

Ce n'est un secret pour personne qu'il existe un lien très étroit entre l'évolution du secteur agricole et l'évolution de l'industrie chimique. Le modèle qu'on a pris l'habitude d'appeler « classique » ou « conventionnel » en agriculture est un modèle intensif en entrants, qui sont produits par l'industrie chimique – la consommation par l'un fait donc bien évidemment les ventes et les profits de l'autre. Ce n'est donc pas difficile de penser que les évolutions de ces deux secteurs économiques sont intimement liées.

A présent en France, un peu plus aux Etats-Unis (depuis le début des années 2000), on évoque l'idée d'un « verdissement » de la chimie, qui passerait par un changement de la manière de « faire de la recherche et de l'innovation » des chimistes.

A présent plusieurs voies s'ouvrent à la R&D en chimie dite verte, et ce que je vais argumenter aujourd'hui est qu'elles évolueront non pas par une sorte de dynamique interne mystérieuse des communautés académiques, mais en fonction des choix économiques et politiques qui seront faits.

Et pour appuyer cette idée je vais vous proposer trois modèles de « chimie verte » par rapport à ses liens avec l'agriculture, en fonction de la définition qu'on retient. Ce sont trois modèles dont j'ai souligné les traits caractéristiques, mais qui se recoupent par endroits.

3 modèles pour la chimie verte en agriculture

Pour les différencier, on peut faire référence à quatre éléments :

- D'abord, la définition de la chimie verte adoptée et son application à l'agriculture
- Le rôle relatif des différentes disciplines, notamment biologie, (éco-)toxicologie et écologie
- Le modèle économique associé, notamment en ce qui concerne le rapport entre le local et le global, à la fois en recherche & développement, en agriculture et dans l'industrie chimique
- Enfin, pour chacun je donnerai un – deux exemples qui me paraissent révélateurs.

1. Le modèle « la chimie verte des 12 principes »

C'est le modèle le plus connu. Traditionnellement, les chimistes étaient préoccupés depuis toujours, de façon principale, par deux critères : d'abord, les fonctions que les substances vont accomplir de manière utile et deuxièmement, le coût de ces substances. Peu de considération était donnée aux effets sanitaires ou environnementaux des substances.

Avec la chimie verte, en plus du critère d'utilité et de coût que cherchent les chimistes lorsqu'ils veulent développer une substance, un troisième critère s'ajoute : les effets sur la santé et sur l'environnement. Ceux-ci aussi peuvent être pris en compte dès la phase de conception des molécules.

Une autre caractéristique de la chimie verte est son accent sur les propriétés intrinsèques des substances. Les premières réglementations en matière de contrôle des risques chimiques de l'ensemble des substances sont apparues à la fin des années 60' – début '70. Au début, elles étaient surtout focalisées non pas sur les propriétés intrinsèques des substances, mais sur l'exposition, c'est à dire sur les quantités qui pouvaient être libérées dans l'environnement. Les chimistes n'avaient pas vraiment à être concernés, car ils ne pouvaient pas contrôler la façon dont les substances étaient utilisées, les quantités qui étaient produites ou rejetées dans l'environnement, etc. Le contrôle de l'exposition était la responsabilité des politiques et des industriels.

Paul Anastas et son collègue John Warner, des figures marquantes des débuts de la chimie verte, disaient que *« lorsqu'un chimiste prend son stylo et une feuille de papier, pour concevoir une nouvelle substance, il ou elle prend déjà des décisions capitales : décisions sur la manière dont la substance sera utilisée, si des déchets dangereux seront produits, si les ouvriers seront exposés à des produits toxiques, et ainsi de suite. »*

Ce que l'on appelle plus communément « chimie verte » renvoie à 12 principes proposées par [Anastas et Warner \(1998\)](#). 12 autres principes complémentaires ont été définis par [Anastas et Zimmerman \(2003\)](#) pour la production industrielle, à savoir la conception des procédés. La finalité de tous ces principes est :

- La limitation des dépenses énergétiques avec la mise au point de nouveaux matériaux pour le stockage de l'énergie et la recherche de nouvelles sources d'énergie à faible teneur en carbone
- la réduction de l'usage de ressources non-renouvelables (remplacement du pétrole par des végétaux),
- la réduction de la quantité de substances et de déchets toxiques dans le processus de synthèse, par l'économie d'atomes et d'étapes
- La conception de synthèses moins dangereuses grâce à l'utilisation de conditions douces
- La recherche d'alternatives aux solvants polluants et aux auxiliaires de synthèse
- La conception des produits en vue de leur dégradation finale dans des conditions naturelles ou forcées de manière à minimiser l'incidence sur l'environnement.
- Le développement de la chimie analytique appliquée à la mesure de la pollution
- Le développement d'une chimie plus sûre pour prévenir les accidents (explosions, incendies)
- la synthèse de substances intrinsèquement peu toxiques.

