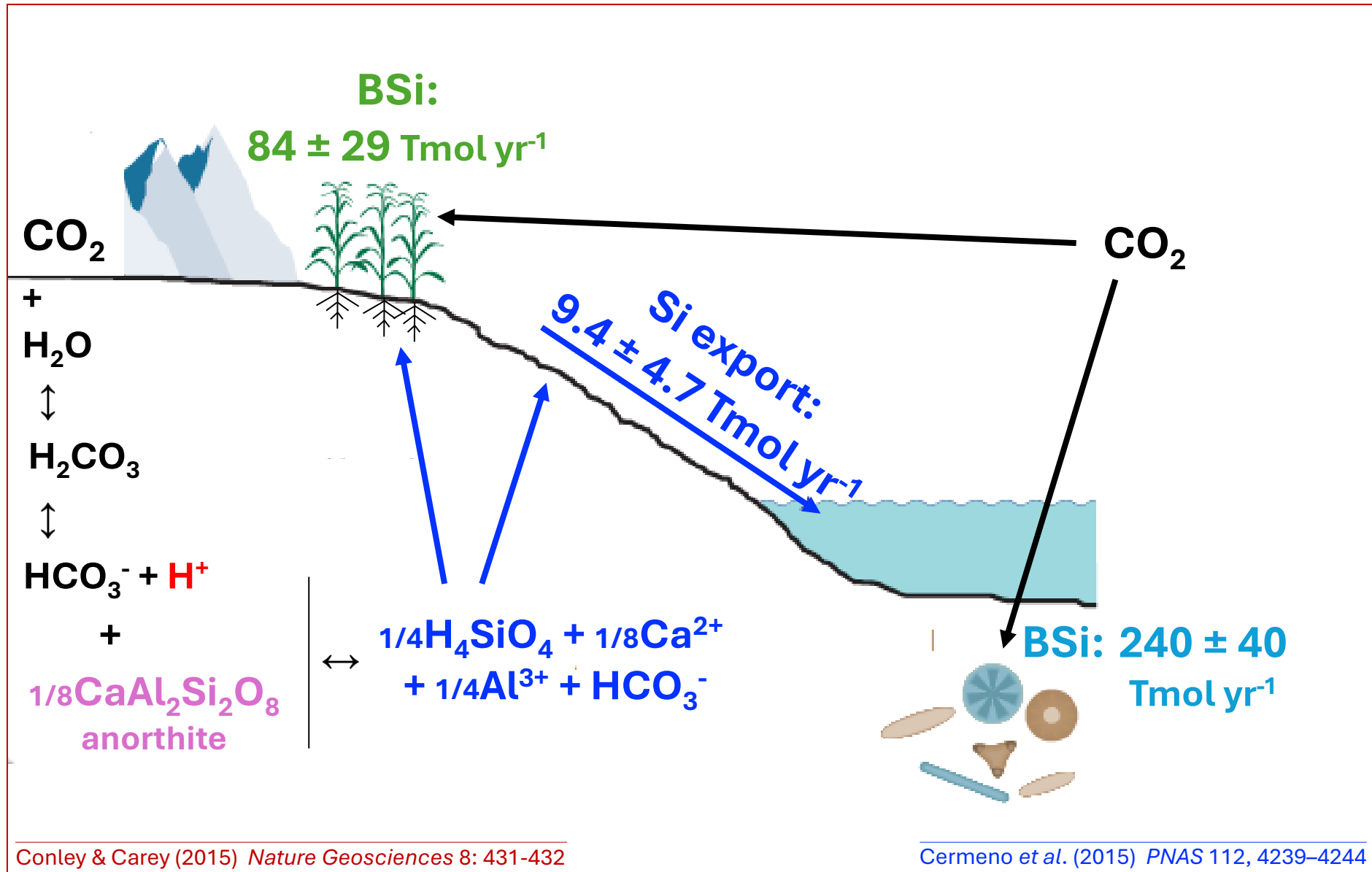
La diversification et l'expansion géographique des diatomées a été favorisée par des flux accrus de silicium dissous (DSi) issus de l'altération des silicates continentaux.

Cermeno *et al.* (2015) *PNAS* 112, 4239–4244

- La pompe à silice terrestre: les monocotylédones en particulier les Poacées



- Les cycles globaux du Si et du C sont couplés



Le cycle sol-plante du silicium

Études pionnières

Ehrenberg (1846)

Über die Vulkanischen Phytolitharien der Insel Ascension. *Monatsberichte der Koniglich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*: 191.

Erhart (1963)

Sur le cycle de la silice hydratée dans la biosphère. *C. R Acad. Sci. Paris* 256: 3731.

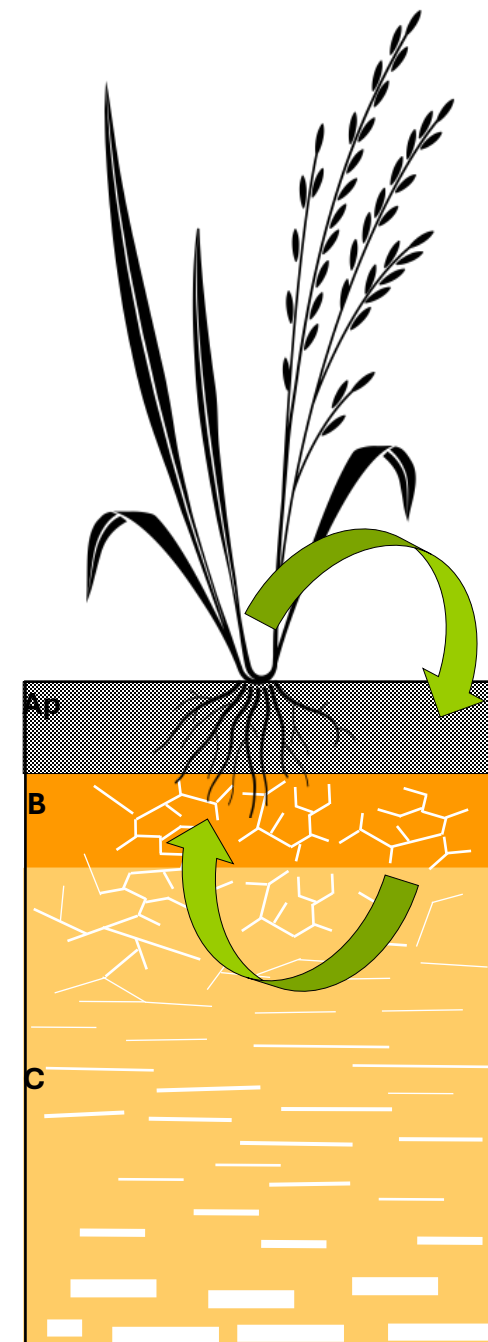
Bartoli (1963)

The biogeochemical cycle of silicon in two temperate forest ecosystems. *Environ. Biogeochem. Ecol. Bull.* 35: 469.

Revue récente

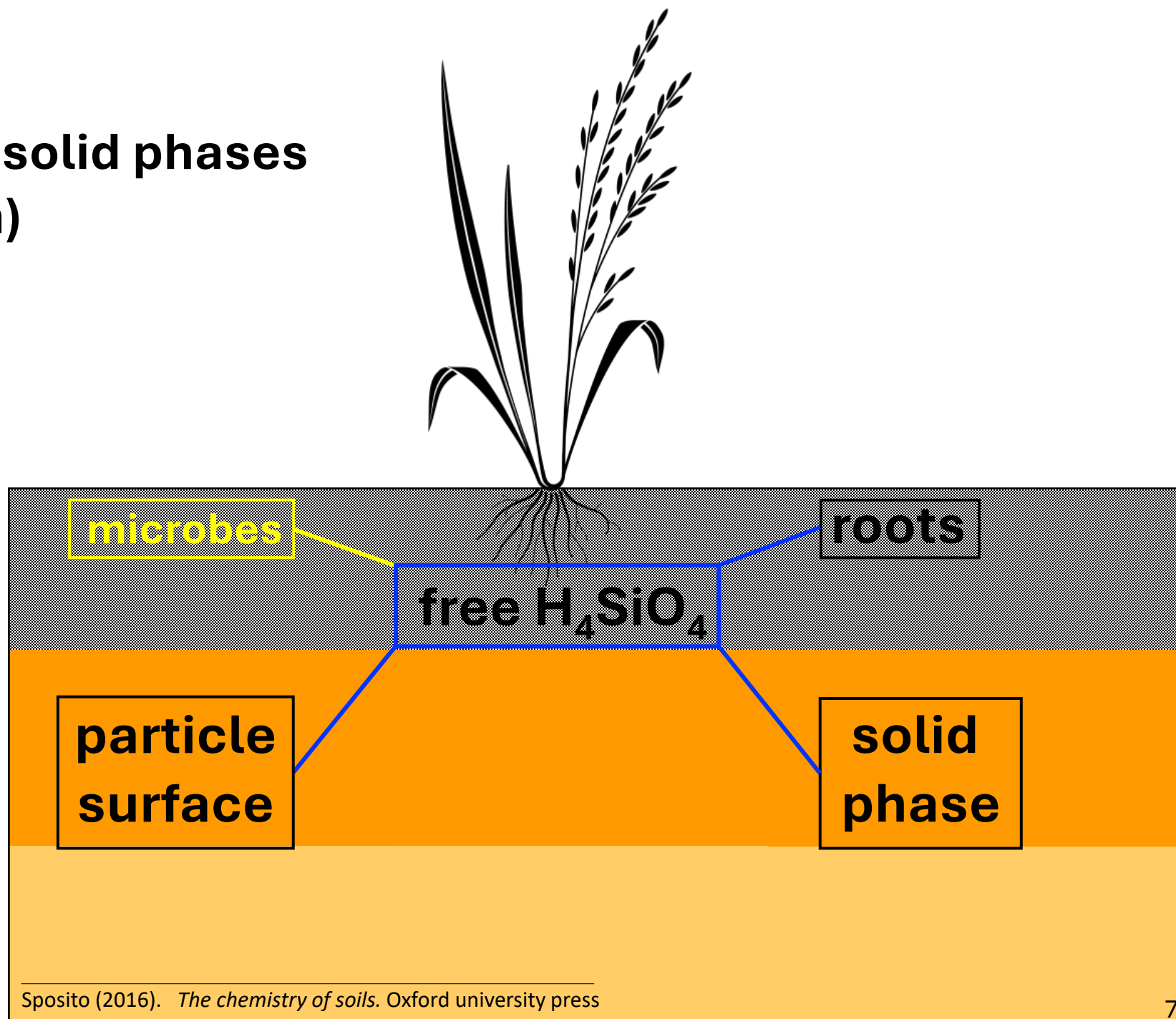
Meunier (2026)

