

L'INDICATEUR BIOLOGIQUE : ASPECTS AUTÉCOLOGIQUES ET SYNECOLOGIQUES

François BLANC, Pierre KERAMBRUN et Michel LEVEAU

*Laboratoire d'Hydrobiologie marine
Centre Universitaire de Luminy, Marseille, France.*

Abstract : Some ideas on the notion of the biological indicator are discussed in terms of autecological and synecological aspects.

Si l'on s'acharne depuis de nombreuses années à définir la notion d'espèce indicatrice, c'est que, par le biais de ces espèces, on espère pouvoir donner avec une marge de sécurité plus ou moins grande les principales caractéristiques écologiques du milieu d'où elles sont issues sans pour autant procéder à des analyses de paramètres physiques et chimiques de ce même milieu. Cette notion d'espèce indicatrice revêt donc un grand intérêt, mais si elle a été peu utilisée jusqu'à maintenant, c'est qu'elle était considérée le plus souvent de façon beaucoup trop restreinte (par exemple, espèces indicatrices de dessalure, de pollution). En fait, cette notion devrait être prise dans un sens beaucoup plus large. Ceci, du reste, fut fait de façon régulière sans que l'on se référât pour autant à la notion d'espèce indicatrice. Ainsi parle-t-on d'espèces boréales, tropicales, bathyales, superficielles, hyponeustoniques, océaniques, néritiques, euryhalines, eurythermes, oligotrophes, eutrophes. Tous ces termes recouvrent en fait des caractéristiques écologiques très précises et définissent des indicateurs écologiques.

L'espèce devrait, en fait, être considérée comme partie ou sous-ensemble d'un ensemble plus vaste qu'est le milieu, avec les interrelations qui en découlent, chaque espèce ayant pour chacun des paramètres physiques et chimiques du milieu un niveau optimal de réponse, avec des possibilités plus ou moins larges d'adaptation physiologiques, métaboliques, de part et d'autre de ce seuil, déterminant son installation, sa survie ou sa disparition du milieu. Il est alors possible de définir des indices biologiques au niveau de l'espèce, c'est-à-dire au niveau autécologique.

Pour bien comprendre cette notion, il serait bon d'utiliser le langage mathématique moderne. Ainsi, l'océan au sens large devrait être considéré comme un vaste ensemble subdivisé en une multitude de sous-ensembles dans lesquels un certain nombre d'espèces a pu s'adapter. Une espèce sera d'autant plus indicatrice que sa distribution sera restreinte à un nombre réduit de sous-ensembles. On parlera alors d'espèce indicatrice écologique. Ces cas étant relativement rares, il paraît plus intéressant d'introduire la notion de "communauté d'espèces" indicatrice au plan synécologique, qui fait appel non pas à l'espèce mais à un ensemble d'espèces présentant des interrelations avec le milieu et également entre elles. A cet aspect structural, il faut ajouter un aspect fonctionnel qui pourra être appréhendé par des indices biologiques globaux définis au plan synécologique.

Nous considérerons successivement les aspects autécologiques et synécologiques de l'indicateur, puis nous présenterons brièvement les principales techniques mathématiques utilisables au plan synécologique.

1. ASPECTS AUTÉCOLOGIQUES

Au plan autécologique, la notion d'indicateur revêt un aspect qualitatif et un aspect quantitatif.

Qualitativement, l'indication peut être fournie par la présence ou par l'absence d'une espèce.

