

Comprendre l'impact anthropique sur l'environnement grâce aux organismes photosynthétiques

Végétaux, lichens et diatomées

David DELMAIL

GRESE EA 4330, Lab. de Botanique & Cryptogamie, Fac. de Pharmacie
2 rue du Dr Marcland, F-87025 LIMOGES

david.delmail.aff@unilim.fr

Contexte de la surveillance ou *monitoring* environnemental

- * Augmentation de dispersion/relargage d'éléments écotoxiques
 - * Plusieurs compartiments naturels sont interconnectés
 - * Nouvelles normes sanitaires européennes
 - DCE 2000/60/CE
 - DCPS 2004/35/CE
 - DCA 2008/50/CE
- « bon état » écologique (du moins pour l'Homme...) d'ici 2015
- estimation qualitative écologique par biosurveillance
- réduction de relargage de certaines substances nocives



T ou T+
(toxique) (très toxique)

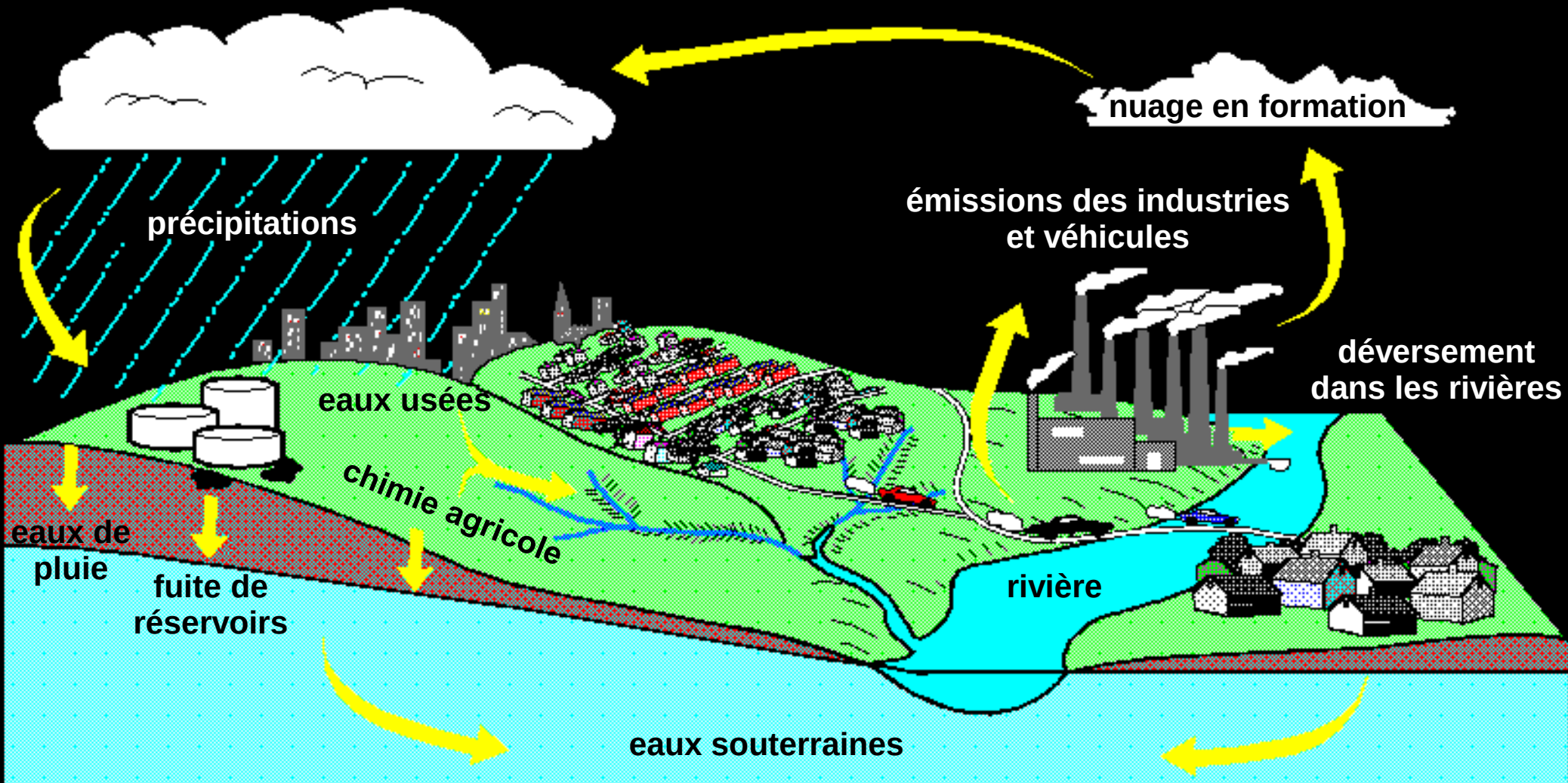


Xi ou Xn
(irritant) (nocif)



N
(dangereux pour
l'environnement)

Introduction



Cycle simplifié de propagation des polluants anthropiques dans les compartiments naturels.

Lexique

* Biosurveillance :

« Utilisation à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, histologique, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une **altération de l'environnement** et pour en suivre l'évolution. »

[Garrec et Van Haluwyn 2002]

La biosurveillance est un vaste domaine utilisant plusieurs concepts dont ceux de la bioindication et des biomarqueurs.

* Bioindication :

« Utilisation d'organismes sensibles à un polluant donné dont la présence ou l'état renseigne sur la qualité écologique (physico-chimique, microclimatique, biologique et fonctionnelle) de l'environnement. »

[Tachet 2006]

* Biomarqueur :

« Signature biologique de l'impact d'un xénobiotique ou d'un facteur environnemental permettant de quantifier le stress. »

« The science of biomonitoring which uses living organisms as sensors to track environmental pollution seems to be coming of age. »

[Whitfield 2001]

news feature

Vital signs

The science of biomonitoring, which uses living organisms as 'sensors' to track environmental pollution, seems to be coming of age. John Whitfield considers its potential.

In the early 1980s, an illegal battery-disposal operation in Hong Kong's Junk Bay was releasing large amounts of polychlorinated biphenyls, lead and zinc into the water. But the crime did not go unwitnessed. The barnacles and mussels living in the bay concentrated the pollutants in their tissues. The evidence they gave up to local researchers and their colleagues at the Natural History Museum in London helped the authorities shut the law-breakers down.

The idea that studies of living organisms can provide information about environmental hazards is not new: before the advent of modern safety equipment, miners kept an eye on the health of caged canaries to warn them of dangerous gas build-ups. But as researchers have concentrated on their own favoured techniques, rigorous standardized methods for biological monitoring have been slow to emerge — success stories like the Hong Kong example are still rare.

Enthusiasts for biomonitoring argue that their field is now coming of age, however. They point to the recent development of protocols that can do much more than simply provide general markers of ecosystem health. In many cases, researchers are now combining ecological studies with analytical chemistry to produce information on the effects of pollution on living organisms, the identity of the chemicals involved, and even where they came from. "In the past few years there's been a considerable drive on the part of the main regulatory bodies to integrate biological and chemical monitoring," says Peter Matthiessen, an ecotoxicologist and director of the UK Natural Environment Research Council's Centre for Ecology and Hydrology in Windermere, Cumbria.

Biomonitoring has long been the poor relation to the straightforward chemical analysis of water, air and soil. Chemical sensors can provide highly accurate readings of environmental pollution. But in some

regards, say the proponents of biomonitoring, this precision is spurious. Instruments can quantify the amount of a pollutant present in the environment. But if a pollutant is not taken up by organisms, it may cause little damage to an ecosystem — and the extent to which it is taken up may depend on a range of factors, including climate and acidity. Also, chemical sampling of the environment can only provide a snapshot of what may be a highly dynamic situation, whereas some organisms preserve a continuous record of the environment throughout their lives.

