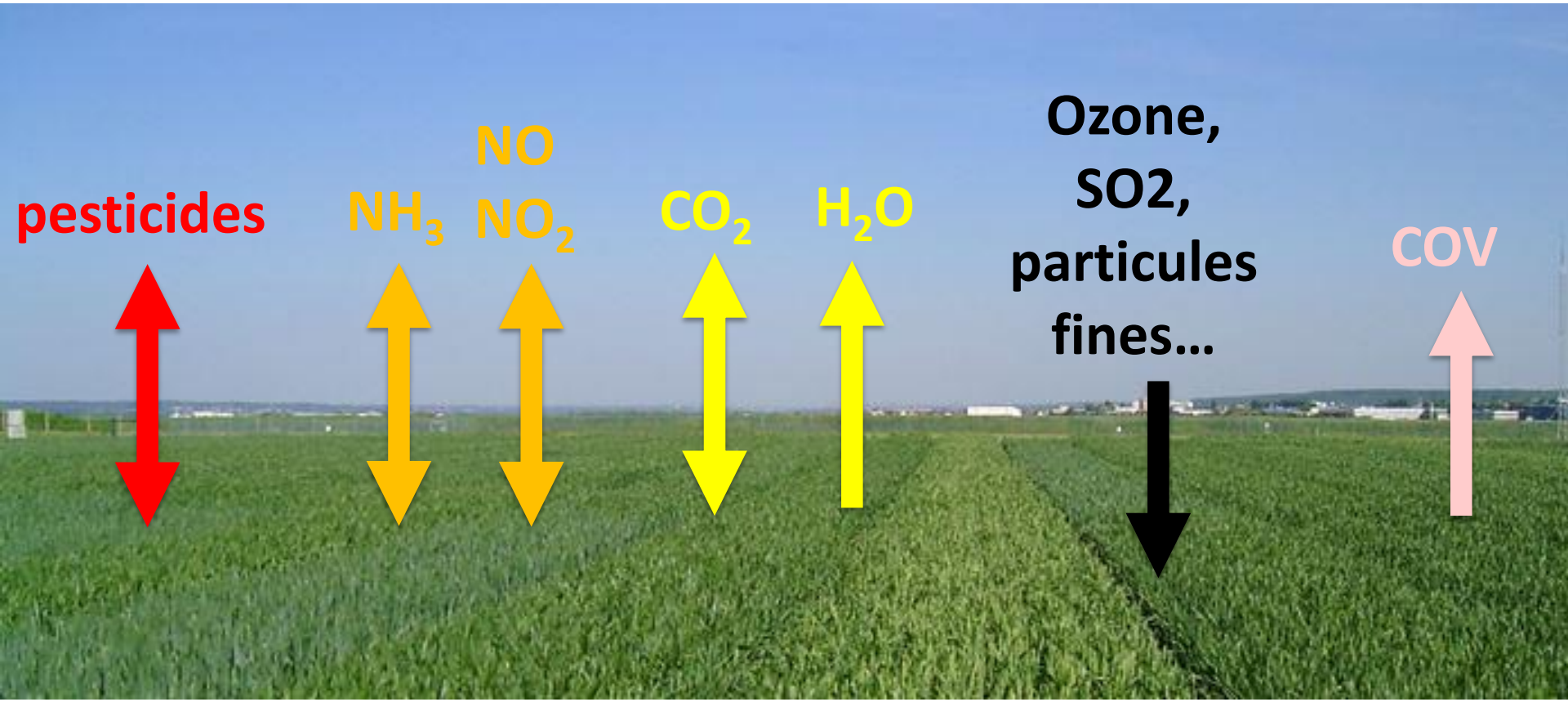
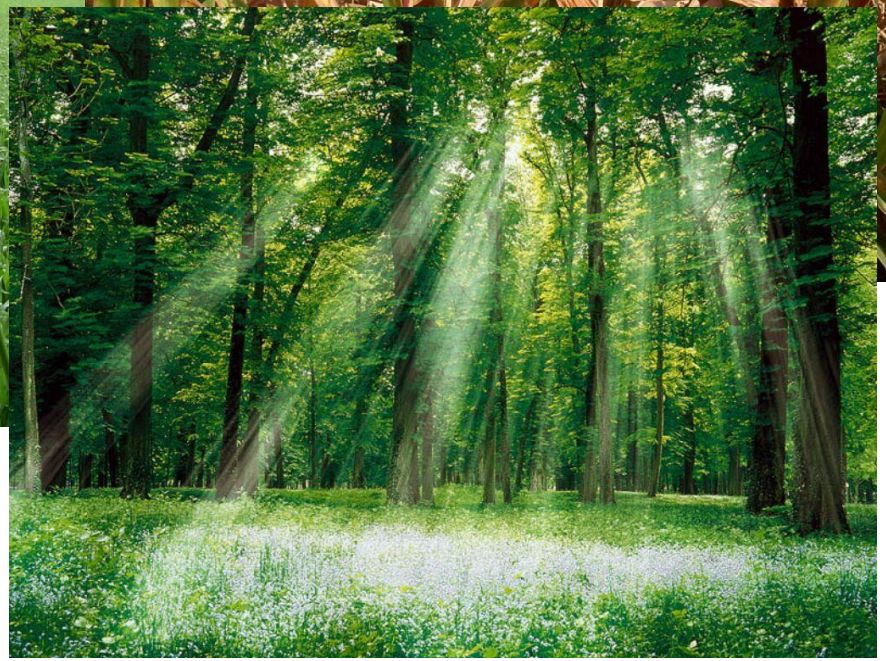
# Effets des pollutions atmosphériques sur les cultures et les forêts