Advancing our understanding of the dynamics of silicon at the soil-plant scale since Bartoli's work (1980s). *Comptes Rendus Géoscience* 358(G1): 271.



1. Sources et puits

Si forms: liquid and solid phases
(silicate tetrahedron)



1. Sources et puits

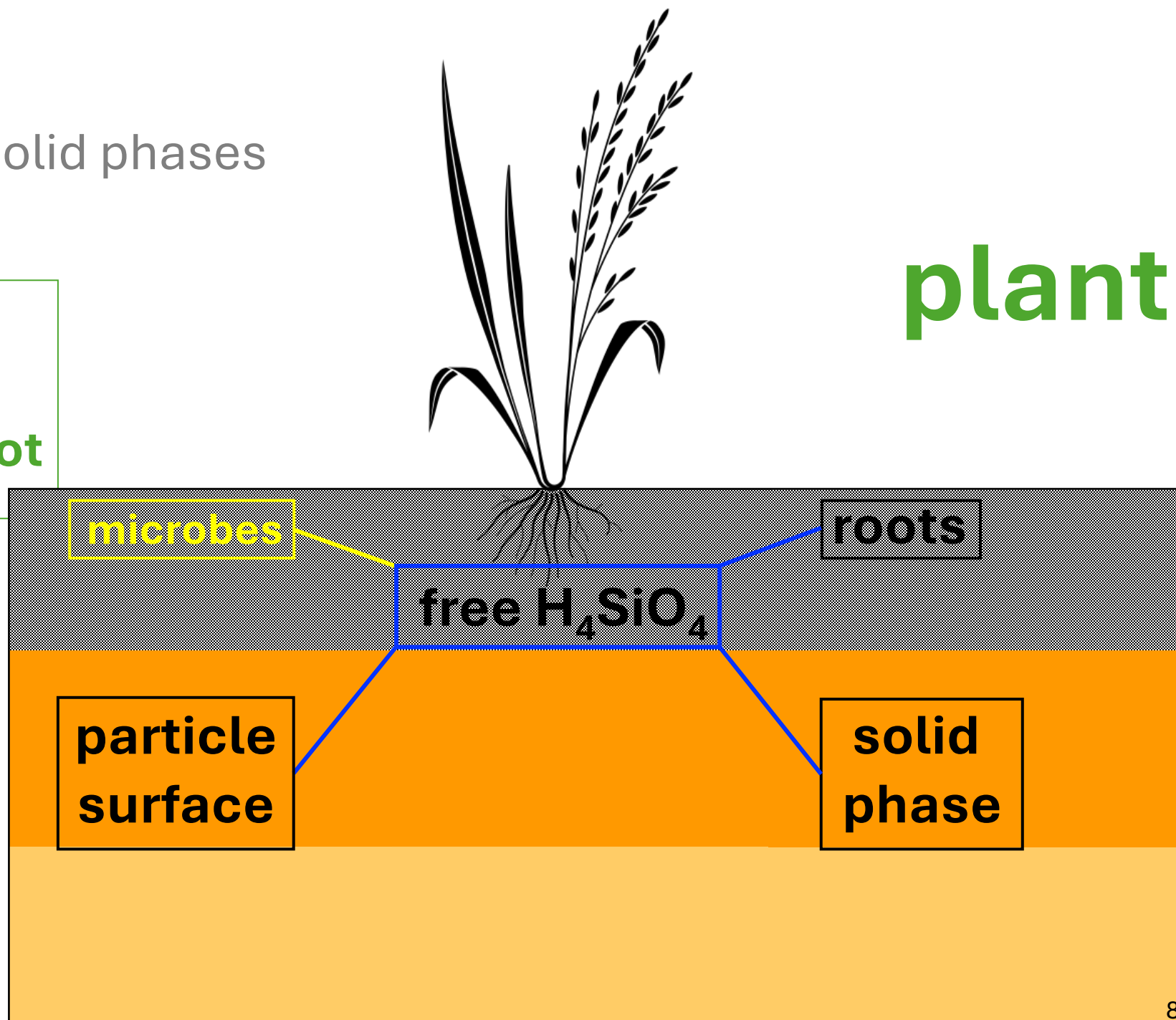
Si forms: liquid and solid phases
(silicate tetrahedron)

- Si content

- f (plant species)
- $<1 - 100 \text{ g kg}^{-1} \text{ pl. shoot}$

Hodson et al. (2005) *Ann. Bot. (Oxford)* 96: 1027–1046

plant



1. Sources et puits

Si forms: liquid and solid phases
(silicate tetrahedron)

- Si content

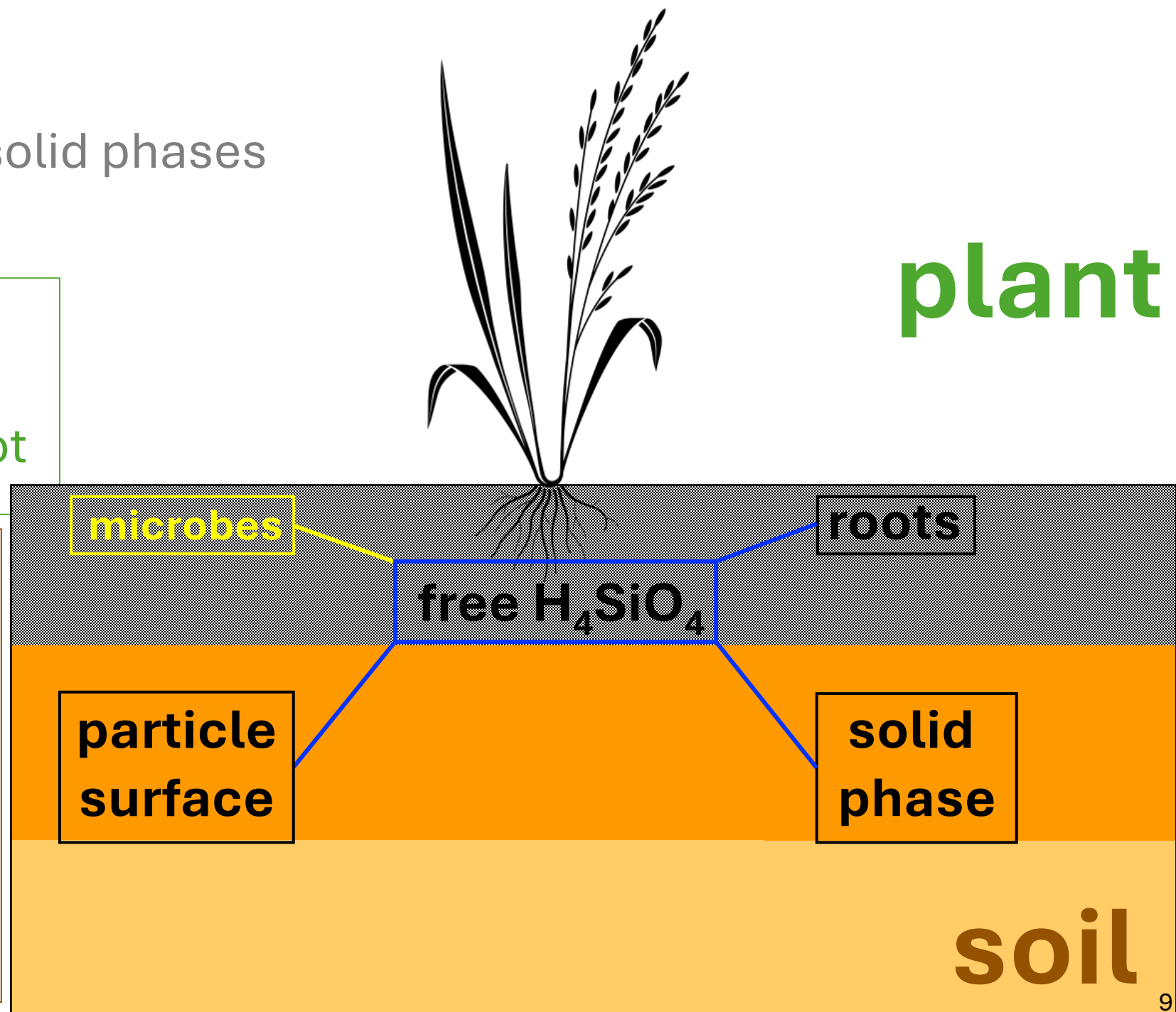
- f (plant species)
- $<1 - 100 \text{ g kg}^{-1}$ pl. shoot