Community values

In the early years of the last century, two German biologists, Richard Kolkwitz and Maximilian Marsson, realized that some freshwater invertebrates were more sensitive to pollution than others — which means that the community of species found at a particular site says much about its cleanliness. In Britain, this technique is used to monitor 7,000 river sites across the country.

Although assessments based on community ecology are good at exposing severe pollution events, they are less useful at providing subtle warning signs that an ecosystem is coming under pressure. "They can only tell you that you've had a major impact after the event," says Matthiessen. But combining ecological observations with chemical measurement of pollutants accumulated by animals

and plants can provide a much more sensitive and predictive analysis.

Marine scientists have led the way. In Europe, their work was stimulated by the 1992 Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, known as the OSPAR Convention, to which most European nations are signatories. The OSPAR Convention covers the northeast Atlantic, North Sea and parts of the Arctic Ocean and Mediterranean. Its signatories have pledged to "take all possible steps to prevent and eliminate pollution".

A requirement to monitor the effects of pollutants — including heavy metals, industrial and agricultural chemicals, radioactive waste — and the activities of the oil and gas industries on marine organisms is written into the OSPAR Convention. But as measurements began to accumulate over the 1990s, it

Telling tales: *Mytilus edulis* mussels (above) and lichens such as *Xanthoria* (right) accumulate chemical pollutants in their tissues.

FRENCH MARINE MUSEUM

PHIL LEE/INFORM

NATURE | VOL. 411 | 28 JUNE 2001 | www.nature.com

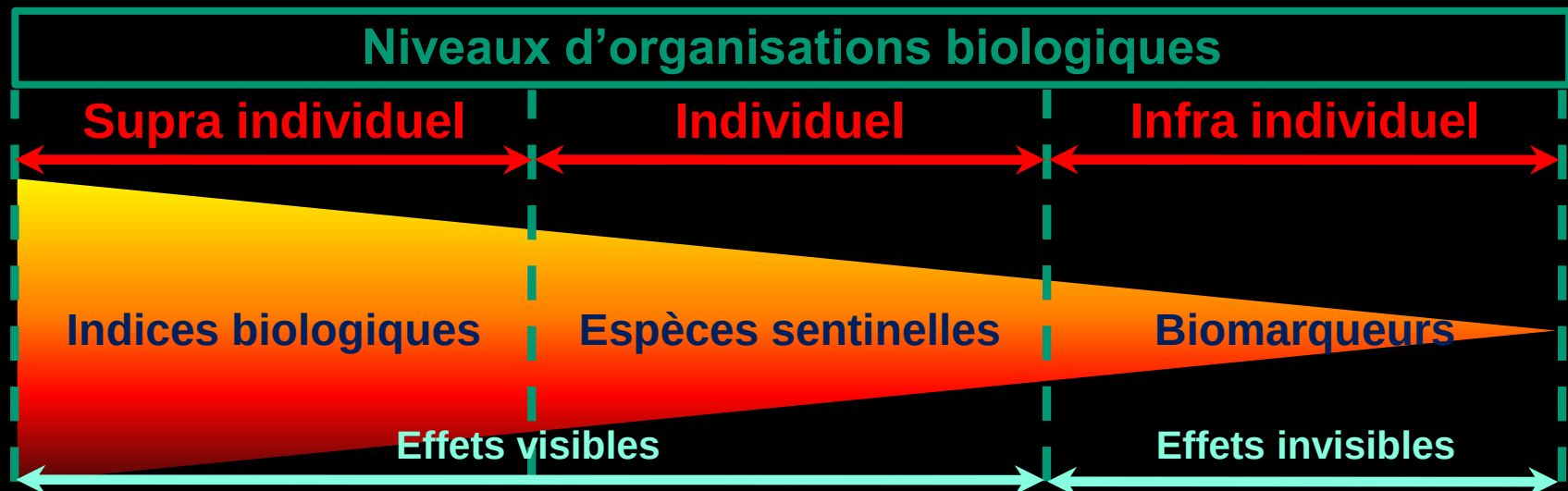
© 2001 Macmillan Magazines Ltd

999

Reconnaissance scientifique et institutionnelle depuis 1970 (Nature, Environmental Pollution, Environmental and Science Technology, Science of the Total Environment, SETAC, etc.).

La biosurveillance :

- * Elle ne concerne que :
 - des polluants fortement toxiques
 - ou présents à des concentrations élevées
 - et des organismes sensibles
- * Deux grands types de bioindication :
 - les indices biologiques
 - les espèces sentinelles



Applications :

* Différents types d'organismes peuvent être utilisés :

- champignons (lichens)
- bryophytes
- végétaux supérieurs
- microorganismes
- animaux
- Homme



Dermatocarpon sp.



Fontinalis antipyretica

* Mais :

- limites éthiques/déontologiques
- représentativité de l'organisme dans l'environnement (aire de répartition, niveau dans la chaîne trophique, etc.)
- connaissances de la réactivité/sensibilité de l'organisme
- coût
- approche normalisée

Exemples de détériorations écologiques analysées

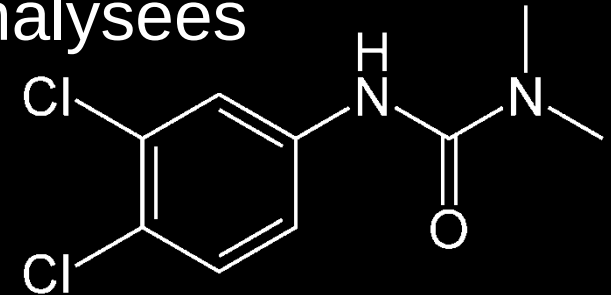
- * Moléculaires organiques
- * Inorganiques
- * Biotiques
- * Autoécologiques

Exemples de détériorations écologiques analysées

* Moléculaires organiques

- Pesticides, antibiotiques

- ↳ communauté diatomique sensible à l'herbicide viticole diuron et à deux de ses sous-produits de dégradation (N-(3,4 dichlorophényl)-N-(méthyl)-urée (DCPMU) et 3,4-dichloroaniline (3,4-DCA)), ainsi qu'à des fongicides phytosanitaires (azoxystrobine, carbendazime, tébuconazole, procymidone et diméthomorphe) [Montuelle *et al.* 2010]
- ↳ *Fontinalis antipyretica* accumule fortement l'acide oxolinique dans ses réserves lipidiques et y est sensible [Ah-Peng et Rausch De Trautenberg 2004 ; Delépée et Pouliquen 2002]



* Inorganiques

* Biotiques

* Autoécologiques



Exemples de détériorations écologiques analysées

* Moléculaires organiques

* Inorganiques

- PCB, HAP (moléculaires)

↳ séquestration des PCB et HAP lipophiles dans la cire épicuticulaire (*Pinus sylvestris*) [Kratz 1995]

