



Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen

Faculté des sciences naturelles et de la vie et des sciences de la  
terre et de l'univers



Département de biologie

Promotion : Master 1 Génétique



**Matière: Phytopathologie**



Dr: SALAH Zahra


L'année universitaire 2023- 2024



## **Chapitre II**

Maladies non parasitaires (abiotiques)


**Maladies non infectieuses**



Les conditions climatiques et édaphiques influencent toute la vie d'un végétal : en assurant un environnement favorable à sa croissance et à son développement, ou bien en le soumettant au contraire à des facteurs altérogènes biotiques ou abiotiques.

La notion des maladies physiologiques exprime les perturbations du métabolisme, le retard de croissance ou les anomalies du développement résultant de causes abiotiques, Parmi ces causes non parasitaires (abiotiques) nous avons:

- ✓ **Les facteurs climatiques** (variations de la température, de l'eau, du vent, de la lumière, ...)
- ✓ **Les facteurs édaphiques** (propriétés physicochimiques du sol, éléments nutritifs...)
- ✓ **Les facteurs liés aux activités humaines** (agents polluants, pesticides, taille et manipulations excessives...).



Le terme « stress » est souvent utilisé pour désigner des altérations d'origine abiotique chez les plantes (**stress hydrique, stress salin, stress thermique, ...**). Selon l'intensité du stress, la durée de son action et la sensibilité des espèces végétales atteintes, le stress peut avoir deux types d'effets :

- ❖ **Des effets directs et irréversibles**, qui provoquent des dégâts rapides, et la plante exposée peut dépérir en quelques minutes (cas d'une congélation rapide où la formation de cristaux de glace entraîne la destruction du cytoplasme et la mort rapide des cellules).
- ❖ **Des effets indirects et réversibles**, non destructifs par eux-mêmes, mais dont l'action prolongée peut mener à des effets irréversibles, causant des dégâts importants ou la mort de la plante (cas d'une élévation de température, sans causer d'effets directs sur les cellules exposées, peut favoriser la transpiration et provoquer indirectement un stress hydrique, qui sera néfaste pour la cellule et la plante entière).



## 1- Les facteurs climatiques

### 1-1- La température

#### 1-1-1- Les basses températures

**les effets du froid dépendent** non seulement de l'intensité minimale de la température, mais aussi **de la nature et la durée du refroidissement**, ainsi que **de la résistance ou la sensibilité des espèces végétales** à ce type de stress. Un refroidissement où la température est de 0 à 5°C entraîne une **réduction des activités métaboliques et altère les pigments**, ce qui se traduit par une **chlorose, la formation d'anthocyanes rouges, l'enroulement des feuilles, ...**

## 1-1-2- Les hautes températures

dans le cas de fortes températures, les symptômes observés sont dus à une évapotranspiration dépassant les quantités d'eau fournies par le système conducteur. **Le cytoplasme se déshydrate, les feuilles perdent leur rigidité et se fanent, les chloroplastes sont détruits induisant des chloroses et des nécroses.** Dès que la température atteint des valeurs inhibant la photosynthèse ( $> 35^{\circ}\text{C}$ ), **l'accumulation des réserves s'arrête** et la plante **consomme plus de glucides** qu'elle n'en produit, et résultant en un **arrêt de la croissance.**

Chez les céréales, l'effet des périodes chaudes au stade laiteux, se traduit par des épis contenant des **grains petits, ridés** et en **nombre réduit**, ce phénomène est connu sous le nom **d'échaudage**, conduisant à la formation de **grains échaudés.**



## **1-2-Le gel**

Certains organes de plantes, tels que les graines, les spores et le pollen, soumis à des températures proches du zéro, survivent car, ils sont déshydratés. Les organes normalement hydratés sont moins résistants et subissent des dégâts irréversibles. Ces dégâts sont dus à la formation des cristaux de glace dans la cellule ou dans les espaces intercellulaires.

**Les mycorhizes ne fonctionnent plus**

**Le gel éclate les membranes des cellules**

**L'activité hormonale**



## **Les mycorhizes ne fonctionnent plus**

Les mycorhizes n'aiment pas beaucoup le froid et pour une fois ne semblent pas avoir un rôle important dans la lutte contre le froid pour la plante. Les plantes arctiques ne sont d'ailleurs pas mycorhizées. Quand les températures diminuent, elles ne participent plus à la nutrition de la plante. Une étude menée en Norvège comparant des plantes qui poussent à 8°C ou à 15°C avec ou sans mycorhizes montre que les plantes mycorhizées n'ont plus beaucoup d'avantages à 8°C par rapport aux plantes non mycorhizées.

