

CHAP.1 – LA NUTRITION MINERALE

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX
2. L'ABSORPTION MINERALE

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX

1.1. L'EAU

1.2. LA MATIERE SECHE

1.2.1. Les macro-éléments

1.2.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

1.2.3. Rôle biologique des minéraux

1.2.4. Les carences en éléments nutritifs

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX

1.1. L'EAU

1.2. LA MATIERE SECHE

1.2.1. Les macro-éléments

1.2.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

1.2.3. Rôle biologique des minéraux

1.2.4. Les carences en éléments nutritifs

macro-élément \neq micro-élément ou oligoélément

macro-éléments si $> 0,1 \%$ ($> 10^{-3}$ g/g MS)

oligoéléments : $< 0,001 \%$

17 éléments nutritifs essentiels

- éléments indispensables à l'accomplissement du cycle complet de développement de la plante
- éléments irremplaçables
- éléments impliqués dans le développement de la plante : rôle métabolique ou constituant de la plante

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX

1.1. L'EAU

1.2. LA MATIERE SECHE

1.2.1. Les macro-éléments

1.2.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

1.2.3. Rôle biologique des minéraux

1.2.4. Les carences en éléments nutritifs

4 macro-éléments essentiels **caractéristiques des substances organiques**

Ils représentent plus de 90% du résidu sec

C : 40 à 50 %

O : 42 à 45 %

H : 6 à 7 %

N : 1 à 3 %

Ils sont obtenus à partir de

H₂O, O₂ et CO₂ atmosphériques... sauf l'azote

5 autres macro-éléments minéraux essentiels

- **K : 2 à 4 %**
- **Ca : 1 à 2 %**
- **Mg : 0,1 à 0,7 %**
- **S : 0,1 à 0,6 %**
- **P : 0,1 à 0,5 %**

- **(N : 1 à 3%)**

On trouve :

- **K** chez les algues, les épinards, les champignons, les pommes de terre, betterave, banane ...
- **S** chez les Brassicacées (chou ...) et l'ail ...
- **Ca** est supporté par les plantes calcicoles, toxique pour les plantes calcifuges (myrtille, bruyère, rhododendron ...)

≠ éléments nutritifs bénéfiques pour certaines plantes

➤ **Na**

➤ **Si**

... / ...

On trouve :

- **Na** chez les algues marines et les plantes halophytes
- **Si** chez les Cypéracées

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX

1.1. L'EAU

1.2. LA MATIERE SECHE

1.2.1. Les macro-éléments

1.2.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

1.2.3. Rôle biologique des minéraux

1.2.4. Les carences en éléments nutritifs

8 oligo-éléments minéraux essentiels

- **Cl** : 10^{-3} g/g MS
- **Fe** : 10^{-6} à 10^{-5} g/g MS
- **Mn, Zn, Cu, B** : 10^{-6} g/g MS
- **Al, Ni, Mo, I, Br, F** : 10^{-9} à 10^{-7} g/g MS
- **Li, Pb, Ti, Rb, Ce, Cr** : doses infinitésimales

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX

1.1. L'EAU

1.2. LA MATIERE SECHE

1.2.1. Les macro-éléments

1.2.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

1.2.3. Rôle biologique des minéraux

1.2.4. Les carences en éléments nutritifs

Cas particulier des besoins en azote

- N = l'un des **constituants majeurs** des végétaux
- N entre dans la **constitution** de tous les **a.a.** (protéines), des **bases puriques et pyrimidiques** (A, C, T, G, U = adénine, cytosine, guanine, thymine et uracile), de **certains pigments** (chlorophylle ...), des **hormones** (auxines, cytokinines ...), de plusieurs **vitamines**, de **nombreux métabolites secondaires** (alcaloïdes ...)

- Végétaux **incapables de fixer l’N atmosphérique**
- **exception** : végétaux **symbiotiques** des **micro-organismes** libres fixateurs d’azote
 - Les Fabacées (= Légumineuses) :
pois, trèfle, soja ... + bactérie endophyte = *Rhizobium*
 - D’autres végétaux (familles diverses) :
l’aulne + champignon endophyte = *Frankia*

Source d'azote = N minéral du sol

provient de la dégradation de la matière organique qui libère :

- Les ions ammonium NH_4^+ → ammonisation
- Les ions nitrates NO_3^- → nitrification

=> **Cycle de l'azote**

Les nitrates sont la **source d'N préférentielle** pour les végétaux.

Rôle des éléments minéraux :

- **Rôle plastique**

ils entrent dans la **constitution des édifices cellulaires** => nécessaires à la synthèse de la matière organique.

- **Rôle catalytique**

ils sont indispensables à **l'activité de certaines enzymes**.

Les macroéléments métalliques

- Ils sont absorbés **sous forme de cations**.
- Ils interviennent dans la cellule sous cette forme, libres ou complexés.

Rôle du calcium : la signalisation cellulaire

- Le calcium est un **ion peu mobile**
- très facilement **adsorbé par les membranes biologiques**
- agent de **cohésion de la paroi squelettique**
pontage entre les fibres de cellulose / hémicellulose et les composés pectiques => assure la résistance tissulaire
assure le rapprochement entre les phospholipides membranaires en se fixant sur leurs sites négatifs
=> diminue la perméabilité cellulaire
Rôle important dans la **rigidité des tiges** chez les céréales et la **fermeté des fruits**
- **régulation des échanges ioniques sol - racines**

Rôle du potassium : la turgescence cellulaire

- Le potassium est un **très mobile**
- cation le plus important pour la **régulation des phénomènes osmotiques**, en particulier pour la régulation stomatique. Sa très grande mobilité est compatible et indispensable avec la rapidité des mouvements de turgescence.
Il favorise la fermeture des stomates => **diminue la transpiration** => **augmente la résistance à la sécheresse**
- **rôle catalytique important**
carence en K => déficience dans la synthèse des protéines ou dans la photosynthèse
- conditionne le bon **déroulement de la mitose**
- ion principal des **solutions cytoplasmiques**

Rôle du magnésium

- **constituant de la chlorophylle** => sa présence est indispensable au bon déroulement de la **photosynthèse**
- **co-facteur de nombreuses réactions enzymatiques**, en particulier des enzymes intervenant dans le **métabolisme du phosphore** : ATP-ases, kinases ...
Il permet sans doute la liaison entre l'enzyme et son substrat.

Les macroéléments métalloïdiques

- Ils sont absorbés **sous forme d'anions.**

Rôle du soufre

- assimilé et utilisé à **l'état réduit**. La réduction des sulfates est l'apanage des végétaux (et de quelques bactéries).
- présent sous forme de **groupe -SH** (= **groupe thiol**) constituant essentiel de certains aa = les **aa soufrés** : **cystéine** et **méthionine**
=> c'est un **élément plastique** des végétaux car il entre
 - dans la constitution de nombreuses **protéines** sous forme de **pont disulfure R-S-S-R**
 - et dans la constitution de nombreuses **vitamines**
- **rôle catalytique** au niveau de nombreux sites enzymatiques (co-enzyme A ...)
- carence en S (sulfates SO_4^{--}) = **carence très sévère**
Symptôme : disparition de la chlorophylle (=> **chlorose**) car sa synthèse n'est plus assurée.

Rôle du phosphore

- **élément plastique** : il entre dans la **composition des acides nucléiques et des phospholipides**.
- importance du **radical phosphoryle** qui joue un rôle :
 - **structural : liaison entre groupements organiques** chez les phospholipides ou chez les aa.
 - de **transporteur d'énergie** : constituant des molécules transporteurs d'énergie GTP et UTP mais aussi des molécules de stockage d'énergie ATP
 - **d'activateur de substrat** pour leur permettre d'entrer dans le métabolisme (cas des oses phosphate)

Les oligoéléments

- Ce sont souvent des co-facteurs enzymatiques, à rôle catalytique

Rôle du fer

- c'est un **élément rédox $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$** .
- il entre dans la **constitution de nombreuses protéines** (cytochromes, ferrédoxine ...) pour lesquels il constitue **l'élément essentiel de leur activité**.
- il joue un rôle capital dans le **transport des électrons lié à la photosynthèse**. Les déficiences en fer (=> **chloroses**) des plantes vertes se manifestent par un dysfonctionnement voire un arrêt de la photosynthèse.

Rôle du bore

- **indispensable** au fonctionnement des méristèmes
- rôle important dans **le transport des glucides**.

La carence en B se traduit en effet par un dysfonctionnement des méristèmes du à des perturbations du transport des glucides.

Les glucides constituent avec l'acide borique des complexes qui migreraient beaucoup mieux que les glucides seuls.

Carence en B => accumulation anormale de glucides (amidon)

Rôle du zinc

- co-facteur de nombreuses enzymes d'oxydation, **les déshydrogénases** principalement.
- participe à la **synthèse des auxines** (hormones)
(indispensable à la synthèse du tryptophane)

Rôle du manganèse

- il constitue (avec le zinc) le plus **important co-facteur d'enzymes, pour les décarboxylases** notamment.
- les ions Mn^{2+} activent de nombreuses réactions d'oxydo-réduction (notamment lors de la photosynthèse).

Rôle du cuivre

- il agit comme le fer par son changement de valence et **catalyse certaines oxydo-réductions**.
- il est également le **co-facteur des polyphénols-oxydases**.

Rôle du molybdène

- il est nécessaire à des doses infimes (10^{-8} g/l) mais il est absolument indispensable en tant que **cofacteur de la nitrate-réductase** qui ne fonctionne que grâce à lui.

Rôle du nickel

- Le nickel est important pour le **fonctionnement de l'enzyme uréase**.

Cette enzyme empêche que la plante s'enrichisse en urée.

Elle permet la transformation de l'urée en dioxyde de carbone et ammoniac.

1. LES BESOINS NUTRITIFS DES VEGETAUX

1.1. L'EAU

1.2. LA MATIERE SECHE

1.2.1. Les macro-éléments

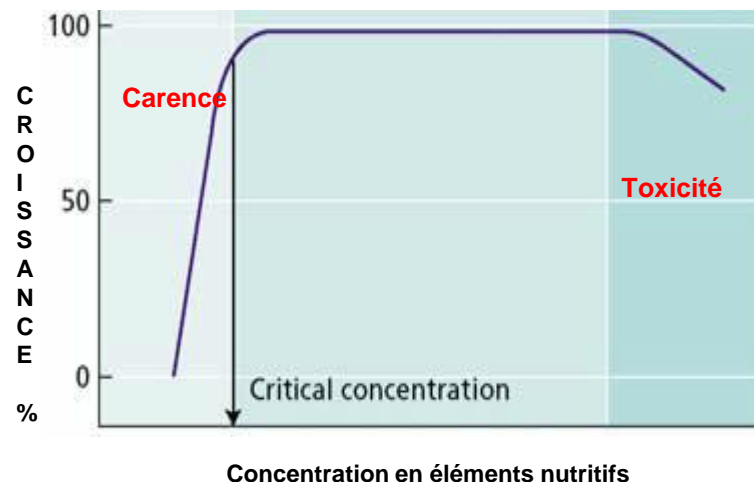
1.2.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

1.2.3. Rôle biologique des minéraux

1.2.4. Les carences en éléments nutritifs

Carences en éléments nutritifs

- **apport** en nutriments **en dessous de la concentration critique**
- **Maladies de carence** qui provoquent des malformations ou des perturbations physiologiques



Carences en éléments nutritifs

- Une carence concernant un oligoélément peut nuire à la production autant qu'une carence concernant un macro-élément.

- **Loi du minimum**

L'élément qui manque totalement ou se trouve en quantité insuffisante **empêche les autres éléments de produire leurs effets ou du moins diminue leurs actions nutritives**

Carences en éléments nutritifs

- symptômes de perturbations physiologiques : **ralentissement de la croissance, chlorose, nécrose ...**
 - **Éléments immobiles** dans la plante (S, Ca, Fe, Cu, B) → **1^{ers} symptômes dans les tissus jeunes**
 - **Éléments mobiles** dans la plante (N, K, Mg, P, Cl, Zn, Mo) → **1^{ers} symptômes dans les tissus âgés** → tissus en croissance restent préservés

Carences en éléments nutritifs

- symptômes de malformation : « cluster roots » = racines en touffe , « proteoid roots » = racines protéoïde...

