

Dépôt



Mécanismes

Fiche détaillée

Niveau ★★★

(A partir de la 1ère)

I. Introduction

Les mécanismes de dépôt comprennent à la fois les phénomènes qui se font par l'intermédiaire des précipitations, ou dépôt humide, et qui sont traités dans la fiche "dépôt acide", et le dépôt sec. Ce dernier phénomène, qui est traité ici, traduit l'absorption des constituants chimiques au niveau de la surface (sol, végétation,...). Pour décrire et modéliser ce processus, on utilise un modèle théorique qui est basé sur la séparation des contributions des principaux processus impliqués (dynamique, physiologie de la plante...), et qui s'appuie sur une analogie avec la loi d'Ohm.

I.1. Analogie avec la loi d'Ohm

Dans cette analogie, le flux vertical de dépôt d'un constituant chimique est assimilé au courant qui circule dans un circuit électrique. La différence de concentration X du gaz considéré entre deux hauteurs équivaut quant à lui à la différence de potentiel. On peut définir ainsi une grandeur qui, comme dans un circuit électrique, pourra être assimilée à une résistance (totale), comme le rapport entre la différence de potentielle et le courant:

$$R_{tot} = \frac{X(z_1) - X(z_2)}{\Phi_X}$$

Par convention, le flux de dépôt est considéré comme négatif (le polluant est transporté de l'atmosphère vers la surface). Si on considère que la concentration du polluant est nulle à la surface (tout le polluant est détruit au contact de celle-ci), alors le flux de dépôt est donc linéairement dépendant de la concentration atmosphérique, ce qui donne, pour une hauteur z donnée:

$$R_{tot}(z) = -\frac{X(z)}{\Phi_X} = \frac{1}{V_d(z)}$$

On définit ainsi une vitesse de dépôt V_d qui est l'inverse de la résistance totale (elle peut être assimilée à la conductance des circuits électriques). Elle indique l'efficacité de la surface à capter le gaz à un moment donné, et intègre l'effet de tous les processus impliqués dans le dépôt. Cette résistance est ainsi composée de plusieurs résistances représentant chacun de ces processus, ces résistances peuvent être en série ou en parallèle selon que les processus représentés sont "successifs" ou en "concurrence". En général, la résistance totale est considérée comme la somme de trois résistances en série décrivant le transfert vertical:

$$R_{tot} = R_a + R_b + R_c$$

avec:

- R_a résistance aérodynamique. C'est la résistance atmosphérique au transfert vertical d'un gaz dans la couche de surface. Elle dépend principalement de l'intensité de la turbulence dans l'atmosphère.

-Rb résistance de la sous-couche laminaire. Cette résistance est associée au transfert des gaz à travers la couche quasi-laminaire qui est en contact avec la surface. Elle dépend à la fois de la turbulence atmosphérique et de la diffusion moléculaire du gaz considéré (qui dépend elle-même de l'épaisseur de la couche, du gradient de concentration dans cette couche, et d'un coefficient de diffusion dépendant de la température et de la taille de la molécule du gaz étudié).

Les sommes des deux termes Ra + Rb représentent la résistance atmosphérique au transfert vertical d'un gaz.

- Rc: résistance de surface elle-même. Cela représente la résistance globale de la surface à l'absorption ou à la destruction de ce même gaz. Ce terme est en général difficile à estimer. Expérimentalement, on mesure les termes Vd, Ra, et Rb, et on en déduit Rc. Les valeurs de Rc ainsi estimées peuvent alors être reliées aux caractéristiques de la surface. Pour les surfaces avec couvert végétal, le modèle le plus fréquemment utilisé pour décrire Rc est celui connu comme modèle de résistance de la "grande feuille". Dans ce cas-là, on décompose les processus mis en jeu dans le dépôt en cinq termes.

