Zeitschrift: Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 52 (1999)
Heft: 2

Artikel: Comparaison des effets de l'atrazine et du nicosulfuron sur les communautés phytoplanctoniques du Léman

Autor: Rimet, Frédéric / Hême de Lacotte, Mathilde / Leboulanger, Christophe

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-740109

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Archs Sci. Genève	Vol. 52	Fasc. 2	pp. 111-122	Août 1999

COMPARAISON DES EFFETS DE L'ATRAZINE ET DU NICOSULFURON SUR LES COMMUNAUTÉS PHYTOPLANCTONIQUES DU LÉMAN

PAR

Frédéric RIMET*, Mathilde HÊME DE LACOTTE*, Christophe LEBOULANGER*, Jean-Claude DRUART* & Annette BÉRARD*

(Ms. reçu le 19.7.1999, accepté le 25.8.1999)

ABSTRACT

Atrazine and Nicosulfuron effects on phytoplanktonic communities of Lake of Geneva. - Atrazine is a widely used herbicide in corn cultures. As Atrazine have contaminated many aquatic ecosystems, other chemicals such as Nicosulfuron are proposed in replacement. Comparative studies of Atrazine and Nicosulforon effects on phytoplankton were performed on systems of increasing complexity: monocultures and out-door microcosms.

Sensibilities of communities are different depending on experiments, species and toxicant. Algae in monoculture experiments seem to show a lower sensibility than in microcosms. We conclude that experiments in monocultures are not enough to appreciate the effect of Nicosulfuron. The complexification of study system increases its sensitivity to the toxic Nicosulfuron.

INTRODUCTION

L'atrazine est un herbicide très utilisé dans les cultures de céréales, et particulièrement celles du maïs. Il détruit les mauvaises herbes en bloquant la photosynthèse (inhibition du photosystème II) (BÉRARD & PELTE, 1999). Cet herbicide pollue les écosystèmes aquatiques, on le trouve à des concentrations de 20 µg/l dans certains cours d'eau de Bretagne en France (GIOVANNI, 1994), et parfois, sa concentration dépasse les normes des eaux potables (0,1 µg/l), comme dans la Venoge, l'Hermance, l'Aire et la Laire (affluents du Léman), qui ont des concentrations d'Atrazine maximales supérieures à 1 µg/l (CIPEL, 1998). Ceci a amené les pouvoirs publics à prendre des décisions pour limiter l'utilisation de l'Atrazine. Actuellement le Nicosulfuron est envisagé comme substitut partiel de l'Atrazine dans les pratiques agricoles (SRPV, 1996; TREVISAN, 1996).

Le mode d'action du Nicosulfuron sur les plantes est différent, il inhibe la synthèse d'acides aminés en inhibant l'ALS (ou Acétolactate synthase). Cette enzyme permet de synthétiser la Valine et l'Isoleucine (BEYER *et al.*, 1988). Le Nicosulfuron est une molécule nouvelle, et peu de données écotoxicologiques existent à son sujet.

Ces deux herbicides sont solubles dans l'eau, ils sont donc facilement transférés dans les sols et sont susceptibles de se retrouver dans les milieux aquatiques en quantité non

* INRA. Station d'Hydrobiologie Lacustre, BP 511, 74703 Thonon cedex - France.

négligeable. C'est dans le cadre du PNETOX (Programme Natioinal d'EcoToxicologie), que l'équipe phytoplancton de l'INRA de Thonon a comparé les effets du Nicosulfuron et de l'Atrazine sur des algues phytoplanctoniques, au moyen de deux systèmes expérimentaux de complexités différentes: 1) sur des monocultures en laboratoire, 2) sur des communautés phytoplanctoniques du Léman en microcosmes extérieurs.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Monocultures

Six espèces d'algues ont été testées:

– *Chlorella vulgaris* Beijerinck (souche isolée du Léman en 1984, SHL 108-C): chlorophycée,

– *Oscillatoria limnetica* Lemmermann (souche CCAP 1459/18): cyanobactérie,

– *Navicula accomoda* Hustedt (souche isolée du Léman en 1985, SHL 107): diatomée,

– *Selenastrum capricornutum* Skulberg (souche EPA): chlorophycée,

– *Staurastrum sebaldii* Ralfs (souche isolée du Léman en 1984, SHL 106): conjuguée.

Les algues sont introduites dans des erlenmeyers contenant 200 ml de milieu de culture approprié (BÉRARD *et al.*, 1999) et des concentrations géométriquement croissantes en herbicide. Les erlenmeyers sont ensuite posés sur une table soumise à un éclairement cyclique (arrêt de la lumière entre 22 h. et 6 h.) de 30 $\mu Em^{-2}s^{-1}$, à une température contrôlée de 20°C. La croissance de la monoculture est suivie par la densité optique (STRATTON, 1984). La CE50 (Concentration Efficace à 50%) est alors déterminée à partir des densités optiques mesurées en fonction des concentrations en toxiques croissantes, au cours de la croissance exponentielle.