➤ Carence en K^+

Amélioration de l'absorption en modifiant chimiquement la rhizosphère pour améliorer la **solubilisation du K^+**
=> **adaptation aux sols pauvres**
(sols déficients en minéraux)

Proteoid roots chez *Leucospermum cordifolium*
(Protéacées, Afrique du Sud)

Bernd Haynold, Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic License



Carence en azote

- celle qui **restreint le plus la croissance** des végétaux → plantes chétives

azote = élément essentiel à la croissance et au développement des plantes

=> essentiel à la **production de biomasse**
donc au **rendement** pour les plantes cultivées

- provoque la **diminution de la chlorophylle**
=> **chlorose** d'où la perte de rendement !

2. L'ABSORPTION MINERALE

2.1. LES ELEMENTS MINERAUX DU SOL

2.1.1. Forme dissoute

2.1.2. Forme adsorbée

2.1.3. Forme chélatée

2.1.4. Forme solide

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

LES HORIZONS DU SOL : QUELQUES RAPPELS

On distingue de bas en haut :

- **L'horizon profond de la roche-mère (C)**
formant le substrat minéral
- **L'horizon illuvial (B)**
zone d'accumulation des corps entraînés par le lessivage des eaux de pluie
- **L'horizon éluvial (A)**
horizon le plus superficiel, c'est celui qui **présente le maximum d'intérêt pour les plantes.**

La texture du sol dans les horizons A et B est celle d'un système hétérogène associant :

- des **particules minérales solides** provenant de la roche mère
- des **colloïdes** formées de micelles (= petites particules) minérales (argileuses) ou organiques (humiques), dispersées dans **la solution du sol**.

L'ensemble forme ce que l'on appelle le **complexe argilo-humique CAH**.

colloïde

- Un *colloïde* désigne toute substance comportant deux phases distinctes et dont l'une de ces deux phases dite discontinue est constituée de particules très petites et diffusées dans l'autre phase.

2. L'ABSORPTION MINERALE

2.1. LES ELEMENTS MINERAUX DU SOL

2.1.1. **Forme dissoute**

2.1.2. Forme adsorbée

2.1.3. Forme chélatée

2.1.4. Forme solide

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

- Les **macro-éléments** Ca, Mg, K, P et S sont bien représentés **dans la solution du sol**
- A l'inverse,
Si, Fe, Al se solubilisent très mal.

2. L'ABSORPTION MINERALE

2.1. LES ELEMENTS MINERAUX DU SOL

2.1.1. Forme dissoute

2.1.2. Forme adsorbée

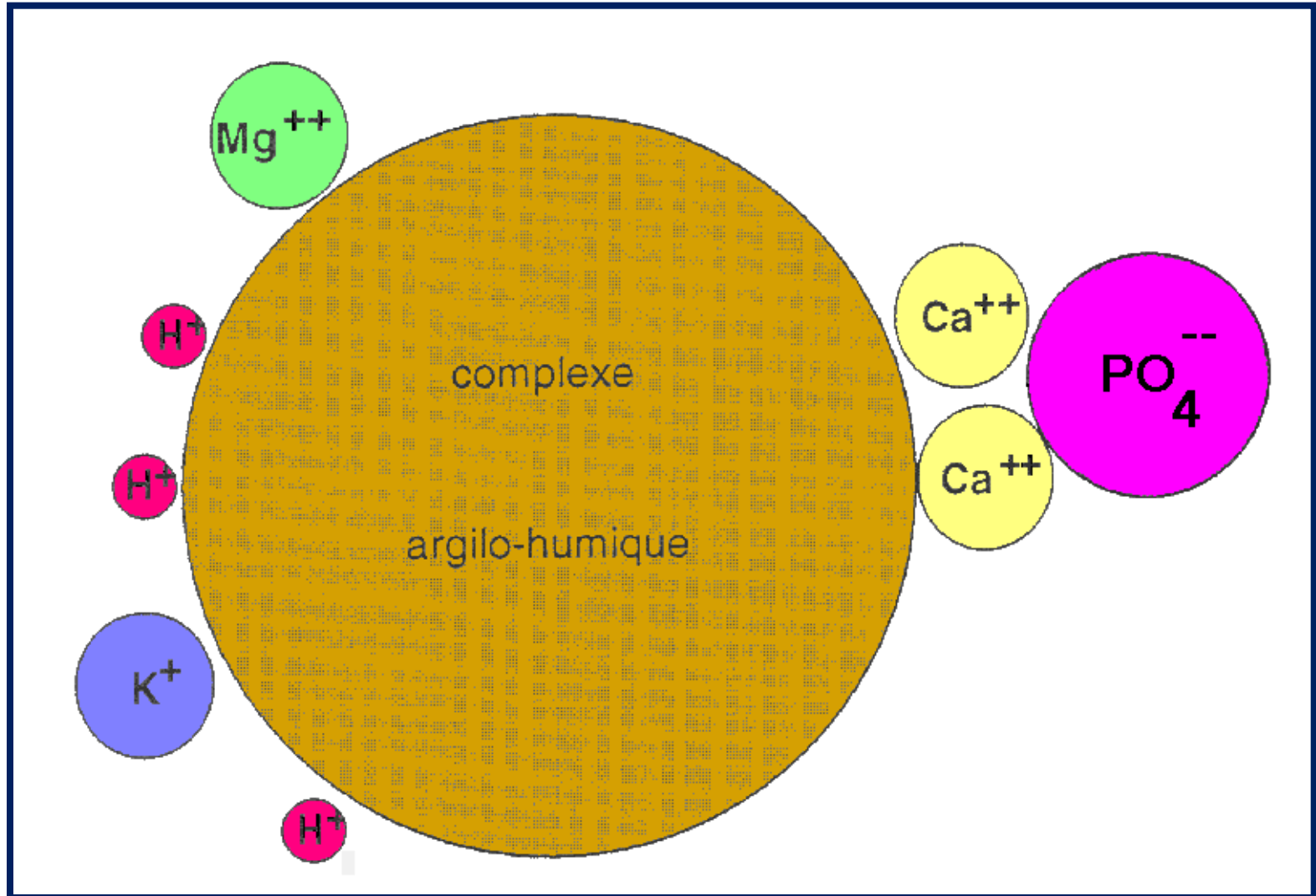
2.1.3. Forme chélatée

2.1.4. Forme solide

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

Le complexe argilo humique : CAH

www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/sol.htm



Le complexe argilo humique : CAH

- Etant deux **colloïdes électronégatifs** l'argile et l'humus ne peuvent s'attirer au contraire ils **se repoussent**.
- Cependant dans le sol ils sont **stabilisés et reliés entre eux par des cations** comme **le Ca^{2+}** voire le Fe^{2+} ou Fe^{3+} .

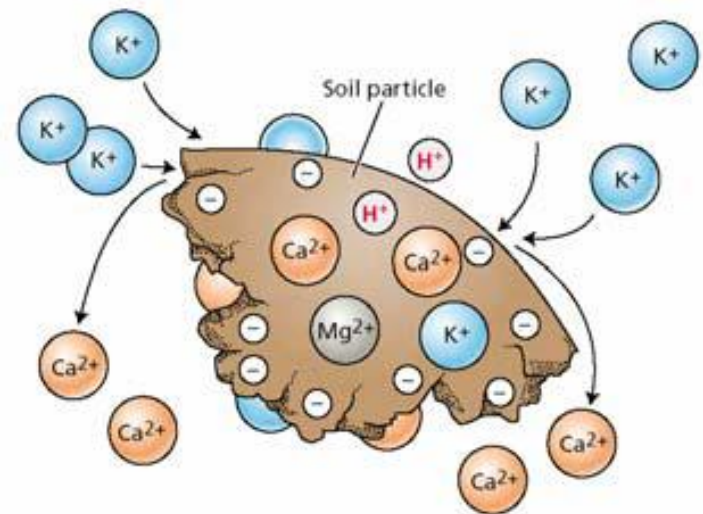
La fixation des cations est **sélective**.
Par ordre d'adsorption décroissante, on a :



Cette loi se vérifie pour un **équilibre des concentrations**, autrement dit

à **iso-concentration**

pour les minéraux
en compétition.



La fixation des cations est **réversible**.

→ tout départ de cation de la solution du sol s'accompagne d'un réajustement des cations à la surface des colloïdes.

Equilibre dynamique entre le CAH, la solution du sol et la racine

Capacité d'échange cationique variable en fonction du pH du sol

→ en sol acide : déplacement des cations
par les H^+

2. L'ABSORPTION MINERALE

2.1. LES ELEMENTS MINERAUX DU SOL

2.1.1. Forme dissoute

2.1.2. Forme adsorbée

2.1.3. Forme chélatée

2.1.4. Forme solide

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

- Chélation = capacité à soustraire les éléments métalliques d'un milieu
= **séquestration**
- Les **acides humiques** sont les principaux chélateurs présents dans un sol.
- **Chélats** = **complexes organo-métalliques** très stables où un ion métallique (Fe, Zn, Ca, Mg ...) est inséré (par liaison de coordination) dans une molécule organique complexante ou chélateur, recourbé comme une **pince** (en grec *chêle* = pince)

2. L'ABSORPTION MINERALE

2.1. LES ELEMENTS MINERAUX DU SOL

2.1.1. Forme dissoute

2.1.2. Forme adsorbée

2.1.3. Forme chélatée

2.1.4. Forme solide

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

- Ca → Carbonates
- Mg → Dolomies
- P → Apatites
- K → Micas, Feldspaths

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

2.2.1. Les organes de l'absorption

2.2.2. Cinétique de l'absorption

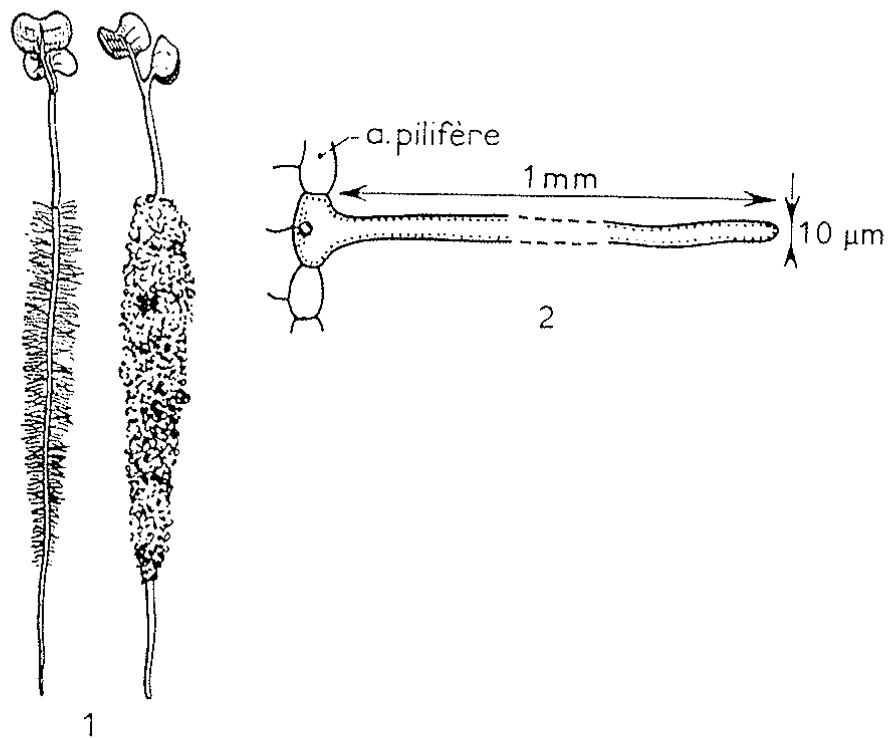
2.2.3. Facteurs de variation

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

La collecte des nutriments par les racines :

Système racinaire → **très dynamique** :

- **Il s'allonge et se ramifie de façon importante**
 - **Il se renouvelle sans cesse**
(les racines meurent et se renouvellent beaucoup plus fréquemment que l'appareil aérien)
- **Il explore un très important volume de sol**
(Un chêne rouge adulte a environ 500 millions d'apex racinaires vivants)



Poils absorbants. 1. Plantules de *Sinapis alba*, avec poils absorbants enrobés de terre (à droite) et lavés (à gauche) (d'après SACHS). 2. Aspect schématique d'un poil absorbant.

La collecte des nutriments par les racines :

- **L'interface sol racine** est donc déterminante pour l'absorption minérale.
- contact assuré par **un mucigel**, d'origine végétale (secrété par la coiffe) et bactérienne.

