



**Des chercheurs français publient les résultats d'un modèle conçu à partir de 643 sites et de plus de 2400 campagnes d'échantillonnage d'invertébrés aquatiques. Ce travail montre que si la pollution par les nutriments reste le premier effet direct sur les populations d'invertébrés, l'évaluation des pressions change quand on prend en compte les effets indirects et latents des autres facteurs du bassin. La morphologie et les usages des sols prennent alors un poids plus important, de même que les échelles spatiales larges du tronçon et bassin versant par rapport à l'échelle très locale du site. L'étude montre aussi que les rivières ne répondent pas tout à fait de la même manière selon leur dimension et leur substrat géologique calcaire ou non. Si le modèle ne détaille pas chaque impact morphologique, il apparaît que les usages agricoles et urbains des lits, des berges et du lit majeur ont un poids conséquent sur la qualité écologique vue à travers les invertébrés. Cela suggère que la reconquête d'un bon état écologique des rivières au sens de la DCE sera complexe, longue et coûteuse. Raison de plus pour que l'argent public soit dépensé sur la base d'analyses rigoureuses.**

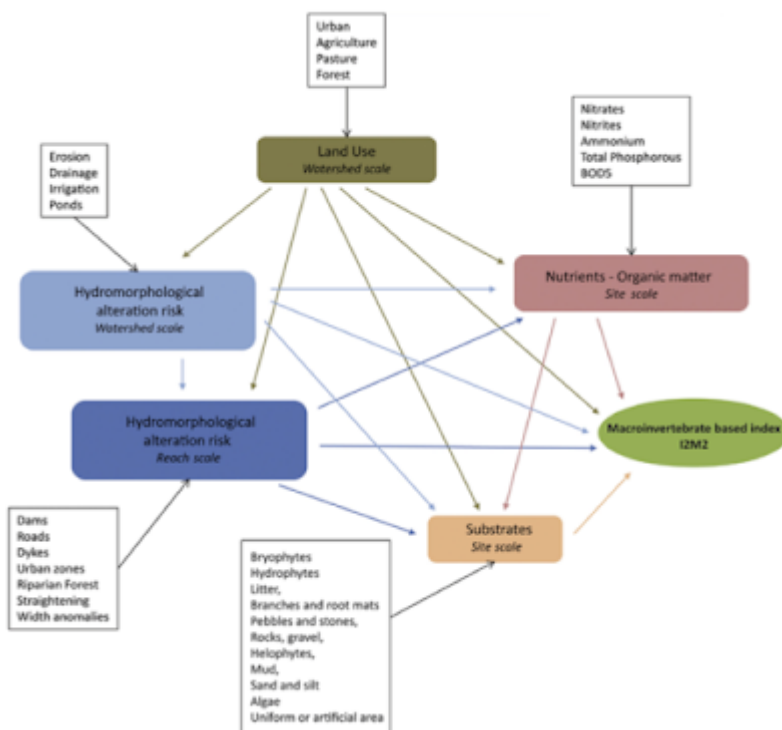
Bertrand Villeneuve et ses collègues (UR MALY, Irstea, Laboratoire d'hydro-écologie quantitative ; Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux, UMR 7360 CNRS—Université de Lorraine) viennent de publier une nouvelle recherche à propos des impacts des différentes pressions sur les invertébrés aquatiques en rivière. Leur problématique est ainsi énoncée : *« Le but de notre approche était de prendre en compte les échelles spatiales imbriquées pilotant le fonctionnement des rivières dans la description des liens pressions / état écologique, en analysant les résultats d'un modèle hiérarchique. Le développement de ce modèle nous a permis de répondre aux questions suivantes: La prise en compte des liens indirects entre les pressions anthropiques et l'état écologique des cours d'eau modifie-t-elle la hiérarchie des types de pression impactant les invertébrés benthiques? Les différentes échelles imbriquées jouent-elles des rôles différents dans la relation pressions anthropiques / statut écologique? Ce modèle permet-il de mieux comprendre le rôle spécifique de l'hydromorphologie dans l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau? »*

Les chercheurs ont sélectionné des hydro-écorégions de plaines et piémont (moins de 450 m), en divisant l'échantillon en deux critères géologiques : calcaire (roches sédimentaires) ou non calcaire. Une autre division, hydrologique, distingue les cours d'eau de petite dimension (ordre 1 à 3 de Strahler) et de moyenne dimension (ordre 4 à 6). Au final, quatre groupes sont analysés à partir de mesures réalisées sur 5 ans (2007-2012) : petites rivières non calcaires (160 sites, 638 échantillonnages), moyennes rivières non calcaires (127, 492), petites rivières calcaires (228, 817) et moyennes rivières calcaires (128, 460). Soit 643 sites et plus de 2400 campagnes d'échantillonnage.