## **Le gel éclate les membranes des cellules**

Pour se protéger la plante expulse l'eau de ses cellules vers les espaces inter-cellulaires et augmente la concentration de l'eau en sels et en sucres. Quand cela ne suffit plus, les cellules gèlent, les fonctions biologiques s'arrêtent et les cellules éclatent. La plante ou l'organe en question meurt.

## **L'activité hormonale**

La plante ne peut pas se déplacer pour lutter contre un stress dans son environnement. Les hormones sont son principal mécanisme d'adaptation qui lui permet de réagir à l'attaque d'un bioagresseur ou bien au froid. La symbiose de la plante avec des bactéries de la rhizosphère augmente la sécrétion d'hormones. Des études sur le haricot vert exposant la plante à des températures entre -2 et -16°C montrent que le haricot vert est moins endommagé dans le gel si il est inoculé avec du rhizobium que sans inoculum.



## 1-3- Les stress hydriques

### ❖ 1-3-1- Le déficit en eau (sécheresse)

Le déficit en eau se traduit par la déshydratation et la fanaison. La sécheresse a pour effet direct, la déshydratation des cellules, qui reste réversible jusqu'à une teneur limite en eau. Au-delà de ce seuil d'hydratation, la cellule ne pourra plus se ré-imbiber et le dégât sera irréversible. **La sécheresse peut se marquer par un retard de croissance des organes aériens ainsi que les racines.**

Parmi les effets de la sécheresse, on note **la désorganisation des protéines, l'altération des enzymes, une chute de la teneur en phosphore, une augmentation de la respiration et une diminution de la photosynthèse et de la translocation des métabolites.**



## ❖ L'excès d'eau (inondations)

L'excès d'eau crée des conditions anaérobiques qui altèrent les fonctions métaboliques des racines et peuvent provoquer une fanaison. Lors des inondations, les racines sont placées dans un milieu asphyxique qui inhibe leur croissance. Les plantes peuvent survivre à des périodes de conditions anaérobiques jusqu'à 0.5% d'O<sub>2</sub> ; les racines exigent de 6 à 8 % d'O<sub>2</sub> pour croître normalement. En dessous de ces valeurs les feuilles deviennent chlorotiques, la croissance s'arrête, la formation de nouvelles racines s'arrête, les tiges se dessèchent et la plante meurt. La transpiration peut diminuer de 90 %, ce qui limite l'absorption d'eau et des éléments minéraux et entraîne une diminution de la photosynthèse

## Étude de cas

L'étude des conséquences des stress abiotiques (stress salin, stress hydrique et stress aux métaux lourds), sur l'activité des polyphénols et flavonoïdes. Les résultats obtenus montrent une accumulation importante des polyphénols et flavonoïdes dans les différents organes des plantules de *Vicia faba*. Ces résultats soulignent le rôle important des métabolites secondaires dans la défense contre le stress oxydatif, causé par les différents stress abiotiques, dans la détoxification des espèces réactif de l'oxygène (ERO) en condition de stress.

Deuxième étude privilégier l'extrait de *Pistacia atlantica*. Décrite lors des dosages faites par son fort pouvoir antioxydant comparé avec d'autres extraits, introduit au plantule stressé par le chlorure de mercure à une concentration de 15mg/L, pendant 48 heures, le résultat a montré que le chlorure de mercure, pénètre rapidement dans le système racinaire et génère, après seulement 24 heures, un important stress oxydatif par l'induction d'effets génotoxiques dans les cellules racinaires, les résultats obtenues ont montré qu'il ya eu une réparation de l'ADN, en présence de l'extrait aqueux de *Pistacia atlantica*, avec une augmentation du taux de polyphénols et des flavonoïdes.

