

ARTICLE

# Le Génie Écologique, une science par et pour le vivant

Mélanie Béhé\*, Eliane Bou Orm, Léa Hahn, et Adrien Palenstijn

Université de Strasbourg, Faculté des Sciences de la Vie, 28 rue Goethe, 67000 Strasbourg, France

Reçu le 7 octobre 2020

**Résumé**– Dans les années 1960, le concept de génie écologique a été théorisé par Howard Odum, qui a montré la possibilité de contrôler les trajectoires évolutives des écosystèmes en influant sur leurs dynamiques naturelles. Depuis, les définitions de ce concept ont évolué et la discipline s'est diversifiée, comptant actuellement pas moins de 15 domaines d'applications différents. La bibliométrie concernant l'ingénierie écologique montre bien l'importance de cette discipline à travers le monde. On remarque son évolution continue depuis les années 1995 avec une augmentation quasi exponentielle du nombre de publications chaque année, avec plus de 6500 publications au total provenant de tous les continents.

**Mots clés** : génie végétal, ingénierie, écologie, environnement, écosystèmes

**Abstract**– **Ecological engineering, a science by and for the living.** In the 1960s, the concept of ecological engineering was theorized by Howard Odum, who showed the possibility of controlling the evolutionary trajectories of ecosystems by influencing their natural dynamics. H. Odum gave the definition of ecological engineering as “human manipulation of the environment using small amounts of additional energy to control systems in which the main sources of energy still come from natural sources”. Since then, this definition has evolved, and several are currently used. The discipline then diversified, currently counting no less than 15 different fields of application, notably landscape architecture, phytoremediation, urban planning, agro-engineering, etc. Bibliometry concerning ecological engineering clearly shows the importance of this discipline worldwide. We notice its continuous evolution since 1995 with an almost exponential increase of the number of publications each year, with more than 6,500 publications in total coming from all continents.

**Keywords:** herbal engineering, engineering, ecology, environment, ecosystems

## Introduction

Le concept de génie écologique a été théorisé pour la première fois dans les années 1960 par l'écologue américain Howard Odum, considéré comme le père fondateur du génie écologique (Matlock & Morgan, 2011 ; Palmer *et al.*, 2014). Il a montré la possibilité de contrôler les trajectoires évolutives des écosystèmes en influant sur leurs dynamiques naturelles. Il définit l'ingénierie écologique comme « la manipulation de l'environnement par l'homme utilisant de petites quantités d'énergie supplémentaire pour contrôler des systèmes dans lesquels les principales sources d'énergie proviennent encore de sources naturelles » (Odum *et al.*, 1963).

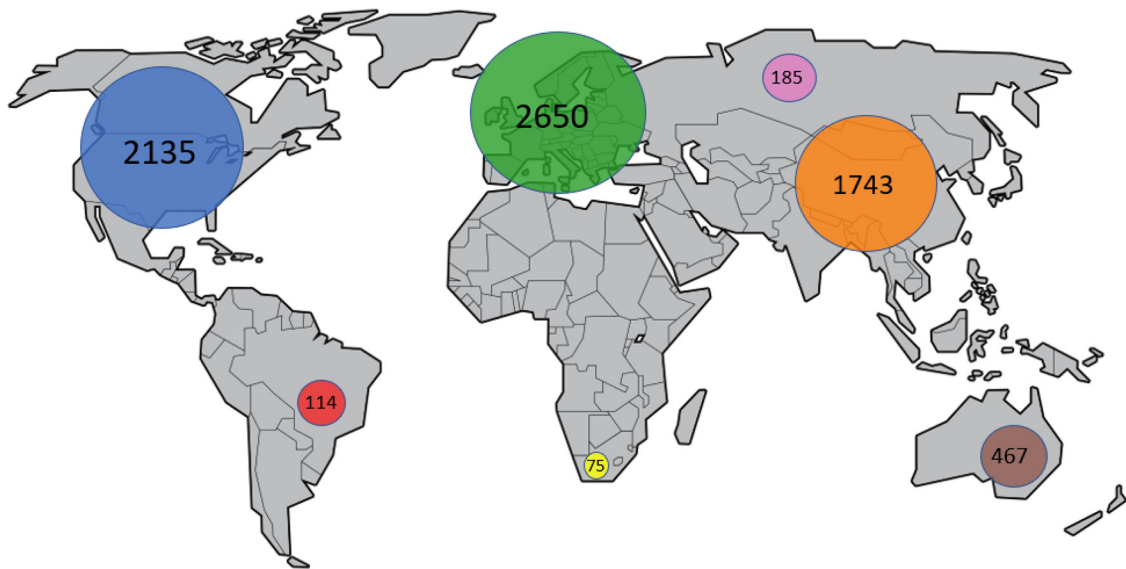
Il décrit ensuite en 1971 l'ingénierie écologique comme une activité de « gestion de la nature » particulière se rapprochant de l'ingénierie traditionnelle, comme une

« ingénierie de nouveaux modèles d'écosystèmes [...] qui utilise des systèmes principalement autonomes » (Odum, 1983 ; Mitsch, 2012).