En dépit du fait que les 12 principes de la chimie verte existent depuis plus de 10 ans, à présent, les « chimistes verts » ne représentent qu'une minorité dans la communauté de chimistes.

Caractérisation du modèle :

- a) Les vedettes de ce modèle restent indiscutablement les chimistes, mais ils doivent notamment apprendre à travailler avec des agronomes (ce est en train de se passer aujourd'hui en France), des biologistes et écologues, mais aussi, et surtout, avec des (éco-)toxicologues, ce qui aujourd'hui en France pose problème.
- b) Du point de vue de l'organisation de l'industrie chimique, la formule est classique, marchés globaux, entreprises multi-nationales, le facteur principal de spécificité étant la réglementation plus ou moins contraignante concernant la mise sur le marché.

Par ailleurs, la spécificité locale n'est pas considérée au niveau des caractéristiques des écosystèmes, mais en fonction des particularités de l'espèce nuisible à gérer, car un des objectifs est d'obtenir la sélectivité la plus élevée possible. Ceci revient à faire l'hypothèse forte qu'il est possible d'identifier un trait de l'espèce qui peut être modifié sans toucher au reste de son écosystème, à savoir les autres espèces, hypothèse qui dans certains cas peut s'avérer bien simplificatrice.

Et pour l'exemplifier, dans le domaine agricole, je vais faire référence à trois exemples :

x) Dans le cas des néonicotinoides, ils sont considérés comme étant des résultats de la chimie verte dans l'ouvrage « Green trends in insect control », livre publié en 2011. Les arguments apportés sont leur inspiration naturelle (ils seraient inspirés des extraits botaniques, quoique ça puisse signifier) et leur spécificité pour les insectes (et pas pour d'autres organismes, ayant notamment une faible toxicité pour les mammifères). De manière un peu ironique, on peut dire que la spécificité de ces insecticides c'est de ne tuer que des insectes.

Un autre exemple est le pesticide Spinosad, un biopesticide, développé à partir d'un microorganisme par un processus de fermentation ou semi-synthèse (processus vert), à bas risque pour la santé humaine et qui a gagné le prix pour la chimie verte de l'EPA (Agence Américaine de Protection de l'environnement). Pourtant, il est très toxique pour les abeilles.

Enfin, dans le même registre et même du niveau du greenwashing, certains industriels incluent les OGMs agricoles parmi les résultats de la chimie verte.

xx) Un autre exemple est celui de la définition de la chimie verte donnée par l'INRA en 2006, qui est « *notamment la chimie des nouvelles énergies, des nouveaux produits et matériaux issus de*

l'agriculture ». Pourtant, on n'inclut pas dans cette définition la référence aux surfaces agricoles dédiées à la culture des agro-ressources plutôt qu'aux besoins alimentaires, et paradoxalement, même pas l'usage de pesticides ou des pratiques intensives pour les produire.

xxx) Pour donner quand même un exemple plus positif, un produit de cette chimie verte est le plastique biodégradable, issu de matières végétales.

2. Le modèle « la chimie verte basée sur les lois de la nature »

Ce deuxième modèle a précédé en fait le modèle de la chimie verte des 12 principes. A son origine étaient deux auteurs, également américains, Roger Garrett et Steven deVito, des scientifiques et employés de l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement. Ils avaient défini les principales lignes de cette chimie verte dans leur livre, sorti en 1996. Les substances chimiques devraient être synthétisées de telle façon qu'elles puissent être métabolisées et excrétées facilement et rapidement. L'idée était empruntée des chimistes travaillant dans le domaine pharmaceutique mais à l'époque il n'y avait aucune reprise dans le domaine de la chimie industrielle ou agricole.

Si on élargit le principe, il s'agit de mettre la priorité non pas sur la recherche de l'optimum entre un maximum d'utilité avec un minimum de toxicité, mais sur le respect le plus proche et la manipulation des lois de la nature. Ce sont les mécanismes biologiques des organismes qui doivent être connus en premier – ce qui aujourd'hui n'est pas la première préoccupation ni des chimistes et ni même des toxicologues. Car pour très peu de substances on connaît le mécanisme de leur toxicité, on sait qu'elles sont toxiques ou pas à une telle dose, mais comment a lieu cette toxicité c'est peu connu.