La donnée biologique étudiée est l'indice invertébrés I2M2 (Mondy et al 2012), qui mesure les macro-invertébrés benthiques par la taxonomie et les traits des espèces, produisant un score de qualité en comparant des zones à faible et fort impact humain.

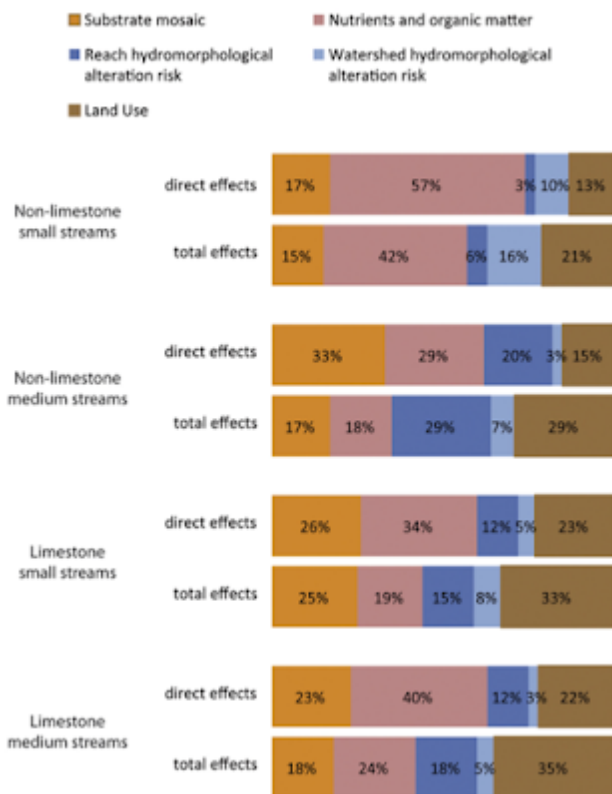
Les données de contexte et pression sont réparties en 3 échelles spatiales emboîtées: le bassin versant (8 descripteurs, par exemple urbanisation, agriculture intensive, érosion, irrigation, etc.), le tronçon (13 descripteurs, par exemple digues, barrages, rectification, densité d'arbre en ripisylve), le site (8 descripteurs dont les données physico-chimiques type nitrates et phosphores, les matières en suspension, la mosaïques des substrats du lit).

La méthode statistique utilisée est l'approche PLS (*Partial Least Squares*, régression partielle moindres carrés), une modélisation qui cherche à mettre en correspondance des données manifestes et des données latentes, en tenant notamment en compte les influences indirectes (quand une variable A modifie une variable B par une action intermédiaire sur une variable C).



Les données du modèle utilisé par Villeneuve et al 2018, art cit, droit de courte citation. [Cliquer pour agrandir.](#)

Le modèle est décrit par ce schéma ci-dessus, où l'on voit les différentes pressions (cadres rectangulaires) concourant à produire le résultat à expliquer (score I2M2), ou plus exactement ses variations. On notera que la notion de pression hydromorphologique est vaste : elle inclut érosion, drainage, irrigation, retenues (au niveau du bassin versant), ainsi que barrages, digues, routes en bord de rive, zones urbaines, état de la forêt rivulaire, rectification, changement de largeur (au niveau du tronçon).



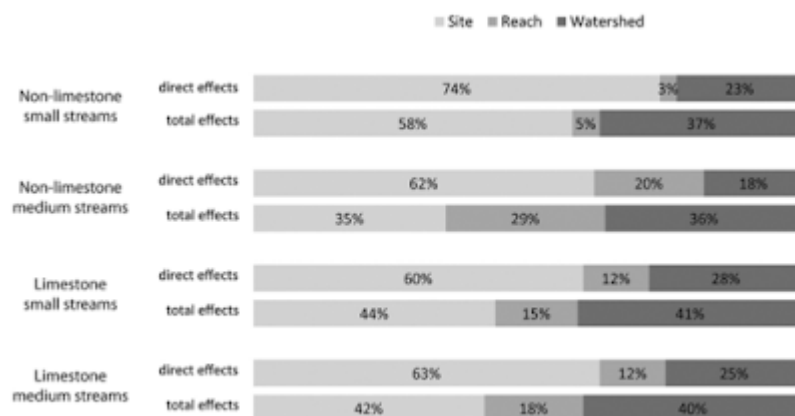
*Poids direct et indirect des facteurs de variation de l'I2M2, selon les types de rivière, art cit, droit de courte citation. Cliquer pour agrandir.*