Une substance est génotoxique lorsqu'elle est susceptible d'entraîner un dysfonctionnement ou une altération du génome en endommageant l'ADN



## **1-4- Les facteurs radiatifs**

### **1-4-1- La lumière**

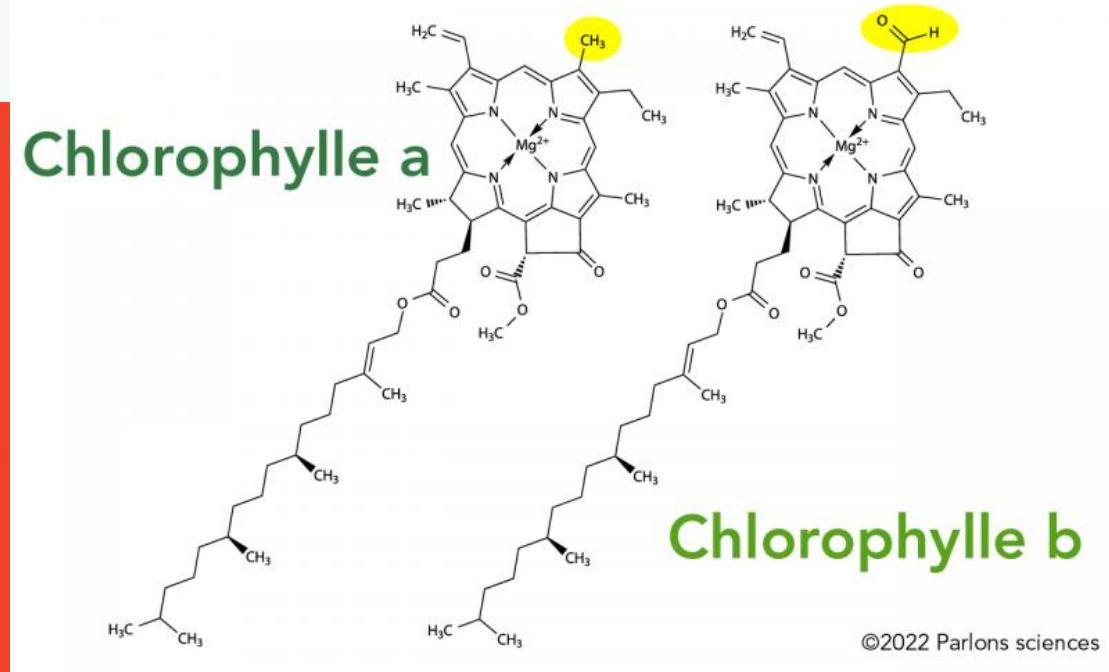
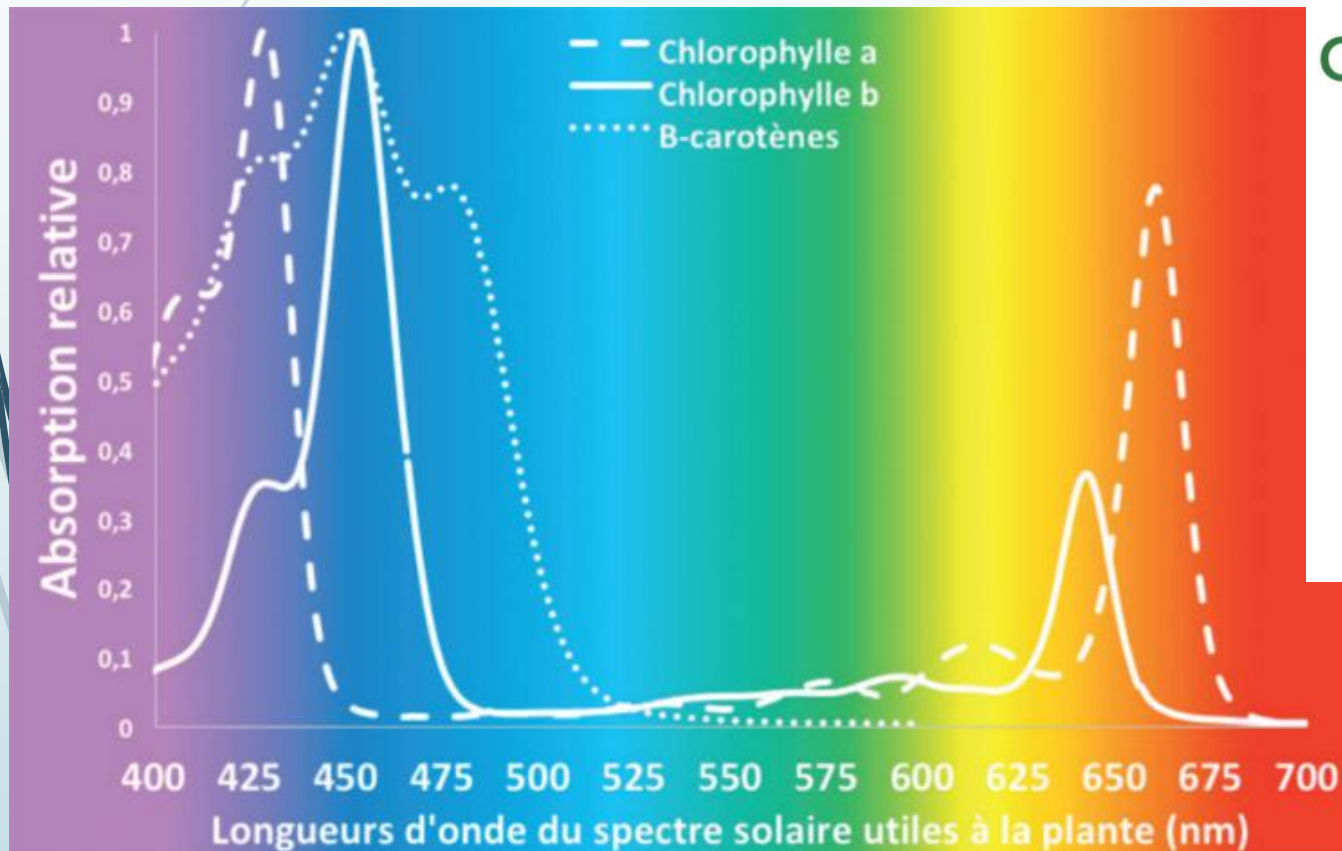
Chez les végétaux, la lumière intervient aussi bien par la fourniture d'énergie pour la photosynthèse, que, dans la croissance (photopériodisme) et le développement (induction florale, levée de dormance, ...). Pour la lumière trois aspects doivent être pris en considération : l'intensité, la qualité et la périodicité.