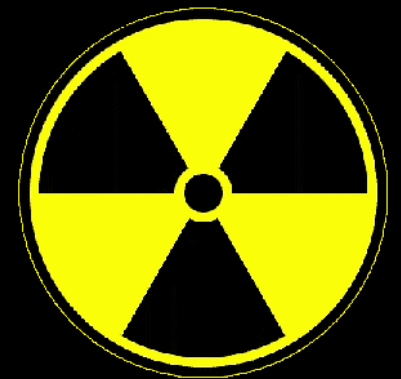
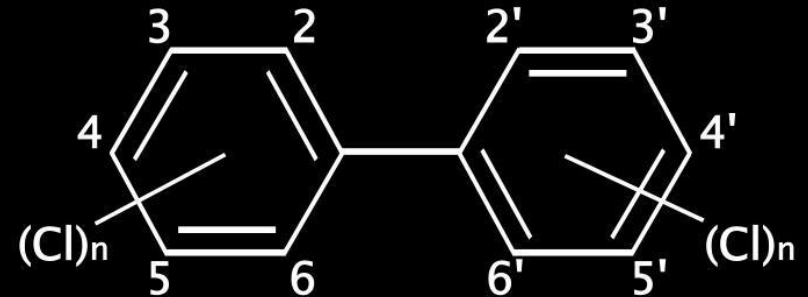
- ETM, radionucléides (éléments)

↳ Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Hg, et Pb vs. mousse épiphytique *Hypnum cupressiforme* sensible [Faus-Kessler 2001]

↳ *Fontinalis antipyretica* et *F. dalecarlica* accumulent et réagissent vis-à-vis du ^{137}Cs [Ah-Peng et Rausch De Traubenberg 2004; Hongve et al. 2002]

* Biotiques

* Autoécologiques



Exemples de détériorations écologiques analysées

* Moléculaires organiques

* Inorganiques

* Biotiques

- parasitisme

- ↳ cestode (*Moniezia expansa*) important dans la sensibilité du mouton (*Ovis aries*) au plomb [Jankovská et al. 2010]
- ↳ parasites des mollusques, crustacés, poissons et mammifères aquatiques souvent à l'origine de la sensibilité des hôtes aux polluants [Sures 2008]

- virus

- ↳ hybride (IR473 x IR474) de *Prunus tomentosa* hyper-sensible à 19 virus d'espèces allochtones (e.g. *Prunus armeniaca*) [Damsteegt et al. 1998]
- ↳ moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) bioindicateur des virus de boues d'épuration [Baron et al. 1996]

* Autoécologiques



Exemples de détériorations écologiques analysées

- * Moléculaires organiques
- * Inorganiques
- * Biotiques
- * Autoécologiques
 - réchauffement climatique
 - ↳ diversité spécifique diatomique corrélée à la température [Razumovskii et Gololobova 2008]
 - ↳ croissance de *Fagus sylvatica* liée à la température [Testi et al. 2010]
 - ozone et gaz polluants
 - ↳ feuilles de *Nicotiana tabacum* sensibles à O₃ urbain [Kayzer et al. 2009]
 - microclimat
 - ↳ modification de la composition floristique d'un écosystème (disparition, immigration) en fonction de la disponibilité en eau, de la variation en CO₂ atm et de la température [Gebhardt et al. 2010]



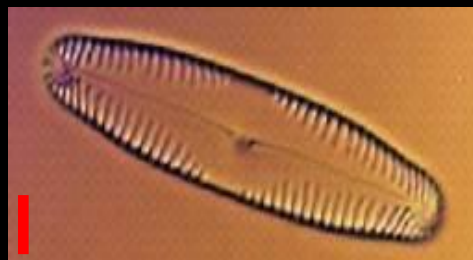
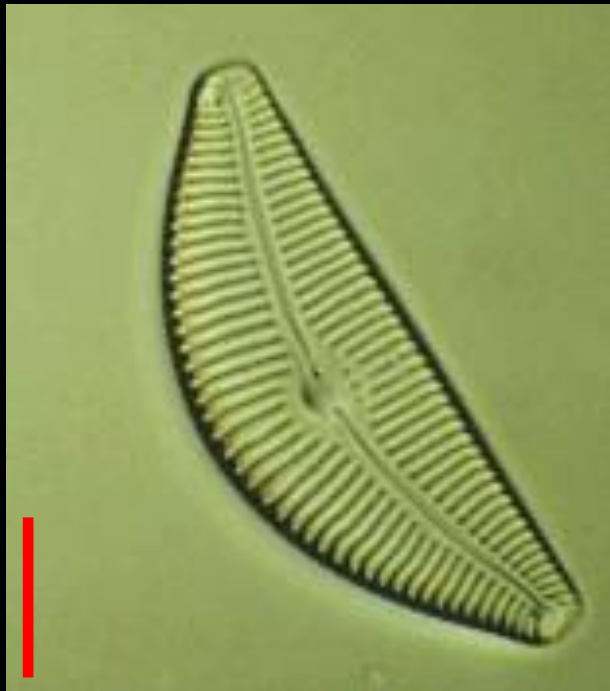
Les indices biologiques :

- * Nombreuses techniques basées sur des groupes variés (e.g. algues, plantes supérieures, invertébrés, poissons, oiseaux, etc.) et utilisées dans le cadre d'études spécifiques
- * Peu de standardisés...
- * Quelques unes homologués (AFNOR) concernant les organismes photosynthétiques, dont :
 - Indice Biologique Diatomées (NF T90-354)
 - Indice Biologique de Lichens Epiphytes (NF X43-903)
 - Indice Biologique Macrophytique en Rivière (NF T90-395)

Indice Biologique Diatomées (IBD) :

* Diatomées :

- protistes (eucaryotes unicellulaires)
- squelette siliceux (frustule)
- surtout aquatiques (marins, saumâtres et dulçaquicoles)
- majoritairement grégaires (colonies)



© Prygiel J. Agence de l'Eau Artois-Picardie

échelle = 10 μ m

Indice Biologique Diatomées (IBD) :

* Diatomées :

- protistes (eucaryotes unicellulaires)
- squelette siliceux (frustule)
- surtout aquatiques (marins, saumâtres et dulçaquicoles)
- majoritairement grégaires (colonies)

* Estimation de la qualité de l'eau :

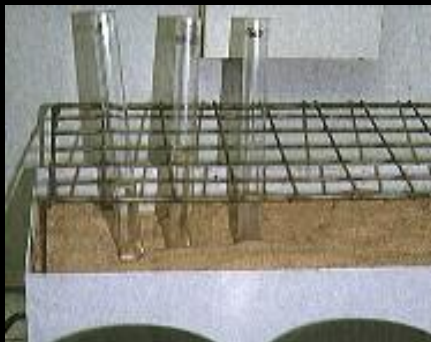
- matières organiques en suspension
- pH
- salinité (NaCl)
- turbidité
- oxygène dissout
- ammoniac (NH_3) / ammonium (NH_4^+) / nitrates (NO_3^-)
- etc.

* Exclusivement dans les cours d'eau dulçaquicoles

Indice Biologique Diatomées (IBD) :

* Méthodologie :

- prélèvements sur supports durs naturels dans la zone de vitesse de courant maximale



- préparation des lames (retrait à chaud de la matière organique), rinçage et montage entre lame et lamelle