- Si content

- f (soil mineralogy)
- $5 - 470 \text{ g kg}^{-1}$

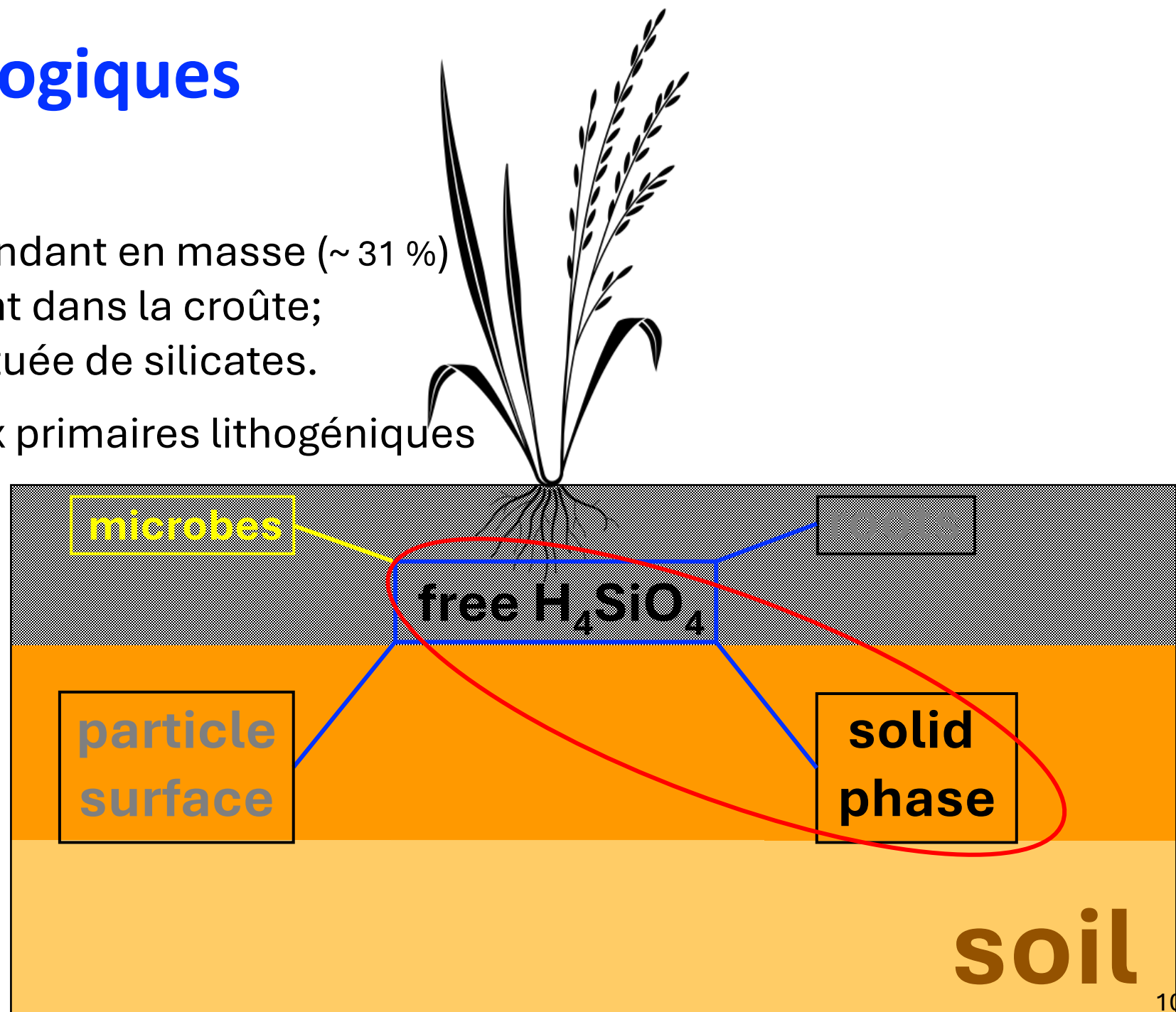
- Aqueous Si

- $3 \cdot 10^{-3} - 4.5 \cdot 10^{-1} \text{ g kg}^{-1}$
- $0.1 - 0.6 \text{ mM}$ ($\leq 2 \text{ mM}$)