## ❖ Intensité de la lumière :


- Pour chaque espèce végétale, on a une intensité lumineuse minimale, appelée « **point de compensation lumineux** », nécessaire à la photosynthèse et à la croissance de la plante. Ce point de compensation varie selon qu'il s'agit d'espèces vivant à l'ombre, ou d'espèces dites de soleil.
- En l'absence de lumière, ou pour des intensités inférieures au point de compensation lumineux, on observe un étiolement qui se caractérise par une diminution de la photosynthèse, une diminution du poids par épuisement des réserves et **un allongement considérable des entre-nœuds** (dû à une élongation excessive des cellules), et les feuilles deviennent chlorotiques.
- Si l'intensité de la lumière est très élevée, la photosynthèse est fortement réduite, car il y a photo-oxydation de la chlorophylle, substance indispensable pour la photosynthèse. Les symptômes sur les feuilles consistent en des taches brunâtres, accompagnées parfois d'un dessèchement des fleurs et des fruits

## ❖ Qualité de la lumière :

Au sein d'un couvert végétal, chaque étage de végétation est exposée à une lumière différente tant sur le plan quantitatif que qualitatif : les étages inférieurs reçoivent un rayonnement faible et pauvre en radiations bioactives, à cause de l'absorption des longueurs d'onde favorables à la photosynthèse (rouge et bleu) par le feuillage des parties supérieures.



Chlorophylle b est soluble en milieu aqueux que la chlorophylle a



❖ **Périodicité de la lumière** : La photopériode ou période d'éclairement peut affecter le développement de la plante. **Des écarts par rapport aux besoins peuvent conduire à une croissance anormale, des inhibitions de la floraison et des pertes de rendement.**

#### **1-4-2- Les radiations ionisantes**

Les radiations ionisantes (énergie nucléaire) peuvent provoquer des altérations chromosomiques, des perturbations des structures cytologiques, la perte de la perméabilité des membranes et divers effets au niveau moléculaire.