Le schéma ci-dessus montre le poids relatif des grands facteurs causaux sur les variations de l'I2M2, selon les types de rivière. Le modèle distingue l'effet direct de l'effet total, ce dernier ré-ajustant l'effet observé en tenant compte des co-influences des facteurs. Le principal enseignement est que l'impact direct de la pollution (nutriments) sur site tend à se réduire si l'on prend en compte les effets indirects, au profit notamment des usages des sols et de l'hydromorphologie. Une autre observation est que ces variations sont plus ou moins marquées selon la dimension et la géologie de la rivière.

Les chercheurs soulignent : « *En se focalisant sur l'effet total (direct + indirect) des variables latentes sur les valeurs I2M2, si les variables à impact majeur restent les concentrations en nutriments et en matière organique pour les petits cours d'eau non calcaires, les contributions relatives des effets indirects modifient l'ordre hiérarchique des impacts des autres variables latentes pour les autres types de flux. En effet, pour les petits cours d'eau non calcaires, la contribution décroissante à la variation des valeurs I2M2 expliquée par le modèle sont: nutriments et matière organique (42%), usages des sols du bassin versant (21%), altérations hydromorphologiques à l'échelle du bassin versant (16%), les mosaïques du substrat (15%) et les altérations hydromorphologiques à l'échelle du tronçon (6%). En revanche, dans les cours d'eau de taille moyenne non calcaire, l'ordre décroissant d'importance des impacts a été modifié en: usages des sols du bassin versant (29%), altérations hydromorphologiques à*

*l'échelle du tronçon (29%), nutriments et matière organique (18%), mosaïques (17%) et altérations hydromorphologiques à l'échelle du bassin (7%). Pour les petits cours d'eau calcaires, cet ordre était: usages es sols du bassin hydrographique (33%), mosaïques du substrat (25,0%), nutriments et matières organiques (19%), altérations hydromorphologiques du tronçon (15%) et bassin versant (8%). Pour les cours d'eau de taille moyenne, il s'agissait de: usage des sols (35%), nutriments et matière organique (24%), mosaïque de substrat (18%), altérations hydromorphologiques du tronçon (18%) et du bassin (5%)» .*

Concernant l'hydromorphologie, les chercheurs observent : « le total des contributions directes des variables hydromorphologiques, aussi bien à l'échelle du bassin versant que du tronçon, représentait de 13% à 23% de la variance totale des valeurs I2M2 expliquées par les modèles. Ces contributions sont passées de 6% (cours d'eau de petite taille) à 13% (cours d'eau de taille moyenne non calcaire) en tenant compte également des effets indirects du bassin versant et de l'hydromorphologie sur les caractéristiques physico-chimiques et les mosaïques des sites, fournissant des contributions totales de 22% à 36% (selon les types de rivière) de la variance expliquée dans les valeurs I2M2. »



*Poids direct et indirect des échelles spatiales du site, du tronçon ou du bassin, art cit, droit de courte citation. Cliquer pour agrandir.*

Ce nouveau schéma ci-dessus montre le poids relatif du site, du tronçon ou du bassin versant. Le principal enseignement est que la prise en compte de l'effet total met en valeur l'influence des grandes échelles spatiales (tronçons et bassin versants). En d'autres termes, quand on analyse plus finement l'influence réciproque des impacts, on s'aperçoit qu'une partie des influences attribuées au site relève plutôt du tronçon ou du bassin versant.