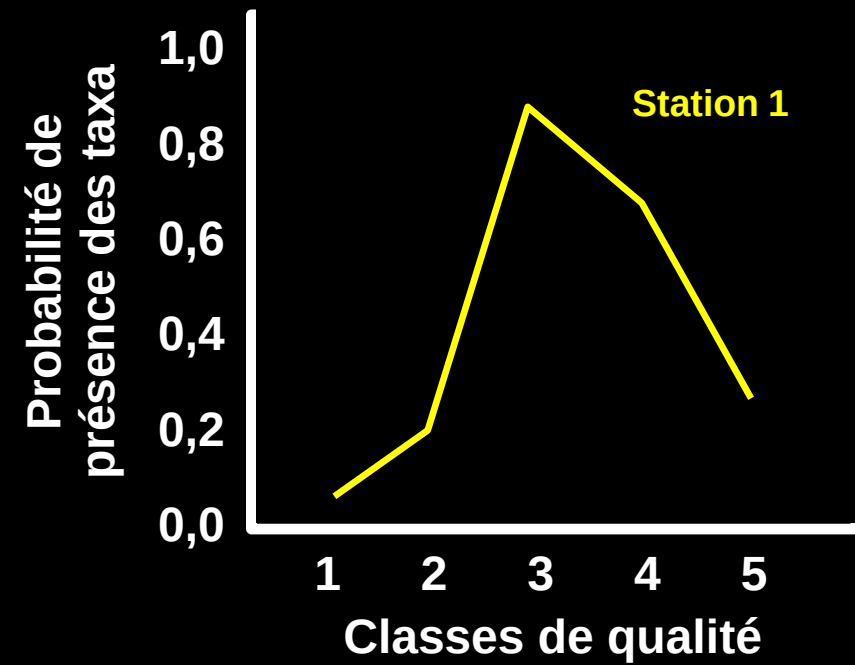
Indice Biologique Diatomées (IBD) :

* Méthodologie :

- identification à l'espèce (jeu de 209 espèces) et comptage de 400 cellules sous microscope à fort grossissement



© Prygiel J. Agence de l'Eau Artois-Picardie



- calcul automatisé de l'indice et détermination de la classe de qualité (5 classes)

Indice Biologique de Lichens Epiphytes (IBLE) :

* Lichens :

- champignons (symbiose champignon/cyanobactérie)
- différents mode de vie (e.g. épiphytes, épilithes)

* Estimation de la qualité aérienne :

- uniquement ceux se développant sur ligneux
- sensibilité aux polluants atmosphériques (e.g SO₂, NOx)



© Université du Havre

Lecanora conizaeoides

Indice Biologique de Lichens Epiphytes (IBLE) :

* Méthodologie :

- prélèvements sur cinq arbres dicotylédones à 1 m du sol et aux quatre points cardinaux
- détermination taxonomique en se référant au classement spécifique fonction de la qualité aérienne



Evernia prunastri

© Sharnoff S. et S.

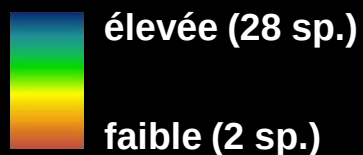


© APPA Nord-Pas-de-Calais / Université Lille 2

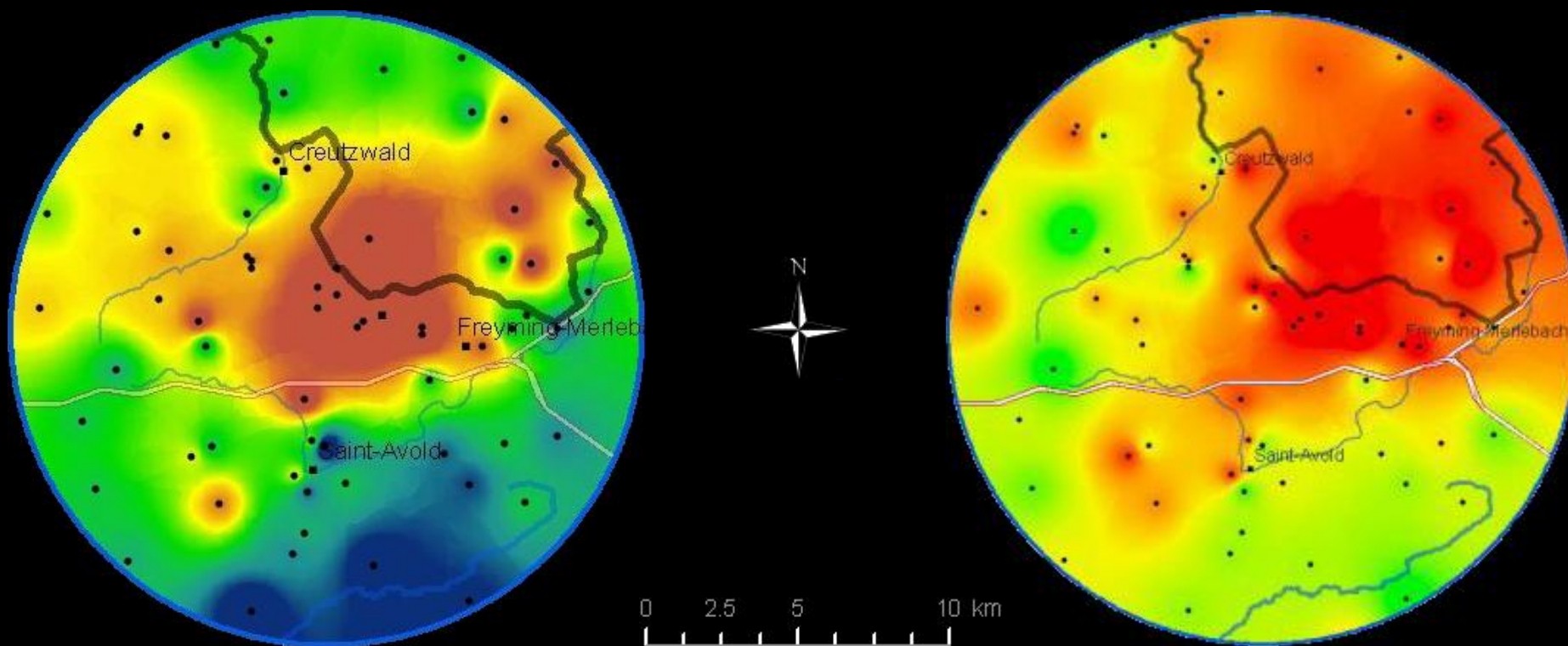
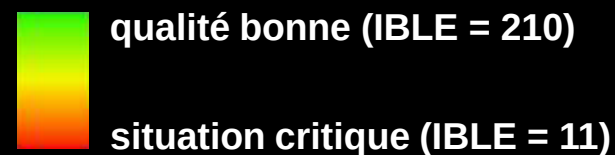
- analyse sanitaire des individus
- calcul informatique de la qualité de la localité (7 classes)

Indice Biologique de Lichens Epiphytes (IBLE) :