**Jean-François Castell**
castell@grignon.inra.fr

## En guise d'introduction…



## En guise d'introduction…

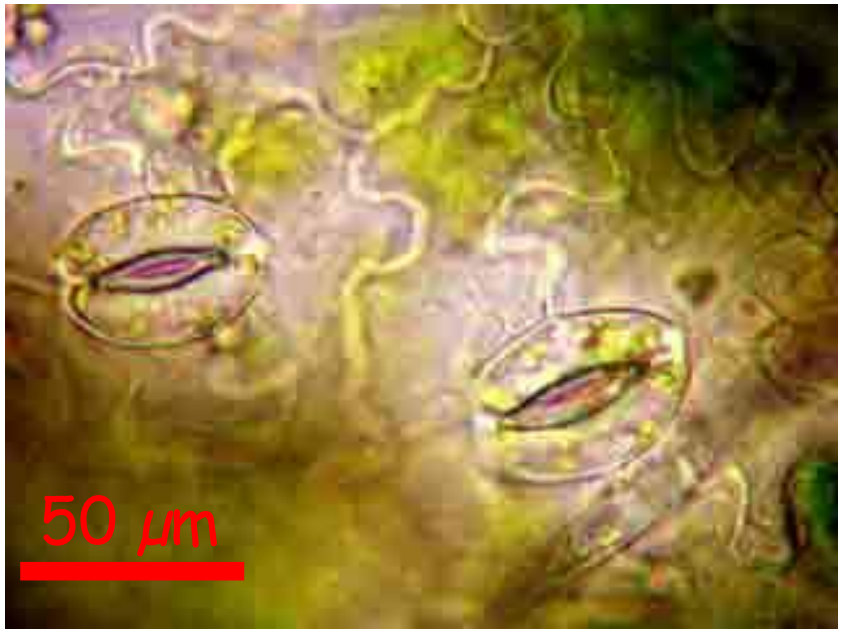


**Cultures :**
**3 à 6 m² de feuilles pour 1m² de sol**

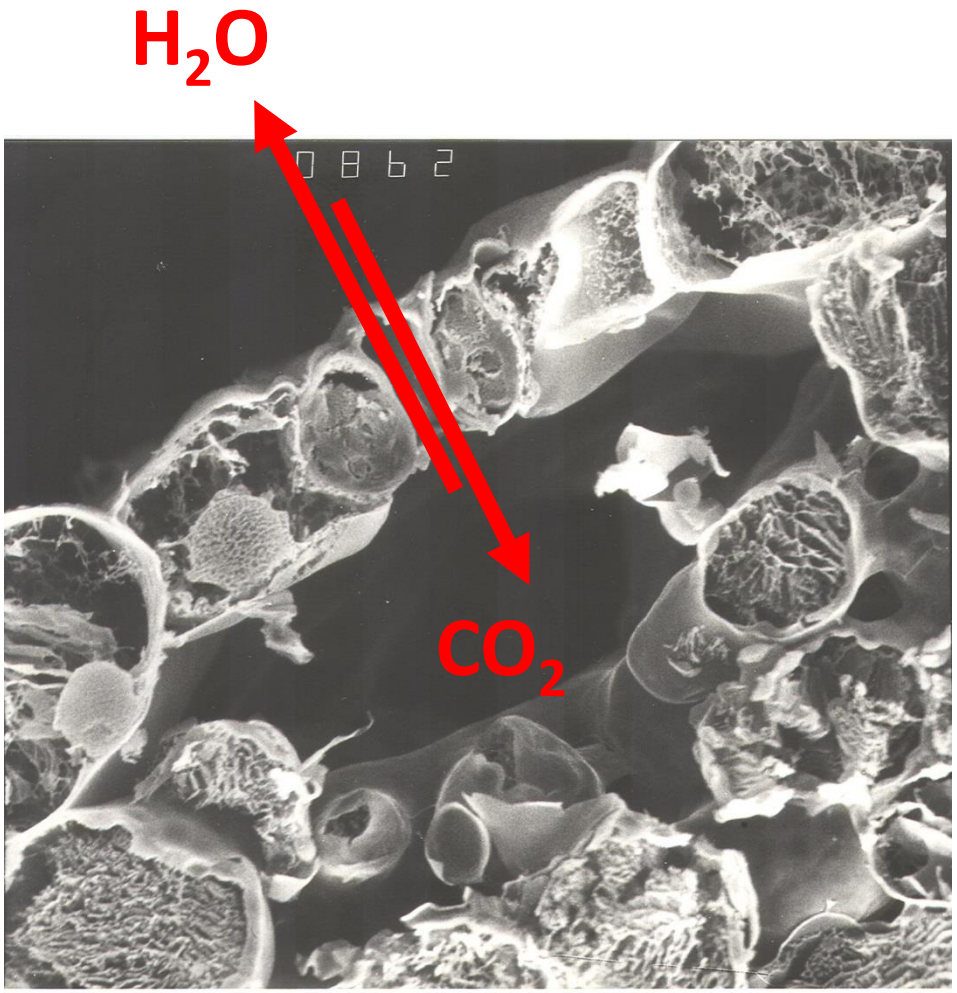
**Forêts : jusqu'à 20 m² de feuilles pour 1m² de sol**