Microcosmes

Six expérimentations ont été réalisées dans des enceintes de 5 litres en Pyrex comprenant 2,5 l d'inoculum et 2,5 l de milieu entre Juin 1997 et Juillet 1998.

L'inoculum phytoplanctonique consiste en une suspension de phytoplancton prélevée dans la zone euphotique du lac Léman. Le zooplancton de grande taille est éliminé par filtration à travers un filet de 200 µm de maille et le zooplancton de taille inférieure à 200 µm est tué par bullage à l'azote pendant une heure.

Le «milieu» de culture est composé d'eau filtrée à travers une maille de 0,8 µm; cette eau provient de la même zone de prélèvement que l'inoculum.

Les enceintes de 5 litres contenant l'inoculum et le milieu sont installées dans une partie abritée du lac Léman à une profondeur de 1 m de la surface. La température de l'eau est suivie en continu (fréquence de mesure: 20 minutes) par un thermomètre immergé dont les données sont recueillies et converties par un hexaparamètre (Ponselle) et stockées pendant la durée de l'expérimentation dans une unité enregistreuse (CR2M).

Les conditions extérieures d'éclairement sont également mesurées en continu. Les enceintes sont équipées d'un dispositif (bouchon silicone et tuyaux en verre et silicone) les isolant du lac tout en permettant des prélèvements et une aération de la culture afin de fournir aux algues du CO_2 et de provoquer une agitation continue du milieu. Ceci permet d'homogénéiser et d'éviter la sédimentation des organismes cultivés.

Après un premier prélèvement, cinq enceintes reçoivent 10 µg/l d'Atrazine (98%), cinq autres reçoivent 10 µg/l de Nicosulfuron, et cinq enceintes sont conservées comme témoins.

La durée des expérimentations est comprise entre 7 et 21 jours selon les expérimentations (l'expérimentation est arrêtée lorsque la croissance des témoins diminue). Des prélèvements de 20 ml d'eau dans chaque enceinte sont réalisés quotidiennement. La concentration en chlorophylle a est estimée par une mesure de fluorescence *in vivo* (Fluorimètre Turner), une gamme étalon entre l'indice de fluorescence et la concentration en chlorophylle a est réalisée à la fin de chaque expérimentation. Les dénombrements cellulaires d'échantillons phytoplanctoniques prélevés dans les microcosmes (Atrazine, Nicosulfuron et témoin) sont effectués en début d'expérimentation, une ou deux fois au cours de l'expérimentation et à la fin de celle-ci. Pour ce, les échantillons de 50 ml prélevés dans les enceintes sont immédiatement fixés au lugol, puis sédimentés dans des chambres d'Utermöhl et dénombrés à l'aide d'un microscope inversé (Axiovert 35 Zeiss). Au minimum 400 cellules sont dénombrées par espèce dominante dans chaque échantillon ce qui devrait donner une précision de 10% si les algues sont réparties de manière aléatoire (LUND *et al.*, 1958).

Traitement des données

Monoculture: En monoculture, nous avons mesuré les CE50 (c'est-à-dire la concentration en polluant, Atrazine ou Nicosulfuron, inhibant la croissance de 50% comparé aux témoins non contaminés) en effectuant une régression linéaire (échelle log) à partir des valeurs de densité optique obtenues en fonction des concentrations croissantes d'herbicide.

Microcosme: En microcosme, pour tester statistiquement les différences entre les traitements (Nicosulfuron, Atrazine et témoin), il faut comparer les microcosmes ayant reçu un polluant (Nicosulfuron ou Atrazine), aux témoins. Cette comparaison doit être faite espèce par espèce. Comme le nombre d'individus/ml est très variable d'un microcosme à l'autre, il est nécessaire d'utiliser un test non-paramétrique. Nous utiliserons le test Mann-Whitney (SCHWARTZ, 1963).

Des AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) ont été réalisées à l'aide du programme ADE (CHESSEL *et al.*, 1995), en utilisant les nombres d'individus/ml de chaque espèce et pour chaque microcosme, afin de décrire rapidement nos données taxonomiques. Cette analyse a été choisie puisque nous avons des facteurs de type qualitatif, les espèces phytoplanctoniques, et également parce que c'est une analyse travaillant sur la structure des données, ce que nous cherchons à observer.

Afin de mesurer la similarité entre peuplements de microcosmes différents, nous avons utilisé l'indice de Bray-Curtis (BRAY & CURTIS, 1957; DAHL & BLANCK, 1996).

RÉSULTATS

Monocultures

Les résultats des CE50 sont présentés dans le Tableau I. On constate une disparité très importante de sensibilité selon les souches d'algues et les herbicides testés.

TABLEAU I

Effets du Nicosulfuron et de l'Atrazine sur quelques souches algales en monoculture *in vitro*.