Richesse spécifique



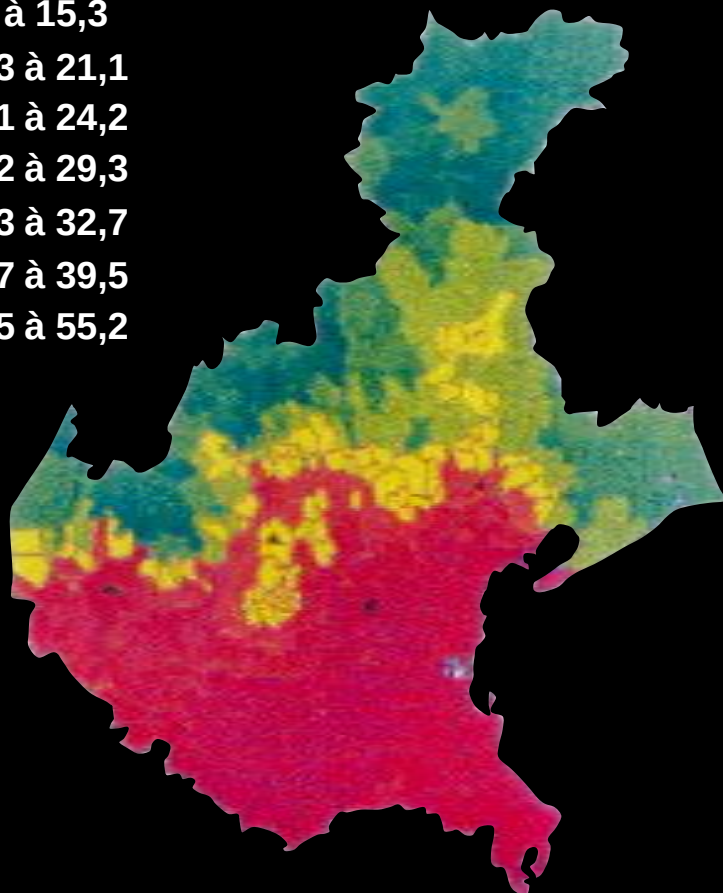
Qualité biologique de l'air



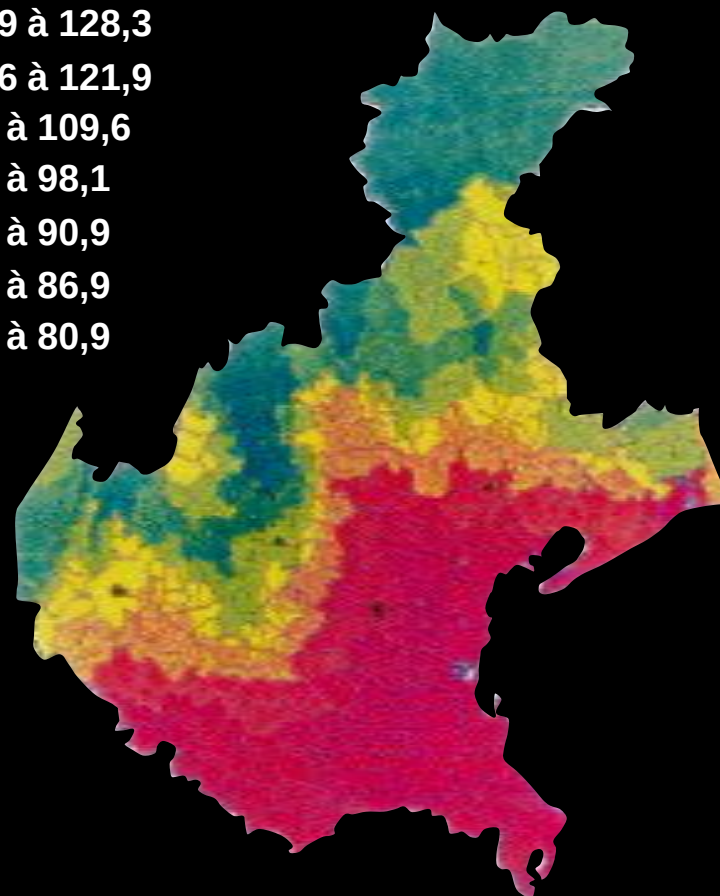
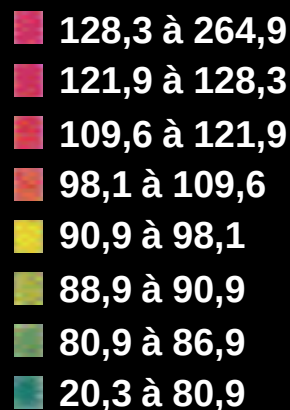
Résultats de l'IBLE sur la qualité biologique de l'air en Moselle (57)
dans l'arrondissement de Forbach.

Indice Biologique de Lichens Epiphytes (IBLE) : [Cislaghi et Nimis 1997]

Indice de diversité lichénique



Mortalité par cancer pulmonaire chez les hommes de moins de 55 ans



Corrélation entre l'IBLE et le nombre de morts par cancer pulmonaire en Vénétie (Nord italien).

Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) : [Haury *et al.* 2006]

- * Macrophytes dulçaquicoles :
 - angiospermes / ptéridophytes / bryophytes / macroalgues
- * Estimation du statut trophique :
 - ammonium (NH_4^+)
 - orthophosphates (PO_4^{3-})

Fontinalis antipyretica



Myriophyllum alterniflorum

Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) :

* Méthodologie :

- référencement taxa présents dans la localité étudiée
- détermination taxonomique en se référant à la liste validée par le GIS MEC



© D. Delmail

- prise en compte de la valence écologique (eury- et sténoèce)
- calcul informatique de la qualité de la localité (note de 0 à 20)

Les espèces sentinelles :

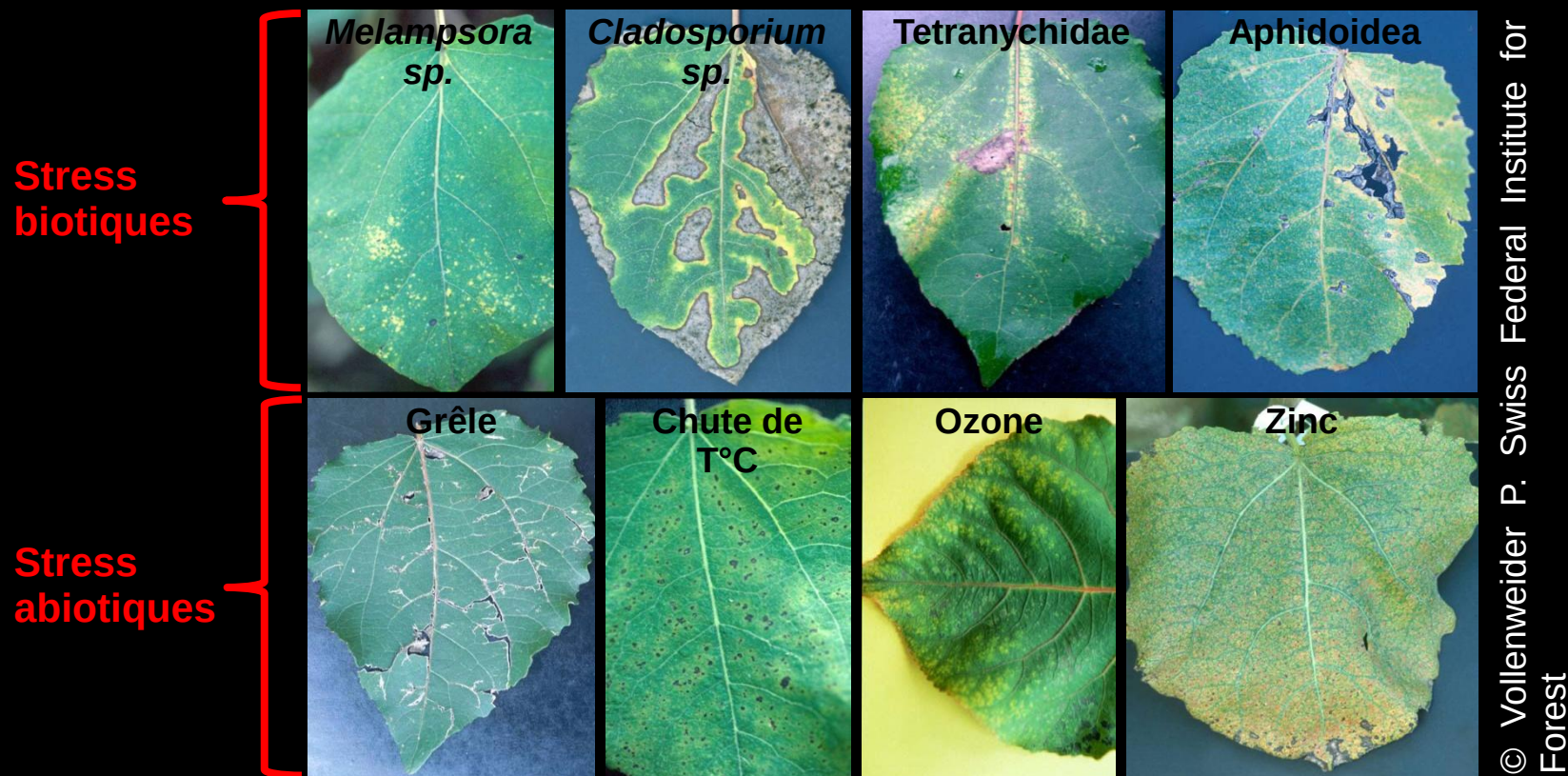
- * Par leur sensibilité, elles permettent de :
 - mettre en évidence des « pollutions précoces »
 - d'anticiper des effets néfastes à grande échelle
- * Quelques normalisations dont une importante (AFNOR) :
 - bioindication de l'ozone par le tabac (NF X43-900)



Dégradation progressive de feuilles de tabac (*Nicotiana tabacum* var. *Bel W3*) par l'O₃.