## En guise d'introduction…

**Les stomates, organes de régulation des échanges entre végétation et atmosphère**



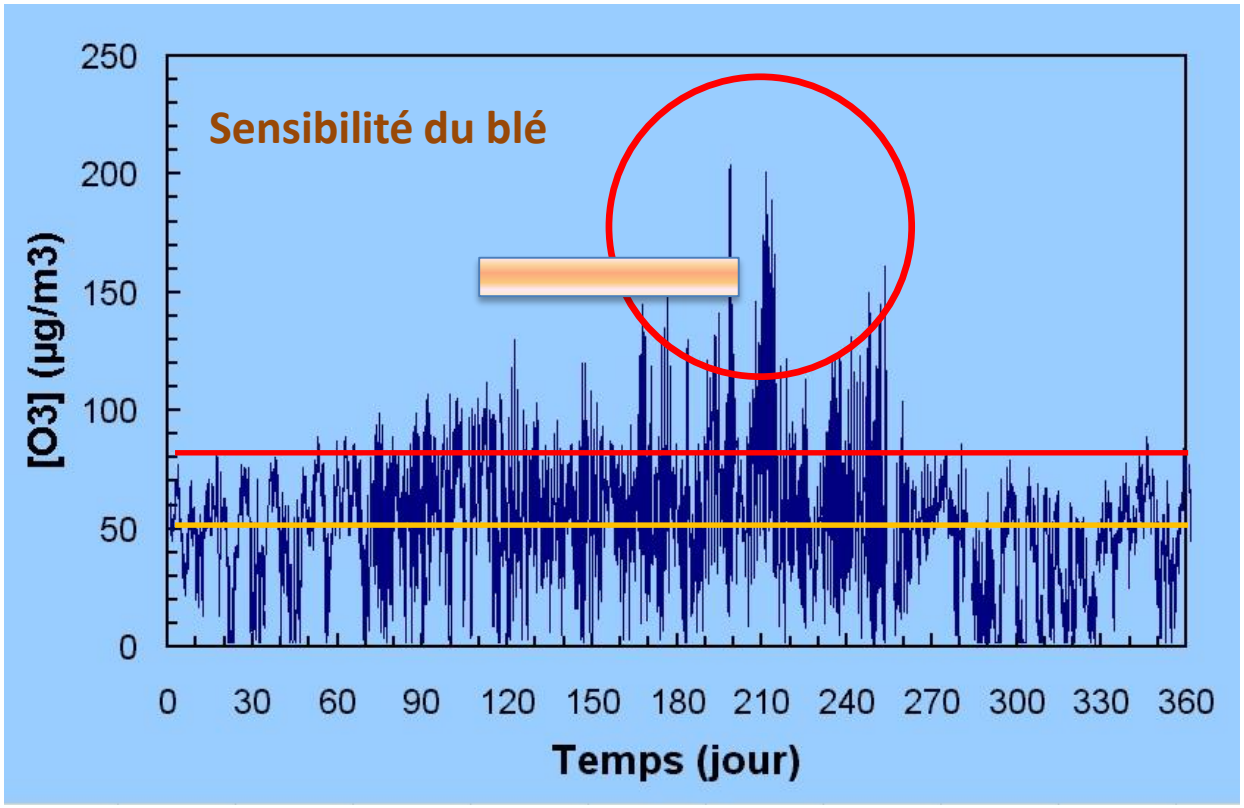

**Epiderme d'Erigeron**




Cliché : INRA Nancy

## En guise d'introduction…

### Les pollutions atmosphériques varient dans l'espace et dans le temps




**Pics de pollution**
**200 µg/m3**
**(100 ppbv)**

**« niveau critique »**
**80 µg/m3**
**(40 ppbv)**

**dépassement du niveau critique :**
**959 heures**

**Moyenne :**
53 µg/m3
(26,5 ppbv)

# Effets des pollutions atmosphériques sur les cultures et les forêts

- Effets sur les rendements
- Effets sur la qualité des produits
- Effets sur la fertilité des sols et la valeur écologique des milieux

# Les effets sur les rendements

## Des effets biologiques variés, pas toujours spécifiques :

| Impact biologique/biochimique | Polluant |
|---|---|
| Agent Mutagène | $SO_2$ |
| Agent Oxydant | $O_3$, PAN |
| Agent Réducteur | $SO_2$, $NO_2$, $H_2S$ |
| Agent Acidifiant | $SO_2$, $NO_2$, HF, HCl |
| Eutrophisation (N) | NHy ($NH_3$+$NH_4^+$), NOx |
| Perturbation des équilibres hormonaux | $O_3$, PAN, $SO_2$, HF, $C_2H_4$ |

## Les effets sur les rendements : l'exemple de l'ozone

- Un **oxydant** puissant

- **Un polluant « secondaire » :**

précurseurs azotés (NOx) : 90% d'origine anthropique
10% d'origine naturelle

précurseurs carbonés (COV) : 49% d'origine anthropique
51% d'origine naturelle

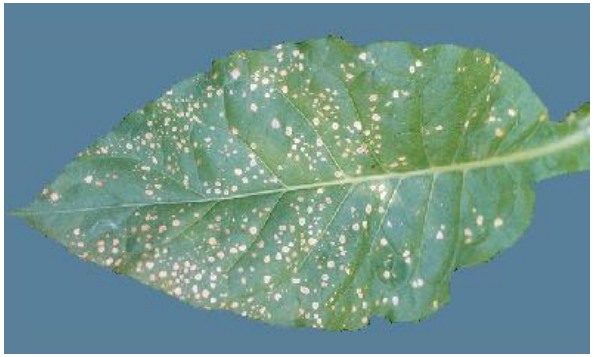
- **Une chimie compliquée** :
plusieurs centaines de réactions, certaines d'entre elles mettant en jeu des processus photochimiques :

« le polluant du beau temps »

# Les effets sur les rendements : l'exemple de l'ozone

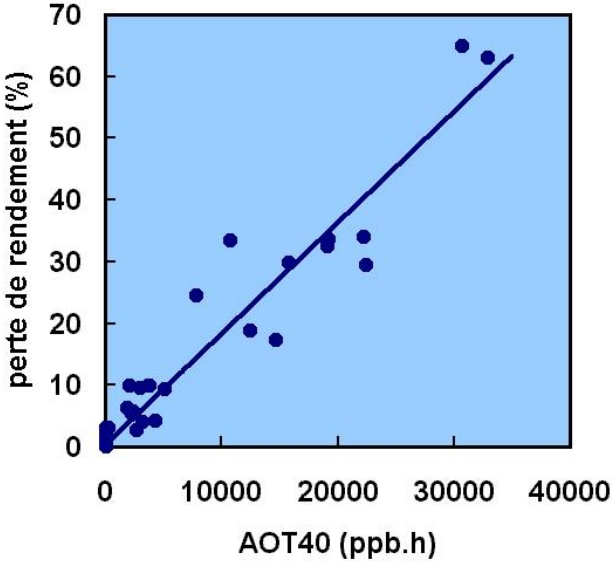
## Des effets qui varient avec la concentration et le temps d'exposition