Depuis, la définition du génie écologique a continué d'évoluer pour devenir « la conception de systèmes durables, compatibles avec les principes écologiques, qui intègrent la société humaine avec son environnement naturel au profit des deux », appuyant l'importance de la prise en compte de l'humain et de l'environnement comme un tout indissociable (Mitsch & Jørgensen, 1989, 2003). En 2001, cette définition est complétée pour devenir « la conception et la restauration d'écosystèmes naturels avec un bénéfice sociétal et environnemental » (Bergen *et al.*, 2001).

L'ingénierie écologique rassemble ainsi « des actions utilisant et/ou agissant pour la nature » et mettant en œuvre des stratégies de gestion et des techniques d'intervention basées sur les connaissances théoriques et des concepts scientifiques issus de la recherche en écologie appliquée sur le terrain. Ces stratégies mises en place grâce à l'utilisation de principes issus de l'ingénierie traditionnelle

\*Auteur correspondant : [m.behe@live.fr](mailto:m.behe@live.fr)



**Figure 1.** Carte représentant le nombre de publications sur le sujet « *ecological engineering* » parues dans le monde entier selon les continents, entre 1975 et 2019. Bien que n'étant pas géographiquement un continent, la Russie et l'ex-URSS sont comptabilisés indépendamment (données issues de la base de données *Web of Science*). Concernant l'Afrique, le nombre de publications a été placé au niveau de l'Afrique du Sud car il s'agit du pays qui comptabilise la majorité des publications.

ont pour but de rétablir ou de remplacer des processus biophysiques perdus ou dégradés afin d'atteindre un écosystème cible fonctionnel et autonome en adaptant ou en imitant le fonctionnement naturel des écosystèmes (Bergen *et al.*, 2001 ; Gosselin, 2011 ; Rey *et al.*, 2015).

Il existe deux principaux objectifs pour l'ingénierie écologique. D'une part, la « restauration des écosystèmes perturbés par les activités humaines, comme la pollution environnementale ou la perturbation des terres » (par « perturbation » les auteurs entendent ici une dégradation forte de l'écosystème, au-delà de ses capacités de résilience). Le second objectif vise le « développement de nouveaux écosystèmes durables présentant à la fois une valeur écologique et humaine » (Mitsch, 2012).

Il faut toutefois bien distinguer l'ingénierie écologique et l'ingénierie environnementale. En effet, bien que toutes deux utilisent les techniques de l'ingénierie pour leur application, seule l'ingénierie écologique prend en compte la dynamique de l'écosystème, son autonomie et ses capacités d'évolution. L'ingénierie environnementale est quant à elle mise en œuvre pour résoudre un problème environnemental en intégrant la composante biologique dans sa conception afin d'atteindre un objectif, en visant même volontairement à « produire des structures stables n'étant pas modifiées au cours du temps » (Allen *et al.*, 2003 ; Mitsch, 2012).