La présence de streptocoques focaux (*Escherichia coli*) est directement liée à une pollution d'origine urbaine. Toute espèce susceptible de fournir des informations sur les caractères des masses d'eaux peut être considérée comme indicatrice hydrologique (indicateurs d'eau atlantique en Méditerranée, indicateurs de dessalure ...). On peut citer ici le Cladocère *Penilia avirostris* (indicateur de dessalure) ou le Chaetognathe *Sagitta setosa* (indicateur de densité). Au niveau du benthos, la Polychète *Scolelepis fuliginosa* apparaît assez caractéristique des milieux récepteurs de pollution urbaine. Une autre Polychète cosmopolite, *Capitella*, a été souvent considérée comme excellente indicatrice des milieux perturbés par la pollution. Toutefois, des travaux récents tendent à montrer l'existence de diverses formes de *Capitella* représentant des adaptations distinctes à des perturbations. Des faits analogues sont connus chez *Littorina*, *Tisbe*, *Ophryotrocha*, et surtout chez *Drosophila*. Ceci conduit à poser le problème délicat du polymorphisme adaptatif au niveau des espèces indicatrices. Le polymorphisme biochimique, notamment, joue vraisemblablement un rôle important chez ces espèces qui sont, en réalité, très résistantes et qui possèdent certainement un potentiel d'adaptation physiologique et génétique élevé. Il représente donc un indice biologique non négligeable. Du point de vue génétique, en effet, les divers facteurs de pollution doivent être considérés comme autant de facteurs de sélection limitant non seulement le nombre des espèces mais également la variabilité intraspécifique.

Dans certaines conditions, une espèce peut être considérée comme indicatrice du fait de son absence. Des espèces normalement présentes dans une région peuvent, en effet, disparaître localement sous l'effet de modifications écologiques. Ainsi, par exemple, les Copépodes hyponeustoniques des genres *Anomalocera* ou *Pontella* ne se rencontrent que rarement dans les milieux pollués. Toutefois, ils ne disparaissent qu'à partir d'un certain seuil de pollution et cette notion de seuil introduit une difficulté dans l'appréciation du caractère indicateur de ces espèces.

Quantitativement, le caractère d'espèce indicatrice semble valorisé lorsqu'il y a explosion d'une espèce dont la multiplication se trouve accélérée soit sous l'action d'un facteur particulièrement favorable, soit, le plus souvent, sous l'action conjointe de plusieurs facteurs ou par le biais de la baisse de compétition. Ainsi, la Diatomée *Skeletonema costatum* peut elle être considérée comme un excellent indicateur d'eutrophie, avec des explosions d'effectifs pouvant atteindre plusieurs millions de cellules par litre. Les Dinoflagellés sont susceptibles de réaliser des poussées exubérantes. c'est ainsi que se produisent les phénomènes d'eaux rouges à *Goni-aulax*, aux conséquences écologiques catastrophiques; les Prorocentridés explosent également de manière spectaculaire lorsqu'à un apport massif de sels minéraux se surajoute une élévation de température exagérée. Parmi le

zooplancton, le Cladocère *Podon polyphemoides* trouve dans les zones polluées des conditions trophiques particulièrement favorables et peut y représenter la majeure partie du zooplancton. Le Copépode *Acartia clausi* apparaît également comme un bon indicateur: dans nos régions, cette espèce est pratiquement toujours présente et ses effectifs augmentent rapidement en fonction de la nourriture disponible dont l'abondance entraîne une accélération du développement. Toutefois, il convient de souligner qu' *A. latisetosa* tend à se substituer à *A. clausi* lorsqu'il y a une dessalure importante, tandis qu' *A. italica* apparaît dans les populations en liaison avec l'élévation de température. Une autre espèce, *A. josephinae*, est caractéristique des milieux portuaires et pollués. Ainsi, il semble que la notion d'indicateur concerne ici davantage le genre dont les différentes espèces, par le jeu de substitutions, sont susceptibles de répondre à la fois par leur présence et leur importance numérique à des situations variées. En ce qui concerne les peuplements benthiques, on ne peut passer sous silence le fait que l'abondance d'organismes suspensivores tels qu'Ascidies et Cirripèdes thoraciques se trouve liée à des conditions hydrologiques bien définies. L'abondance de *Scolecopsis* traduit une richesse particulière en matériel organique (ports, rejets d'égouts). Le Leptostracé *Nebalia bipes* semble, par ailleurs, de par l'importance qu'y atteignent ses effectifs, tout à fait caractéristique des milieux récepteurs de rejets à forte charge organique.