**Fortes concentrations : dégâts foliaires (régions méditerranéennes)**



**Concentrations moyennes : perturbations du métabolisme et diminution des rendements**

Feuille de blé (cv Soissons)
Grignon 2009




Relation dose-impact pour le blé

# Les effets sur les rendements : l'exemple de l'ozone

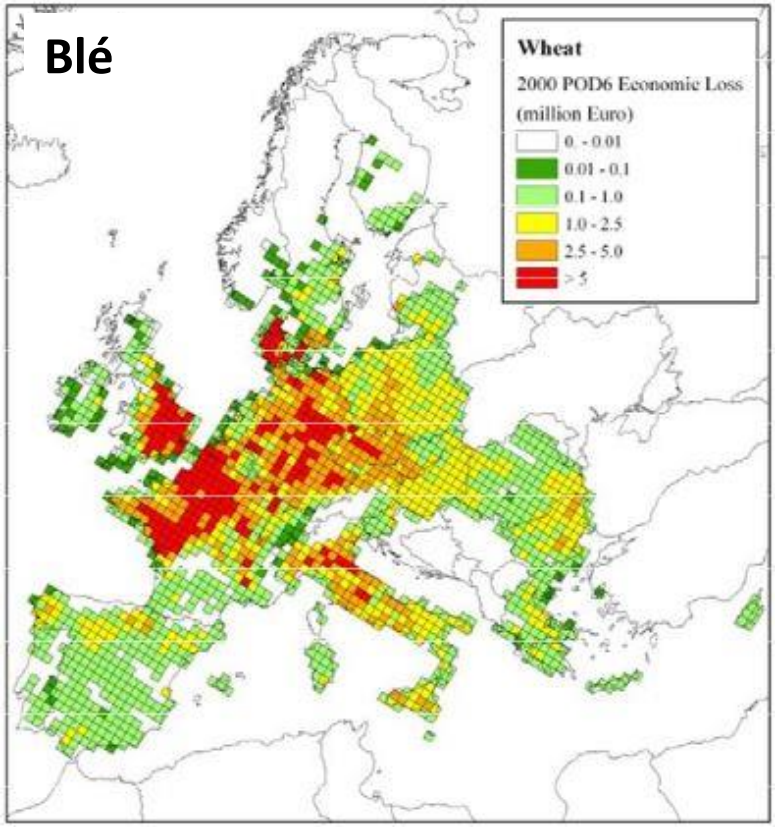
## Des effets qui varient en fonction des espèces cultivées

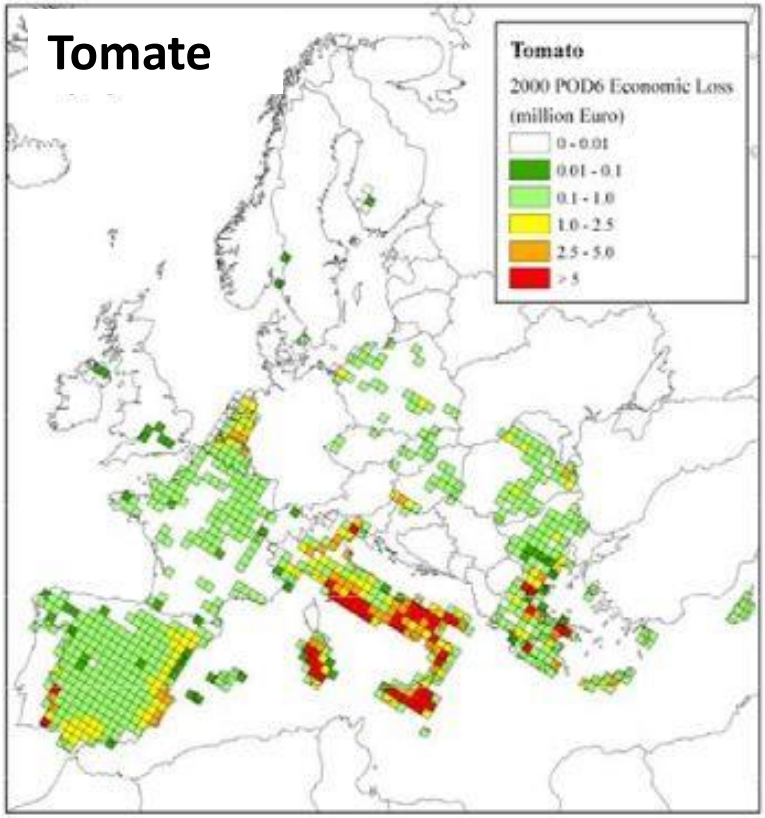
| Espèces sensibles à l'ozone | Espèces modérément sensibles à l'ozone | Espèces tolérantes à l'ozone |
|---|---|---|
| Blé<br>Soja<br>Cotonnier<br>Melon<br>Légumes à gousse (Haricots, pois, fèves…)<br>Navet<br>Oignon<br>Laitue<br>Tomate | Betterave<br>Colza<br>Pomme de terre<br>Tabac<br>Riz<br>Vigne<br>Chou<br>Maïs<br>Luzerne | Orge<br>Prunier<br>Fraisier<br>Seigle<br>Broccoli |

**Sensibilité à l'ozone des rendements des principales espèces agricoles et horticoles (Mills *et al*, 2007, ICP Vegetation, 2011)**

# Les effets sur les rendements : l'exemple de l'ozone

**Pour les espèces sensibles, les pertes de rendement sont de l'ordre de 10% dans nos régions, et peuvent dépasser 30% en zone méditerranéenne**