Polysaccharide très hydrophile

- => faciliter l'absorption d'eau et d'éléments minéraux.
- => créer un **environnement propice pour les mycorhizes**

Le rôle des mycorhizes :

1) Le champignon **augmente la surface d'absorption** des racines

=> environ 100 fois plus importante

Plus de mycorhizes que de poils absorbants ! : la véritable surface d'échange avec le sol est donc celle du champignon

2) Le champignon **augmente l'exploitation des ressources** du sol par les racines

=> éléments radioactifs marqués absorbés par le champignon accèdent à la racine

Le rôle des mycorhizes :

3) Un échange à bénéfice réciproque

Le champignon **améliore l'absorption** :

- du K, l'ion le plus immobile du sol
- de l'N, du Zn, du Cu
- de l'eau

Le champignon **permet d'exploiter la matière organique** ; il excrète :

- **des enzymes** qui dégradent les **particules organiques** en **a. a. et phosphate** qu'il absorbe et transfère à la racine.
- **des protons** qui déstabilisent **les particules minérales insolubles**

Le végétal fournit en retour **des glucides** issus de la photosynthèse.

Les deux partenaires échangent aussi **des hormones et des vitamines**.

Le rôle des mycorhizes :

4) Les mycorhizes permettent aux végétaux de se nourrir sur des **sols inhospitaliers**, pauvres en éléments minéraux = **sols oligotrophes** => **augmentent la survie** en milieux hostiles

ex. : les Ericacées colonisent les landes subalpines, les tourbières ou les sols arctiques
→ sols riches en M.O. mais où le froid ralentit la minéralisation.

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

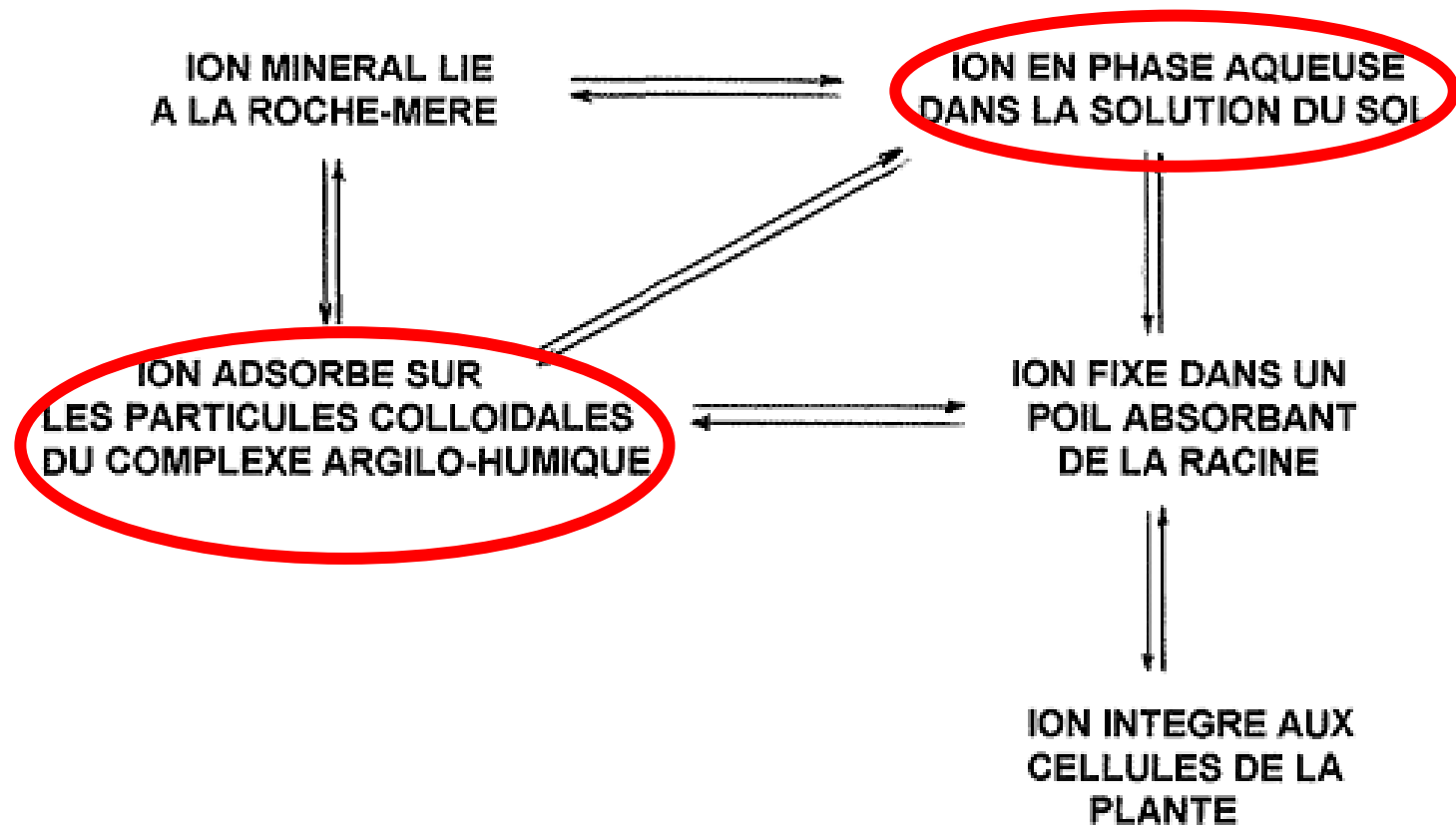
2.2.1. Les organes de l'absorption

2.2.2. Cinétique de l'absorption

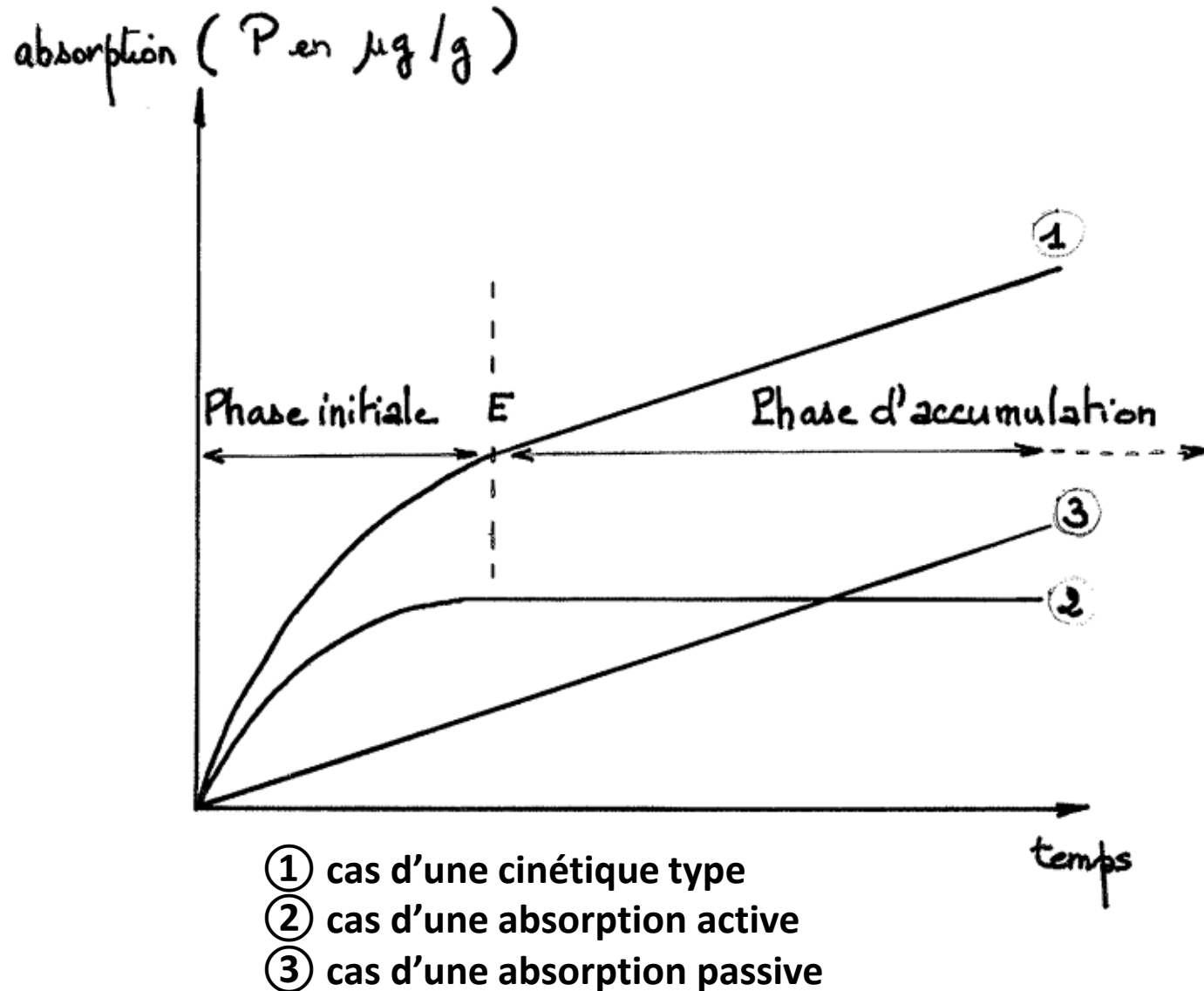
2.2.3. Facteurs de variation

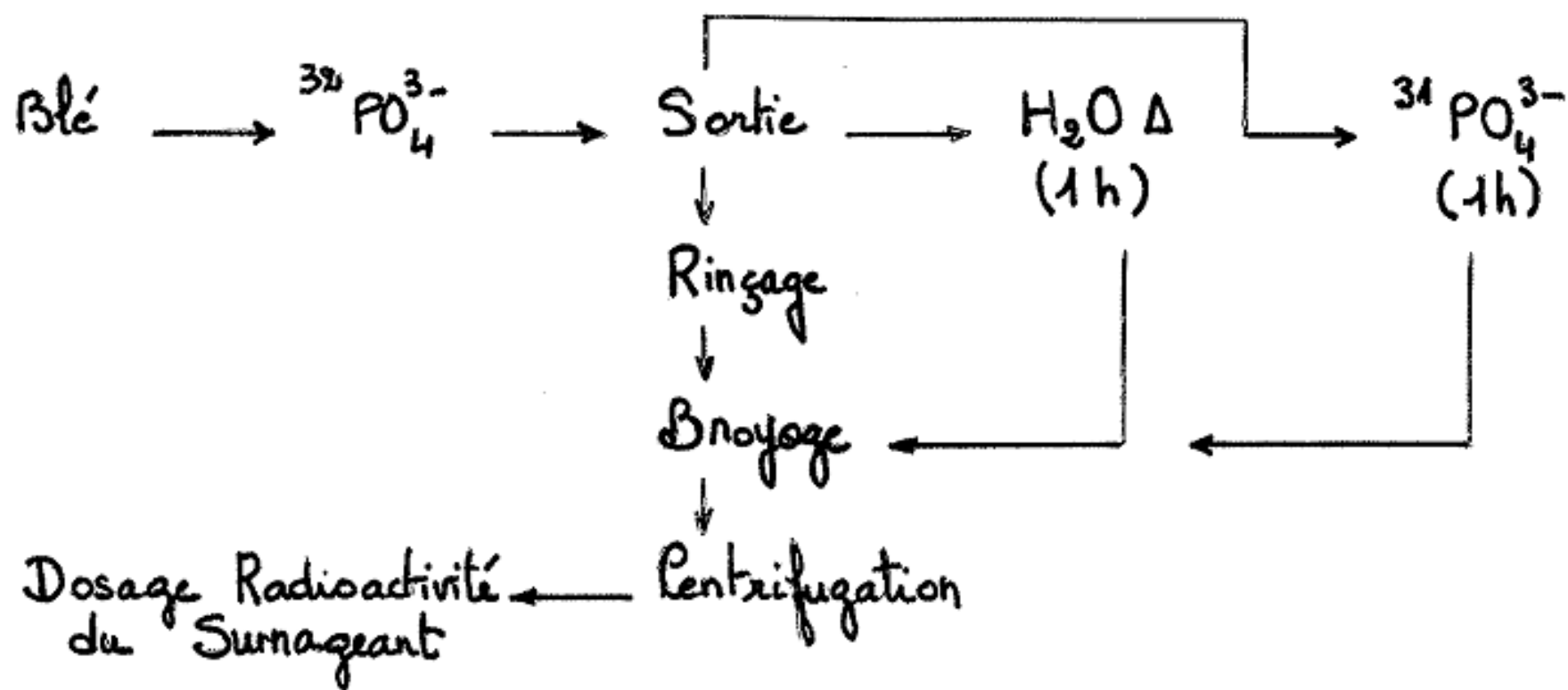
2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