Espèce phytoplanctonique	Comportement avec le Nicosulfuron	Comportement avec l'Atrazine
Chlorella vulgaris	pas d'effet jusqu'à 100 mg/l	CE 50: 42 µg/l début d'inhibition: 10,4 µg/l
Selenastrum capricornutum	pas d'effet jusqu'à 10 mg/l	CE50: 98 µg/l début d'inhibition: 50,9 µg/l
Staurastrum sebaldii	pas d'effet jusqu'à 1 mg/l	début d'inhibition: 13 µg/l
Navicula accomoda	début d'inhibition: 50 mg/l	CE50: 140 µg/l début d'inhibition: 23,5 µg/l
Oscillatoria limnetica	CE50: 2,5 mg/l début d'inhibition: 30 µg/l	CE50: 52,3 µg/l début d'inhibition: 9,5 µg/l

Microcosmes

Déstructuration des communautés phytoplanctoniques par les herbicides: Afin de tenir compte de la variabilité des réplicats, nous avons effectué des tests non-paramétriques (Mann-Whitney) pour comparer les indices de similarité (Bray-Curtis) calculés entre microcosmes d'un même traitement et indices de similarité calculés entre microcosmes de traitements différents (BÉRARD *et al.*, 1999). Les résultats des tests non-paramétriques (Tab. II) montrent que pour certaines expérimentations, les micropolluants ont un effet significativement déstructurant sur les communautés phytoplanctoniques.

Des tests non-paramétriques (tests Mann-Whitney), ont été effectués pour chaque espèce, afin de comparer le nombre d'individus/ml entre microcosmes pollués et microcosmes témoins. Ces tests ont été ensuite comptabilisés. Ainsi, d'après la Fig. 1, l'Atrazine inhibe plus souvent les algues que le Nicosulfuron.

TABLEAU II

Résultats des tests non paramétriques effectués pour comparer les indices de dissimilarités BRAY & CURTIS, 1957) calculés entre microcosmes.

Expérimentations	Atrazine	Nicosulfuron
Juin 1997	+	+
Août 1998	0	+
Avril 1998	0	0
Mai 1998	0	0
Juin 1998	0	0
Juillet 1998	+	0

+ : effet déstructurant des communautés phytoplanctoniques significatif,
0 : pas d'effet déstructurant significatif.

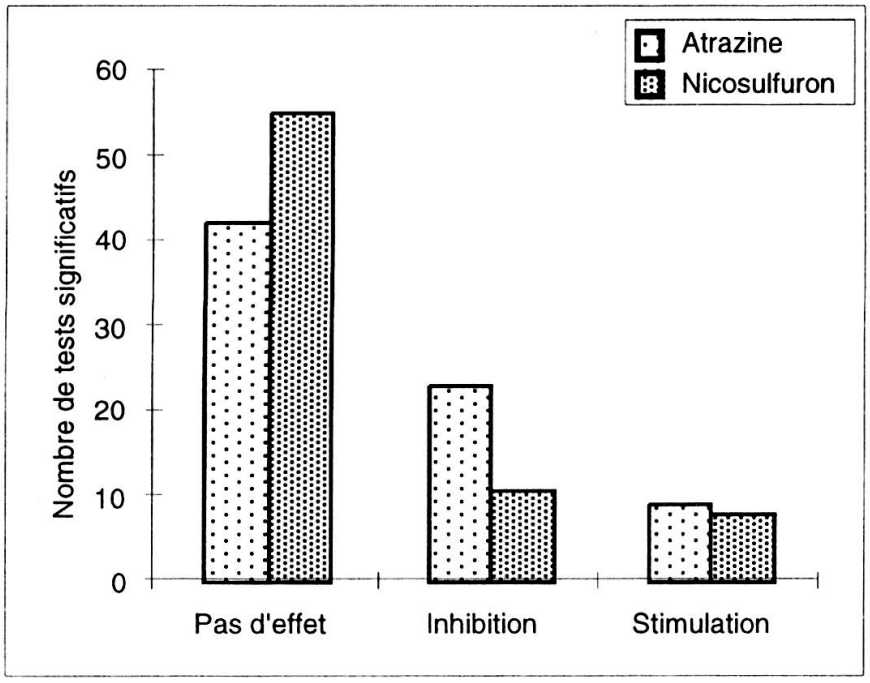

FIG. 1

Nombre de tests présentant soit un effet inhibiteur, soit un effet stimulateur, soit pas d'effet sur les algues, pour l'Atrazine et le Nicosulfuron.

Effets des herbicides sur les différentes espèces d'algues: Les mêmes tests non-paramétriques (Mann-Whitney) ont été comptabilisés et sont présentés dans les Figs 2 et 3, pour deux familles d'algues: les diatomées pennées, et les chlorophycées. Il en ressort que le Nicosulfuron inhibe plus les diatomées pennées que l'Atrazine, et que l'Atrazine inhibe les chlorophycées.

