

## ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET INNOVATION

*Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC UVED «Économie circulaire et innovation». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

### *Genèse de la notion d'écologie industrielle*

**Frédérique Vincent**

*Professeure, Mines ParisTech*

Pendant des années, les politiques de protection de l'environnement ont consisté à agir de manière réparatrice en traitant la pollution. Cette approche dite « end of pipe » est une démarche insuffisante, car en se concentrant sur le traitement d'une partie des outputs, c'est-à-dire des rejets qui sont des rejets engendrés par le système industriel, elle permet de réguler la décharge de polluants dans l'environnement, mais elle n'affecte pas du tout les procédés en amont. Cette approche est donc critiquable à de très nombreux égards. Elle est cloisonnée, c'est-à-dire qu'elle autorise le transfert de pollution d'un compartiment à un autre, on appelle compartiments par exemple le sol, l'eau, l'air donc par exemple produire de l'eau propre, dépolluer de l'eau, ça génère des boues qu'il faudra bien éliminer. Incinérer des déchets génère des cendres, là encore il faudra les éliminer. Elle est incrémentale, ce qui veut dire qu'elle procède par petites améliorations ponctuelles, ces améliorations sont souvent dues à un renforcement de la législation ou au contraire à des améliorations techniques qui existent. Elle freine l'innovation, tout simplement parce qu'elle incite les industriels à se conformer strictement à la régulation en cours. Elle coûte très cher, de plus en plus cher, car en général plus on veut atteindre des seuils de pollution faible, plus il faut investir dans des technologies de plus en plus performantes et enfin elle n'offre aucune vision systémique.

À cette approche correctrice ont été ajoutées depuis plus de 20 ans les approches préventives dénommées « cleaner production », mais qui connaissent également des limites.

L'écologie industrielle donc propose un cadre conceptuel plus vaste qui vise la totalité des flux entrants et surtout de matières et d'énergies transitant dans le système y compris les translocations. Alors qu'appelle-t-on une translocation ? C'est-à-dire que les flux de

ressources qui sont non comptabilisés par les entreprises ne font pas l'objet de transactions commerciales, sont quand même comptabilisées, c'est par exemple le cas de l'eau d'irrigation ou des stériles miniers ou encore le déplacement de terre lors de la construction d'infrastructures.

Conceptuellement, on pourrait dire que l'approche des pollutions et de traitement suppose une vision de l'environnement comme extérieure à l'activité économique et il s'agit donc de minimiser les impacts du système industriel vu comme séparé de la biosphère. Par contraste, l'écologie industrielle ne considère pas le système industriel comme séparé de la biosphère, mais comme en en faisant totalement partie comme nous allons le voir par la suite.

Le terme écologie industrielle peut surprendre, car il évoque spontanément une sorte d'oxymore où l'on associe deux mots antinomiques. D'un côté l'industrie au sens large, c'est-à-dire l'ensemble des activités économiques et de l'autre la biosphère. Deux mots que l'on a pris l'habitude de séparer depuis le début de l'ère industrielle, mais que l'écologie industrielle se propose, elle, de réconcilier.

Cette idée d'écologie industrielle est relativement ancienne, on en trouve quelques traces dans les années 60, mais le domaine a véritablement émergé suite à une publication en 1989 dans un numéro spécial de Scientific American d'un article de Robert Frosh et Nicolas Gallopoulos, tous deux ingénieurs chez General Motors. Dans leur article, les deux auteurs introduisent la notion d'écosystème industriel, je les cite : "le modèle traditionnel d'activité industrielle où chaque opération de transformation indépendamment des autres, cote des matières premières, fournit des matières premières que l'on vend et des déchets que l'on stocke doit être remplacé par un modèle plus intégré, un écosystème industriel".

L'écologie industrielle donc à l'image des écosystèmes naturels propose ainsi une vision permettant un usage des ressources quasiment cyclique en partie grâce au recyclage, mais aussi et surtout grâce à des interactions complexes entre les différents agents économiques.

Évoquons à nouveau ces deux termes, écologie renvoie ici à l'écologie scientifique qui étudie le fonctionnement des systèmes vivants sur terre et leur interaction; industriel lui désigne l'ensemble des activités économiques dans le cadre de la société technologique moderne. Loin finalement d'être une contradiction, l'écologie industrielle est donc un paradigme qui consiste à partir d'une métaphore et en s'inspirant du modèle que nous offre la nature à reconstituer l'ensemble des activités économiques dans le cadre de la société industrielle.

Il est important de signaler que l'expression vient de l'anglais « industrial ecology » où le terme industriel a un sens beaucoup plus large qu'en français d'où son acceptation peut être difficile en France avec un sens qui est nettement plus restreint chez nous. On a vu donc apparaître plus récemment dans certains pays et en particulier en Chine et en France depuis le Grenelle, le concept d'économie circulaire qui d'emblée embrasse le cycle des activités économiques à savoir l'enchaînement, production, échange et consommation. L'écologie industrielle qui finalement est un terme plus difficile à accepter par les acteurs de la société,

manifeste de cette même intention de cycle, mais en se référant à une sorte d'inspiration que sont les écosystèmes.

Bien sûr, il est important de garder à l'esprit que le concept d'écologie industrielle est une analogie qui a ses limites et qui n'est pas à prendre au pied de la lettre. Si l'analogie n'est pas parfaite néanmoins il est intéressant à la lumière de l'écologie scientifique, de regarder finalement si l'on peut faire passer le système industriel actuel considéré comme juvénile ou linéaire à un stade d'écosystème dit mature.