ECHANGES D'IONS MINERAUX ENTRE LE SOL ET LA PLANTE

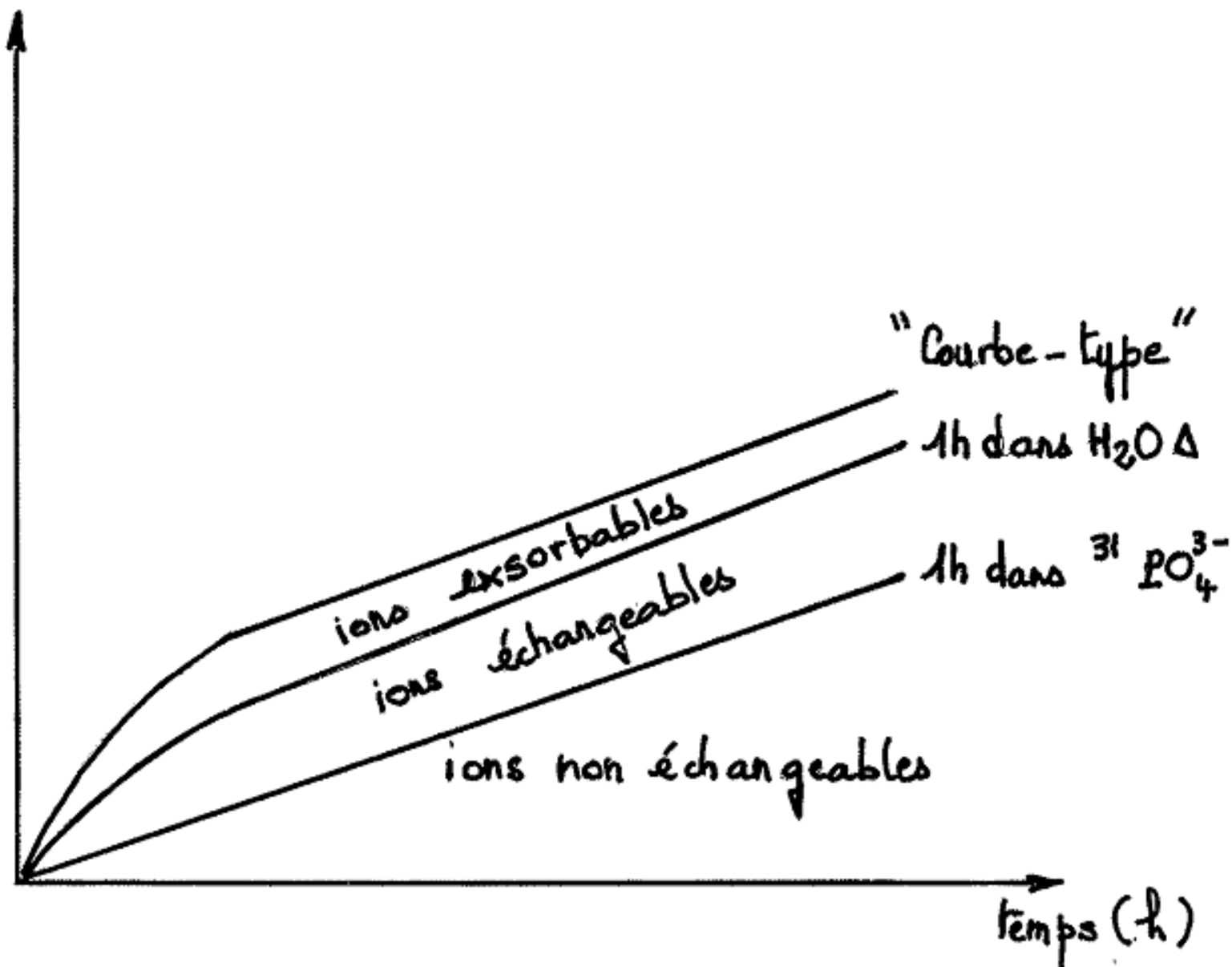


Cinétique de l'absorption minérale





Mass ^{32}P



2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

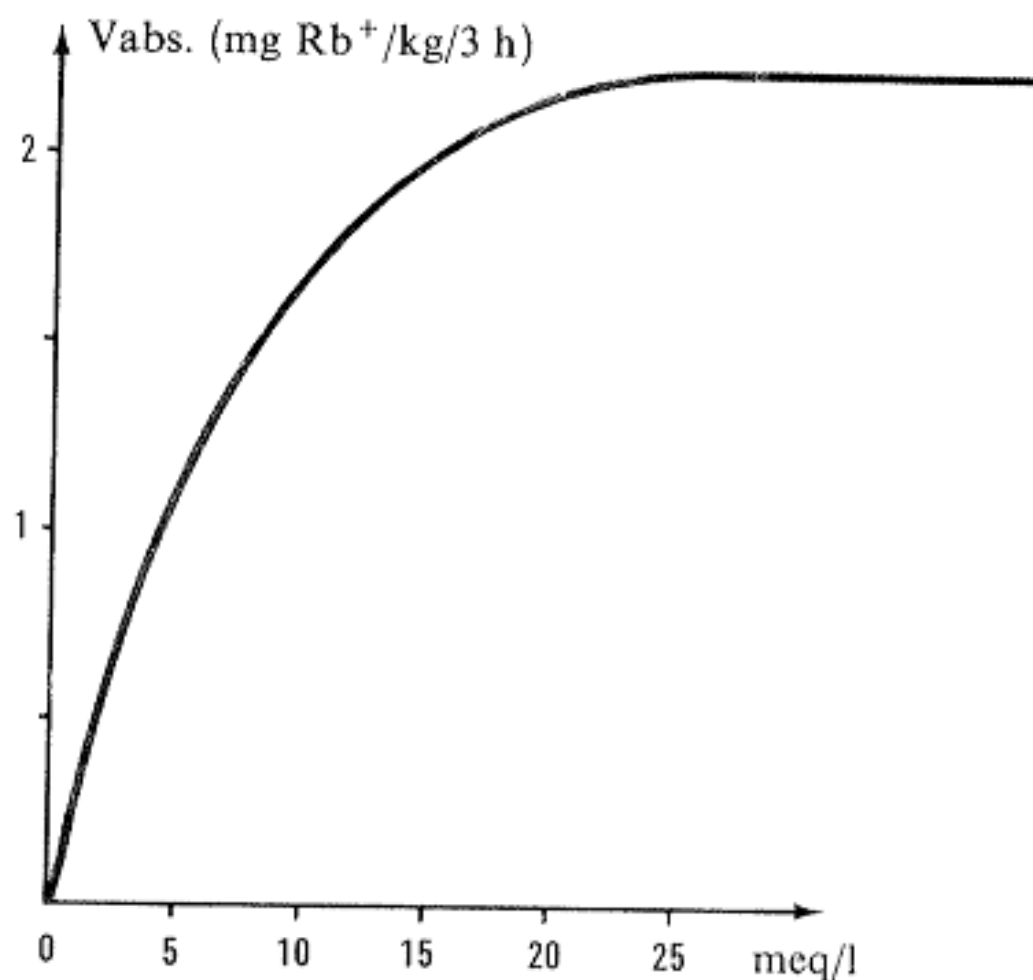
2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption



**Absorption du rubidium par des racines d'Orge excisées.
Effet concentration.**

In MAZLIAK, 1974

Etats de la nutrition minérale d'un végétal (d'après Epstein, 1972)

in Botanique - Biologie et Physiologie végétales, MEYER S., REEB C. et BOSDEVEIX R. (2008)

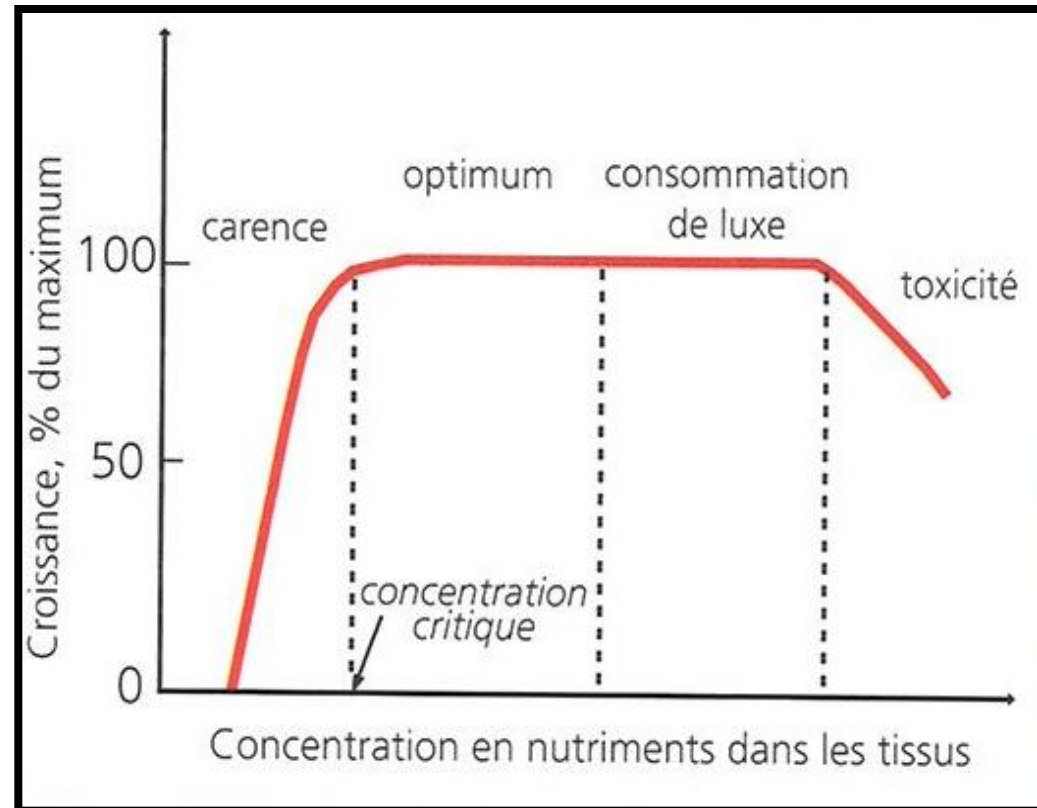
On appelle **concentration critique**, la concentration minimale en nutriments qui permet une croissance optimale.

L'**optimum** correspond aux besoins exacts de la croissance du végétal.

La **carence** se manifeste par le fait que la concentration en nutriments limite la croissance.

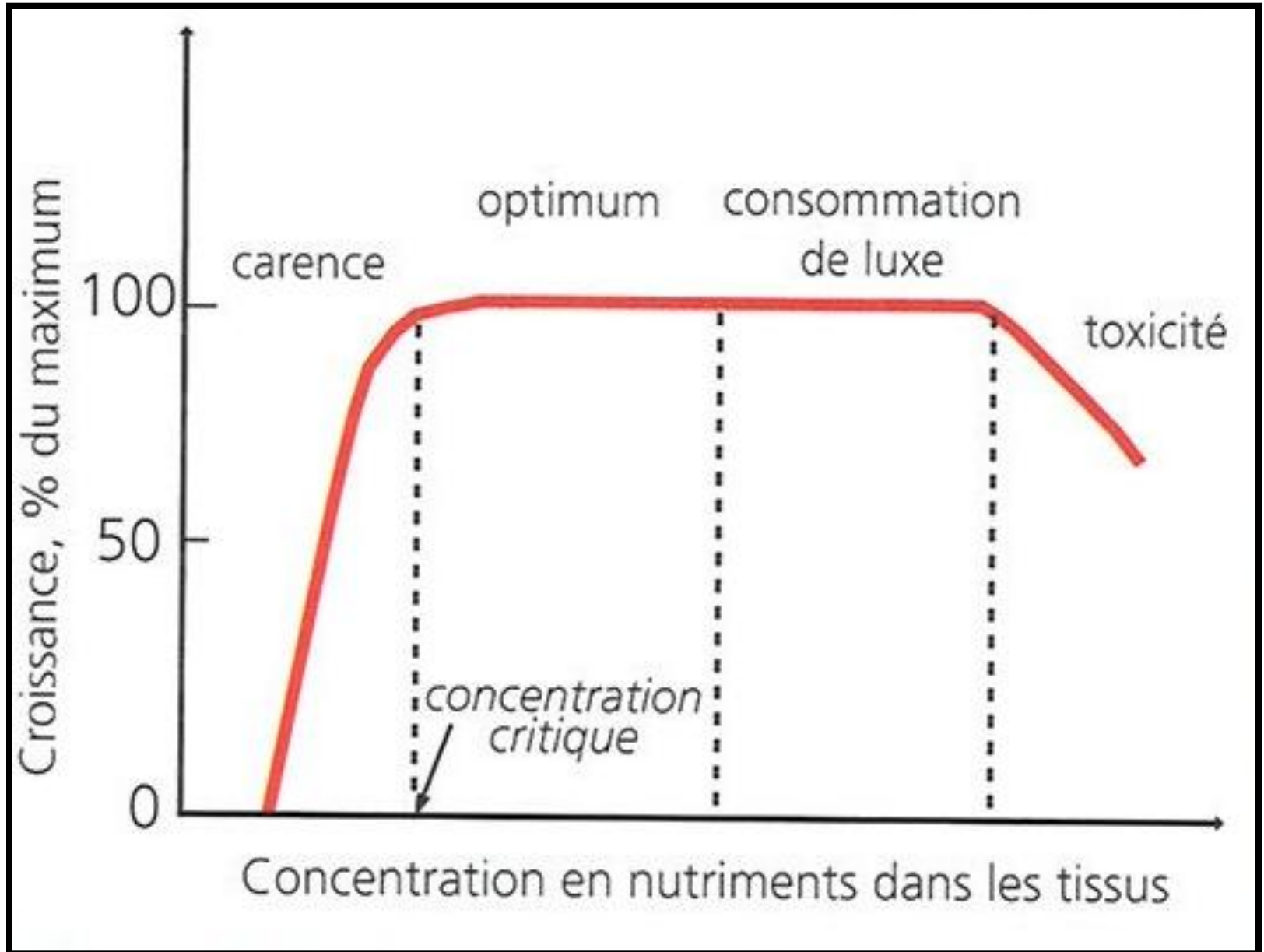
Une concentration excessive en nutriments n'entraîne pas une plus grande croissance du végétal. C'est une **consommation de luxe** de nutriments alors stockés dans la vacuole.