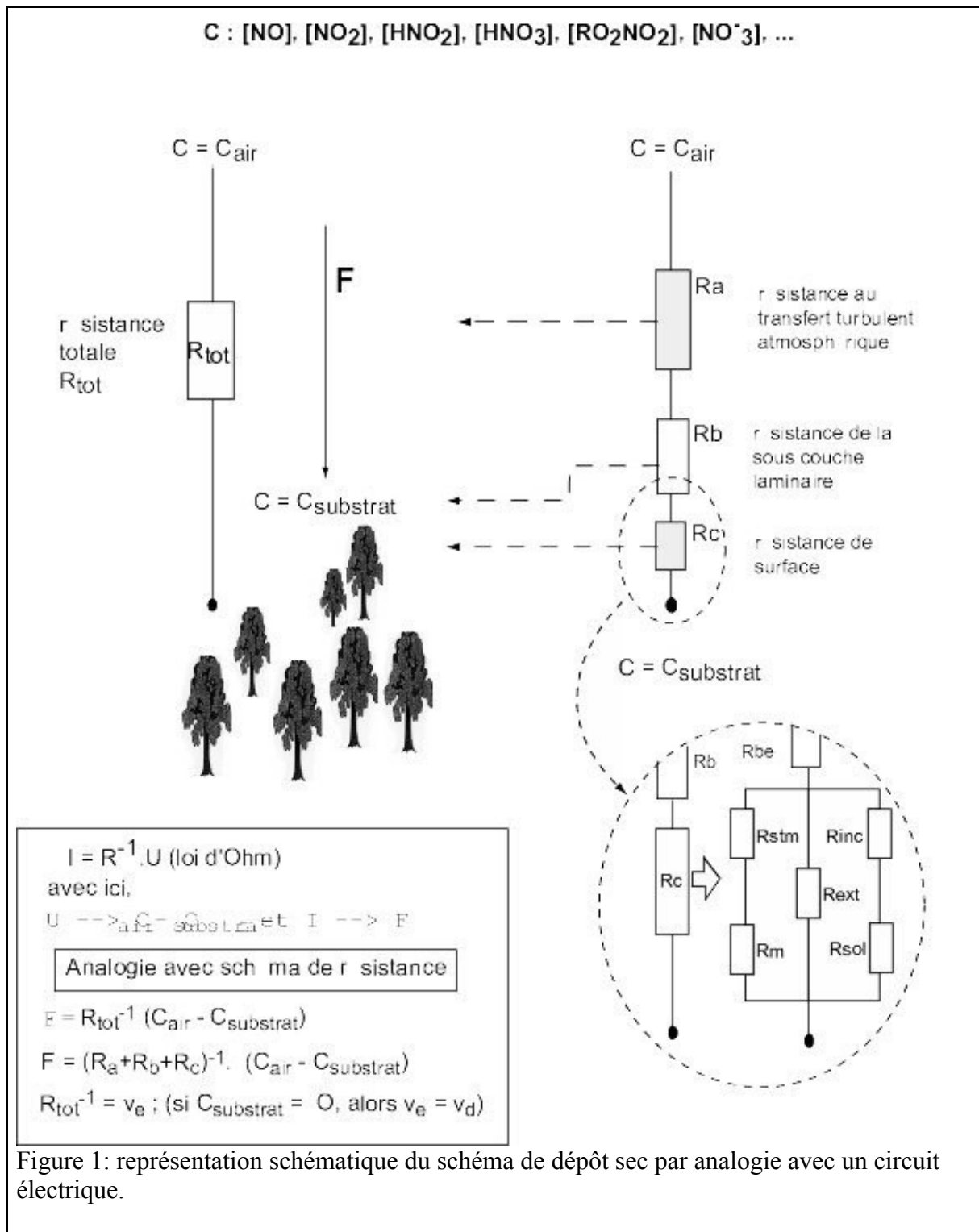
On a donc:

$$R_c = \left[\frac{1}{R_{stm} + R_m} + \frac{1}{R_{ext}} + \frac{1}{R_{inc} + R_{sol}} \right]$$

Avec :

- Rstm: résistance stomatale (résistance du transfert des polluants au travers de stomates ou pores des feuilles)
- Rm: résistance du mésophylle (tissu des feuilles)
- Rext: résistance des cuticules et de la surface extérieure des feuilles
- Rinc: résistance à l'écoulement sous la canopée (couvert)
- Rsol: résistance du sol

Comme explicité plus haut, le dépôt peut se faire en série ou en parallèle. Par exemple un polluant ne peut être déposé sur le mésophylle (c'est-à-dire le tissu constitutif des feuilles) que s'il a déjà pénétré au travers de stomates. Les résistances Rstm et Rm sont donc nécessairement en série. De la même façon, pour qu'un polluant se dépose sur le sol (Rsol), il faut d'abord qu'il ait traversé l'intégralité du couvert qui lui oppose une certaine résistance (Rinc). Le dépôt d'un polluant peut se faire en fin simultanément dans le tissu des feuilles, à leur surface, ou au sol, d'où la mise en parallèle des trois terme Rstm+Tm, Rext et Rinc+Rsol.