Variabilité de la sensibilité des communautés phytoplanctoniques aux herbicides en fonction des expérimentations: Nous avons réalisé des AFC à partir des espèces compo-

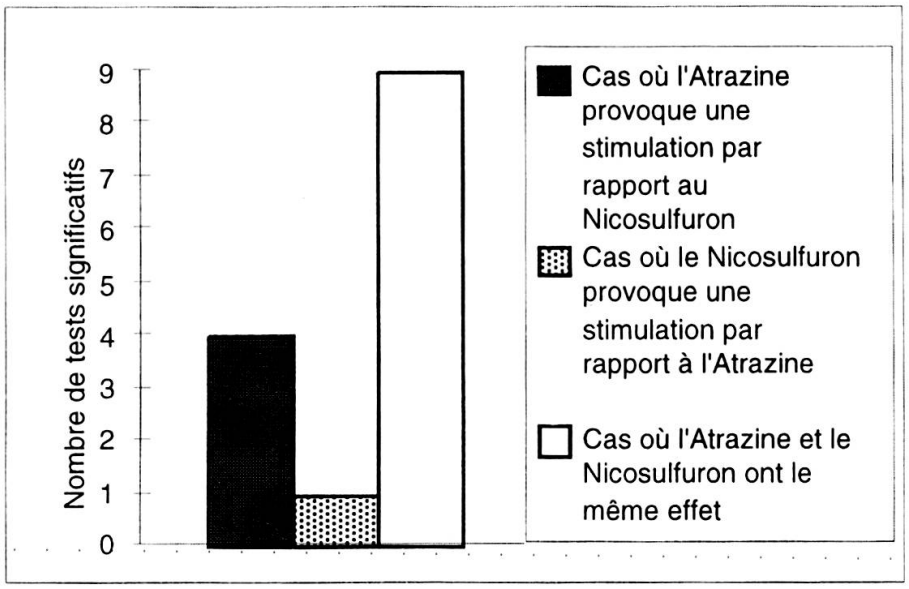

FIG. 2

Comparaison des tests par paire, Atrazine/Nicosulfuron pour une même expérimentation, chez les diatomées pennées (*Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia spp.*, *Diatoma elongatum*, *Synedra acus*, *Synedra acus* var. *Angustissima*).

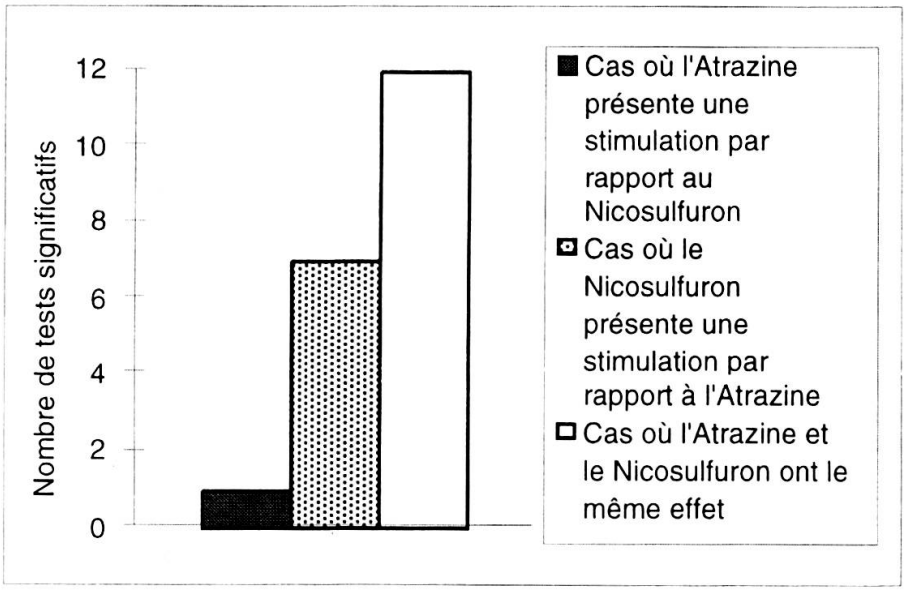

FIG. 3

Comparaison des tests par paire, Atrazine/Nicosulfuron pour une même expérimentation, chez les chlorophycées (*Ankyra lanceolata*, *Coelastrum sp.*, *Chlamydomonas spp.*, petits flagellés chlorophycées, *Chlorella vulgaris*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Micractinium pusillum*).

sant les peuplements finaux des différents réplicats des trois traitements pour chaque expérimentation. On observe sur ces AFC (Fig. 4), que les microcosmes se disposent de façons différentes. Par exemple, en juin 1997, les microcosmes se regroupent selon le traitement appliqué aux algues (Atrazine, Nicosulfuron, Témoin), en avril 1998, on observe seulement une tendance des microcosmes à se regrouper par type de traitement, et en juillet 1998, les trois types de traitement se recouvrent fortement. Il semble donc que la sensibilité des communautés phytoplanctoniques soit différente selon les expérimentations.