Au-delà, un surplus de nutriments devient **toxique**.



Etat de la nutrition minérale d'un végétal (d'après Epstein, 1972)

in Botanique - Biologie et Physiologie végétales, MEYER S., REEB C. et BOSDEVEIX R. (2008)



2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

ions antagonistes / ions synergistes

ions antagonistes

- Absorption inhibée par la présence d'un autre ion
- Ca^{++} et Mg^{++} s'opposent à Na^+
- Ca^{++} réduit la solubilité de Zn^{++}
- K^+ / Mg^{++} . Si absorption K^+ trop importante alors absorption Mg^{++} diminue (tétanie d'herbage pour les herbivores)
- K^+ / Ca^{++}

ions antagonistes / ions synergistes

ions synergistes

- Absorption stimulée par la présence d'un autre ion
- absorption PO_4^{3-} facilitée par Mg^{++}

2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

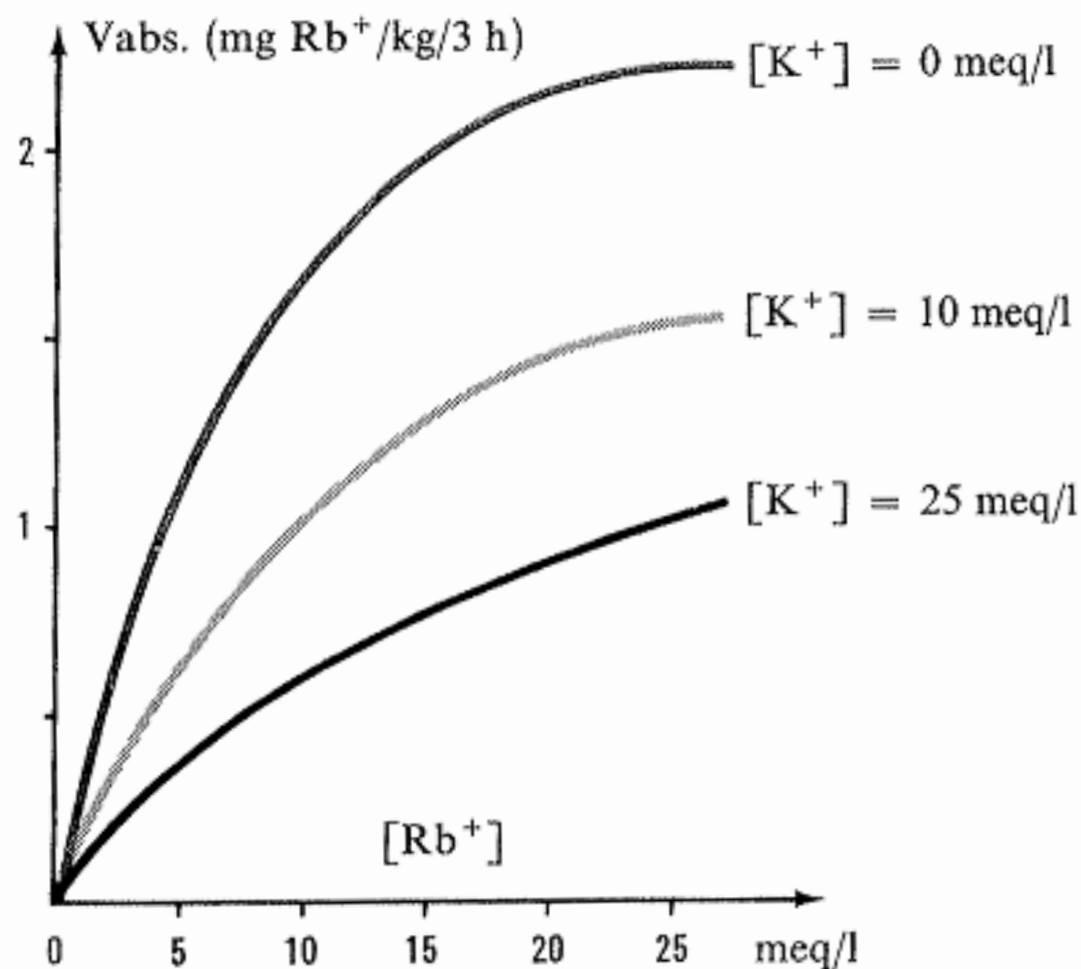
2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption



**Absorption du rubidium par des racines d'Orge excisées.
Inhibition compétitive de l'ion potassium**

In MAZLIAK, 1974

2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

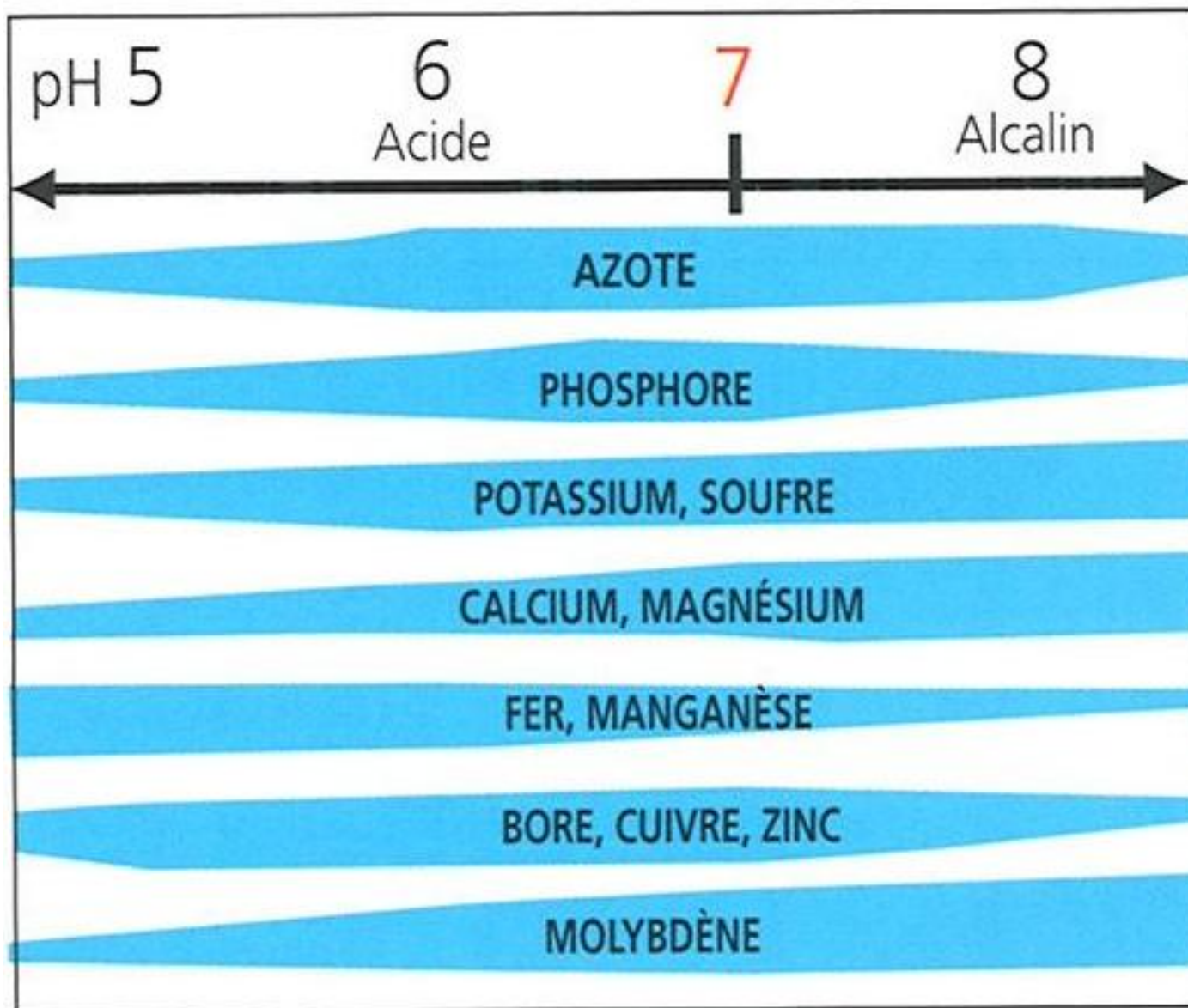
2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

Disponibilité des éléments minéraux du sol en fonction du pH

in Botanique - Biologie et Physiologie végétales, MEYER S., REEB C. et BOSDEVEIX R. (2008)



2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

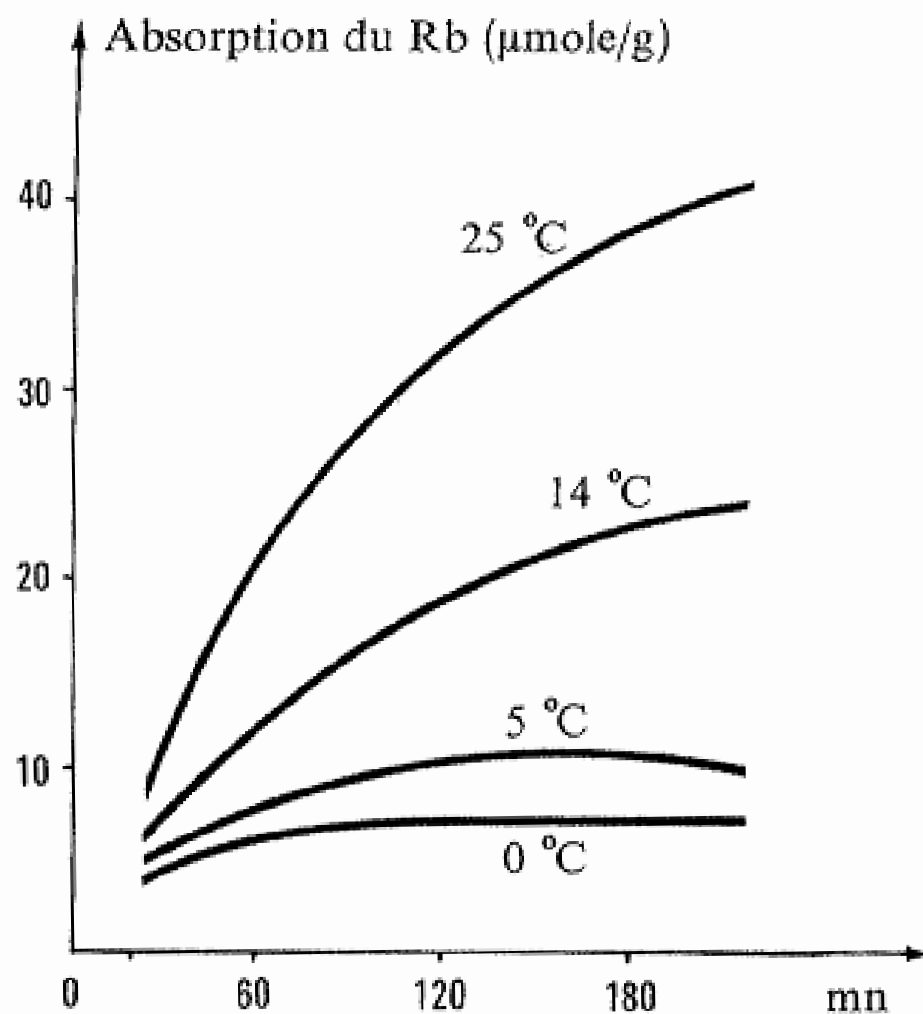
2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption