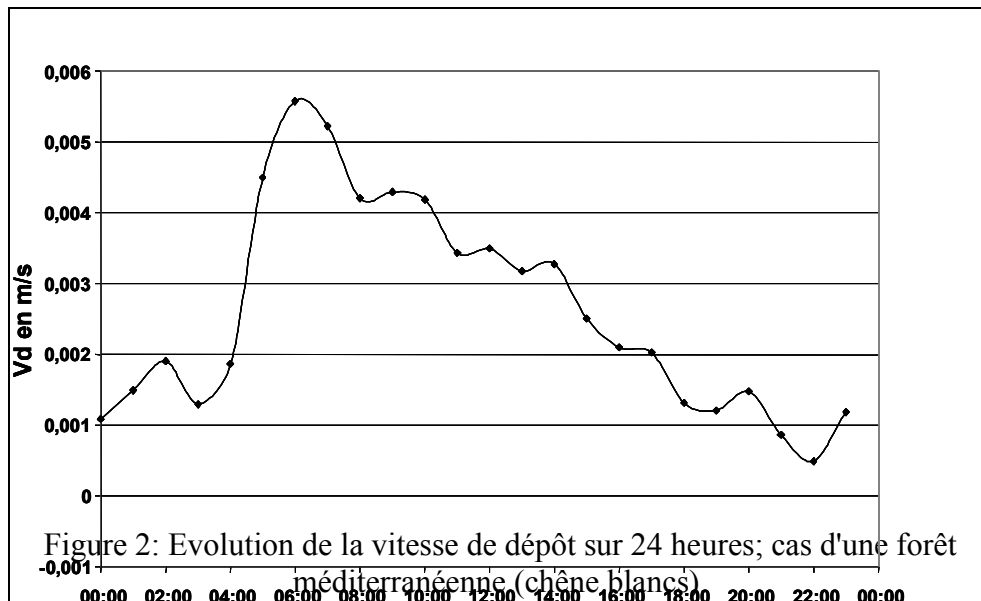


Le tableau 1 illustre la variabilité des vitesses de dépôt de l'ozone pour différents types d'écosystèmes; de la toundra à la prairie, en passant par différents types de cultures et les sols désertiques. On peut constater que le dépôt est minimisé par l'absence de végétation (désert), ce qui a pour conséquence d'accroître la résistance du couvert. On observe aussi que le dépôt est plus important le jour (j) que la nuit (n) en raison de la plus forte turbulence diurne. Cet effet peut aussi être observé sur la figure 2 qui montre l'évolution de la vitesse de dépôt de l'ozone sur un écosystème de forêt méditerranéenne. Le tableau 2 montre la gamme de variation de la vitesse de dépôt pour une variété de composés en traces et pour trois types de surface (continent,

océans, glace/neige). La forte valeur de la vitesse de dépôt de l'acide nitrique HNO_3 montre la grande affinité de ce composé avec la surface.

R_a	R_b	R_c	V_d Gamme (moyenne)	Eco-système
5-25	20-75	25-200	0,2-1,4	Prairie
50-100	80-130	360-780	0,24 (j) -0,12 (n)	Toundra
100-500	-	1000-4000	0,01-0.15 0,1 (j) - 0,04 (n) (0,065)	Sol désertique
			0,1-0,625 0,1-0,42 0,1-0,95	Maïs Soja Prairie

Tableau 1: Quelques exemples de valeur des résistances R_a , R_b et R_c , et des vitesses de dépôt V_d pour l'ozone (cm/s) pour différents types d'écosystèmes.



Espèces	Continents	Océans	Glace/neige
CO	0,03	0	0
N ₂ O	0	0	0
NO	0,016	0,003	0,002
NO ₂	0,1	0,02	0,01
HNO ₃	4,0	1,0	0,5
O ₃	0,4	0,07	0,07
H ₂ O ₂	0,5	1,0	0,32

Tableau 2: Quelques exemples de valeur des vitesses de dépôt Vd (cm/s) pour différents types d'écosystèmes.