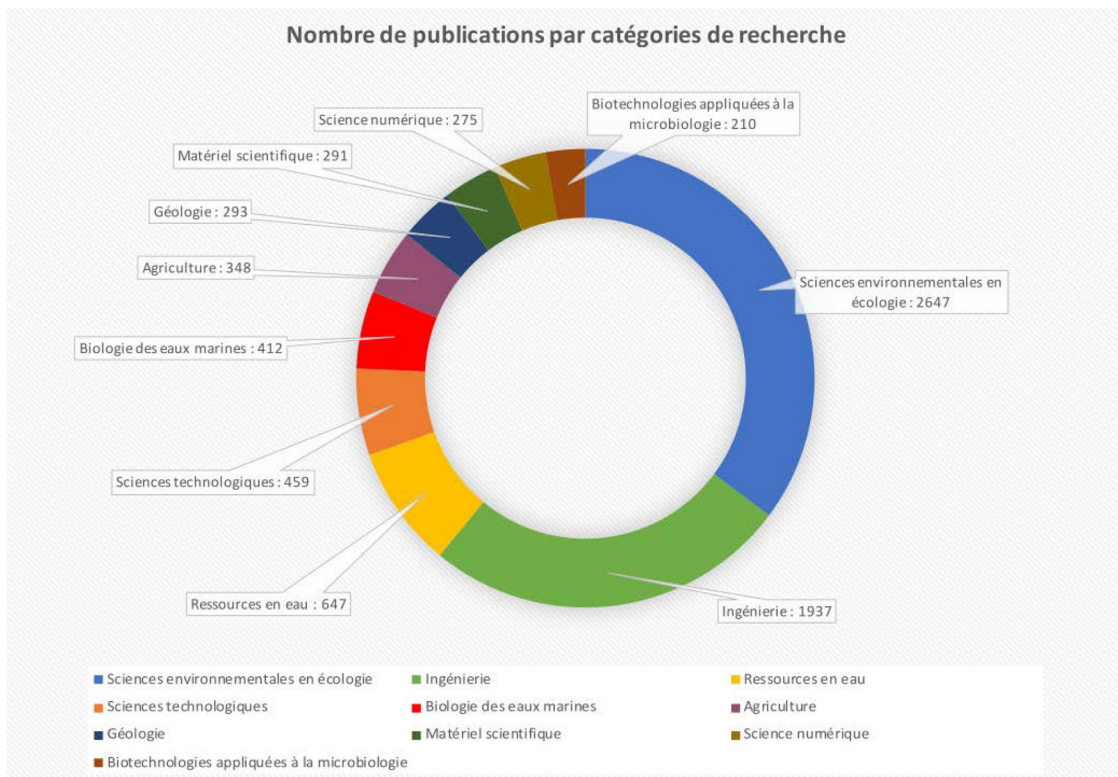
Le premier colloque international sur le thème de l'ingénierie écologique a eu lieu en Suède en 1991. Un an plus tard, en 1992, la revue *Ecological Engineering* a été créée. Celle-ci demeure actuellement la plus grande référence sur le génie écologique (Mitsch, 2012). À l'occasion du Centenaire de la Société de Biologie de Strasbourg, nous proposons de faire le point, près de 30 ans

après son apparition, sur la thématique du génie écologique, son évolution, ses principes et principaux domaines d'application.

## L'état de l'art dans le monde : une bibliométrie actuelle encourageante

Le terme de génie écologique est un terme très récent puisqu'il n'est utilisé qu'à partir des années 1960. On le rencontre aujourd'hui dans de nombreuses publications. Une recherche effectuée sur les articles publiés entre 1975 et 2019 indexés dans la base de données bibliographiques *ISI Web of science Core Collection*, sur les termes « *ecological engineering* » montre que plus de 6500 publications scientifiques se consacrent à ce domaine d'étude à travers le monde. Ce nombre très important de publications a émergé en l'espace de 45 ans, toutefois il est très probable que d'autres publications non indexées ou recensées sur d'autres bases de données plus confidentielles existent.

L'analyse de ces publications permet de retrouver un classement intéressant des pays publiant le plus sur le sujet. Les États-Unis apparaissent en premier avec un nombre de 1861 publications, suivi par la Chine avec 1392 publications. Viennent ensuite des pays européens comme l'Allemagne (456), le Royaume-Uni (439) et la France (402), suivi de près par l'Australie (392) et le Canada (354). Ces données ont été représentées sur une carte mondiale affichant le nombre de publications par continent (Figure 1). En regroupant ainsi les différents pays, l'Europe arrive en tête du classement, suivie par l'Amérique du Nord, l'Asie, l'Océanie, la Russie, l'Amérique du Sud puis l'Afrique.



**Figure 2.** Nombre de publications sur le thème « *ecological engineering* » par catégories de recherche (données issues de la base de données *Web of Science*).

L'analyse bibliométrique révèle une diversité de types d'écrits publiés sur le thème *ecological engineering*, dont une large partie des publications scientifiques sont des articles, au nombre de 4398. Il existe également 1656 documents de procédure, 705 revues, 106 publications de matériel éditorial, 37 chapitres de livre, 12 résumés de conférences, 6 lettres à l'éditeur, 5 revues d'ouvrage, ainsi que 3 rapports sur le sujet.