DISCUSSION

Effets destructurants des herbicides sur le phytoplancton

En monoculture, nous observons que les algues testées semblent plus sensibles à l'Atrazine. D'autre part, il existe une grande variabilité de la sensibilité au Nicosulfuron, cette forte variabilité est confirmée par PETERSON *et al.* (1994) qui ont de plus observé que les cyanobactéries et les diatomées sont directement stimulées par les sulfonylurées, les chlorophycées sont par contre inhibées. NYSTRÖM (1997), observe que les cyanobactéries et les dinophycées sont très sensibles aux sulfonylurées, les diatomées et *Chlorella vulgaris* étant tolérantes. Il remarque aussi une grande variabilité intra-classe. SABATER & CARRASCO (1997) observent des sensibilités variables selon les espèces de chlorophycées. KÄLLQVIST *et al.* (1994) ont montré que les cyanobactéries et les chlorophycées étaient inhibées par les sulfonylurées (chlorsulfuron) et que les diatomées n'étaient pas significativement inhibées. THOMPSON *et al.* (1993) observent une inhibition des cyanobactéries par le Metsufuron méthyl (sulfonylurée), DYER *et al.* (1982) n'observent pas d'inhibition de *Chlorella sorobiniana* à des concentrations inférieures à 1 mg/l de chlorulfuron. Il semble donc que la nature de la molécule active et que l'espèce d'algue testée (y compris au sein d'une même classe) soient primordiales pour expliquer la grande variabilité des résultats.

En microcosme, les résultats des tests non-paramétriques effectués sur les indices de Bray-Curtis, montrent que les deux micropolluants à une concentration de 10 µg/l ont un effet déstructurant sur les communautés phytoplanctoniques. Cependant, l'Atrazine semble plus déstructurante que le Nicosulfuron, ce qui confirme les observations de PETERSON *et al.* (1993) et KÄLLQVIST & ROMSTAD (1994) qui ont travaillé sur les mêmes familles d'herbicides (triazines et sulfonylurées).

Les deux micropolluants n'inhibent pas les mêmes familles d'algues:

1) Le Nicosulfuron inhibe plus les diatomées pennées que l'Atrazine. Certains acides aminés dont la synthèse est susceptible d'être inhibée par le Nicosulfuron, entrent dans la composition de la frustule siliceuse des diatomées. Ceci pourrait expliquer la sensibilité de ce groupe d'algues au Nicosulfuron.

2) L'Atrazine inhibe plus les chlorophycées que le Nicosulfuron. Ce résultat est en accord avec les observations sur la sensibilité des chlorophycées et des diatomées à l'Atrazine de BÉRARD & PELTE (1996). L'explication de cette sensibilité est physio-