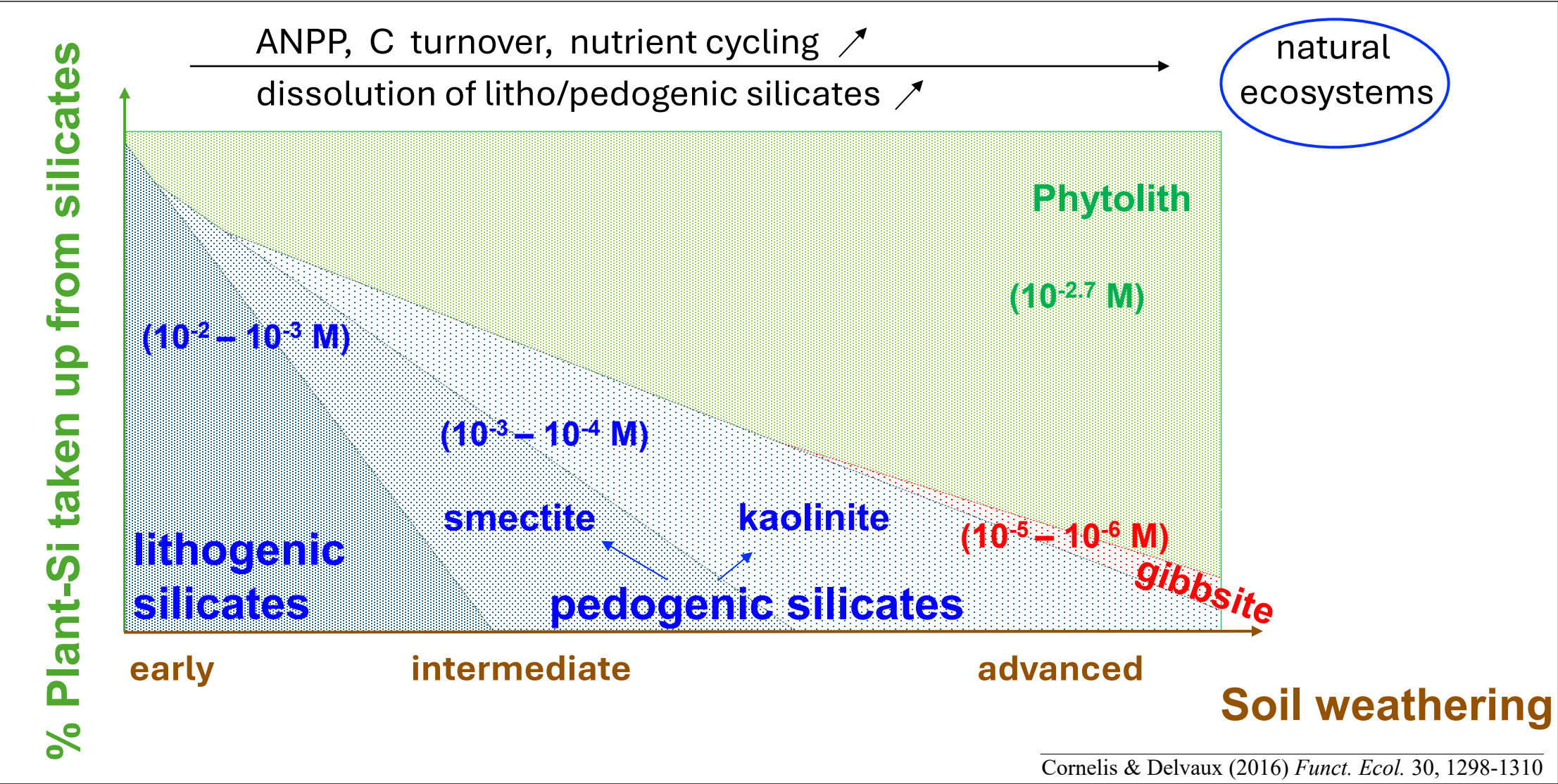


2. Processus pédologiques

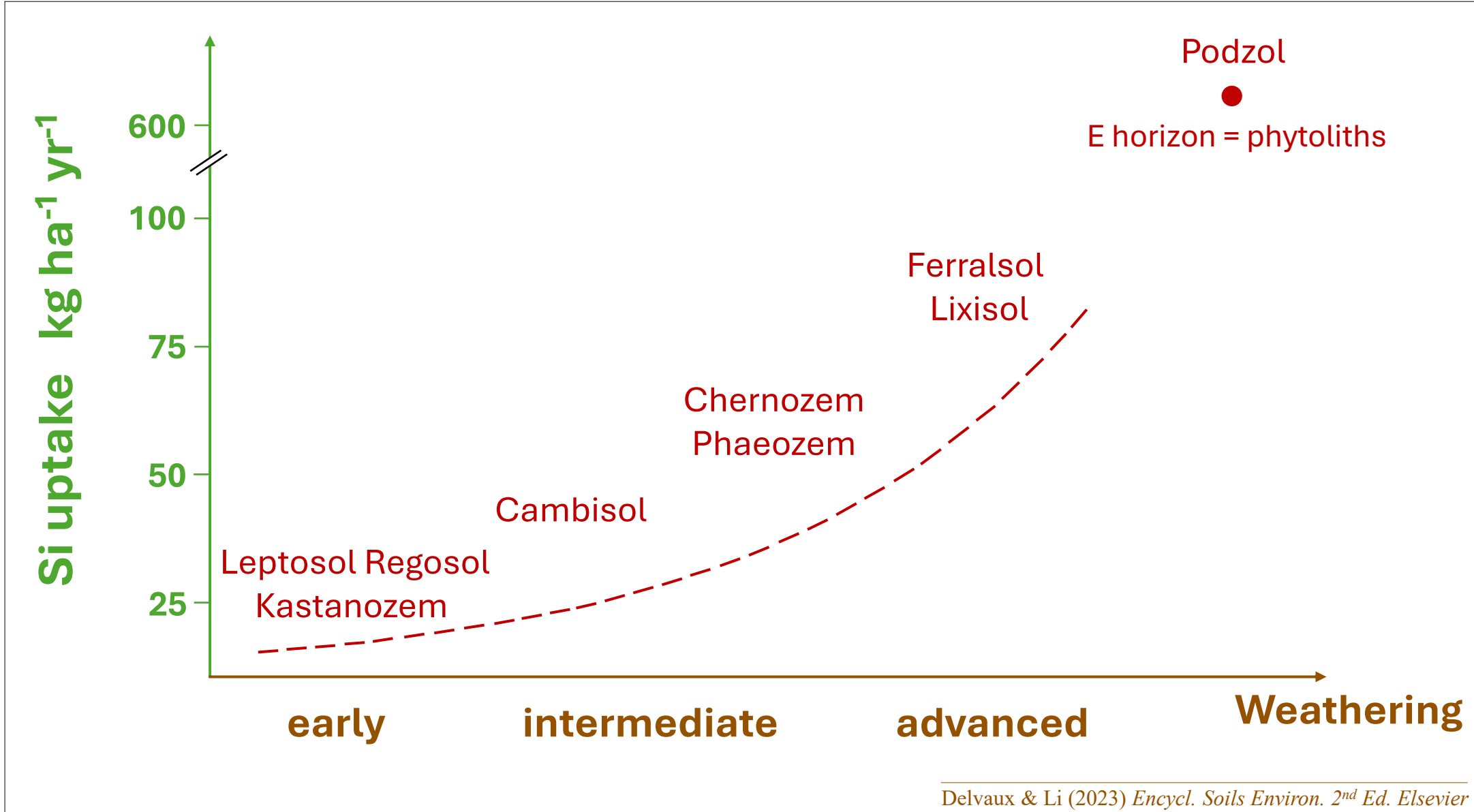
- Si: 2^{ème} élément le plus abondant en masse (~ 31 %) après O (~ 49 %), omniprésent dans la croûte; > 90% en volume est constituée de silicates.
- La dissolution des minéraux primaires lithogéniques est la source originelle de H_4SiO_4 aqueux.
- (H_4SiO_4) est contrôlée par la dissolution de divers silicates: minéraux primaires et secondaires, en fonction de l'évolution du sol et du biocycle du Si.



2. Processus pédologiques



2. Processus pédologiques

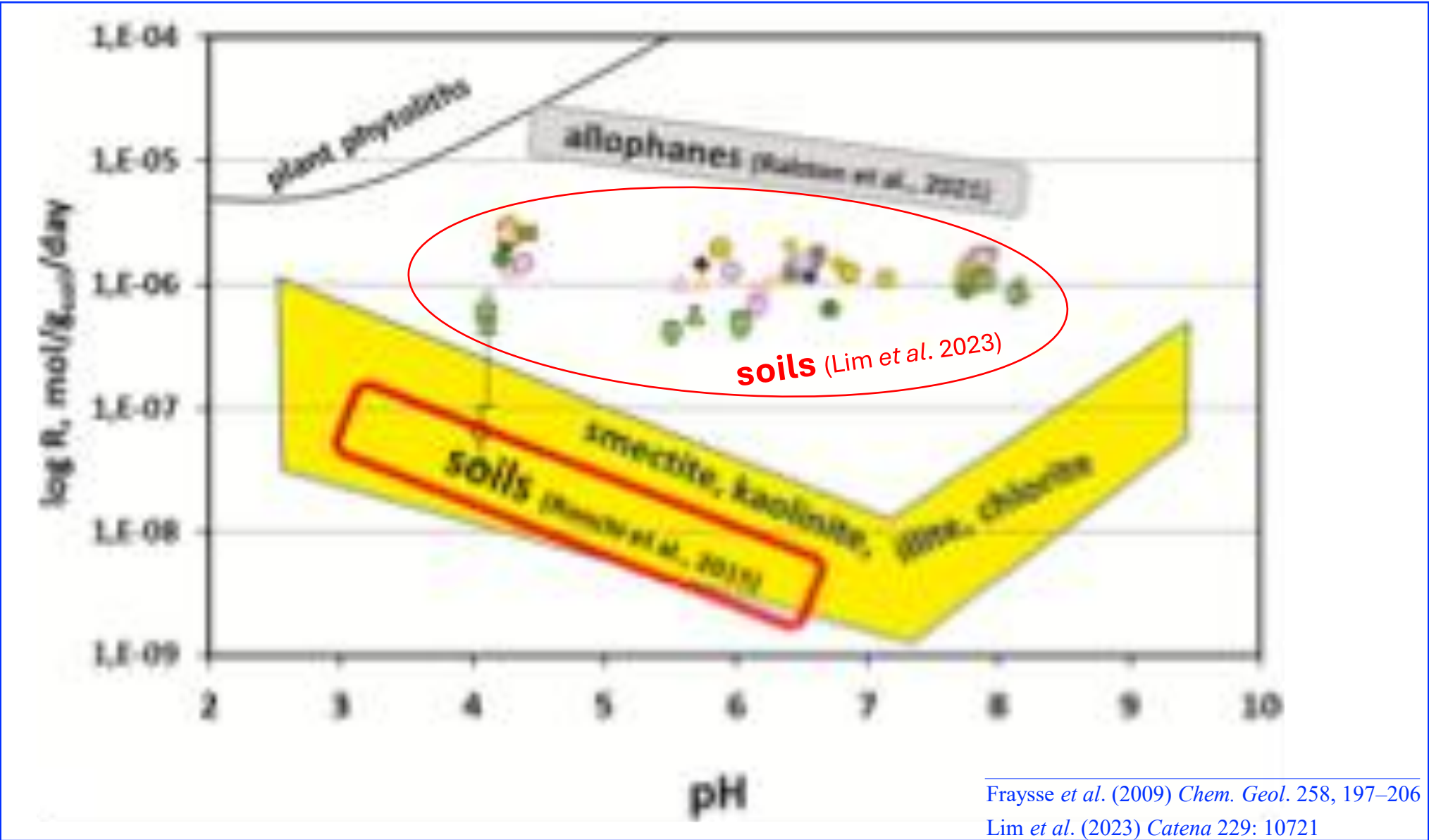


2. Processus pédologiques

- A côté des minéraux primaires et secondaires cristallisés, les phytolithes constituent une source majeure de H_4SiO_4 aqueux dans le sol.
- Des études récentes montrent que les aluminosilicates “amorphes” constituent aussi une source privilégiée de H_4SiO_4 aqueux:
 - Ralston *et al.* (2021) *Clays Clay Miner.* 69, 263–288;
 - Cornu *et al.* (2022) *Geoderma* 412: 115722;
 - Li *et al.* (2022) *Geochim. Cosmochim. Acta* 325: 87–105;
 - Lim *et al.* (2023) *Catena* 229: 10721.
- Globalement, la gamme de concentration (H_4SiO_4) est $10^{-3} - 10^{-4}$ M (0.1–0.6 mM (≤ 2 mM) dans la solution du sol), bornée par la solubilité de SiO_2 amorphe ($10^{-2.7}$ M) et celle du quartz (10^{-4} M).
- En milieux particulièrement désilicifiés (p.ex. sols ferrallitiques riches en oxydes de Fe, Al), des niveaux de concentration de l'ordre de $10^{-5} - 10^{-6}$ M H_4SiO_4 peuvent être atteints.