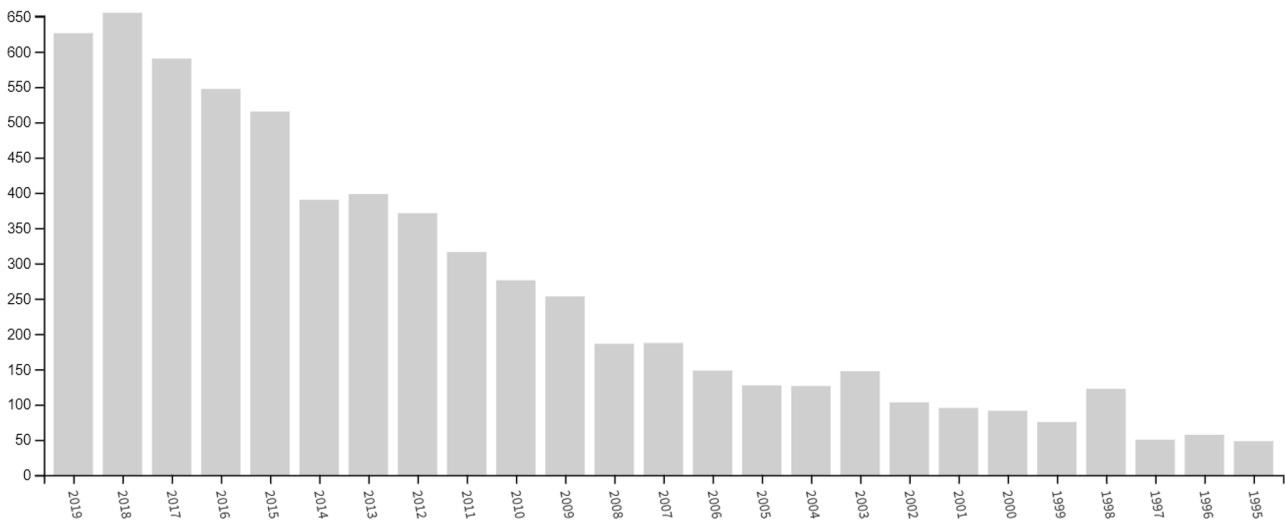
Les 6500 publications sur le thème *ecological engineering* sont regroupées dans des catégories de recherche différentes. Celles-ci concernent principalement, les sciences environnementales en écologie (2647 publications), l'ingénierie (1937 publications), ou encore les ressources en eau (647 publications) (Figure 2).

En France, on ne compte pas moins de 402 publications concernant la discipline du génie écologique. Dans ces 402 publications, une analyse textuelle réalisée sur les résumés des articles montre que les termes les plus utilisés sont les suivants: *Ecology*, *Engine*, *Plant*, *Use*, *Soil*, *Species*, *System*, *Effect*, *Ecosystem*, *Base*, *Water*, *Function*, *Develop*, *Process*, et *Nature*. Un nuage de mots comportant les termes les plus courants et pertinents des publications françaises a été réalisé (Figure 3). Sur cette figure, les mots *Effect*, *Manage*, *Use*, *Control* ou encore *Impact* illustrent que le génie écologique est mis en œuvre dans de nombreux cas où l'homme a un fort impact sur la nature. Les termes *Water*, *River*, *Control* sont également mis en avant. De nombreux écosystèmes dégradés appartiennent en effet à des milieux rivulaires ou fluviaux, notamment en raison du remaniement des berges et de la



**Figure 3.** Nuage de mots représentant les termes les plus utilisés dans les titres et résumés des 402 publications françaises répertoriées au sein de la base de données *Web of Science*, réalisé grâce au site [Wordart.com](http://Wordart.com).

modification de la trajectoire des cours d'eau (Nilsson *et al.*, 2005). C'est par exemple le cas du Rhin qui a subi une canalisation drastique à partir des années 1800, avec



**Figure 4.** Graphique représentant le nombre de publications par année concernant le terme « *ecological engineering* », entre 1995 et 2019 dans le monde selon la base de données *Web of Science*. Le nombre de publications recensées pour 2019 est inférieur à celui de 2018 car la recherche a été réalisée le 10/10/2019 et ne couvre donc pas toutes les publications de 2019.

des berges bétonnées et une trajectoire à présent quasi rectiligne. Ces travaux ont été réalisés dans un but de prévention des inondations et d'alimentation des turbines des centrales hydro-électriques. La perturbation du régime de crues et la disparition des bras morts que ces ouvrages ont engendrés ont fortement impacté la structure et le fonctionnement des écosystèmes rhénans. *Species, Plant, Ecosystem* ou *Ecology* montrent l'importance de l'utilisation du végétal et de la compréhension du fonctionnement des écosystèmes dans les procédés de génie écologique. Les éléments concernant la composante pédologique sont très importants également. En effet, la restauration des habitats nécessite généralement de remanier les sols et les sédiments lors de sa mise en œuvre. Les termes *Develop, Base, Between, Restore, Structure, Sustain* sont courants. La restauration des milieux à l'aide du génie écologique peut être un compromis entre un état de base qui a été dégradé ou qui n'existe plus et un état parfois un peu différent, dans le but de retrouver un système écologique stable.