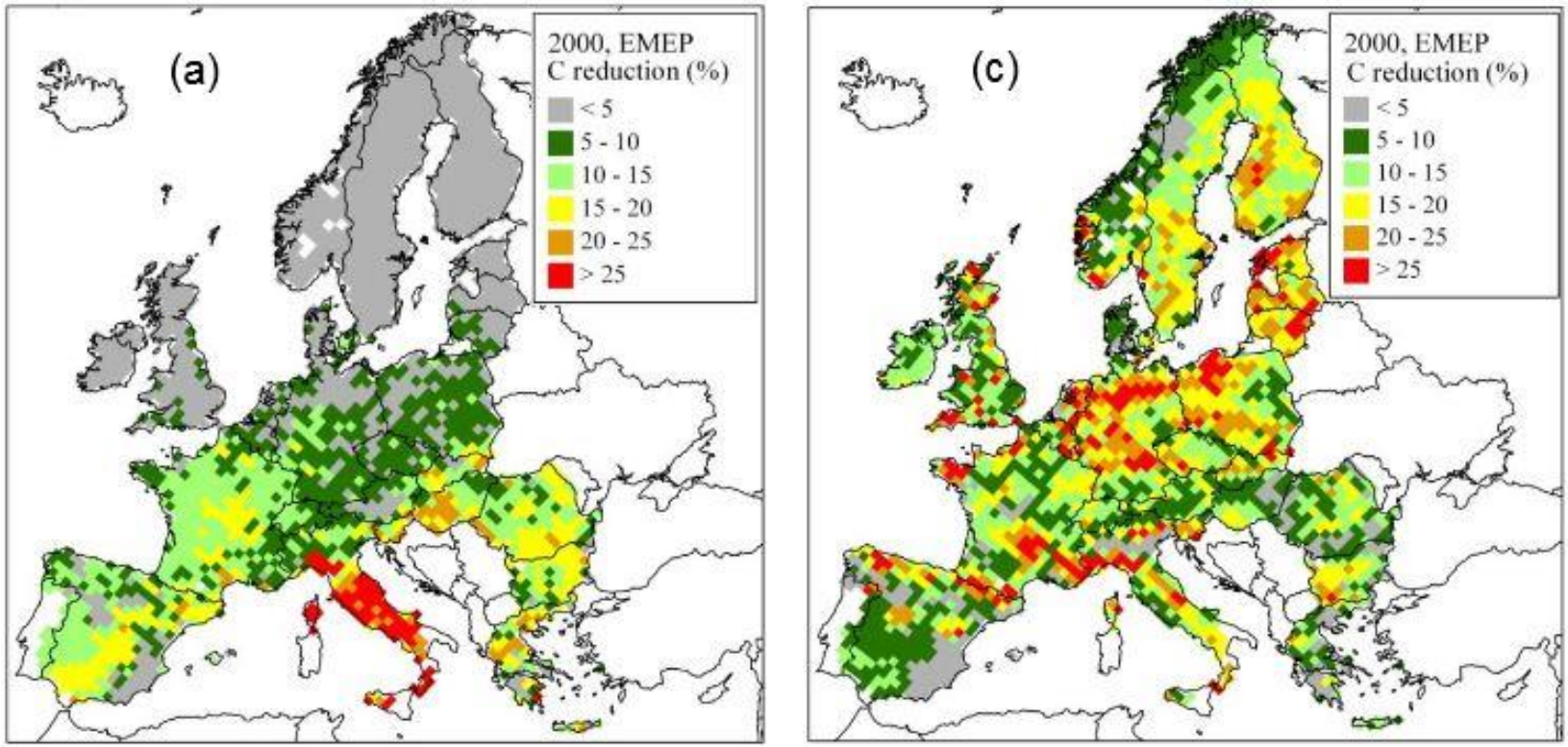



Estimation des pertes économiques dues à l'ozone pour le blé et la tomate en Europe (ICP Vegetation, 2011)

# Les effets sur les rendements : l'exemple de l'ozone

## Un impact important sur la productivité des forêts




Estimations des pertes de production des forêts (en %) induites par l'ozone pour l'année 2000 selon deux méthodes différentes : AOT40 (à gauche) et POD6 (à droite)
(ICP vegetation, 2012)

# Les effets sur la qualité des produits
# Exemple de l'ozone

- **Par modification du métabolisme :**

**Blé / pomme de terre :**

Légère augmentation de la teneur en protéines des grains / tubercules (liée à la diminution de la teneur en carbone)

**Colza :**

Diminution de la qualité (teneurs en protéines et en huile)

**Fourrages :**

réduction de la qualité fourragère

**Mais trop peu de données pour établir des relations dose-impact satisfaisantes**

(ICP vegetation, 2011)