Le taux de dissolution des minéraux sources varie selon leur nature et le pH

(T° & I données)

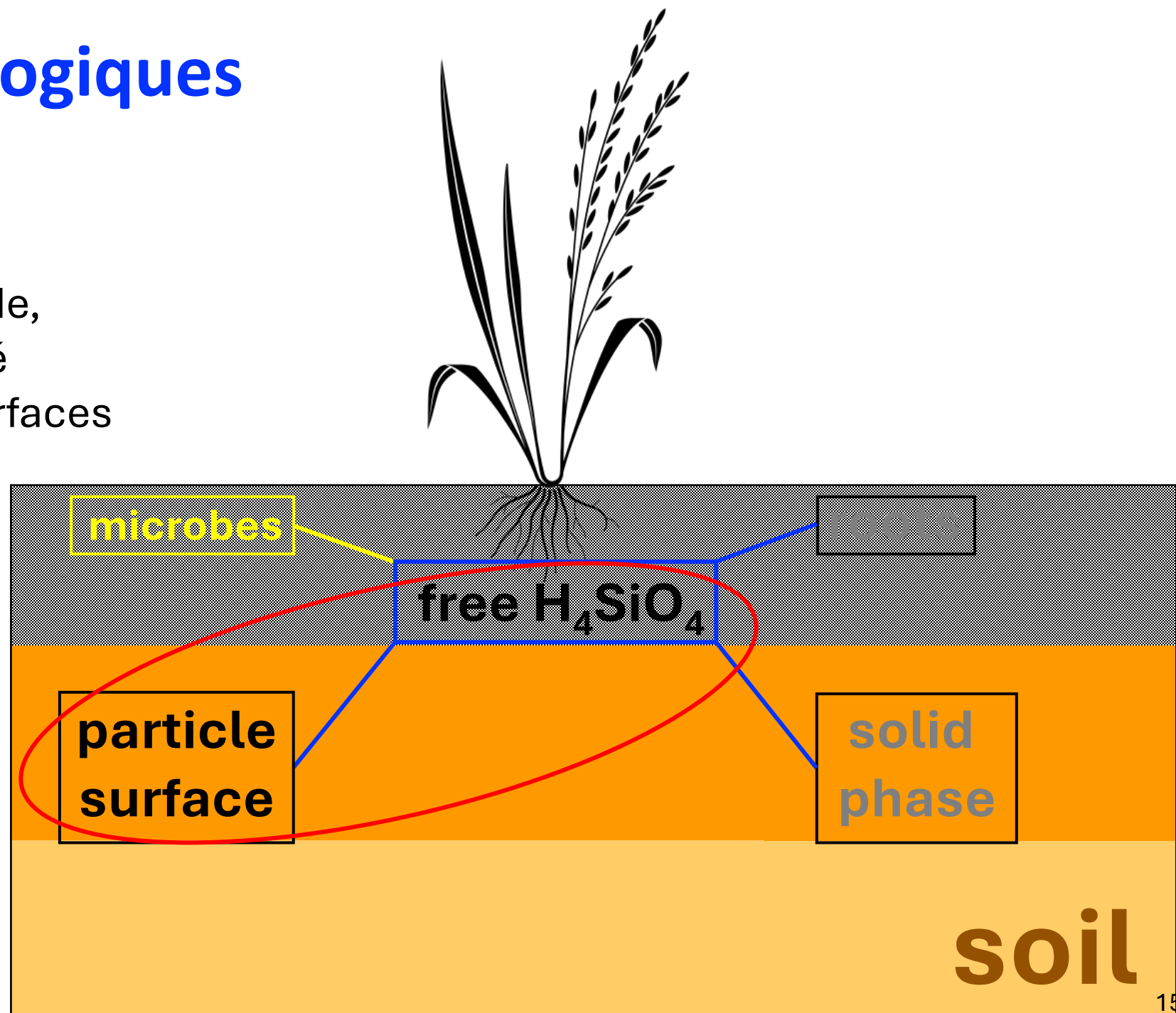


Frayse et al. (2009) *Chem. Geol.* 258, 197–206
Lim et al. (2023) *Catena* 229: 10721

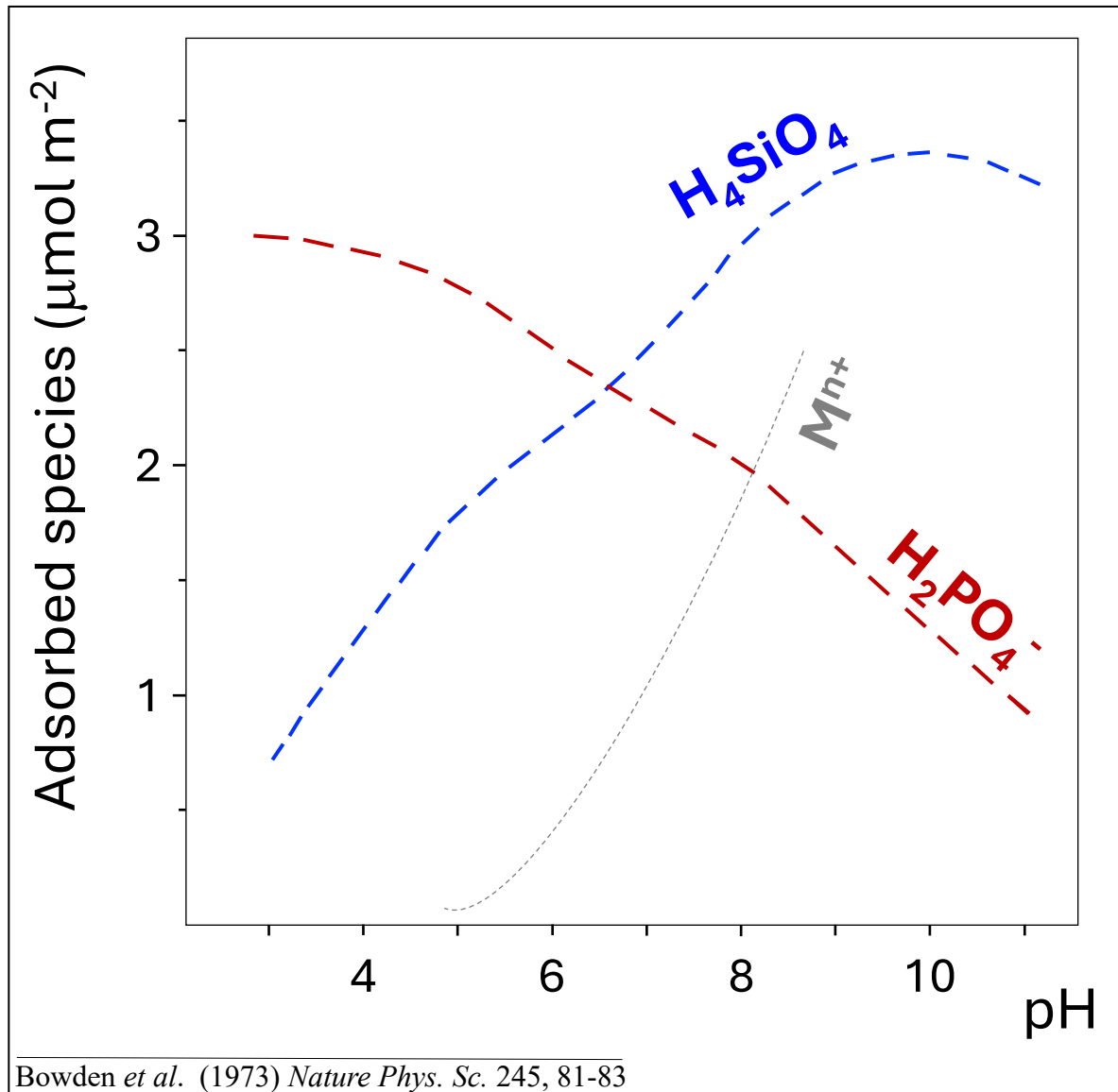
2. Processus pédologiques

À l'interface solide-liquide, H_4SiO_4 peut être adsorbé sélectivement sur les surfaces d'oxydes de (Fe, Al).

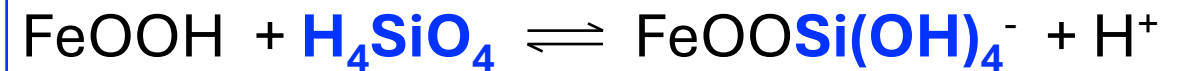
La spécificité de ce processus entraîne son irréversibilité partielle.