Effet de la température sur l'absorption du rubidium
par des racines d'Orge excisées,

In MAZLIAK, 1974

2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

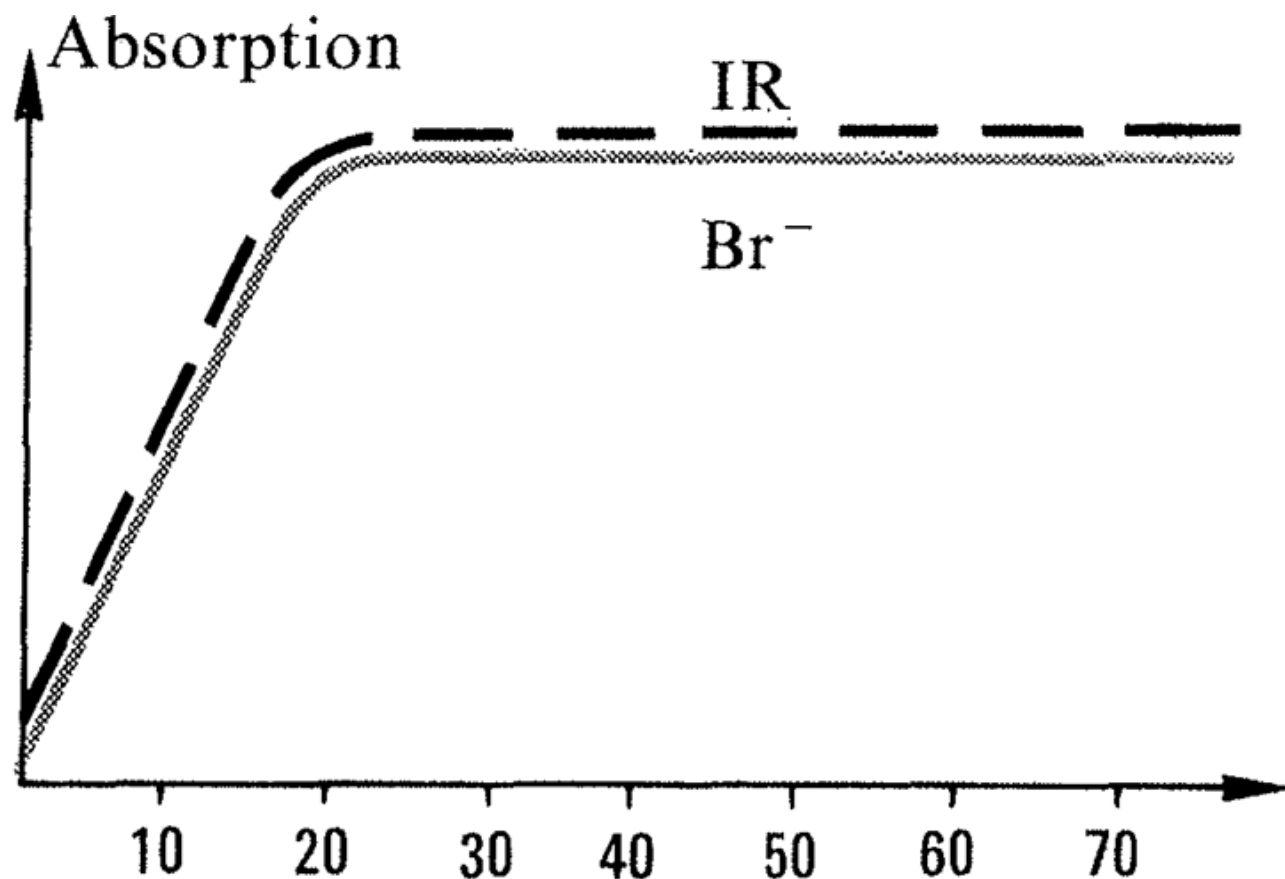
2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

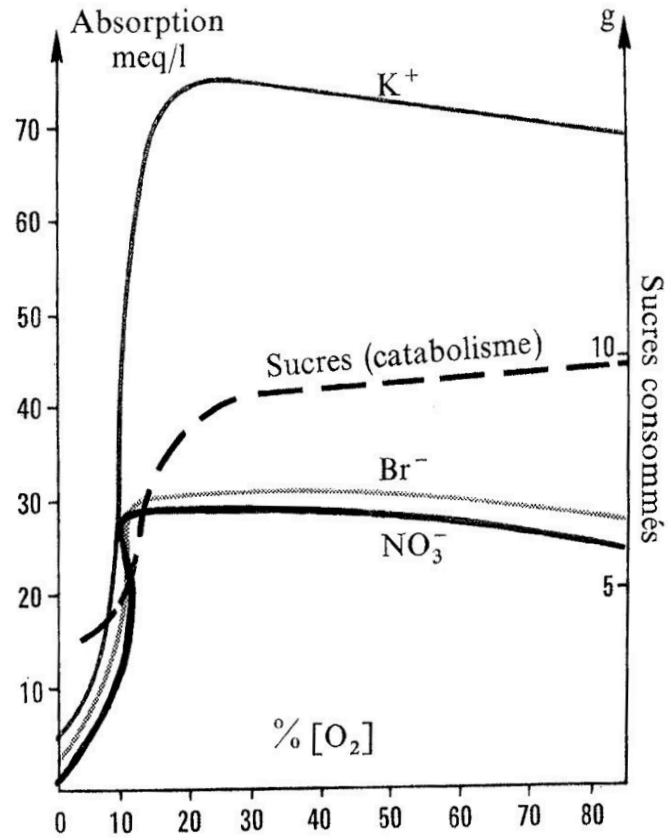
2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

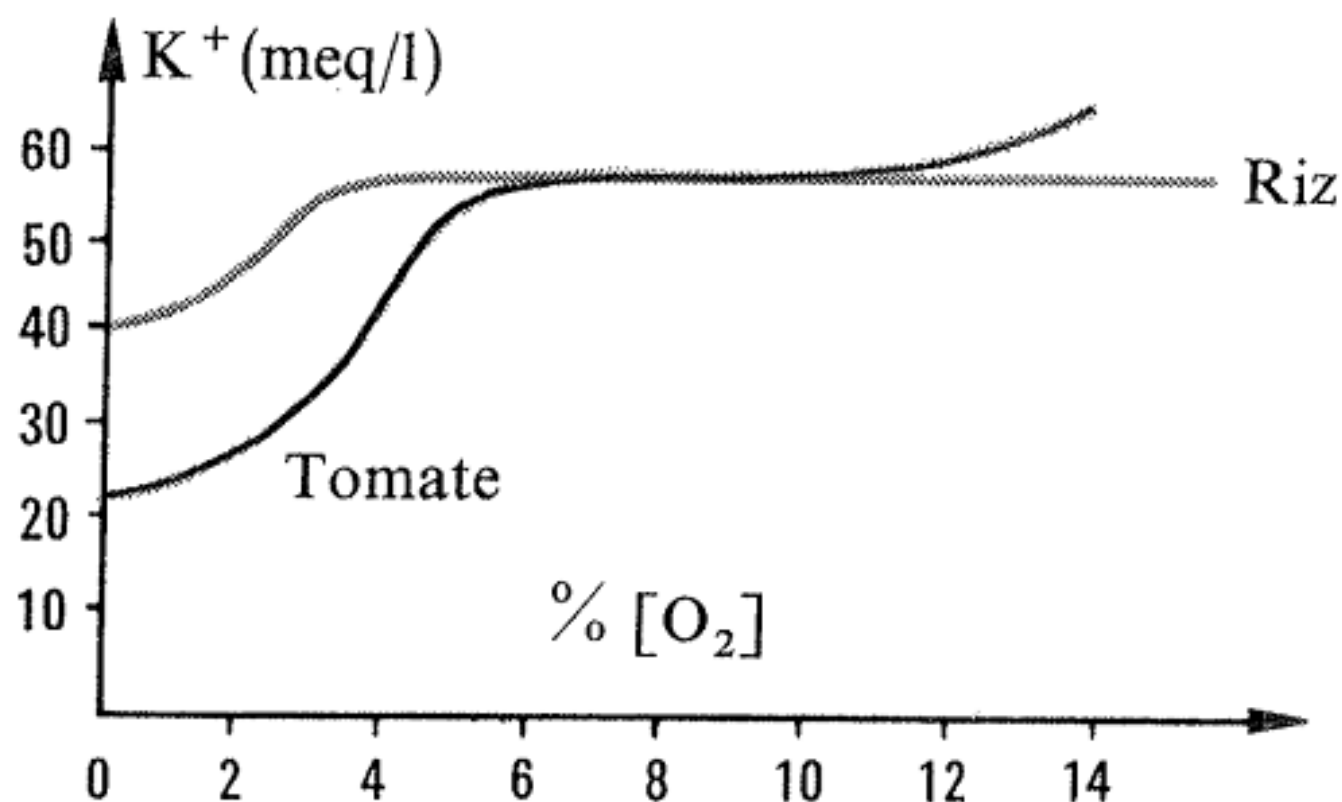


Absorption d'ions Br^- par des tranches de tubercule de Pomme de terre.
Comparaison avec l'intensité respiratoire.



Effet de la pression partielle d'oxygène sur l'absorption.
Absorption de divers ions par des racines d'Orge excisées.

In MAZLIAK, 1974



Effet de la pression partielle d'oxygène sur l'absorption.
Comparaison de l'absorption du potassium
par des racines excisées de Riz et de Tomate.

In MAZLIAK, 1974

2.2.3. Facteurs de variation

2.2.3.1. Interactions ioniques

2.2.3.1.1. Effet concentration

2.2.3.1.2. Ions antagonistes / synergistes

2.2.3.1.3. Inhibition compétitive

2.2.3.2. Action des facteurs externes

2.2.3.2.1. pH du sol

2.2.3.2.2. Température

2.2.3.2.3. Oxygène

2.2.3.2.4. Lumière

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

.../...

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2.4.1. Mécanismes passifs

2.2.4.1.1. Diffusion transmembranaire

2.2.4.1.2. Entraînement par le courant de sève ou d'eau

2.2.4.1.3. Equilibre de Donnan

2.2.4.2. Mécanismes actifs

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

.../...

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2.4.1. Mécanismes passifs

2.2.4.1.1. Diffusion transmembranaire

2.2.4.1.2. Entraînement par le courant de sève ou d'eau

2.2.4.1.3. Equilibre de Donnan

2.2.4.2. Mécanismes actifs

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

.../...