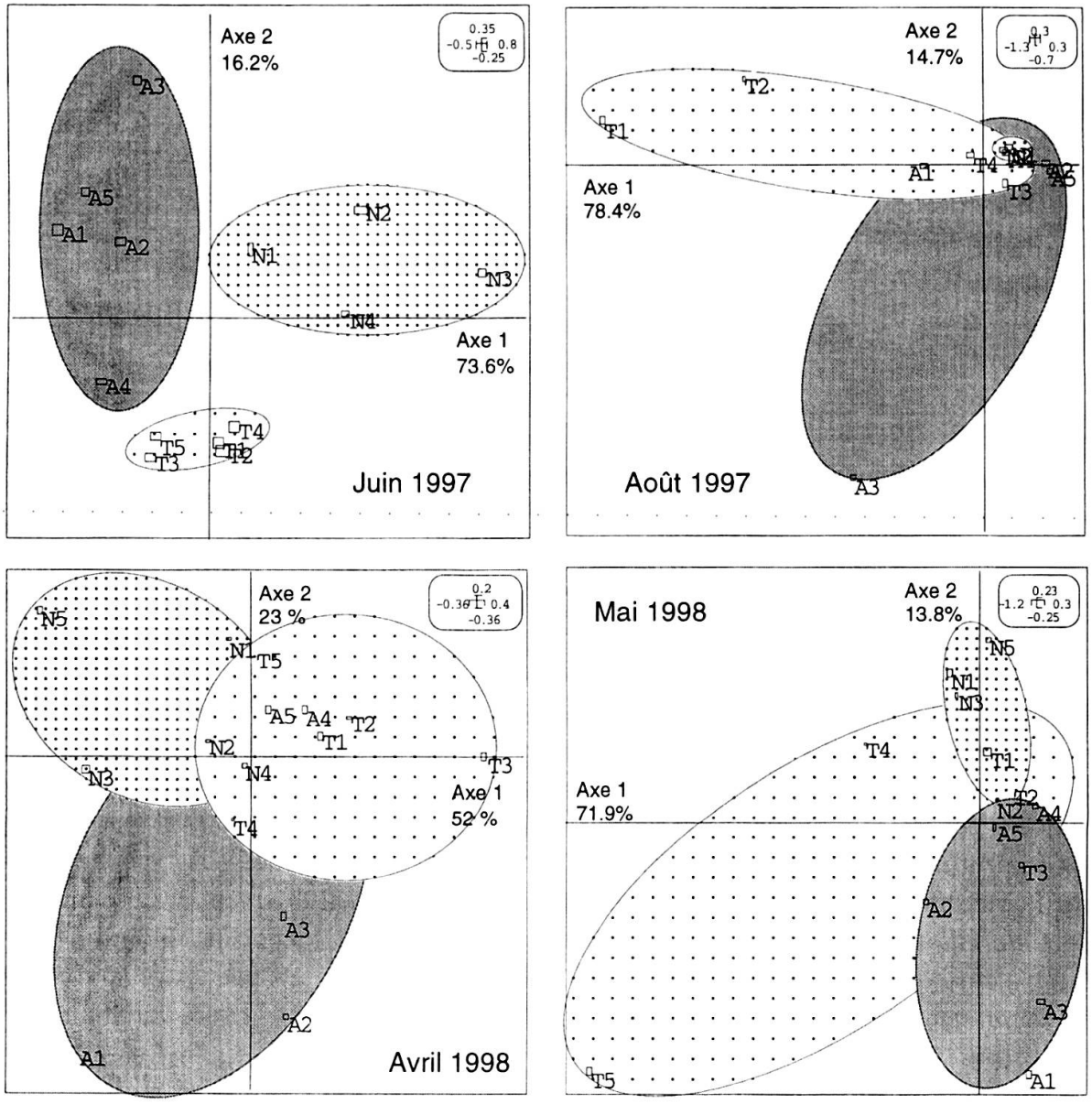

FIG. 4

logique. Les chlorophycées sont des végétaux de type C3 strict. Si leur photosystème II est bloqué (par l'Atrazine), la mort sera rapide puisque ce sont des végétaux qui n'ont pas de voie métabolique en parallèle, comme c'est le cas des végétaux de type C4. Les diatomées sont des végétaux plutôt de type C4, tout comme le maïs; ces végétaux sont capables de survivre en l'absence de photosystème II (FALKOWSKI & RAVEN, 1997).

Nous avons observé que les communautés phytoplanctoniques du Léman avaient des sensibilités variables selon les expérimentations. Cette variabilité de la sensibilité peut être expliquée par des différences de milieux de culture initiaux, des différences de compositions spécifiques des inoculums de peuplements entre les expérimentations, et des conditions météorologiques différentes pendant le déroulement de chaque expérimen-

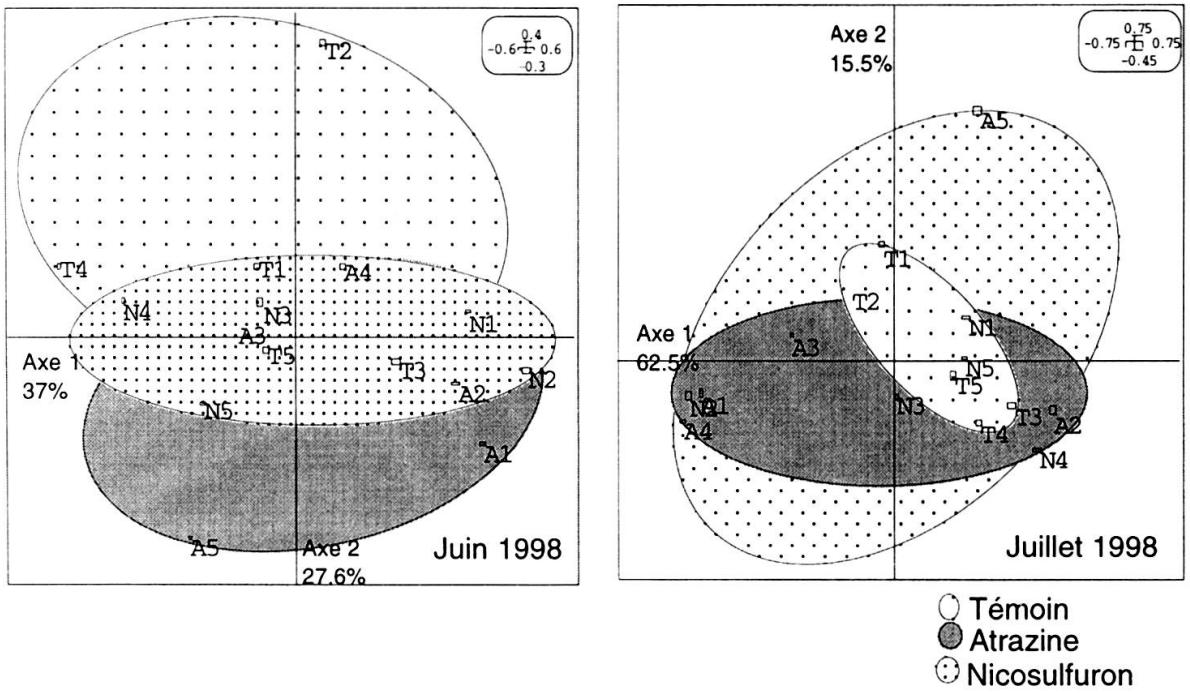

FIG. 4 (suite)

Disposition des microcosmes avec les deux premiers axes du plan factoriel; en utilisant comme facteur les espèces composant les microcosmes à la fin de chacune des expérimentations.

tation. BÉRARD *et al.* (1999) ont montré avec des expérimentations similaires, le rôle de la saison dans le comportement des communautés phytoplanctoniques vis-à-vis de l'Atrazine.