Les espèces sentinelles :

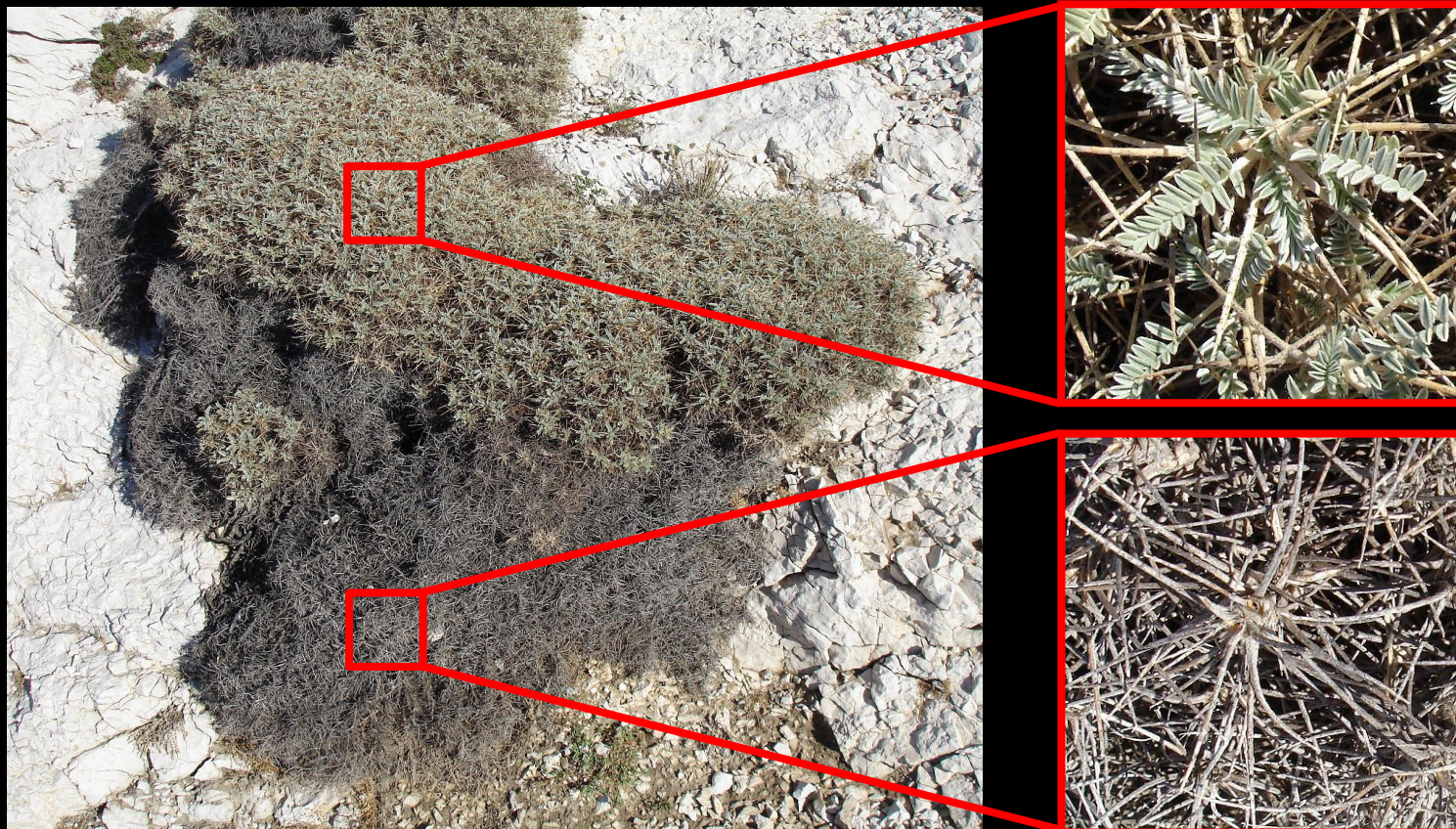
- * Potentialité importante :
 - analyse de divers polluants dans divers environnements
 - nécessité de développer davantage de normalisations



Diversité des symptômes visibles causés par des stress chez le peuplier (*Populus* sp.).

Les espèces sentinelles :

- * Potentialité importante :
 - analyse de divers polluants dans divers environnements
 - nécessité de développer davantage de normalisations



© Delmail D.

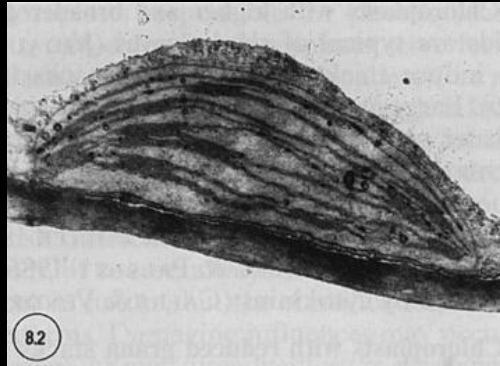
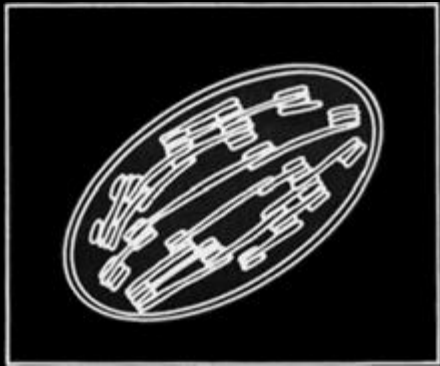
Action des détergents atmosphériques sur *Astragalus tragacantha* sur l'île de Pomègues.

Les espèces sentinelles :

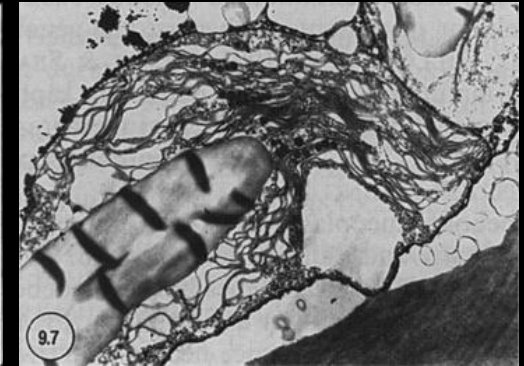
[Fink 1999]

* Potentialité importante :

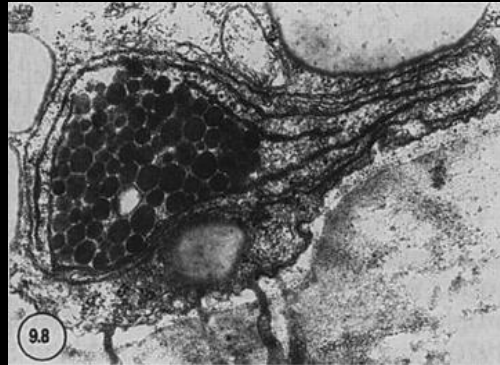
- analyse de divers polluants dans divers environnements
- nécessité de développer davantage de normalisations