I.II. Effet du dépôt sec

Le dépôt sec (en particulier de l'ozone) se traduit par des nécroses et des perturbations dans le processus de photosynthèse. La forte quantité de polluants mobilise des quantités importantes de matière et d'énergie dans des processus de maintenance (réparation et détoxification). Cette énergie et ce carbone ne sont donc plus disponibles pour participer à la croissance de la plante. Les écosystèmes soumis à des doses chroniques de polluants voient ainsi leur productivité baisser. Comme on peut le voir sur la figure 4, cette perte peut être comprise, selon les années (conditions météorologiques et degré de pollution) entre 5 et plus de 20%.

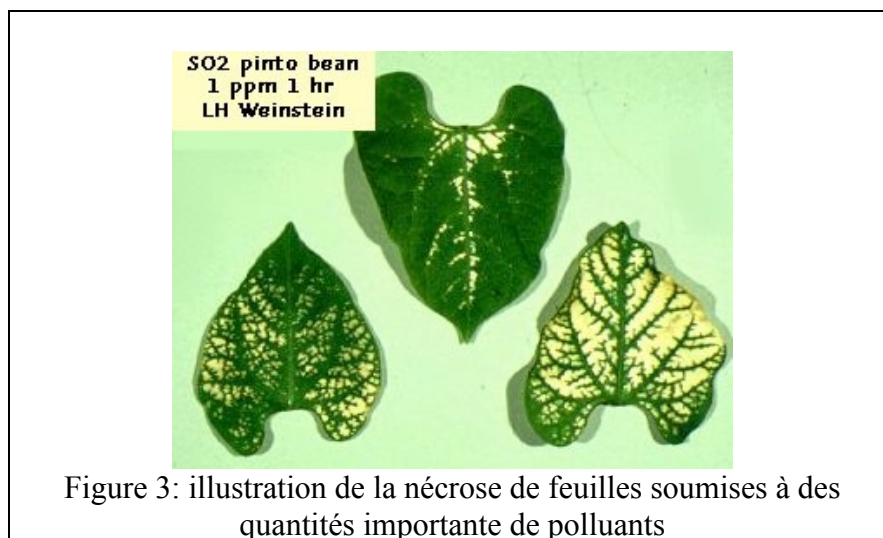


Figure 3: illustration de la nécrose de feuilles soumises à des quantités importantes de polluants

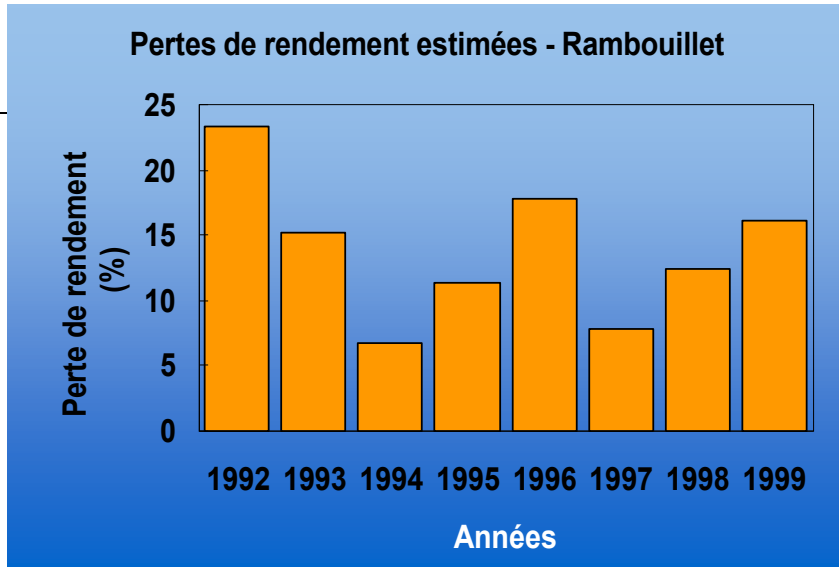


Figure 4: Pertes en rendement liées à la pollution à l'ozone; estimation INRA, région de Rambouillet