En ce qui concerne le Nicosulfuron, on ne peut pas dire que les changements de sensibilité des communautés phytoplanctoniques soient explicables par les changements de saison. En effet, trop peu d'expérimentations ont encore été menées.

Comparaison des méthodes expérimentales: monoculture/microcosme

Concernant le Nicosulfuron, il semblerait que la méthode expérimentale en microcosme soit plus sensible que la méthode en monoculture. En effet, pour observer des effets sur les algues en monoculture (par exemple certaines diatomées pennées), il faut des concentrations de Nicosulfuron bien supérieures à celles utilisées en microcosme (CE50 de 50 mg/l pour *Navicula accomoda* en monoculture, alors que les diatomées pennées sont inhibées avec 10 µg/l en microcosme). il semblerait que la complexification d'un système expérimental augmente la sensibilité des organismes testés.

LAMPERT *et al.* (1989) ont travaillé sur des systèmes expérimentaux plus ou moins complexes, et ils ont également observé que les organismes testés avaient des sensibilités plus grandes lorsque le système expérimental atteignait un degré de complexité plus important. Il est primordial d'après CAIRNS (1986a, b), d'intégrer cette complexité dans les systèmes expérimentaux pour mieux appréhender l'effet écotoxicologique des

polluants. On ne peut donc pas seulement baser des directives de protection du milieu naturel sur des biotests simples menés en laboratoire sur une courte durée. En effet, les études en systèmes complexes sont nécessaires et complémentaires car elles se rapprochent du milieu naturel, donc de la réalité. Elles coûtent cependant plus cher, sont moins précises et peu reproductibles (Fig. 5).

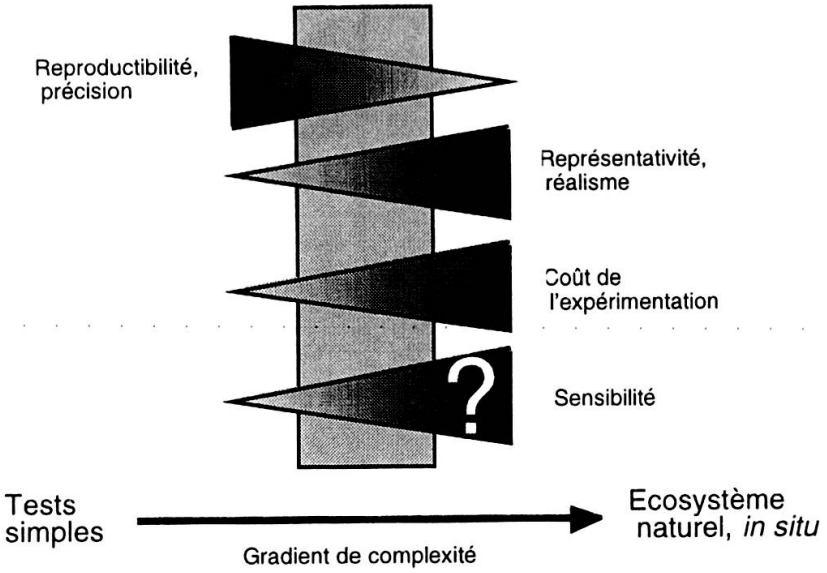

FIG. 5

Echelle de reproductibilité, de représentativité, de coût et de sensiblité des expérimentations en écotoxicologie (modifiée d'après ZIERIS, 1991).

Les mésocosmes sont des systèmes expérimentaux intégrant tout le réseau trophique d'un écosystème aquatique, et des manipulations utilisant le Nicosulfuron et l'Atrazine comme polluants de ces systèmes sont en cours. Afin de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes aquatiques sous l'effet d'une pollution, notre démarche est donc de réaliser des «aller-retour» entre des études écotoxicologiques en système de complexité variable.

RÉSUMÉ

L'Atrazine est un herbicide très utilisé dans les cultures de maïs. Il pollue certains écosystèmes aquatiques, dans certains cas cet herbicide est progressivement remplacé par le Nicosulfuron. Des études comparatives des effets de l'Atrazine et du Nicosulfuron sur le phytoplancton ont été réalisées à l'aide de systèmes expérimentaux plus ou moins complexes: monocultures et microcosmes. Les expérimentations en monoculture semblent montrer une sensibilité des algues plus faible qu'en microcosme. En microcosme, la sensibilité des communautés est différente selon les expérimentations et selon les espèces. Nos travaux montrent que des expérimentations en monoculture ne sont donc pas suffisantes pour apprécier les effets du Nicosulfuron sur les algues. La complexification du système expérimental d'étude augmente la sensibilité de celui-ci au Nicosulfuron.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier J.P. Bosse, R. Chandevault, E. Menthon pour leur aide technique, G. Monet pour son soutien informatique, et V. Ginot pour ses conseils en statistique.

BIBLIOGRAPHIE

BÉRARD, A., T. PELTE & J.C. DRUART. 1999. Seasonal variabilité in the sensitivity to atrazine of lake Geneva phytoplankton community structure. *Arch. Hydrobiol.*, 145: 277-295.