Sorption of H_4SiO_4 , H_2PO_4^- and cation M^{n+} on metal oxide surfaces



Unlike PO_4^- -oxyanions, H_4SiO_4 remains undissociated at $\text{pH} < 9$, meaning that H_4SiO_4 sorption is due only to the interaction of H_4SiO_4 with surface OH groups: a decrease in pH leads to a decrease in Si sorption.

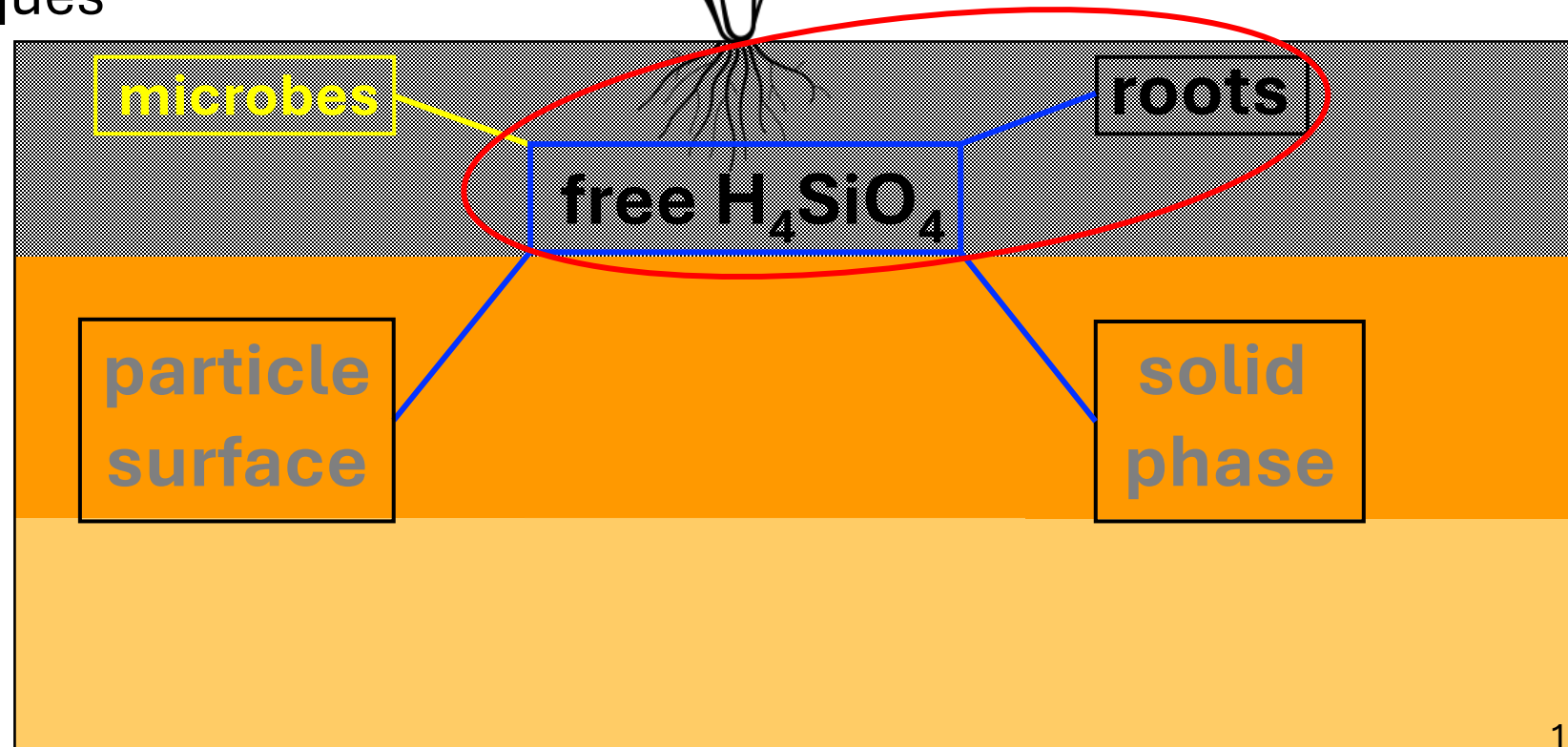


Hiemstra *et al.* (2007) *J. Colloid Interface Sci.* 310(1): 8–17

3. Le silicium dans la plante

- H_4SiO_4 est prélevé par les racines dans la solution du sol (0.1 - 0.6 mM, max 2 mM)
- Le flux transpiratoire n'explique pas totalement l'accumulation de Si dans la plante.
- Des transporteurs spécifiques (*influx* (Lsi1) & *efflux* (Lsi2) *channels facilitating root-to-shoot translocation*) assurent le transfert de Si vers les parties aériennes.

plant



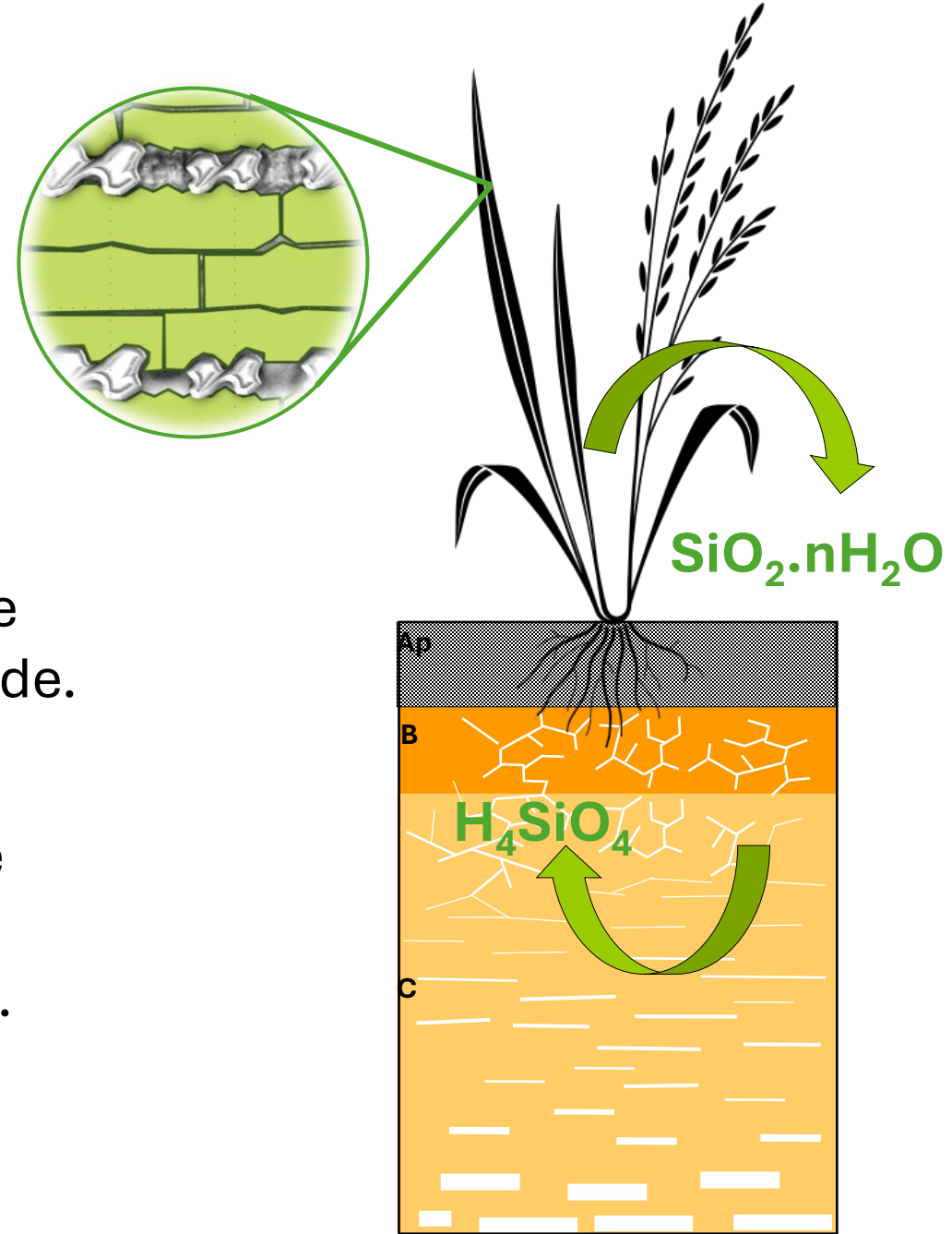
Ma *et al.* (2006) *Nature* 440: 688–691.

Deshmukh & Bélanger (2016) *Funct. Ecol.* 30(8), 1277–1285.

Coskun *et al.* (2019) *New Phytologist* (2019) 221: 67–85.