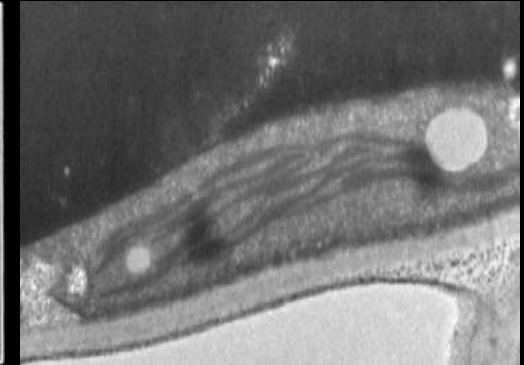
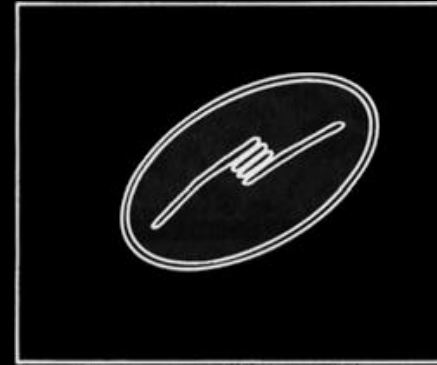
conditions normales



refroidissement, virus



infections biotiques, polluants atmosphériques



ozone

Altérations structurales thylakoïdiennes des végétaux selon des stress environnementaux.

Les biomarqueurs :

[Klumpp *et al.* 2006 ; Suyama *et al.* 2002]

- * Test micro-noyaux sur *Tradescantia* clone 4430 (Trad-MCN) :
 - unique méthode en cours de validation dans l'IPCS (« International Program of Chemical Safety ») de l'OMS
 - normalisation au Japon et aux USA



Les biomarqueurs :

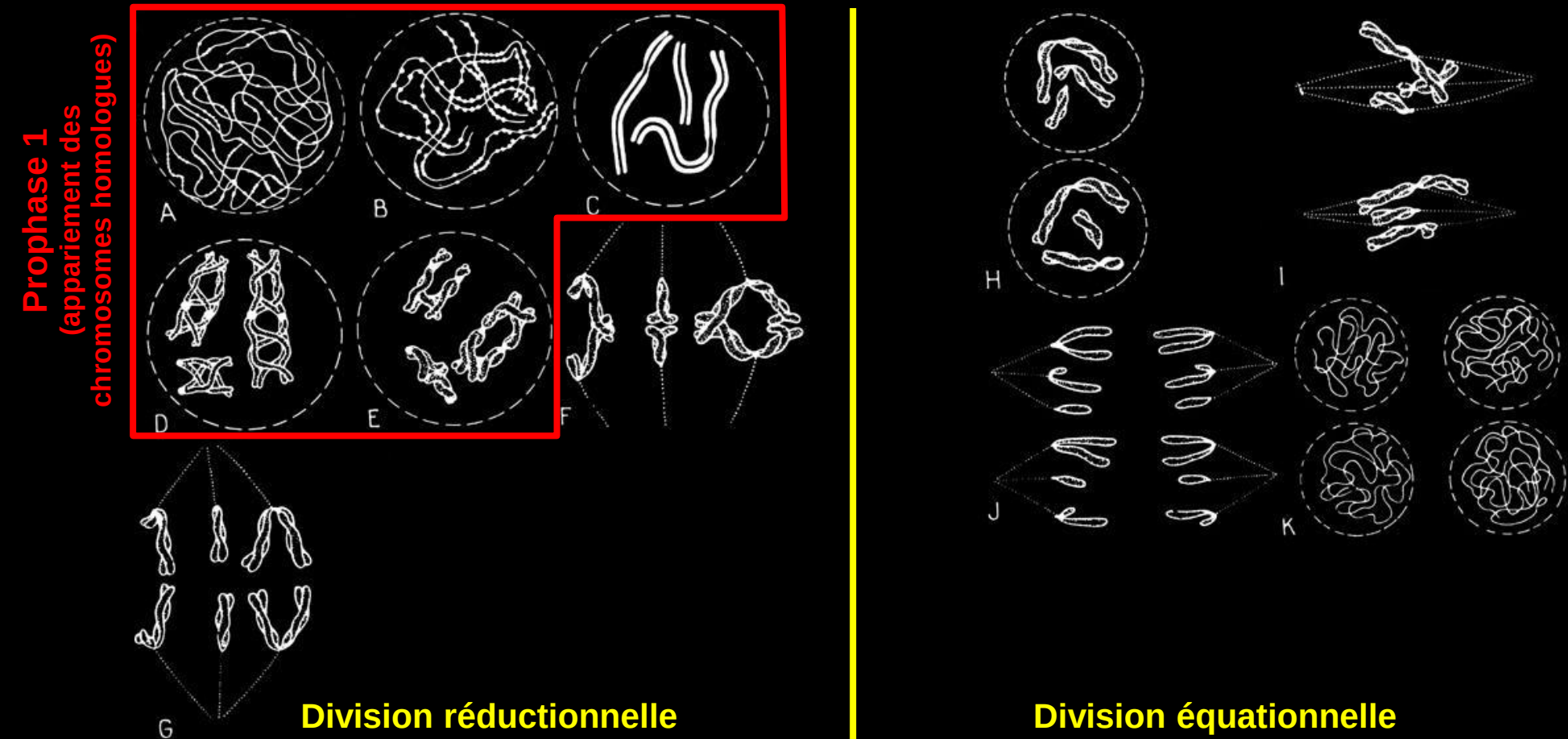
[Klumpp *et al.* 2006 ; Suyama *et al.* 2002]

- * Test micro-noyaux sur *Tradescantia* clone 4430 (Trad-MCN) :
 - unique méthode en cours de validation dans l'IPCS (« International Program of Chemical Safety ») de l'OMS
 - normalisation au Japon et aux USA
 - première division méiotique sensible à divers polluants (benzène, HAP, rayons ionisants, ETM (Cr, Ni), etc.)
 - induction cassure portions ADN ou déplacements chromosomiques → carcinogénicité
 - fragments ADN hors de la microspore

Les biomarqueurs :

[Klumpp *et al.* 2006 ; Suyama *et al.* 2002]

* Test micro-noyaux sur *Tradescantia* clone 4430 (Trad-MCN) :



Principales étapes de la méiose chez les plantes. Les stades les plus sensibles à l'action de radiations ionisantes ou à divers agents chimiques atmosphériques sont encadrés. A, leptotène ; B, zygotène ; C, pachytène ; D, diplotène ; E, diacinèse ; F, métaphase 1 ; G, anaphase 1 ; H, prophase 2 ; I, métaphase 2 ; J, anaphase 2 ; K, fin de télophase 2.