## 2- Les facteurs édaphiques et trophiques

Le sol constitue le milieu d'approvisionnement normal des plantes en substances minérales, et en eau, ainsi que le substrat de croissance des racines. Les ions provenant du sol sont répartis, en fonction des quantités retrouvées dans les tissus végétaux en :

- **Eléments majeurs** (N, P, K, Ca, Mg, S), supérieures à 0.1 % du poids sec.
- **Eléments mineurs** (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, ...) qui se trouvent en faibles quantités. Si la concentration de ces éléments se trouve en excès ou en déficit par rapport à l'optimum, des symptômes caractéristiques, et des anomalies de la croissance seront observées.



## 2-1- Salinité du sol

Elle peut être causée par excès global en sel ou par excès d'un ion déterminé : -

Salinité due au sodium ( $\text{Na}^+$ ) : Dans la nature, la plupart des cas de salinité sont dus aux sels de sodium et surtout au  $\text{NaCl}$ . Les plantes halophytes, vivant dans des zones salées, accumulent dans leurs tissus des quantités importantes de sel sans être affectées par ce sel. Par contre les plantes glycophytes (sensibles) sont éliminées de ces zones et peuvent avoir plusieurs dégâts, et parfois même la mort de la plante



la mort de la plante peut être due, soit à :

- Un effet direct du sel : phyto-toxicité
- Un effet indirect du sel : modification de la pression osmotique et déséquilibre nutritionnel.

Une plante soumise à ce type de stress, souffre d'une déshydratation osmotique (sécheresse physiologique), qui se traduit par, une perte de la turgescence, un arrêt de la croissance, une chute des feuilles et une chute du rendement. La présence excessive d'ions  $\text{Na}^+$  dans le sol inhibe l'absorption d'autres ions, notamment le  $\text{K}^+$  .

## **2-2- Salinité due au calcium (Ca<sup>++</sup>)**

Les ions Ca<sup>++</sup> en excès, augmentent le pH du sol, et immobilisent d'autres ions.

En fonction de leur sensibilité aux sels de calcium, les plantes sont classées en :

- Plantes calcifuges : non tolérantes
- Plantes calcicoles : qui solubilisent ou précipitent les sels calciques.



## 2-2- Excès ou carences en éléments nutritifs et phytotoxicité de certains ions


Les composés prélevés par les végétaux dans le sol sont classés en éléments **essentiels, indifférents ou toxiques**. En fonction de sa concentration, de sa mobilité dans le sol, et la présence ou non d'autres ions, un élément nutritif présent en grandes quantités, peut avoir des effets toxiques.

La carence en un élément entraîne des anomalies de croissance, conséquence directe de son déficit, de son immobilisation sous une forme insoluble, ou encore d'effets antagonistes d'autres composés.



**2-2-1- Les excès en ions :** Les phénomènes de toxicité par excès diffèrent selon les éléments en cause :

✓ **Le Zinc (Zn) :** la toxicité par excès de zinc se traduit par une réduction de la croissance racinaire et du développement foliaire, avec chlorose progressive ; les symptômes sont proches de ceux lors d'une carence en Mn. Le Zn étant antagoniste du Mn, son excès inhibe les enzymes ayant le Mn comme cofacteur. Le seuil de toxicité (500-800 ppm) est variable selon les espèces

- 
- ✓ **Le Bore (B)** : le bore a un seuil de toxicité très bas (0.5 ppm dans l'eau lorsqu'il est utilisé en solutions nutritives). Outre les symptômes foliaires (jaunissement marginal, taches nécrotiques brunes à l'apex et aux bords des feuilles) induisant des chutes de rendement, l'effet principal se porte sur la floraison, qui est partiellement ou totalement inhibée.
  - ✓ **Le Cuivre (Cu)** : des teneurs excessives en Cu dans les sols inhibent la croissance des racines et diminuent le rendement des récoltes. Le feuillage présente une chlorose proche de celle observée lors de carence en Fe (le remplacement du fer par le cuivre inactive certaines enzymes).


- ✓ **L'Aluminium (Al)** : dès que la concentration en Al soluble dans le sol dépasse 10 ppm, la phytotoxicité se manifeste. Chez le riz et les céréales, on observe de petites taches brunes à la pointe et au bord des feuilles, des racines courtes, tordues et décolorées.
- ✓ **Le Nickel (Ni)** : le nickel est toxique à faible concentration (40 ppm). Les symptômes sont comparables à ceux de la carence en Mn (chlorose internervienne et marginale des feuilles avec de petits points nécrotiques).
- ✓ **Le Cadmium (Cd)** : chez le maïs, le cadmium a un seuil de phytotoxicité de 5 ppm, avec une forte réduction de la croissance des racines, suivie d'un raccourcissement des entrenœuds et d'une diminution de la biomasse. Dans les cas extrêmes (plus de 25 ppm), les premières feuilles formées jaunissent, une chlorose généralisée du feuillage s'installe, suivie de fanaison progressive.