3. Le silicium dans la plante

- Le transfert de H_4SiO_4 par le xylème se conclut par le dépôt de SiO_2 amorphe dans les parties aériennes (phytolithe 🐞).
- Le retour des débris végétaux au sol et leur décomposition libère les particules de phytolithe dont la dissolution produit H_4SiO_4 en phase liquide.
- Le cycle biologique du Si, en régime stationnaire (*steady state*), contrôle (H_4SiO_4) en phase aqueuse à des niveaux de concentration stabilisant les minéraux aluminosilicatés en milieu ferrallitique.



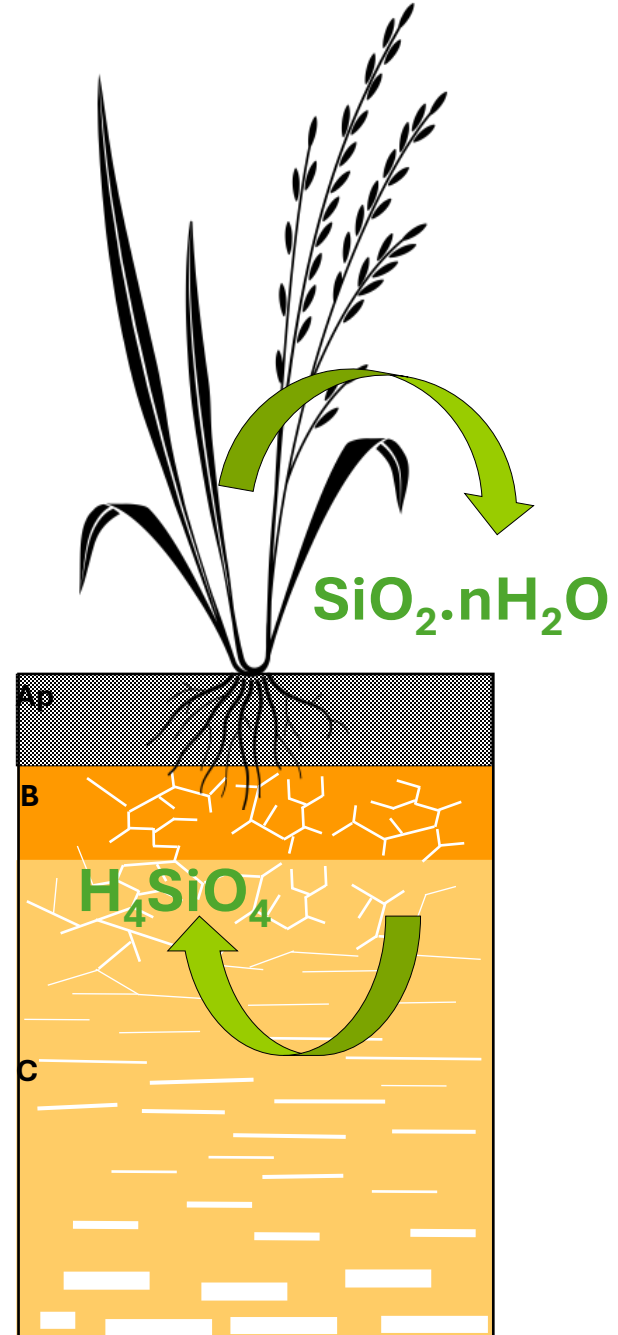
Lucas *et al.* (1993) *Science* 260: 521–523.

de Tombey *et al.* (2020) *Science* 369: 1245–1248.

3. Le silicium dans la plante

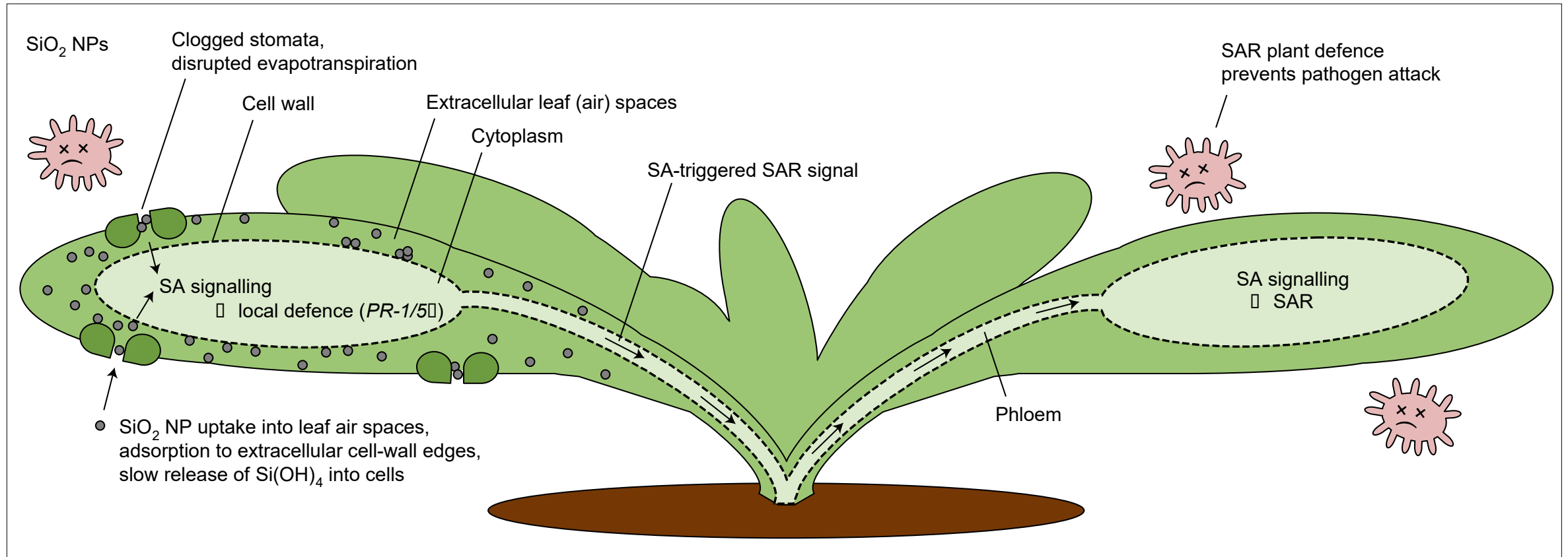
- *Expanding evidence supporting the positive role of Si in stressed plants.*
- *The question of Si's role in the absence of stress remains a contentious issue.*
- *Si is not an essential element for higher plants, as it does not fulfill the criteria:*
 - *its deficiency makes it impossible for the plant to complete its life cycle,*
 - *specific deficiency symptoms are only corrected by element supply,*
 - *the element is directly involved in the nutrition of the plant and not merely correcting some unfavorable conditions of the growth regime.*

Coskun et al. (2019) New Phytologist (2019) 221: 67–85.



Déterminer les besoins en Si pour les plantes cultivées?

Aqueous H_4SiO_4 and silica nanoparticles induced systemic acquired resistance (SAR) in *Arabidopsis* plants through triggering salicylic acid (SA), the plant hormone responsible for the activation of pathogenesis-related (PR) genes.