Mais, si la présence et l'abondance d'une espèce donnée peuvent être considérées comme liées à certaines conditions écologiques et par là-même indicatrices de certaines situations, il est bien évident que cette espèce n'est pas seule en cause et que, par le jeu des relations interspécifiques, son rôle écologique se manifeste au niveau de toute la communauté d'espèces. L'abondance d' *A. clausi* est liée au niveau trophique et en particulier au niveau de la production primaire. Les organismes filtreurs, tels les Appendiculaires du genre *Oikopleura* qui se nourrissent surtout de nanoplancton, sont généralement florissants lors des multiplications exubérantes de cellules de petite taille comme *Skeletonema costatum*. Aussi bien, sommes-nous amenés à considérer maintenant la notion d'indicateur au plan synécologique.

2. ASPECTS SYNECOLOGIQUES

Si la notion d'indicateur autécologique est essentiellement spécifique, la notion synécologique implique celle de communauté d'espèces. Elle va donc au-delà de la précédente et permet, semble-t-il, de cerner le problème d'une manière à la fois plus précise et plus réaliste en passant de la notion d'espèce indicatrice à celle de communauté indicatrice. Les techniques mathématiques, que nous exposerons plus loin, permettent une approche beaucoup plus objective et appropriée de la diversité des situations.

Cette notion synécologique de l'indicateur nous permet, en effet, d'aborder le problème d'un point de vue plus dynamique et de considérer l'évolution de la structure d'un écosystème *sensu* MARGALEF, c'est-à-dire allant vers des états de maturité croissante par des successions de populations de plus en plus structurées.

Un essai d'explication de cette dynamique de structuration d'un écosystème a été tenté en fonction des deux principes fondamentaux de la Thermody-

namique classique: les populations du stade I, les moins organisées (entropie forte) ayant la probabilité la plus grande de se réaliser et l'ordre (entropie faible) la probabilité la plus faible. Mais on comprend mal, de ce point de vue, que des populations bien structurées puissent s'observer dans la nature. C'est en fait oublier que les deux principes invoqués s'adressent à des systèmes fermés qui n'échangent que de l'énergie avec le milieu, jusqu'à réalisation d'un état d'équilibre stable qui constitue leur structure finale. Les systèmes biologiques, et en particulier les populations planctoniques, sont essentiellement des systèmes ouverts qui échangent avec le milieu environnant à la fois de la matière et de l'énergie; ce sont des "structures dissipatives", *sensu* PRIGOGINE, dont l'équilibre est essentiellement dynamique et toujours susceptible de modifications.

Dès lors, il est intéressant de reconsidérer la notion d'indicateur et de l'envisager dans le sens globaliste des modifications qui surviennent dans la dynamique de structuration et de fonctionnement du système lorsque celui-ci se trouve soumis à une influence perturbatrice (pollution, remontée d'eau profonde, arrivée d'eau douce, ...).

Dans les zones perturbées, on constate souvent que les populations naturelles n'atteignent pas leur degré de structuration maximale et que les systèmes restent relativement immatures. Les tentatives de structuration se succèdent et avortent plus ou moins rapidement, aboutissant à une structure en mosaïque de régions d'organisation différente. Pour essayer de chiffrer ces degrés d'organisation, l'écologiste possède plusieurs outils parmi lesquels l'indice de diversité fournit déjà une indication. Le dosage des adénosines 5' phosphate apparaît particulièrement intéressant car l'adénosine triphosphate pourrait jouer le rôle d'indicateur de l'activité métabolique par son importance relative dans la somme (ATP + ADP + AMP), sa proportion y apparaissant d'autant plus élevée que l'organisme est appelé à fournir un effort d'adaptation. D'autres paramètres d'estimation du fonctionnement global d'un système sont également intéressants à considérer; ce sont les rapports ATP/chlorophylle, Phaeophytine/chlorophylle a, N/P (N-NO₃, P-PO₄), C/N.