Braden Allenby fut l'un des premiers chercheurs américains au début des années 90, à explorer ce concept et à proposer cette analogie avec l'évolution des écosystèmes. Ce travail a d'ailleurs fait l'objet de sa thèse. Selon lui, trois systèmes écologiques se seraient succédés au cours du temps, on parle là de la théorie du climax en écologie. Le premier système est l'écosystème juvénile de type 1, il se caractérise comment ? Par un faible taux de recyclage des ressources, peu d'espèces, peu d'interactions entre elles sauf pour la compétition. En effet au début de la vie, les ressources étaient si vastes et la quantité d'organismes si faible que leur présence exerçait un impact négligeable sur les ressources, le processus pouvait donc être considéré comme linéaire dans lequel les flux de matières sont indépendants les uns des autres, les ressources apparaissaient tellement illimitées et les déchets pouvaient être produits aussi de manière tellement illimitée que l'on pouvait consommer autant que l'on voulait et rejeter autant que l'on voulait. En revanche, ces écosystèmes juvéniles ont un taux de production élevée en termes de biomasse et c'est précisément ce que l'on cherche à réaliser dans l'agriculture intensive par exemple en faisant régresser les milieux qu'elle transforme vers ce stade juvénile. Dans cette théorie, le terme normal de l'évolution des écosystèmes est à un stade mature dit de type 3. Dans les écosystèmes de type 2, on commence à avoir de fortes interdépendances et on commence à avoir des interactions complexes entre les individus. Mais ces écosystèmes ne deviennent véritablement durables que quand ils bouclent sur eux-mêmes, dans ce cas-là on a une complète diminution des ressources et l'accumulation des déchets. C'est par exemple le cas de l'écosystème forestier. Ainsi, ces écosystèmes de type 3, matures, recyclent tous les déchets et ne puisent dans l'environnement que l'énergie solaire.

Idéalement donc la société industrielle, y compris l'agriculture, les infrastructures, j'entends société industrielle par société économique au sens large, devraient fonctionner selon un écosystème de type 3, ceci pour assurer notre survie sur la planète dont les ressources, on le sait, sont finies.

Regardons ainsi l'analogie proposée par Allenby, pour lui un écosystème idéal comprend quatre catégories principales d'acteurs, il y a les extracteurs de ressources, c'est le pétrole, le charbon pour produire de l'énergie, les mines, les carrières pour produire des matériaux, la synthèse chlorophyllienne pour la sylviculture, l'agriculture, il y a ensuite les processeurs donc ce sont les fabricants qui vont transformer cette énergie et ces matériaux pour notre usage, pour la consommation donc ce sont les industries chimiques, métallurgiques, pharmaceutiques, les agro-industries, le transport, les bâtiments. Il y a enfin les consommateurs de biens, de services comme vous et moi et puis enfin les processeurs de

déchets qui vont les transformer et les recycler. Dans l'idéal, un recyclage intense doit permettre d'avoir des flux de moins en moins importants qui rentrent dans le système et doivent produire et il doit y avoir de moins de déchets qui sortent du système.

Mais alors qu'au cours des centaines de millions d'années la biosphère a produit tous les éléments nécessaires au fonctionnement d'une écologie mature de type 3, dans le système industriel, les produits intermédiaires ne sont pas régénérés, mais souvent incorporés de manière irréversible dans les procédés et donc il est très difficile d'atteindre ce stade mature. Néanmoins, sous la pression de la raréfaction des ressources, de la pollution, de la réglementation, des facteurs économiques, le système industriel évolue de plus en plus d'un système de type 1 vers un système de type 2, c'est-à-dire avec des ressources limitées et des déchets également limités. Tout l'enjeu donc de l'écologie industrielle est de favoriser la transition vers un système de plus en plus mature de type 3.

Suren Erkman, qui a permis le développement de cette discipline en France, propose de décrire les stratégies qui visent à favoriser cette maturation du système selon quatre grands axes. Le premier axe est le bouclage, il s'agit de boucler en valorisant les déchets, en les utilisant comme ressource, en les recyclant de manière à fermer les cycles matériels. Pour cela il faut donc développer l'écoconception de produits afin de concevoir le plus tôt possible des produits recyclables. Deuxième axe stratégique c'est l'étanchéification, c'est-à-dire freiner la dissipation dans l'environnement de substances qui sont nocives, ces substances sont extrêmement nombreuses et les usages dissipatifs sont souvent très insidieux, car ils se déroulent sur du très long terme. C'est le cas par exemple de la corrosion de revêtements ou de l'usure de pneus. Parfois cette dissipation est inhérente aux produits eux-mêmes comme dans le cas d'additifs des aliments ou de médicaments qu'on va retrouver tout de suite après leur consommation dans l'environnement. Parfois au contraire, on pourrait les éviter en isolant les systèmes qui les utilisent, c'est le cas par exemple des engrais ou des pesticides. Troisième voie, l'intensification, il s'agit là de dématérialiser les produits et les services c'est-à-dire qu'il faut accroître la productivité de la ressource, obtenir plus de services et de biens, mais avec moins de matériaux et moins d'énergie. Enfin, équilibrer, dans ce cas-là il s'agit de décarboniser, c'est-à-dire de produire plus d'énergie avec moins de carbone fossile en développant les énergies renouvelables et en maîtrisant la consommation d'énergie.

En conclusion, je dirais que chacun de ces actes importants de mise en œuvre de l'écologie industrielle est développé dans les différents modules, mais au-delà de toutes ces mises en œuvre particulières l'apport le plus précieux de l'écologie industrielle réside très certainement dans sa vision globale et intégrée qu'elle peut nous offrir.