**2-2-2- Les carences en ions** : Le déficit en certains éléments peut être à l'origine de différentes anomalies de croissance des végétaux :

- ✓ **L'azote (N)** : les besoins en azote sont très importants, le symptôme de carence le plus généralisé consiste en une chlorose plus ou moins intense. La disparition progressive des chlorophylles démasque les xanthophylles et les carotènes, de sorte que les feuilles rougissent ou deviennent oranges ; les rameaux, les tiges et parfois même l'écorce sont rouges. On note une défoliation précoce, l'arrêt de la croissance et le feuillage est mince et peu dense. Chaque espèce réagit d'une façon particulière à la carence en azote ; chez les céréales, le tallage est réduit, les tiges sont rouges, les grains sont petits, de moins bonne qualité, avec une maturation précoce. Chez certaines espèces d'arbres fruitiers, la floraison est réduite et les bourgeons floraux jaunissent.








✓ **Le Phosphore (P)** : le phosphore entre dans la constitution des acides nucléiques et des phospholipides ; comme il est le constituant essentiel des cofacteurs transporteurs d'énergie (ATP, GTP, UTP,...). Les symptômes de carence consistent en une réduction de la croissance des tiges et des racines, les feuilles sont petites, vert foncé, avec des reflets bronzés et tombent précocement ; la floraison est retardée, réduite ou inhibée. Les fruits sont rares, de petite taille et de mauvaise qualité ; leur coloration est variable (avec une dominance du vert) et leur saveur est acide.




✓ **Le Potassium (K)** : Le potassium intervient dans la plupart des processus métaboliques (synthèse et transfert des glucides ; intervient directement dans les mécanismes de perméabilité cellulaire ; la mitose exige du potassium pour se dérouler normalement, ...). Le potassium est présent dans les tissus végétaux à des concentrations de 1 à 2 % de la matière sèche. Sa carence altère la photosynthèse, accroît la respiration et altère la synthèse des chlorophylles. Des chloroses internerviennes, une réduction de la lignification des parois, une chute des fruits,... peuvent être observées.

- 
- ✓ **Le Calcium (Ca)** : constituant des parois (sous forme de pectate de calcium dans le ciment intercellulaire), le calcium participe au maintien des structures de la cellule, au transport des glucides, à la perméabilité cellulaire, et il est également un cofacteur pour certaines enzymes, et joue un rôle dans l'assimilation des nitrates. En cas de carence, les jeunes feuilles sont tordues et le limbe est chlorotique. Souvent la carence en Ca est associée à des stress hydriques induisant des dégâts rapides.
  - ✓ **Le Magnésium (Mg)** : Le magnésium est présent dans la molécule de chlorophylle, et il intervient comme cofacteur dans la plupart des réactions de phosphorylation. La carence en Mg se traduit par un arrêt de la synthèse chlorophyllienne, une chlorose, quelquefois accompagnée d'une pigmentation orange à rouge, se développe chez les feuilles les plus âgées, puis les plus jeunes. Seules les nervures restent vertes. La taille des fruits et des racines peut être altérée.

- 
- ✓ **Le Bore (B)** : Les plantes ont de très faibles besoins en bore, cependant son intervention est obligatoire dans le transport des glucides. La carence en cet élément se traduit par de nombreux désordres métaboliques (perturbation de la synthèse ou de la distribution des substances de croissance, accumulation des sucres dans les feuilles, vieillissement prématuré des cellules, gonflement et éclatement des tubes polliniques, ...).
  - ✓ **Le Fer (Fe)** : Le fer est un constituant des cytochromes, intervient dans les réactions d'oxydoréduction, comme il est impliqué dans la synthèse des chlorophylles. La carence en fer se traduit par une chlorose des espaces internerviens qui débute par les feuilles les plus jeunes ; parfois la synthèse chlorophyllienne est totalement inhibée, les feuilles sont jaunes ou blanches et seules les nervures restent vertes. Les zones marginales se dessèchent et meurent, la croissance est ralentie, les tiges sont affaiblies et la plante peut dépérir.