Le génie écologique est une discipline qui se développe continuellement, et presque exponentiellement depuis l'année 1995, à 650 publications parues sur la seule année 2018 (Figure 4). La science « par et pour le vivant » est donc bel et bien en développement constant, et est plus que jamais d'actualité.

### Une discipline évoluant au fil des siècles

Le domaine du « génie écologique » n'a pas toujours porté ce nom et n'avait d'ailleurs au départ pas exactement les mêmes applications qu'aujourd'hui. Toutefois, l'idée d'action « par et pour le vivant » était déjà inscrite. Au XV<sup>e</sup> siècle, Léonard de Vinci a effectué des travaux d'aménagement hydraulique utilisant le saule

(*Salix*.sp.) pour stabiliser les berges (Labonne *et al.*, 2007). Il y avait déjà une utilisation intense des bois de forêt à cette époque, responsable d'une déforestation importante engendrant des inondations.

En France, dès 1730, Forest de Bélidor préconise la confection d'épis en fascines, aussi dénommés « tunes », afin de réduire la vitesse du Rhin. Un siècle plus tard, en 1833, Défontaine les recommande en guise de barrage pour fermer les « faux-bras » du fleuve. Ces ouvrages ancrés dans les berges sont constitués d'un couchis de fascines chargées d'un lit de graviers et traversées par de gros piquets en saule reliés par des clayons. Ils sont simples à réaliser, économiques et efficaces, mais pour Défontaine ces ouvrages ne sont pas destinés à durer dans le temps (Forest de Belidor, 1730 ; Bourdet, 1773 ; Defontaine, 1833). Les épis en fascines conviennent aux rivières calmes à faible charriage et non aux torrents et rivières de montagne (Surell, 1870, 1872).

Au XIX<sup>e</sup> siècle, les « saucissons » sont fréquemment utilisés dans les bassins supérieurs du Rhin. Ces ouvrages, d'un diamètre de 1 à 1,20 m, sont constitués de terre et de pierres ou de sable enveloppés de branchages. Ils sont resserrés tous les mètres grâce à un fil de fer. Selon leur usage, ils sont utilisés seuls ou par groupes de trois saucissons superposés, sur les cônes de déjection de torrents, le long des berges ou à la base de barrages (Mathieu, 1875).

Des lois ont progressivement été promulguées dans les années 1860 et 1882 sur la restauration et la conservation des terrains de montagne grâce au service Restauration des Terrains de Montagne (RTM), qui avait pour objectif initial la lutte contre l'érosion et la régularisation du régime des eaux par la correction torrentielle et le reboisement des bassins versants (Bruno Lailly, 2010 *in* Institut des Risques Majeurs, 2000). C'est dans ce contexte qu'est utilisé pour la première fois le terme de

« génie biologique ». Celui-ci renvoie aux actions effectuées « par le vivant », complémentaires du génie civil puisque ce sont des ingénieurs civils qui ont réalisé pour la première fois de telles infrastructures végétales.