## Les effets sur la qualité des produits
## Par accumulation dans les tissus végétaux

**Incinérateurs d'ordures ménagères : Cd, Pb, Hg**

**Transport routier : Cu, Pb, Zn, Ni**

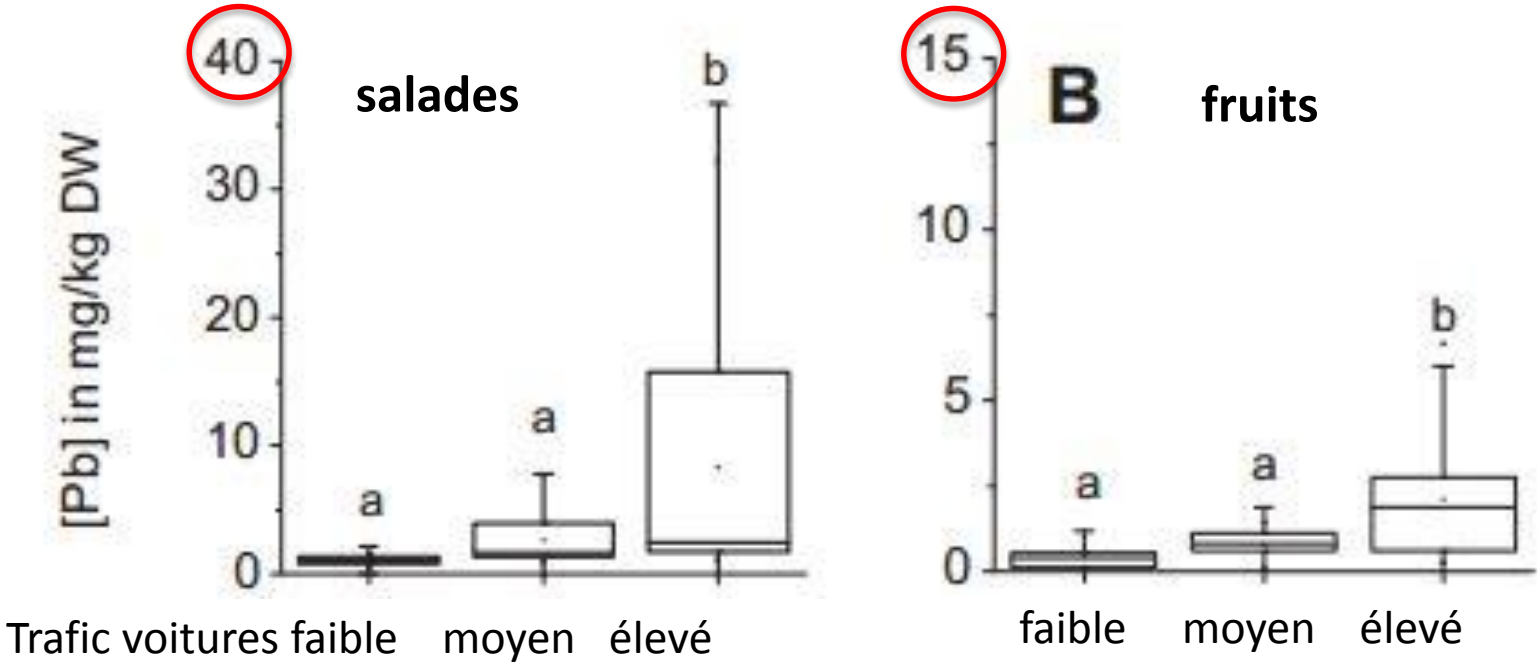
**Transport aérien : Cd, Cr, Ti**

**Résidentiel : As, Hg**

**Pollutions de proximité principalement**

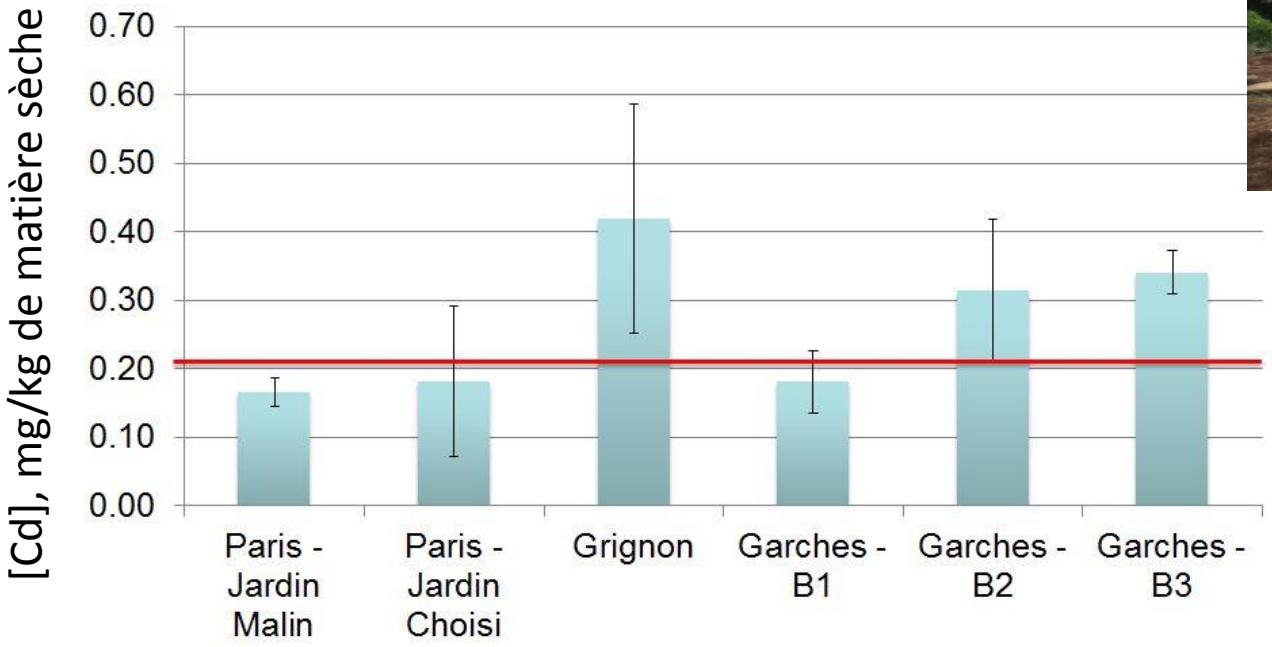
# Les effets sur la qualité des produits
# Par accumulation dans les tissus végétaux

**En Ile-de-France, 1.5% de la surface agricole utile se trouve à moins de 50 m d'une voie à forte circulation**




**Teneur en plomb des Légumes-feuilles et des fruits à Berlin en 2009 (Saümel et al, 2012)**

# Les effets sur la qualité des produits
# Par accumulation dans les tissus végétaux



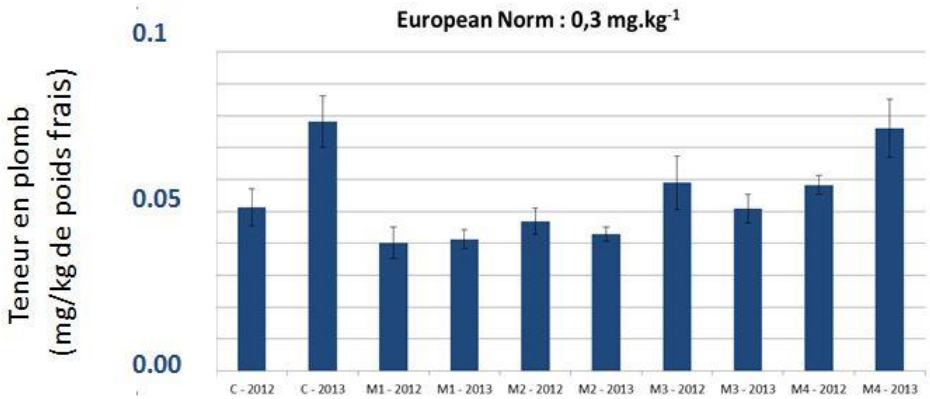

Seuil réglementaire pour un légume-feuille :
**0,2 mg/kg MS**
(Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique en France)

Teneurs en cadmium accumulées dans des plants de choux au cours du mois de mai 2014 dans différents jardins d'Ile-de-France

(Crochez, 2014)

# Les effets sur la qualité des produits
# Par accumulation dans les tissus végétaux

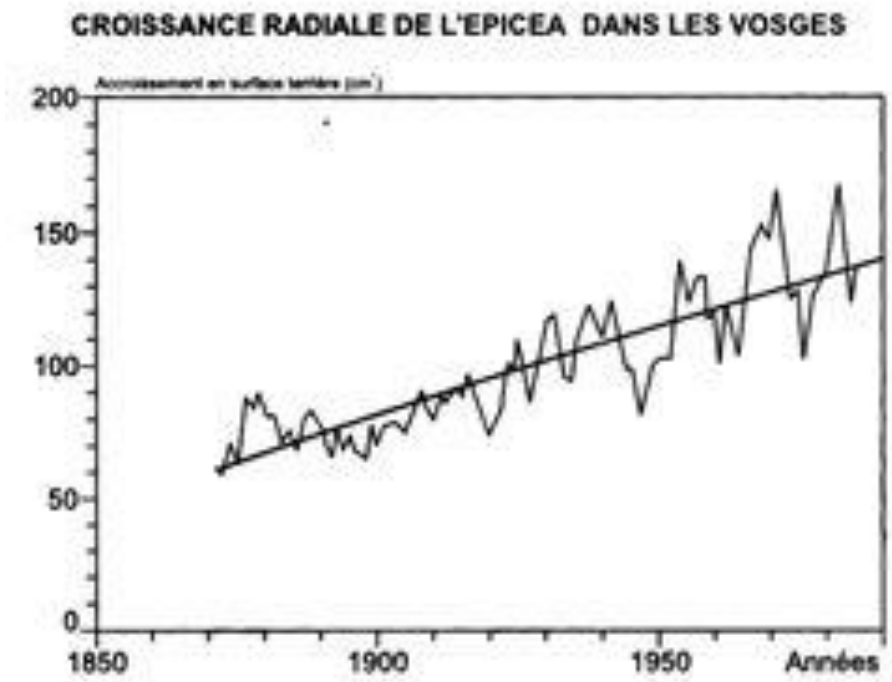
Potager sur le toit d'AgroParisTech
(Paris 5e)