- 
- ✓ **Le Zinc (Zn)** : le zinc intervient dans la synthèse de l'auxine et dans la composition de nombreuses enzymes. La carence en Zn. Se traduit par une chlorose des espaces internerviens du limbe foliaire, une réduction dans la dimension des feuilles ainsi que dans l'élongation des tiges (entre-nœuds courts), souvent la chute des feuilles est précoce et le rendement est fortement diminué.
  - ✓ **Le Cuivre (Cu)** : le cuivre est présent dans de nombreuses enzymes, il catalyse les transferts d'électrons et certaines phases de la photosynthèse. La carence en cuivre consiste en une réduction de la taille des feuilles et une coloration bleu vert du feuillage. Chez les céréales, on peut noter une altération des pièces florales et une inhibition de la production de grains.

- 
- ✓ **Le Molybdène (Mo)** : le molybdène est le constituant principal de deux enzymes du métabolisme de l'azote : la nitrogénase et la nitrate réductase. La carence en Mo se marque comme déficience en N ; on note une réduction de la croissance et de la floraison, et des chloroses des feuilles. Chez les légumineuses la fixation de l'azote atmosphérique est inhibée.

### **3- Les facteurs atmosphériques**

Les polluants (déchets et effluents poussiéreux et gazeux) émis dans l'atmosphère peuvent s'y maintenir tels quels (pollution directe), ou entrer en réaction avec d'autres composants de l'air (pollution secondaire) pour donner naissance à des composés nouveaux (ozone, ...). Parmi les agents les plus dangereux présents dans l'air des villes et des centres industriels, on trouve : le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les composés fluorés, les oxydes d'azote, l'ozone, les composés chlorés, l'ammoniac, les poussières (cimenterie), et beaucoup d'autres agents qui peuvent avoir des effets néfastes et très destructifs pour les végétaux



### Oxydes d'azote - NO<sub>x</sub>

Emissions dues aux transports routiers, aux secteurs de l'industrie et de production d'énergie. Participent à la formation de l'ozone et des PM. Eutrophisation des écosystèmes. Impact sur la santé.



### Composés Organiques Volatiles - COV

Composés naturellement émis par la végétation. L'industrie et la peinture sont des sources importantes. Participent à la formation de l'ozone. Certains sont très toxiques pour la santé.



### Ammoniac - NH<sub>3</sub>

Provient essentiellement de l'agriculture (engrais organiques ou minéraux). Réagit avec d'autres polluants pour former des PM. Risque d'eutrophisation des écosystèmes.



### OZONE - O<sub>3</sub>

Polluant secondaire formé à partir d'autres polluants (NO<sub>x</sub> et COV) sous l'action du soleil. Très phytotoxique. Fort impact sur la santé (irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, crises d'asthme).



### Particules fines - PM

Grande diversité de produits provenant de la combustion de la biomasse (bois), des transports... Emis directement ou formés par transformation d'autres polluants. Fort impact sur la santé (poumons).



### Métaux lourds

Proviennent de la consommation de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Toxicité pour les écosystèmes et impact pour la santé (en particulier Plomb et Mercure).



### Dioxyde de Soufre - SO<sub>2</sub>

En plus de son origine volcanique, provient de la consommation de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Réagit avec l'eau pour former les pluies acides. Cause des problèmes respiratoires.

## **L'impact direct sur les végétaux**

La réponse physiologique des plantes à la pollution de l'air dépend à la fois des caractéristiques de la plante et de la nature de la pollution.

Les polluants gazeux pénètrent dans la plante comme les autres gaz atmosphériques (CO<sub>2</sub>, Oxygène,...), principalement par l'intermédiaire des stomates présents sur les surfaces foliaires. L'ozone, par exemple, est bien connu pour affecter des végétaux particulièrement sensibles. Cette pollution dite « photochimique » peut conduire à la formation de nécroses ou de taches sur la surface des feuilles et à la réduction de la capacité de fixation du CO<sub>2</sub> lors de la photosynthèse. A plus long terme, ces effets peuvent se traduire par une dégradation du métabolisme de la plante et une réduction de sa croissance, ce qui peut induire une perturbation de la chaîne alimentaire.