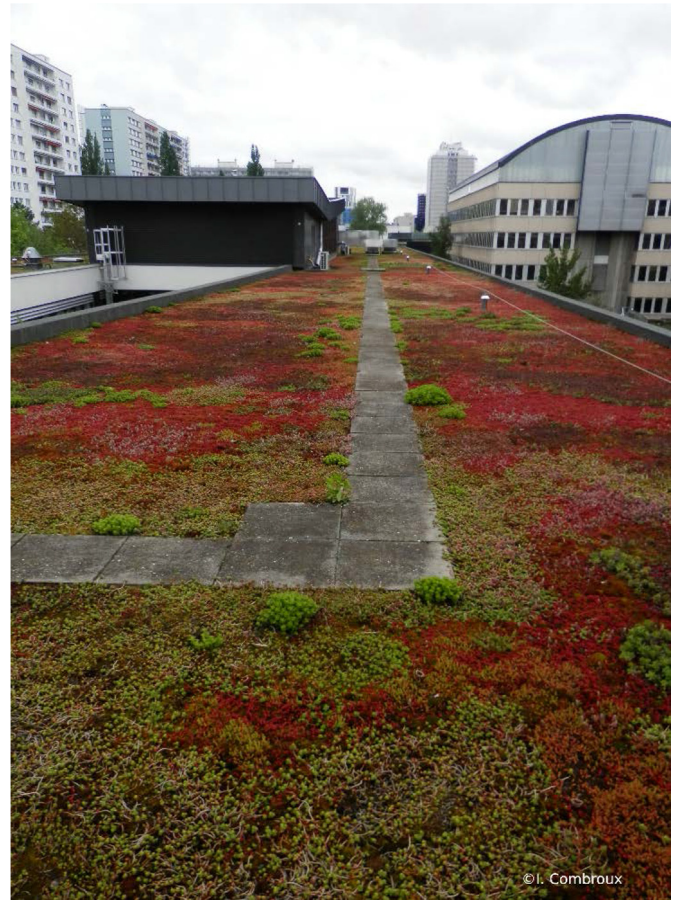
Aujourd'hui, le terme de « génie végétal » vient remplacer celui de « génie biologique » car ce dernier est un terme largement repris par les disciplines médicales, pouvant entraîner une confusion dans les ouvrages entre le domaine médical et environnemental. Le génie végétal désigne l'utilisation des plantes vivantes, de parties de celles-ci ou de semences afin de résoudre les problèmes de l'ingénieur dans les domaines mécaniques de la protection contre l'érosion, de la stabilisation et de la régénération des sols (Adam *et al.*, 2008). Le génie végétal sert également à la restauration, la réhabilitation ou la renaturation des milieux dégradés, ou encore à la phytoréhabilitation ou la phytoremédiation, grâce à des plantes au phénotype spécialement adapté.

Il a également été introduit dans les années 1960 le terme de « génie écologique ». Sa définition actuelle selon le site internet A-IgEco (association des « Acteurs de l'Ingénierie et du Génie Écologiques » regroupant entreprises, structures de recherches et collectivités travaillant dans ce domaine) est un « ensemble d'activités d'études et de suivis, de maîtrise d'œuvre et de travaux favorisant la résilience des écosystèmes et s'appuyant sur les principes de l'ingénierie écologique ». Le génie écologique a cependant une définition plus large qui inclut tous les processus vivants impliquant la faune, la flore, la pédologie, la biogéochimie, ainsi que la restauration des écosystèmes qui est une vraie finalité. Le génie écologique est l'utilisation du vivant (*e.g.* végétal, animal) pour le vivant. Le « génie » désigne la mise en place, c'est-à-dire l'entreprise d'un projet, et « ingénierie » se réfère à la conception des projets. Grâce au génie végétal sont créés des habitats naturels fonctionnels, ce qui représente une avancée majeure face au génie civil qui utilise des matériaux inertes.

## De nombreux domaines applicables au génie écologique

La discipline du génie écologique a évolué depuis ses débuts et s'est diversifiée au cours du temps en s'ouvrant à de nombreux domaines d'applications, tels que l'assainissement, la restauration d'écosystèmes et la reconstruction d'habitat, l'architecture verte et les techniques de construction intégrées, la phytoremédiation, l'architecture paysagère et les conceptions régénératrices, les énergies renouvelables, etc.

L'association étroite entre ingénierie classique et ingénierie écologique peut être illustrée notamment par les conceptions régénératrices telles qu'elles ont été utilisées dans les Alpes du sud de la France. En effet, certaines zones montagneuses mises à nu sont érodées par les pluies torrentielles et présentent un risque important de coulées de boue; elles constituent un danger pour les écosystèmes mais également les populations vivant en aval.



**Figure 5.** Exemple de toiture végétalisée extensive sur le campus de l'Esplanade à Strasbourg.

La mise en place de structures de bioingénierie composées de seuils en bois associés à des boutures de saules (*Salix* sp.) formant des paliers constitue une manière efficace de retenir les sédiments (Rey & Burylo, 2014). Le saule est un modèle de choix dans ce type de travaux de génie écologique en raison de son taux de croissance rapide et sa bonne capacité d'enracinement, influant fortement sur la rétention des sédiments et la stabilisation du sol.

Les toitures végétalisées (Figure 5) sont une autre application du génie écologique en plein essor. Les toitures végétalisées peuvent être considérées comme des écosystèmes à part entière, jouant plusieurs rôles utiles en zone urbaine. Elles servent premièrement à augmenter la biodiversité en ville en offrant un habitat propice aux espèces végétales tout comme animales, mais aussi microbiennes. Elles permettent également de retenir les eaux pluviales limitant l'érosion des bâtiments et relâchent ces eaux *via* le processus d'évapotranspiration végétale, contribuant ainsi au refroidissement du bâtiment (Moran *et al.*, 2005). La couche de végétation agit de plus comme un tampon en réduisant la quantité de chaleur transférée du bâtiment à l'atmosphère (Del Barrio, 1998; Theodosiou, 2003), permettant une meilleure régulation de la température des bâtiments et de l'air et une réduction de l'effet de serre.