**Teneur en plomb des salades cultivées sur le toit d'AgroParisTech en 2012 et 2013**

# Les effets sur la fertilité des sols et la valeur écologique des milieux

## Exemple de la forêt Vosgienne




Becker et al, 1995

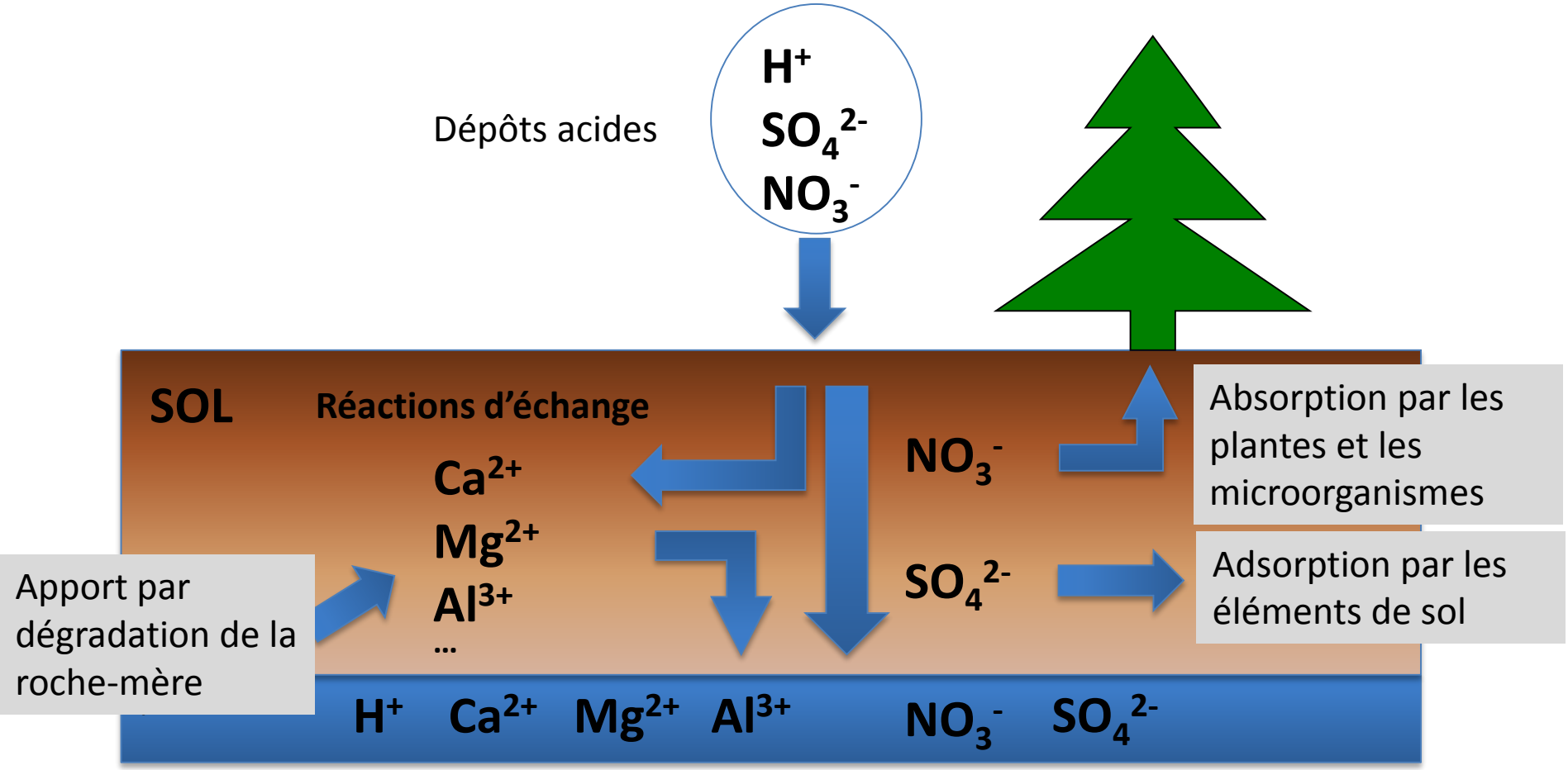
- **Précipitations abondantes (1500-2000 mm/an)**

**Sols gréseux et granitiques, donc pauvres en Mg et Ca**

**La végétation influence aussi le niveau d'acidité des sols par décomposition de la litière acidifiante**

**la pollution atmosphérique est acide ($SO_2$, $NO_x$, $NH_3$) et accroît l'acidité des milieux naturels**

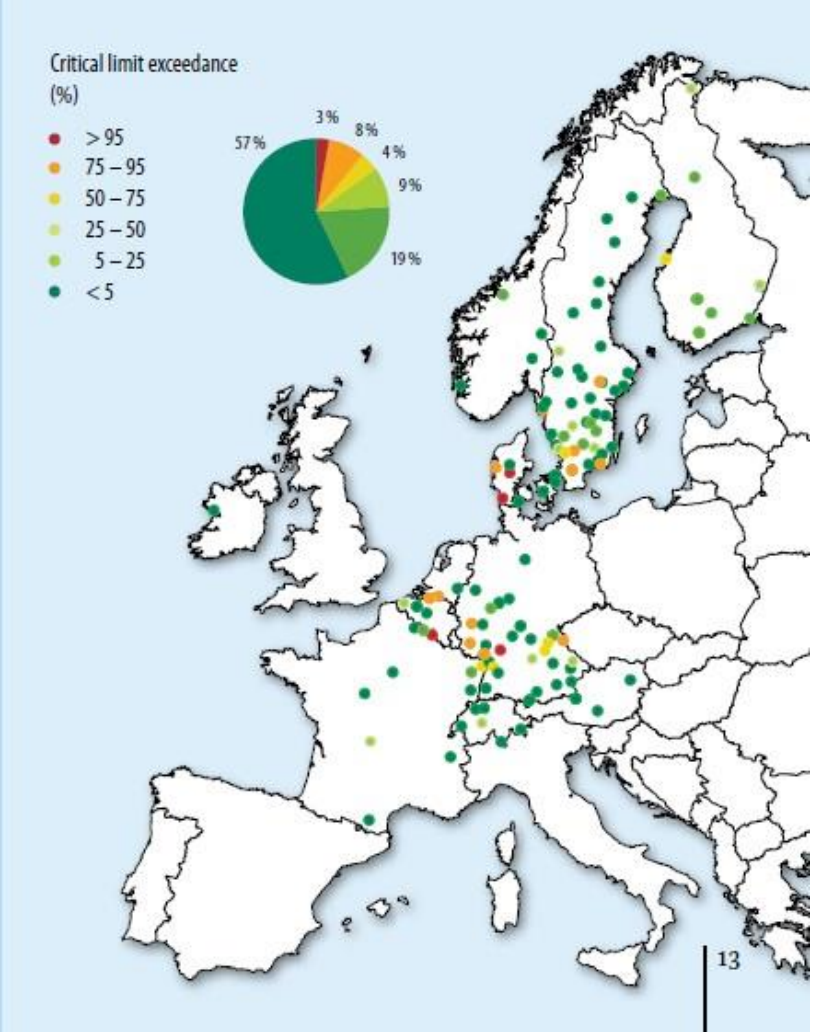
# Les effets sur la fertilité des sols et la valeur écologique des milieux