## Discussion

Concernant le modèle proposé dans cette publication, plusieurs points nous sembleraient intéressants à approfondir :



## Invertébrés en rivières: comment mesurer les effets des pressions humaines et des échelles spatiales (Villeneuve et al 2018)

les scores I2M2 viennent en général du réseau de surveillance de la directive européenne sur l'eau, dont les sites d'implantation ne sont pas représentatifs de tout leur bassin. Il peut y avoir un biais d'échantillonnage (de même qu'il existe une marge d'erreur dans le calcul des scores invertébrés, dont l'impact sur la significativité des variations est peu étudiée en général). Des travaux sur un moins grand nombre de rivières, mais avec des mesures plus réparties sur leurs cours pourraient affiner les résultats du modèle;

une absente dans les entrées du modèle reste la pollution des cours d'eau par les substances autres que les nutriments. Il a été montré par la recherche que les populations européennes d'invertébrés terrestres sont en déclin tendanciel depuis plusieurs décennies, parfois prononcé, avec en ce cas de fortes suspicions sur le rôle des pesticides de synthèse. Mais bien d'autres micropolluants terminent dans les eaux, sans que l'on connaisse leur impact. Ce critère est certes approché par les taux d'urbanisation et d'agriculture, mais les pratiques d'épuration et les types d'agriculture sont assez variables. On soulignera à ce sujet que si le modèle prédit bien la direction de variation des scores I2M2, il est loin d'expliquer toute la variance observée (le R<sup>2</sup> est de 33% pour les petits cours d'eau non calcaires, 50% pour les cours d'eau non calcaires, 44% pour les petits cours d'eau calcaires et 40% pour les cours d'eau calcaires);

enfin, une attente forte réside dans l'évaluation détaillée de l'impact morphologique. Cette catégorie regroupe beaucoup de pressions différentes, comme on l'a vu ci-dessus dans la description du modèle. La France tient depuis une quinzaine d'années un discours sur l'égale importance de la pollution et de la morphologie. Cela peut s'entendre, mais le problème est que la morphologie désigne en réalité l'usage des eaux, des berges et des sols sur toutes les échelles (site, tronçon, bassin) : à ce niveau de généralité, on n'est guère avancé dans la décision! Il faudrait donc hiérarchiser le poids des pressions morphologiques, pour tenter d'atteindre les objectifs DCE 2027.

Ce modèle de Bertrand Villeneuve et ses collègues montre la complexité et la difficulté d'une étude d'impact sur les bassins versants. Certains lecteurs nous demandent parfois pourquoi nous jugeons les documents de la littérature grise (comme les états des lieux des SDAGE) insuffisants comme outils de décision : cette étude leur apportera un début de réponse. Une politique écologique commence par des mesures in situ et des modélisations pour comprendre le bassin versant sur lequel on investit de l'argent public. Par exemple, dépenser beaucoup d'argent à échelle de sites sans prendre en compte des altérations à échelle supérieure (tronçon, bassin) risque de produire des résultats modestes ou nuls, ce qui est d'ailleurs souvent observé en analyse avant-après d'interventions sur la morphologie (voir par exemple Morandi 2014, Lorenz et al 2018 en Allemagne). Comme les variations de populations d'insectes aquatiques ne sont pas vraiment la priorité des citoyens, le choix d'interventions peu sensées et le risque de résultats insignifiants vont altérer un consentement à payer déjà assez modeste.

Ce travail apporte des éléments d'intérêt à une théorie de l'évolution écologique des communautés aquatiques, selon une approche systémique. Il est en cela très utile, puisqu'il



## Invertébrés en rivières: comment mesurer les effets des pressions humaines et des échelles spatiales (Villeneuve et al 2018)

améliore l'intelligibilité de la dynamique des écosystèmes sous influence anthropique. Sa valeur restera en revanche limitée pour informer les débats très locaux, qui concernent l'écologie de sites particuliers. Le score I2M2 de la station en lit mineur et la réalité de la biodiversité du site avant-après ne sont pas les mêmes mesures (en l'occurrence, la biodiversité ordinaire perçue par les riverains n'est pas celle de l'I2M2). Les modèles hiérarchisés de bassin versant peuvent donc nourrir des réflexions pour les politiques publiques répondant à des objectifs cadres (comme ceux de la DCE), mais ils ne permettront pas l'économie d'échanges bien plus précis sur la rivière et la biodiversité que veulent les riverains. Et cela ne se décide pas dans les bureaux de Bruxelles...

**Référence** : Villeneuve B et al (2018), Direct and indirect effects of multiple stressors on stream invertebrates across watershed, reach and site scales: A structural equation modelling better informing on hydromorphological impacts, *Science of the Total Environment*, 612, 660-671