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2.4.1. Mécanismes passifs

2.2.4.1.1. Diffusion transmembranaire

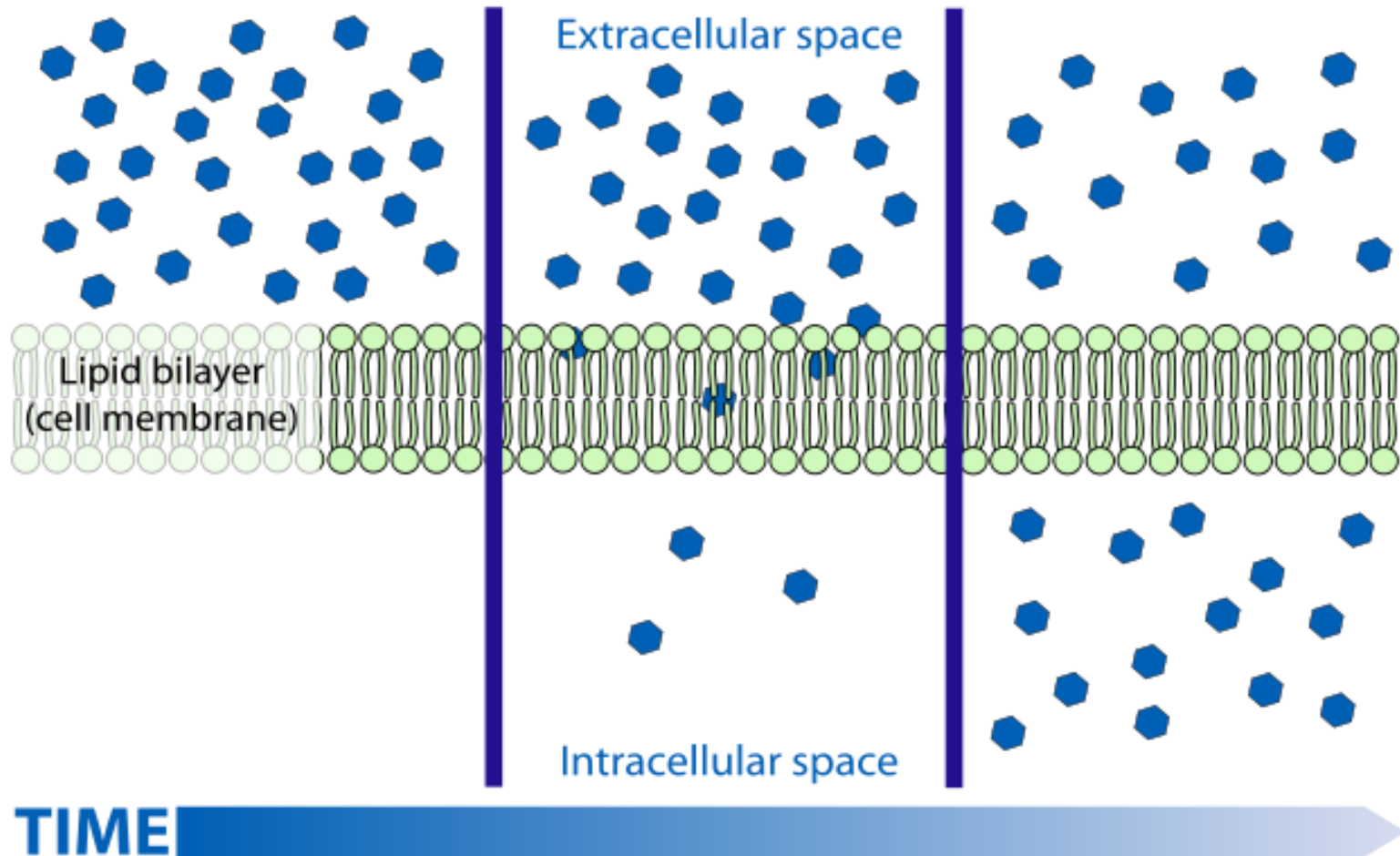
2.2.4.1.2. Entraînement par le courant de sève ou d'eau

2.2.4.1.3. Equilibre de Donnan

2.2.4.2. Mécanismes actifs

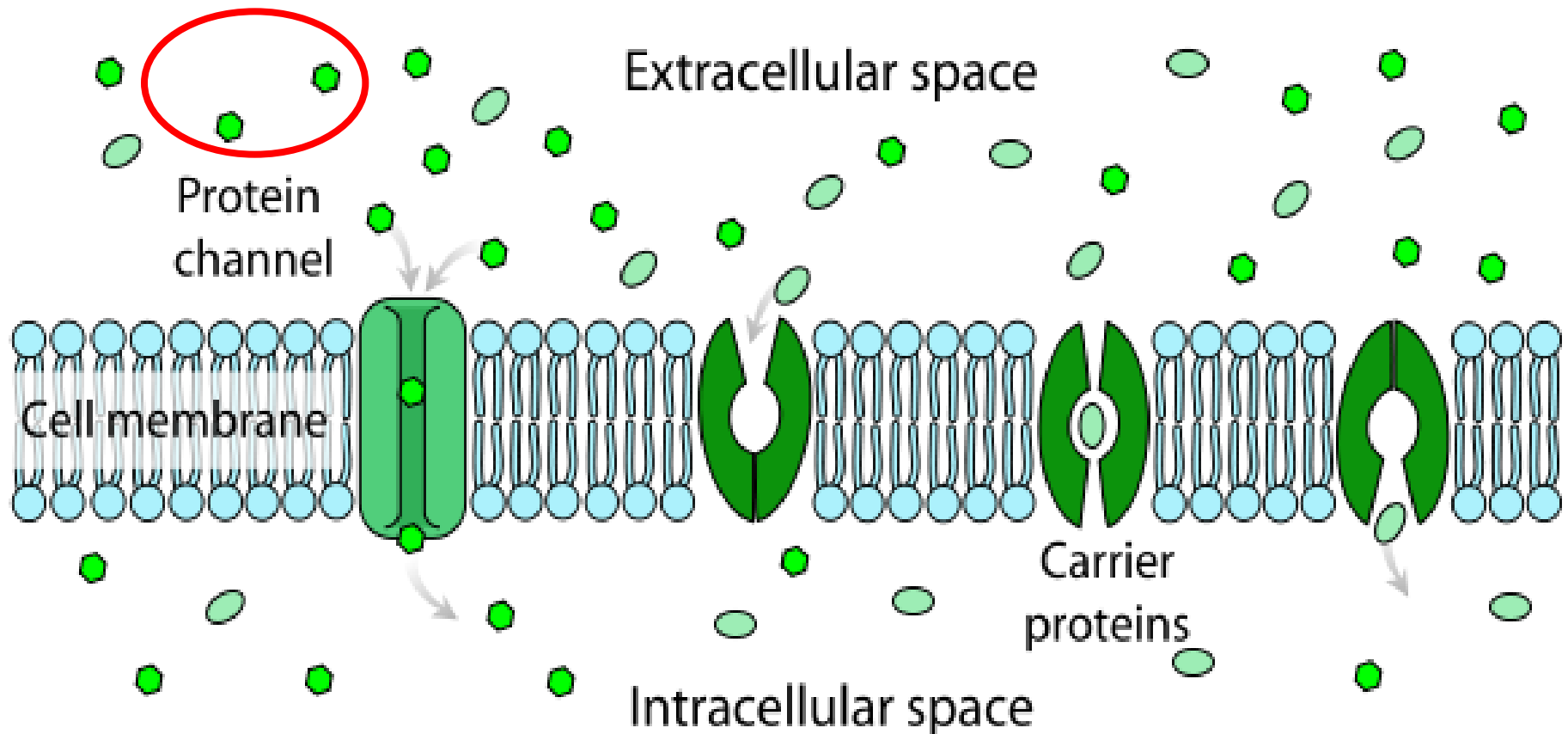
Diffusion simple

- entre les phospholipides => composé hydrophobe = lipophile donc apolaire
- flux proportionnel à la surface de la membrane traversée (loi de Fick) = $k \cdot a \cdot \Delta C$



Diffusion facilitée

- moteur du transport = la différence de concentrations
- grâce à des canaux protéiques (ions)
- grâce à des protéines de transport (molécules neutres)
- flux proportionnel à la surface de la membrane traversée
limité par le nombre de perméases => risque saturation



2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

.../...

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2.4.1. Mécanismes passifs

2.2.4.1.1. Diffusion transmembranaire

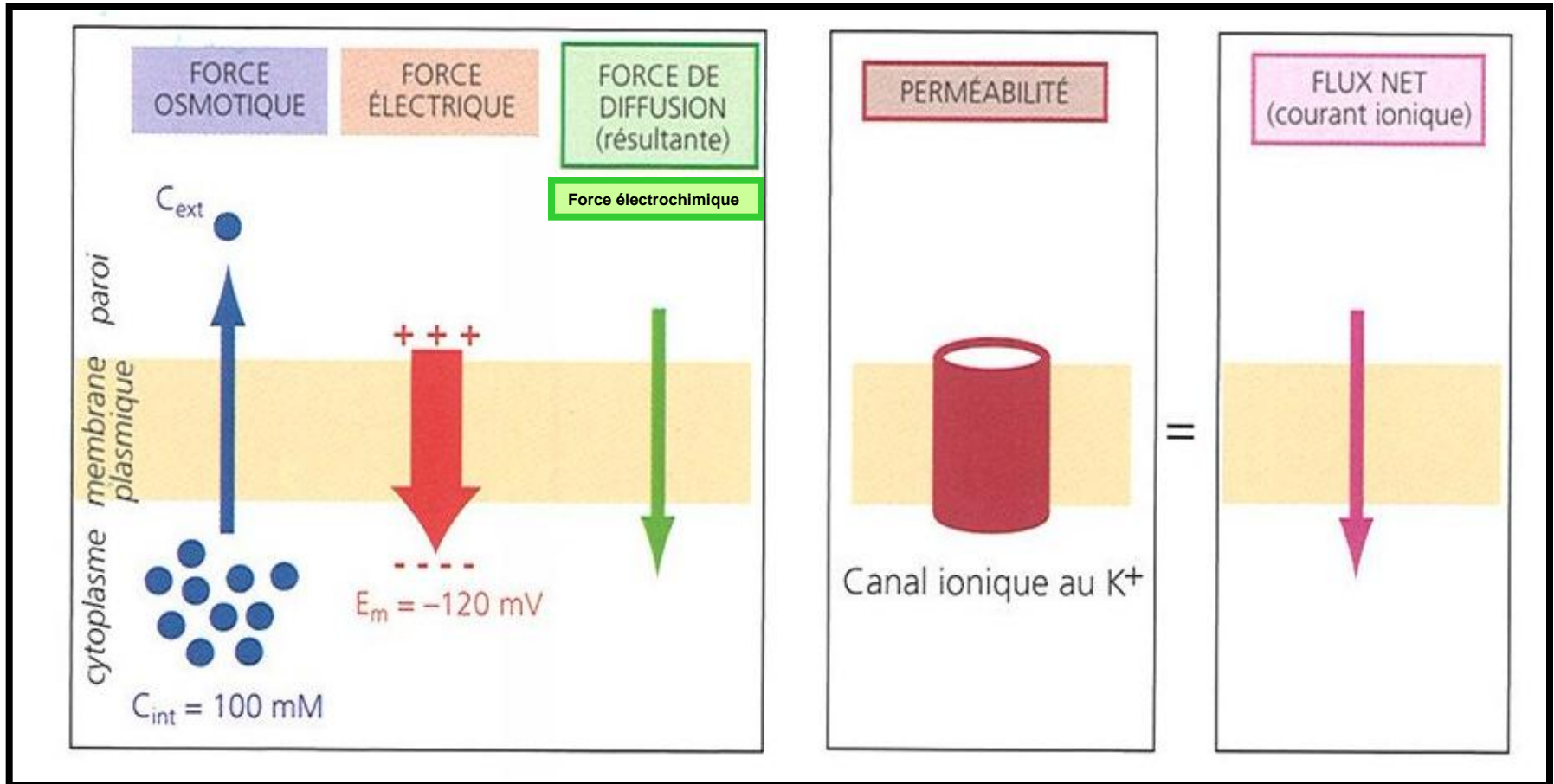
2.2.4.1.2. Entraînement par le courant de sève ou d'eau

2.2.4.1.3. Equilibre de Donnan

2.2.4.2. Mécanismes actifs

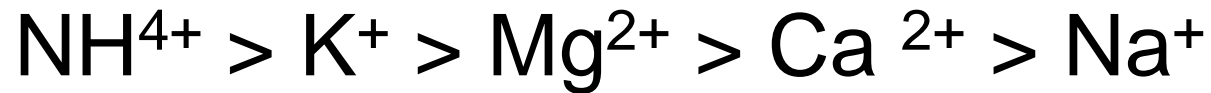
Les composantes du transport passif à travers la membrane plasmique exemple du K^+

d'après Botanique - Biologie et Physiologie végétales, MEYER S., REEB C. et BOSDEVEIX R. (2008)



Franchissement des membranes biologiques :

vitesse cations > vitesse anions



2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

.../...

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2.4.1. Mécanismes passifs

2.2.4.1.1. Diffusion transmembranaire

2.2.4.1.2. Entraînement par le courant de sève ou d'eau

2.2.4.1.3. Equilibre de Donnan

2.2.4.2. Mécanismes actifs

Propriétés de la membrane cellulaire :

- une **perméabilité sélective**
 - **hémiperméable**
 - **semi-perméable**
 - se comporte comme **une membrane dialysante**
- membrane dialysante = membrane dont les pores ont un diamètre de l'ordre du nanomètre

Mais ...

- Les milieux cellulaires contiennent des protéines.
- La membrane cellulaire est semi-perméable dialysante donc elle **retient les protéines**.