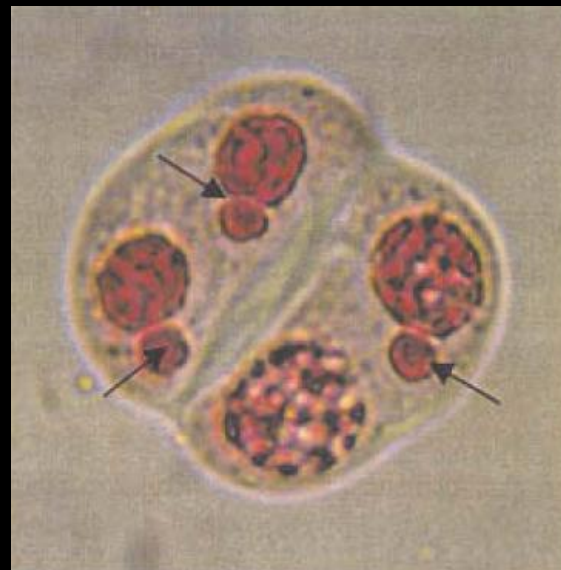
Les biomarqueurs :

[Suyama *et al.* 2002]

* Test micro-noyaux sur *Tradescantia* clone 4430 (Trad-MCN) :

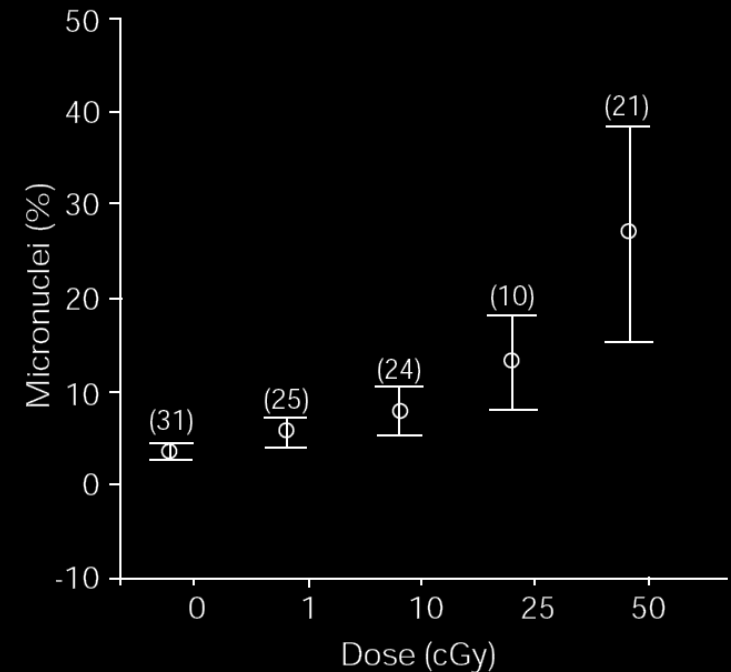


Tétrade saine chez
Tradescantia (600x)



Tétrade avec
micronoyaux chez
Tradescantia (600x)

© Delaunois C. Ministère wallon
de l'ATUE



**Corrélation entre nombre de
micronoyaux et dose de rayons
ionisants**

Conclusion



Bibliographie

- Ah-Peng C., Rausch De Traubenberg C. (2004). Aquatic bryophytes bioaccumulators of pollutants and ecophysiologic indicators of stress: Bibliographical summary. *Cryptogamie, Bryologie*, 25: 205-248.
- Baron J., Lesavre J., Schwaritzbrod L. (1996). Attempts of use *Dreissena polymorpha* as a bioindicator of viral pollution in sewage treatment plant effluents. *Ecologie*, 27: 257-261.
- Cislaghi C., Nimis P.L. (1997). Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature*, 387: 463-464.
- Damsteegt V.D., Stoner A.L., Waterworth H.E., Mink G.I., Howell W.E., Levy L. (1998). The versatility of *Prunus tomentosa* as a bioindicator of viruses. *Acta Horticulturae*, 472: 143-146.
- Delépée R., Pouliquen H. (2002). Determination of oxolinic acid in the bryophyte *Fontinalis antipyretica* by liquid chromatography with fluorescence detection. *Journal of chromatography B*, 775: 89-95.
- Faus-Kessler T., Dietl C., Tritschler J., Peichl L. (2001). Correlation patterns of metals in the epiphytic moss *Hypnum cupressiforme* in Bavaria. *Atmospheric Environment*, 35: 427-439.
- Fink S. (1999). Pathological and regenerative plant anatomy. *Encyclopedia of plant anatomy XIV*. Gebrüder Borntraeger (Ed.). Berlin, Stuttgart. 1095 pp.
- Garrec J.P., Van Haluwyn C. (2002). Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Tec. & Doc. Lavoisier (Ed.). Paris. 117 pp.
- Gebhardt H., Rammert U., Schröder W., Wolf H. (2010). Climate biomonitoring: assessing climate change and its impacts on the biosphere. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 22: 7-19.
- Haury J., Peltre M.C., Tremolieres M., Barbe J., Thiebaut G., Bernez I., Daniel H., Chatenet P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutartre A., Laplace-Treytore C., Cazaubon A., Lambert-Servien E. (2006). A new method to assess water trophy and organic pollution - the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): its application to different types of river and pollution. *Hydrobiologia*, 570: 153-158.
- Hongve D., Brittain J.E., Bjørnstad H.E. (2002). Aquatic mosses as a monitoring tool for ¹³⁷Cs contamination in streams and rivers-a field study from central southern Norway. *Journal of Environmental Radioactivity*, 60: 139-147.
- Jankovská I., Vadlejch J., Száková J., Miholová D., Kunc P., Knížková I., Langrová I. (2010). Experimental studies on the lead accumulation in the cestode *Moniezia expansa* (Cestoda: Anoplocephalidae) and its final host (*Ovis aries*). *Ecotoxicology*, 19: 928-932.
- Kayzer D., Borowiak K., Budka A., Zbierska J. (2009). Study of interaction in bioindication research on tobacco plant injuries caused by ground level ozone. *Environmetrics*, 20: 666-675.
- Klumpp A., Ansel W., Klumpp G., Calatayud V., Garrec J.P., He S., Peñuelas J., Ribas A., Ro-Poulsen H., Rasmussen S., Sanz M.J., Vergne (2006). *Tradescantia micronucleus* test indicates genotoxic potential of traffic emissions in European cities. *Environmental Pollution*, 139: 515-522.
- Kratz W. (1995). Ecotoxicological bioindication: PAH, PCB and heavy metals studied in the natural resource monitoring programme of Berlin (Germany). In: *Bioindicator Systems for Soil Pollution*. van Straalen N.M. et Krivolutsky D.A. (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Hollande. 223-232 pp.
- Montuelle B., Dorigo U., Bérard A., Volat B., Bouchez A., Tlili A., Gouy V., Pesce S. (2010). The periphyton as a multimetric bioindicator for assessing the impact of land use on rivers: an overview of the Ardières-Morcille experimental watershed (France). *Hydrobiologia*, *in press*.
- Razumovskii L.V., Gololobova M.A. (2008). Reconstruction of the temperature regime and the hydrologic parameters associated with it by using data on diatomic complexes from Lake Glubokoe. *Water Resources*, 35: 469-482.
- Sures B. (2008). Environmental parasitology. Interactions between parasites and pollutants in the aquatic environment. *Parasite*, 15: 434-438.
- Suyama F., Guimaraes E.T., Lobo D.J.A, Rodrigues G.S., Domingos M., Alves E.S., Carvalho H.A., Saldiva P.H.N. (2002). Pollen mother cells of *Tradescantia* clone 4430 and *Tradescantia pallida* var. *purpurea* are equally sensitive to the clastogenic effects of X-rays. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 35: 127-129.
- Tachet H. (2006). Invertébrés d'eau douce - Systématique, biologie, écologie. CNRS (Ed.). Paris. 587 pp.
- Testi A., De Nicola C., Dowgiallo G., Fanelli G. (2010). Correspondences between plants and soil/environmental factors in beech forests of Central Apennines: from homogeneity to complexity. *Rendiconti Lincei*, 21: 27-43.
- Whitfield J. (2001). Vital signs. *Nature*, 411: 989-990.