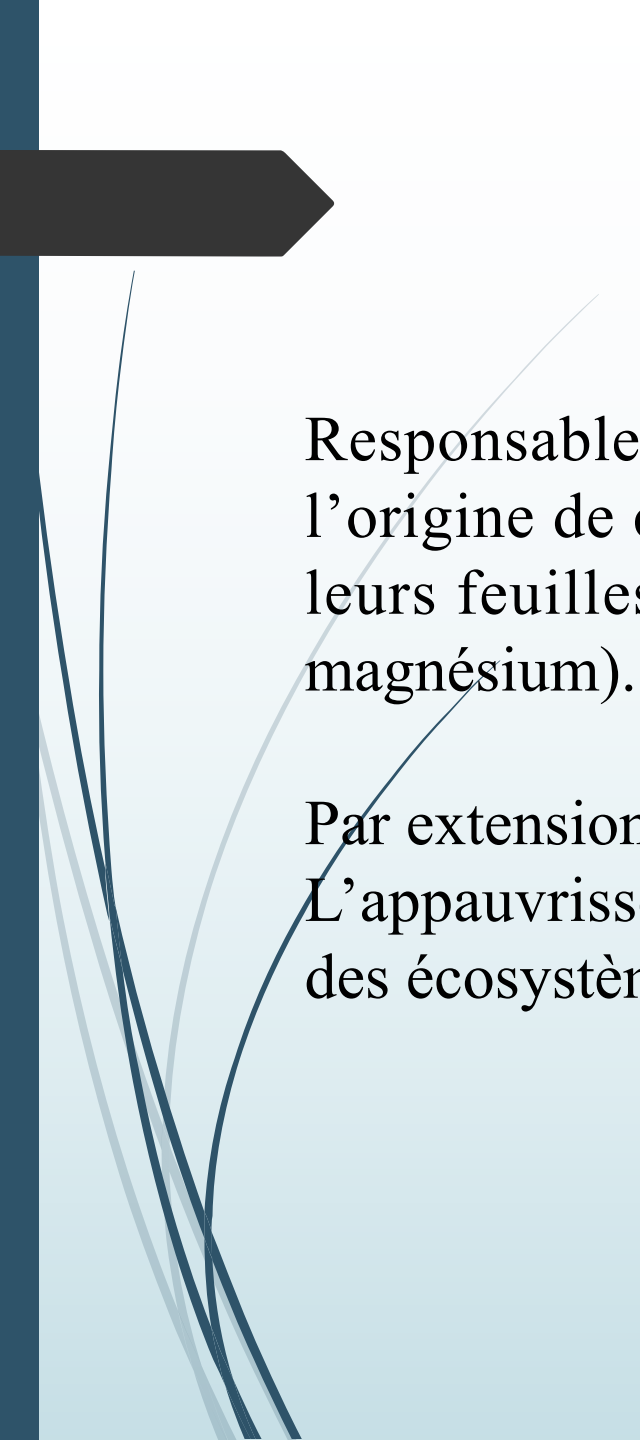


## Le phénomène des pluies acides

Les pluies acides correspondent à des précipitations anormalement acides (neiges, pluies, brouillards). Elles sont indirectement délétères pour la flore, par acidification des lacs et cours d'eau et appauvrissement des sols par perte des éléments minéraux nutritifs. Par ailleurs, les conifères peuvent être victimes de dépérissement suite à une exposition importante à ce type de précipitations.

L'expression « pluies acides » englobe non seulement les dépôts humides liés aux précipitations, mais aussi les dépôts secs de particules de sulfate et d'acide nitrique gazeux.

Les principales espèces chimiques en cause dans ce phénomène sont l'acide sulfurique et l'acide nitrique, produits dans l'atmosphère par oxydation de polluants préalablement émis dans l'atmosphère (respectivement le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote). L'acide nitrique et l'acide sulfurique peuvent retomber très loin des lieux d'émission de ces polluants : il s'agit d'une pollution sans frontière.



Responsables notamment du dépérissement des forêts, les pluies acides sont à l'origine de carences minérales des plantes, ce qui entraîne le jaunissement de leurs feuilles suite au lessivage des éléments minéraux (calcium, potassium, magnésium).

Par extension, les pluies acides menacent également la faune et la flore aquatique. L'appauvrissement de la biodiversité perturbe ensuite le fonctionnement général des écosystèmes.

<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/impacts-polluants-air-sur-vegetation/>