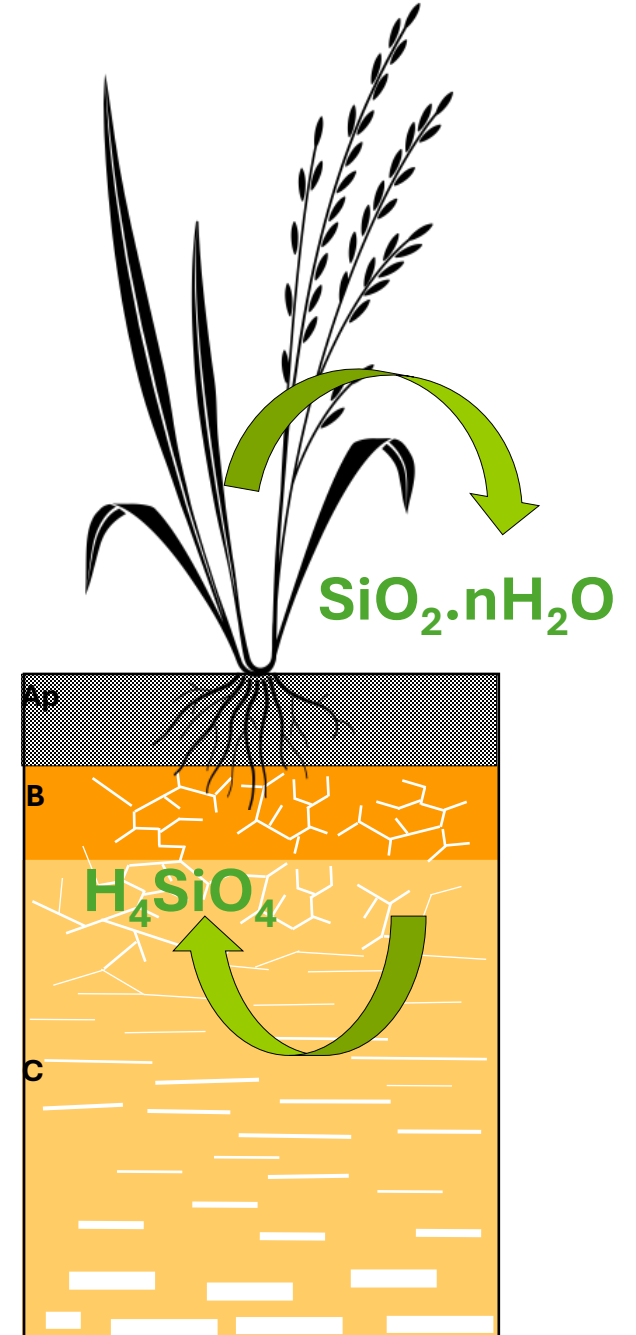


4. Biodisponibilité

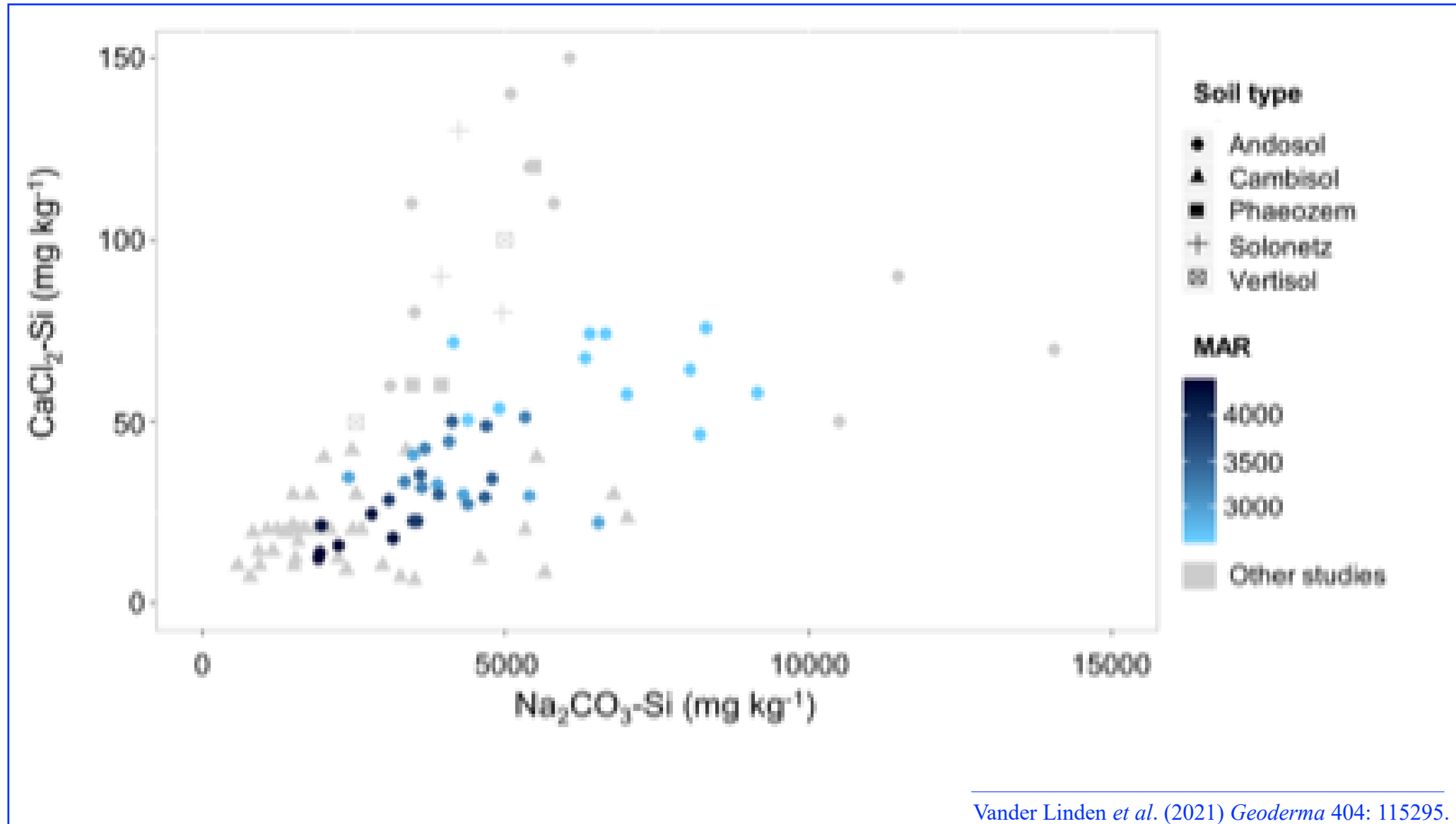
- L'extraction au CaCl_2 0.01 M (5 g :50 ml) est la méthode la plus communément utilisée pour déterminer la concentration en Si biodisponible dans le sol.
- L'extraction par NH_4OAc 0.5 M est également pratiquée.

Haysom & Chapman (1975) *Proc. Conf. Qld Soc. Sugar Cane Technol.* 42, 117–122.

Sauer *et al.* (2006) *Biogeochemistry* 80, 89–108.

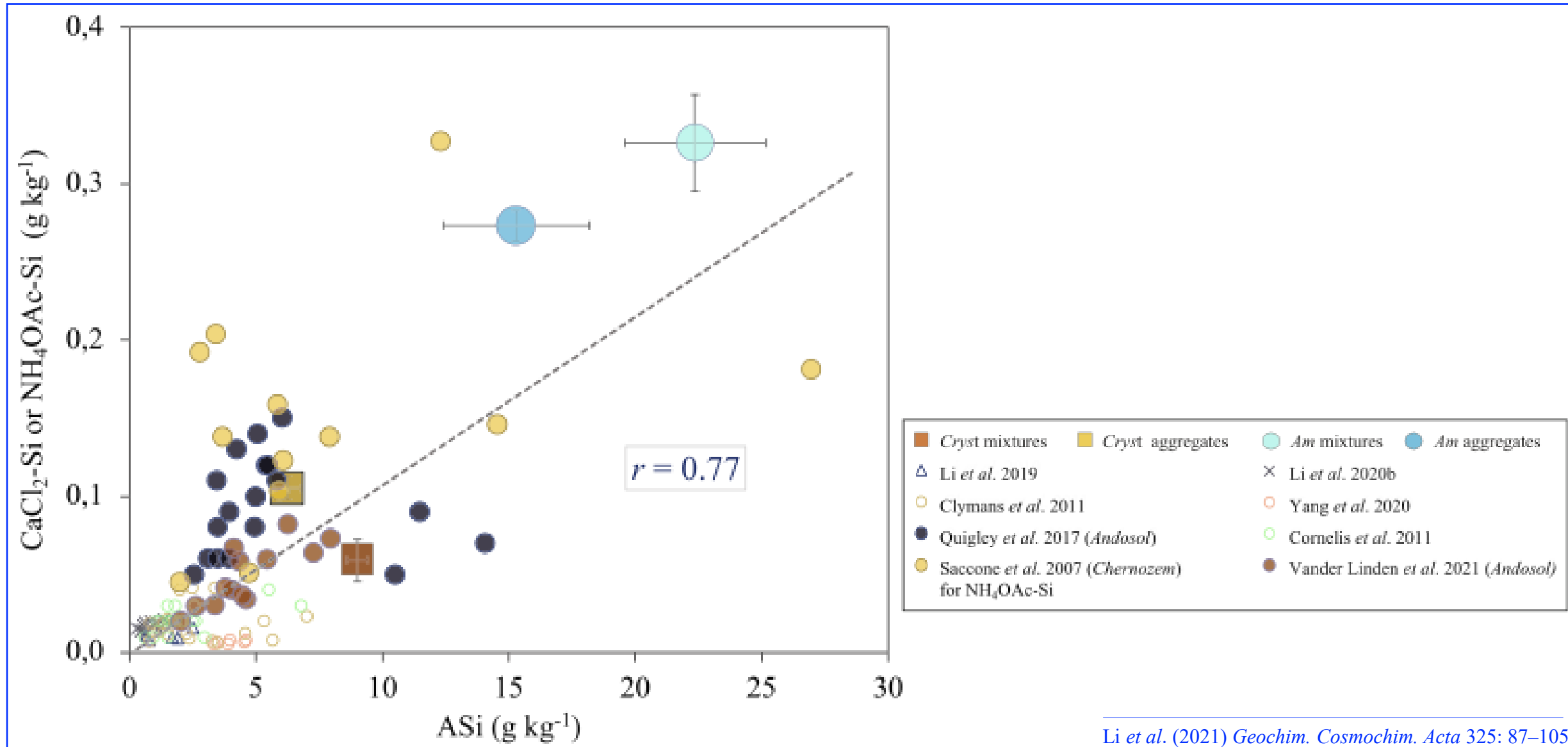


4. Biodisponibilité



Vander Linden *et al.* (2021) *Geoderma* 404: 115295.

4. Biodisponibilité



Li *et al.* (2021) *Geochim. Cosmochim. Acta* 325: 87–105

Le cycle sol-plante du silicium

Merci