La phytoremédiation, technique de génie écologique apparue vers les années 1980, consiste à utiliser des plantes vasculaires accumulant naturellement certains contaminants présents dans les sols pollués ou les eaux usées (*e.g.* composés organiques, métaux lourds) pour les dégrader ou les stabiliser. Les plantes et les microorganismes qui leur sont associés peuvent être utilisés à la place des techniques de dépollution plus classiques et parfois plus coûteuses. L'expérience de James (1996) montre que le chrome présent dans les sols pollués sous forme  $\text{Cr}^{6+}$  peut-être transformé en  $\text{Cr}^{3+}$  par les racines d'*Eichhornia crassipes* (la Jacinthe d'eau, plante utilisée hors Union Européenne, dans les zones où elle n'est pas invasive). Sous forme  $\text{Cr}^{3+}$ , le chrome est hautement insoluble et ne présente plus de risques environnementaux. Kärenlampi *et al.* (2000) ont également montré que les peptides et les protéines impliqués dans cette hyper-tolérance aux métaux sont les phytochélatines et les métallothionéines, riches en cystéines, qui vont séquestrer les ions et les métaux lourds. Le développement du génie écologique dans le domaine de la phytoremédiation a ainsi permis le traitement de pollutions lourdes de manière économique mais aussi écologique, constituant une alternative aux excavations pratiquées jusqu'alors, ne faisant que déplacer la pollution d'un endroit à un autre.

## La diversité fait la force

Le maître mot dans le génie écologique est la combinaison des techniques. Tout comme il existe une diversité de milieux et d'écosystèmes, plusieurs solutions peuvent être proposées pour répondre à une problématique précise lors de travaux de génie écologique. Avant de proposer un projet, il est nécessaire de réaliser un diagnostic écologique, c'est-à-dire de penser à l'ensemble des paramètres influant sur le milieu, en prenant en compte notamment les processus écologiques, afin de pouvoir mettre en place des ouvrages réfléchis, répondant de manière efficace et durable à la problématique. En ce sens, il est possible et même recommandé de mélanger, multiplier et diversifier les méthodes et ouvrages de génie écologique sur un même projet. L'application du génie écologique doit savoir faire preuve d'inventivité en combinant les techniques d'ouvrage et les matériaux, en prenant en compte leurs avantages et inconvénients afin d'adapter au mieux le projet par rapport aux enjeux. Le génie écologique fait couramment appel à des combinaisons éphémères ou pérennes de structures issues de l'ingénierie classique ainsi que de l'ingénierie écologique, en raison notamment des délais parfois longs entre la mise en place d'une solution végétale et son efficacité optimale obtenue une fois le matériel végétal bien développé.

## Conclusion

Les techniques de génie écologique existent depuis des siècles mais étaient connues plutôt sous les termes de « génie biologique » ou bien de « génie végétal ». Ce n'est

que depuis les années 1960 que l'on parle plus précisément de « génie écologique » et de nombreux efforts de définition du terme ont été menés depuis, avec plusieurs variations rencontrées selon les auteurs. Ces définitions, tout comme les différents domaines qui composent cette discipline, ne cessent d'évoluer et de se diversifier. Les réponses apportées par le génie écologique permettent ainsi d'intégrer les écosystèmes et leur fonctionnement dans la conception de tous types d'ouvrages, afin de proposer des solutions efficaces, économiques et écologiques à diverses problématiques, tout en étant en adéquation avec les préoccupations environnementales actuelles.

## Contribution des auteurs

Mélanie Béhé et Léa Hahn ont rédigé l'article. Mélanie Béhé, Eliane Bou Orm, Léa Hahn et Adrien Palenstijn ont effectué les recherches bibliographiques.

*Remerciements.* Nous tenons à exprimer notre gratitude envers l'Université de Strasbourg et la Société de Biologie de Strasbourg pour nous avoir donné l'opportunité de concevoir cet article, et nous remercions la revue Biologie Aujourd'hui pour sa publication. Nous remercions également Mme Isabelle Combroux du Laboratoire Image Ville Environnement pour la relecture de cet article et les nombreux conseils qu'elle nous a apportés lors de sa conception.