**Percolation vers les eaux souterraines, les rivières et les lacs**

D'après Lovett *et al*, 2009

# Les effets sur la fertilité des sols et la valeur écologique des milieux




Données 2006- ICP Forests, 2010

## Indicateur : BC/Al

(Sverdrup et Warfvinge, 1993)

BC = Cations échangeables « de base » ($Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, $K^{+}$)

$Al^{3+}$ = ion Aluminium

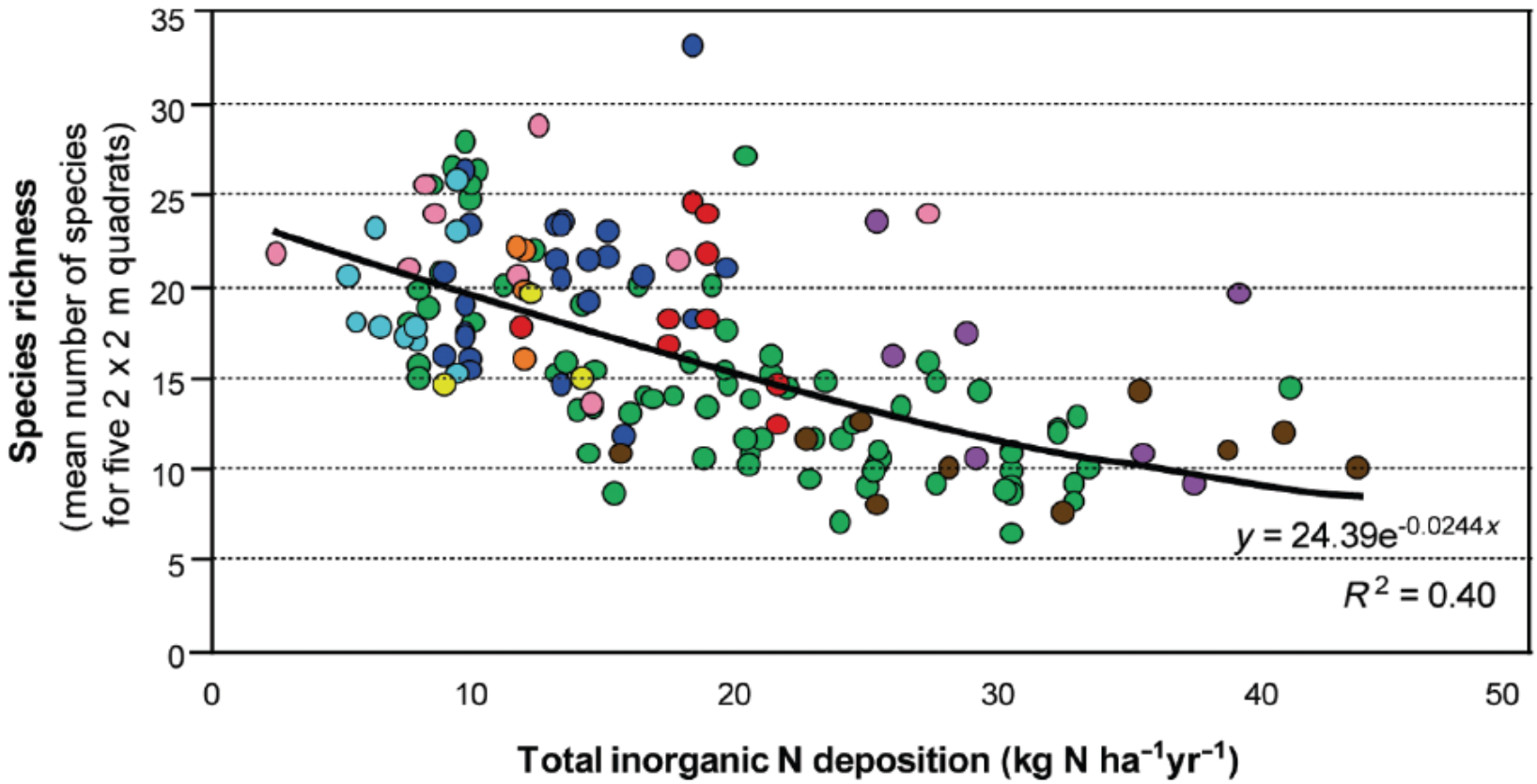
# Les effets sur la fertilité des sols et la valeur écologique des milieux : la biodiversité

**Modification de la composition floristique des sous-bois des forêts scandinaves**

Envahissement du sous-bois par des graminées (Dechampsia flexuosa)

Réduction de l'abondance des Myrtilles (Vaccinum myrtillus)

# Les effets sur la fertilité des sols et la valeur écologique des milieux : la biodiversité




Richesse spécifique en fonction des dépôts d'azote inorganique pour 153 prairies acides d'Europe

(Stevens et al., 2010)

# Conclusions :

- **Des impacts non négligeables avec des conséquences économiques sensibles**

- **L'ozone est la première cause de perte de rendements, mais les dépôts azotés prennent une importance croissante, notamment pour les écosystèmes naturels et semi-naturels**

- **Les impacts de mélanges de polluants sont encore mal connus**

- **La mise en place de stratégies d'adaptation pour limiter les impacts des polluants est possible**

Jacques Castell (1932-2013) - « Migration » Acrylique sur toile, 115x90 - 2008