Equilibre de Donnan

Si une **membrane dialysante** sépare une solution de macromolécules ionisées (protéines ionisées) et une solution aqueuse contenant des ions diffusibles, **les concentrations en ions diffusibles de part et d'autre de la membrane ne peuvent s'équilibrer en raison de la présence des macromolécules chargées qui ne diffusent pas.**

→ **inégalité des concentrations ioniques**

Equilibre de Donnan

Il y a du côté des macromolécules (protéines) un excès d'ions diffusibles de signe opposé, ce qui provoque une pression osmotique supérieure à la pression osmotique normale.

→ **pression oncotique**

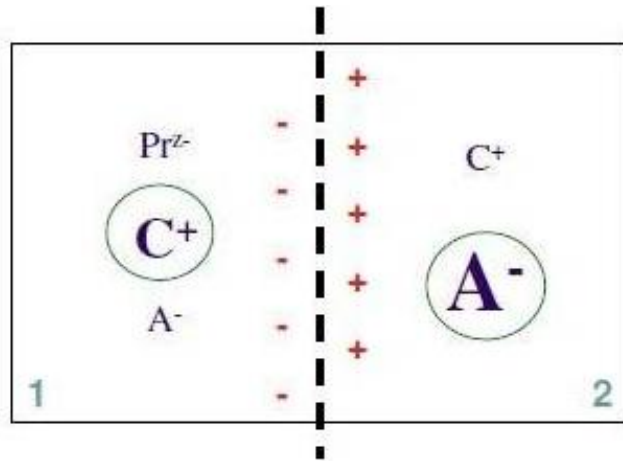
Equilibre de Donnan

Du fait de la répartition asymétrique des ions de part et d'autre de la membrane, il se crée une **différence de potentiel** appelé **potentiel de Donnan**.

Aux pH physiologiques,
les protéines sont chargées négativement
et ont une certaine valence Pr^{z-} .

Equilibre de Donnan

Mise en évidence de l'effet Donnan :

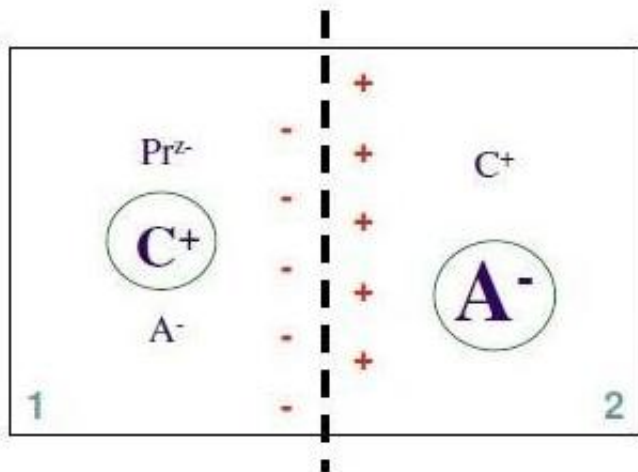


- La protéine ionisée non diffusible est responsable de la **différence de potentiel** : $\Delta V = V_1 - V_2$
- Si la protéine est chargée négativement, elle impose un potentiel négatif du côté où elle se trouve
- Les cations diffusibles s'accumulent alors du côté négatif et inversement pour les anions diffusibles

C'est l'effet Donnan

Equilibre de Donnan

Equations de Donnan :



A l'équilibre, l'électro-neutralité est vérifiée dans les deux compartiments.

$$[C^+]_1[A^-]_1 = [C^+]_2[A^-]_2$$

$$R = \frac{[\text{Côté le plus concentré}]}{[\text{Côté le moins concentré}]} = \frac{[C^+]_1}{[C^+]_2} = \frac{[A^-]_2}{[A^-]_1}$$

2.2. LES MODALITES DE L'ABSORPTION MINERALE

.../...

2.2.4. Les mécanismes de l'absorption

2.2.4.1. Mécanismes passifs

2.2.4.1.1. Diffusion transmembranaire

2.2.4.1.2. Entraînement par le courant de sève ou d'eau

2.2.4.2. Mécanismes actifs

Transport actif

- contre le gradient électrochimique
- au prix d'une dépense énergétique
- couplage avec une réaction chimique exergonique
généralement l'hydrolyse de l'ATP



pompe à Na^+ K^+
pompe à protons

Représentation schématique de la pompe à sodium-potassium.

1. La pompe, chargée en sodium, est phosphorylée par l'ATP.
2. La chute du groupe phosphorylé lié, d'un niveau d'énergie élevé à un niveau plus faible, est associée à un

changement conformationnel qui entraîne une perte d'affinité de la pompe pour les ions sodium, la décharge de ces ions dans le milieu extracellulaire et la création de deux sites de fixation à haute affinité pour les ions potassium.

3. Deux ions potassium extracellulaires occupent leurs sites de fixation.

4. La pompe chargée en potassium est déphosphorylée à l'aide d'une molécule d'eau, avec retour à la conformation initiale; l'affinité pour le potassium est perdue, les ions

potassium sont déchargés à l'intérieur de la cellule et trois sites de fixation à haute affinité pour le sodium sont créés.

5. Trois ions sodium intracellulaires occupent les sites de fixation du sodium; le cycle peut recommencer.

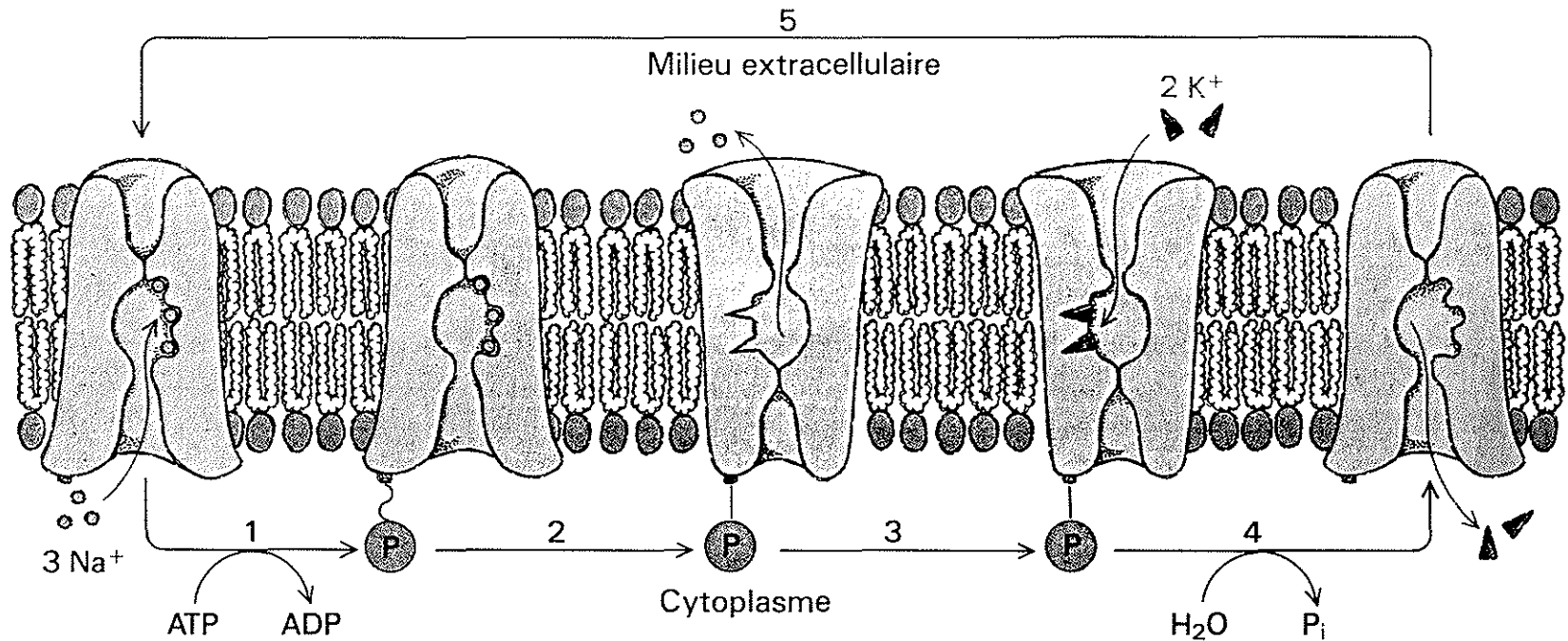
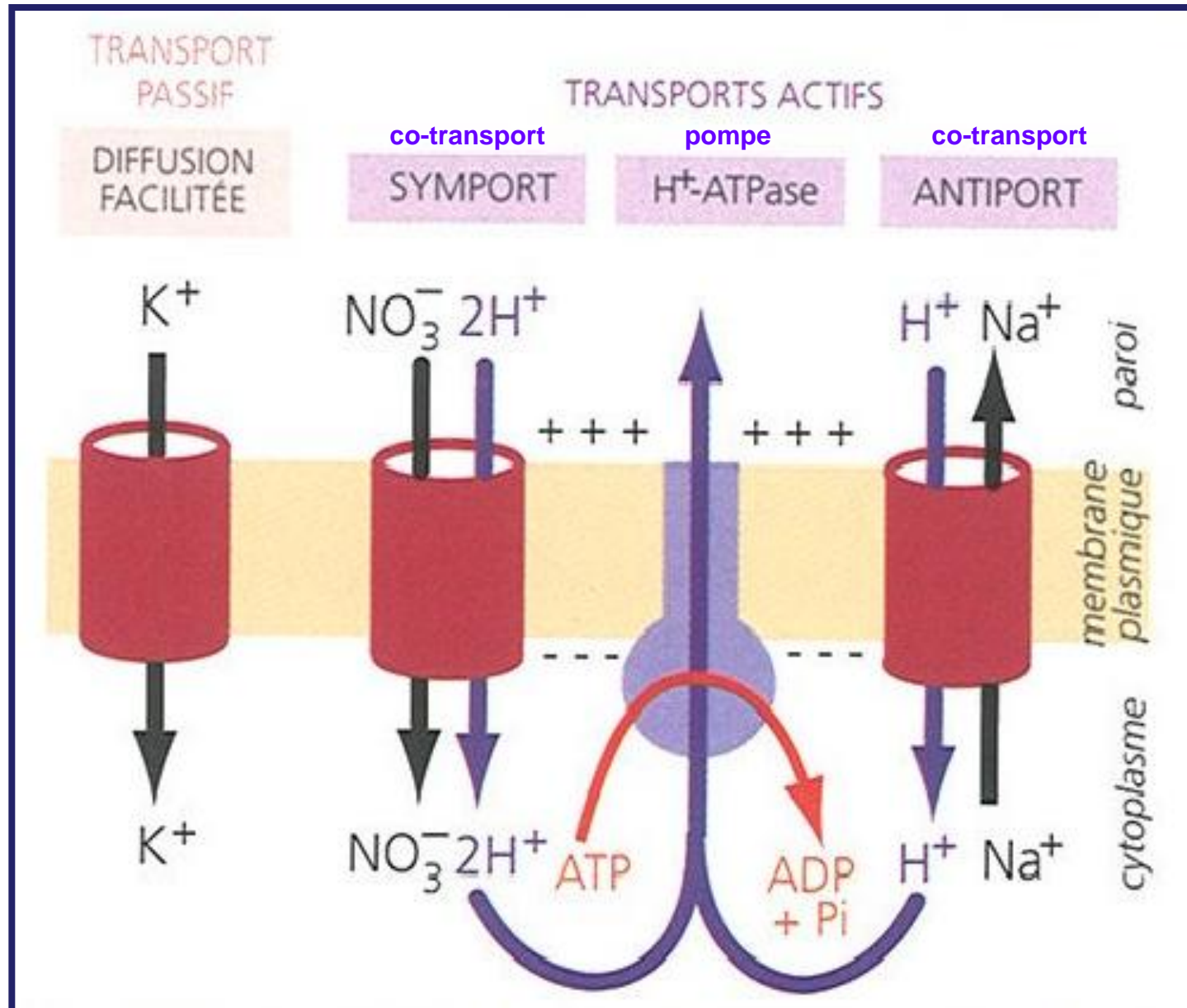


Schéma général des transports actif et passif

d'après Botanique - Biologie et Physiologie végétales, MEYER S., REEB C. et BOSDEVEIX R. (2008)



Destinée des ions absorbés

- **Rétention au niveau des membranes cellulaires** : cas du Ca^{++} ou Na^+
- **Migration vers l'intérieur des cellules** : cas du K^+ , Cl^- , des NO_3^- , H_2PO_4^- ...
- **Sortie** : cas des ions exsorbables et des ions échangeables