## Références

- Adam, P., Debais, N., Gerber, F., Lachat, B., Le génie végétal : un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques, La Documentation française, Paris, 2008, 290 p.
- Allen, T.F.H., Giampietro, M., Little, A.M. (2003). Distinguishing ecological engineering from environmental engineering. *Ecol Eng*, 20, 389-407.
- Bergen, S.D., Bolton, S.M., Fridley, L.J. (2001). Design principles for ecological engineering. *Ecol Eng*, 18, 201-210.
- Bourdet, M., Traité pratique des digues le long des fleuves et des rivières, C.A. Jombert, Paris, 1773, 164 p.
- Defontaine, A., Des travaux du fleuve du Rhin (régime, digues, barrages, coupures), Annales des Ponts et Chaussées, Paris, 1833.
- Del Barrio, E.P. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energ Build*, 27, 179-193.
- Forest de Belidor, B., Architecture hydraulique, 2e partie, tome 2 : l'art de diriger les eaux, Barrois et Firmin Didot, Paris, 1730, 480 p.
- Gosselin, F. (2011). Redefining ecological engineering to promote its integration with sustainable development and tighten its links with the whole of ecology. *Ecol Eng*, 32, 199-205.
- Institut des Risques Majeurs, Site internet de l'Institut des Risques Majeurs de Grenoble, 2000, <http://www.irma-grenoble.com/>.
- James B.R. (1996). The challenge of remediating chromium-contaminated soils. *Environ Sci Tech*, 30, 249-251.
- Kärenlampi, S., Schat H., Vangronsveld J., Verkleij J.A.C., van der Lelie D., Mergeay M., Tervahauta A.I. (2000). Genetic engineering in the improvements of plants for phytoremediation of metal polluted soils. *Environ Pollut*, 107, 225-231.

- Labonne, S., Rey, F., Girel, J., Evette, A., Historique des techniques de génie biologique appliquées aux cours d'eau. Ingénieries eau-agriculture-territoires, Lavoisier, IRSTEA, CEMAGREF, 2007, pp. 37-48.
- Mathieu, A., Le reboisement et le regazonnement des Alpes, Imprimerie nationale, Paris, réédition 1875, 1864, 168 p.
- Matlock, M.D., Morgan, R.A., Ecological Engineering: Restoring and Conserving, John Wiley & Sons, New Jersey, 2011, 340 p.
- Mitsch, W.J. (2012). What is ecological engineering? *Ecol Eng*, 45, 5-12.
- Mitsch W.J., Jørgensen S.E., Ecological engineering: An introduction to ecotechnology, John Wiley & Sons, New York, 1989, pp. 3-12.
- Mitsch, W.J., Jørgensen, S.E., Ecological engineering and ecosystem restoration, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003, 408 p.
- Moran, A., Hunt, B., Smith, J., Hydrologic and water quality performance from green roofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina, in: Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show, 2005, pp. 4-6.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M., Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308, 405-408.
- Odum, H.T., Systems Ecology: An introduction, Wiley, New York, 1983, 644 p.
- Odum, H.T., Siler, W.L., Beyers, R.J., Armstrong, N. (1963). Experiments with engineering of marine ecosystems. *Publ Inst Mar Sci Univ Texas*, 9, 374-403.
- Palmer, M.A., Filoso, S., Fanelli, R.M. (2014). From ecosystems to ecosystem services: Stream restoration as ecological engineering. *Ecol Eng*, 65, 62-70.
- Rey, F., Burylo, M. (2014). Can bioengineering structures made of willow cuttings trap sediment in eroded marly gullies in a Mediterranean mountainous climate? *Geomorph*, 204, 564-572.
- Rey, F., Cécillon, L., Cordonnier, T., Jaunatre, R., Loucougaray, G. (2015). Integrating ecological engineering and ecological intensification from management practices to ecosystem services into a generic framework: a review. *Agron Sustain Dev*, 35, 1335-1345.
- Surell, A., Étude sur les torrents des Hautes-Alpes, Tome 1, Dunod, Paris, 1870, 317 p.
- Surell, A., Étude sur les torrents des Hautes-Alpes, Tome 2, Dunod, Paris, 1872 382 p.
- Theodosiou, T.G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energ Build*, 35, 909-917.

**Citation de l'article :** Béhé, M., Bou Orm, E., Hahn, L., et Palenstijn, A. (2020). Le Génie Écologique, une science par et pour le vivant. *Biologie Aujourd'hui*, 214, 97-103