BÉRARD, A. & T. PELTE. 1999. Les herbicides inhibiteurs du photo-système II, effets sur les communautés algales et leur dynamique. *Rev. Sci. Eau*, 12: 333-361.

BÉRARD, A. & T. PELTE. 1996. Effets de l'Atrazine sur l'évolution des peuplements phytoplanctoniques lacustres. Etude en enceinte expérimentale *in-situ*. *Ecologie*, 27: 275-292.

BEYER, E.O., M.J. DUFFY, J.V. HAY & D.D. SCHLUETER. 1988. *Sulfonylureas, Herbicide chemestry, degradation and mode of action*. Kearney PC and Kaufman DD eds. Dekker NY, vol. 4: 117-189.

BRAY, J.R. & J.T. CURTIS. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27: 325-349.

CAIRNS, J. 1986a. The myth of the most sensitive species. Multispecies testing can provide valuable evidence for protecting the environment. *Bioscience*, 36: 670-672.

CAIRNS, J. 1986b. What meant by validation of predictions based on laboratory toxicity tests? *Hydrobiologia*, 137: 271-278.

CHESSEL, D., J. THIOULOUSE & S. DOLEDEC, 1995. *ADE-4. Program library*, multivariate and graphical display of environmental data. 6 vol. Univ. Lyon I.

CIPEL, 1998. Pas de produits phytosanitaires dans nos rivières! *Revue Suisse Agric.*, 30: 195-198.

DAHL, B. & H. BLANCK. 1996. Toxic effects of the antifouling agent Irganol 1051 on periphyton communities in coastal water microcosms. *Mar. Poll. Bull.*, 32: 342-350.

DYER, W.E., P.K. FAY & R.H. THOMPSON. 1982. Developing a bioassay for chlorsulfuron residues in Montana soils. *Proc. Western Soc. Weed Sci.*, 32: 35-74.

FALKOWSKI, P.G. & J.A. RAVEN. 1997. *Aquatic photosynthesis*. Editions Blackwell Science.

GIOVANNI, R. 1994. *Contamination des eaux et des poissons par les pesticides dans les rivières de l'Ouest*. INRA Rennes, COREP de la région Bretagne: 24 pp.

KALLQVIST, T. M.I. ABDEL-HAMID & D. BERGE. 1994. Effects of agricultural pesticides ou freshwater plankton communities in enclosures. *Norvegian Journal of Agricultural Sciences*, 13: 133-152.

KALLQVIST, T. & R. ROMSTAD. 1994. Effects of agricultural pesticides on planktonic algae and cynobacteria. Examples of interspecies sensitivity variations. *Norvegian Journal of Agricultural Sciences*, 13: 117-131.

LAMPERT, W., W. FLECKNER, E. POTT, U. SCHOBER & K.U. STÖRKER. 1989. Herbicide effects on planktonic systems of different complexity. *Hydrobiologia*, 188/189: 415-424.

LUND, I.W.G., C. KIPLING & E.D. LECREN. 1958. The inverted microscope, method of estimating algal numbers and statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.

NYSTRÖM, B. 1997. *Metabolic indicator of ecotoxicological effects in freshwater periphyton communities*. Thèse de doctorat Botanical Institute, Plant phycology, Göteborg University.

PETERSON, H.G., C. BOUTIN, P.A. MARTIN, K.E. FREEMARK & N.J. MOODY. 1994. Aquatic phyto-toxicology of 23 pesticides applied at expected Environmental Concentrations. *Aquatic Toxicology*, 28: 275-292.

SABATER, C. & J.M. CARRASCO. 1997. Effects of chlorsulfuron on growth of three freshwater species of phytoplancton. *Bull. Env. Contamin. Toxicol.*, 58: 807-813.

SCHWARTZ, D. 1963. *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Paris: Flammarion Médecine Sciences Press.

SRPV, 1996. *Plans prévisionnels de conduite et de protection des cultures établis conformément au cahier des charges 5-2; réduction d'intrants phytosanitaires.* Ministère de l'Agriculture, Région Franche-Comté: 14 pp.

STRATTON, G.W. 1984. Effects of the herbicide Atrazine and its degradation products, alone and in combination, on phototrophic microorganisms. *Arch. Env. Contamin. Toxicol.*, 13: 35-42.

THOMPSON, D.G., S.B. HOLMES, D. THOMAS, L. MACDONALD & K.R. SOLOMON. 1993. Impact of hexazinone and metsulfuron methyl on phytoplankton community of a mixed-wood/boreal forest lake. *Env. Tox. And Chem.*, 12: 1695-1993.

TREVISAN, D. 1996. *Accompagnement du programme d'action «nouvelles pratiques», compte rendu d'activité, projet de recherche pour la société Evian SA*, GIS Alpes Nord. 15 pp.

ZIERIS, E.J. 1991. Means and problems of ecotoxicological test with artificial aquatic ecosystems. *Verh. Internat. Verrein. Limnol.*, 24: 2322-2325.