En ce qui concerne plus particulièrement le zooplancton, les enzymogrammes obtenus après électrophorèse semblent de nature à fournir de bonnes indications sur la physiologie de masse des populations. On constate, par exemple, que les diagrammes estérasiques s'appauvrissent dans certaines situations de pollution. La diminution de la variabilité intraspécifique des isoenzymes se manifeste au niveau du système et traduit d'une manière globale l'impact de la perturbation sur son comportement biochimique. La technique invoquée, susceptible de donner toute satisfaction au niveau spécifique par l'étude suivie de quelques espèces bien représentées, apparaît ici comme un excellent outil d'approche globaliste au niveau fonctionnel, lorsqu'elle s'adresse à un échantillon de zooplancton total.

3. APPROCHE MATHEMATIQUE

Etant bien entendu que tout système biologique ne peut en aucun cas être considéré comme la somme de ses parties, l'approche synécologique, fondée sur la notion de communauté, considère la structure d'ensemble du

système comme un tout organisé, fonctionnel. A ceci correspond une dualité d'approche mathématique. La première, dite analytique, correspond à l'étude du devenir de chaque espèce d'une population (planctonique, par exemple), ce devenir étant formulé mathématiquement pour aboutir à un système d'équations aux dérivées partielles permettant la simulation. La deuxième, qui paraît beaucoup plus réaliste, car elle permet d'appréhender les propriétés globales d'un écosystème, est dite synthétique. Elle correspond à la récolte simultanée d'une masse d'information aussi importante que possible répartie sur un large éventail de variables (physiques, chimiques, biologiques), et à l'étude des structures sous-jacentes aux interrelations existant entre elles. Deux grands types d'analyse mathématique sont alors disponibles, en fonction de la stratégie de prélèvement qui est elle-même liée à l'optique suivant laquelle on désire étudier un écosystème.

Si l'on veut réaliser une étude statique, obtenir une sorte de flash instantané du système, une stratégie de prélèvement en réseau spatio-temporel pourra être envisagée et l'analyse d'inertie (analyse factorielle) sera un outil de choix pour le traitement. Cette technique permettra d'obtenir un résumé de l'information répartie sur quatre ou cinq axes privilégiés qui la condenseront au mieux, ces axes pouvant recevoir une interprétation écologique globale par la prise en compte de variables supplémentaires exogènes (comme les paramètres climatiques, par exemple, des régimes alimentaires,..). L'emploi des aides à l'interprétation comme les contributions absolues et relatives permettra de rattacher les variables étudiées d'une part, et les variables supplémentaires d'autre part, aux axes.

Si l'on veut considérer l'aspect plus particulier de la dynamique temporelle d'un écosystème, l'analyse spectrale sera alors l'instrument à conseiller. Elle permettra de mettre en évidence par les fonctions d'autocorrélation et les spectres de puissance d'éventuels rythmes dans la structure et le fonctionnement des systèmes, les fonctions de corrélations croisées, de cohérence et de phase permettant de chiffrer l'intensité des liens existant entre ces rythmes et d'éventuels décalages à des fréquences semblables pour deux ou plusieurs variables (espèces, par exemple).

4. CONCLUSION

Il nous semble que, pour parvenir à une meilleure notion de l'indicateur, il convient d'en examiner les aspects autécologiques et synécologiques et de compléter les critères écologiques classiques par des indices biologiques. Ceux-ci sont susceptibles de traduire, au plan autécologique, les modifications comportementales des organismes, et au plan synécologique, le niveau de fonctionnement des systèmes biologiques. La prise en compte de tels indices, essentiellement physiologiques, peut en outre conduire à une certaine prévision et donc à une meilleure conservation de la nature.