A l'époque des débuts de la chimie verte, ce modèle de Garrett et DeVito a paru trop compliqué, ce qui fait que le domaine de la chimie verte a été vite dominé par une autre définition, celle donnée par Anastas et qui faisait référence aux 12 principes. En comparaison avec la première, les 12 principes étaient bien plus proches des manières traditionnelles de penser des chimistes, basées sur des voies de synthèse alternatives, substitution des solvants, et d'autres techniques qui permettaient d'ignorer la manière dont les organismes vivants métabolisent les substances chimiques.

Un exemple pour ce 2^{ème} modèle est l'utilisation de phéromones pour le contrôle des organismes nuisibles. Un autre exemple est celui d'un insecticide utilisé contre les chenilles, qui est constitué d'une substance qui mime l'activité de la substance naturellement présente chez les chenilles et qui contrôle leur développement. L'insecticide perturbe ce développement de telle manière que les chenilles ne se nourrissent plus et meurent.

La synthèse des molécules reste artificielle, mais son origine est d'abord dans la compréhension d'un processus biologique et par sa manipulation chimique, alors que dans le premier cas c'est la toxicité d'un pesticide qui est visée en premier.

- a) Dans ce modèle aussi, les chimistes sont les vedettes, mais il ne s'agit plus de collaborations périphériques et interdisciplinaires avec des disciplines liées à la toxicologie et à l'écologie. Il s'agit là d'un changement essentiel dans le principe qui gouverne le travail de R&D, mettant l'accent d'abord sur la compréhension biologique. Même d'un point de vue social, de la formation des chimistes par exemple, ce serait une transformation très importante car les chimistes n'ont jamais été, et c'est encore le cas, bien entraînés à connaître l'humain et les processus du vivant, sauf exceptions qui ne représentent pas la majorité.
- b) C'est une formule tout à fait compatible avec une chimie industrielle multinationale, éventuellement ayant des filiales locales spécialisées ; mais compatible aussi par exemple avec une agriculture bio, pourquoi pas à grande échelle.

3. Le modèle « éco-chimie », ou « chimie de l'écologie »

Il s'agit de la chimie qui viendrait en appui aux méthodes agronomiques en l'agro-écologie. Mais, on peut bien imaginer qu'il n'y a quasiment plus d'industrie chimique qui intervient dans ce modèle agricole. Certains d'entre vous se rappellent certainement l'exemple donné récemment par Marie-Monique Robin dans son film « Les moissons du futur », de la technique appelée répulsion – attraction (*push – pull*). Il s'agit d'une technique utilisée au Kenya pour contrôler la pyrale du maïs, l'herbe des sorcières qui pose là-bas de gros problème et la fertilisation du sol. La technique mobilise deux plantes, Desmodium et l'herbe à éléphant. La première est répulsive pour les pyrales, qui vont être attirées par l'herbe à éléphant qui est cultivée autour des champs de maïs. L'herbe à éléphant produit une substance gluante qui tue les larves de pyrales, car celles-ci déposent leurs œufs sur leurs feuilles. Par ailleurs, le Desmodium empêche le développement des racines de l'herbe des sorcières, protège le sol de l'érosion et y apporte de l'azote. Cette combinaison de plantes est le résultat d'une recherche à long terme basée sur la connaissance de la biologie et la chimie des deux plantes et de leurs interactions avec les prédateurs. Aussi, sans doute, on voit dans le reportage des paysans qui travaillent leur terre les mains nues et qui vendent les semences de Desmodium par eux-mêmes.

- a) Dans ce modèle, ce sont les biologistes et les écologues qui auraient le premier rôle, avec les chimistes venant en appui pour étudier les processus biochimiques. Alors que la R&D en chimie aurait un rôle très important, l'industrie chimique n'en aurait quasiment plus. Le rôle des chimistes ne serait plus de faire en sorte que leurs connaissances se transforment en production

industrielle, mais directement en production agricole, sans plus passer par l'industrie chimique. Ce qu'on vendrait ce n'est plus de pesticides mais des techniques et très probablement des semences ou autre matériel biologique.

- b) La R&D de ce modèle est fortement ancrée dans le local, car ce qu'il faut comprendre est l'écosystème spécifique à chaque zone de culture et à chaque espèce cultivée. C'est un modèle de la diversité dans la R&D, qui est, quelque part paradoxalement, le plus intensif en connaissance. Je dis paradoxalement car on utilise à présent le terme d'économie de la connaissance pour nommer le modèle de l'innovation globalisée ou les connaissances semblent extrapolables à n'importe quel coin du monde. C'est tout le contraire pour cette définition de la chimie verte. Alors que la recherche fondamentale et la publication et les échanges entre scientifiques peuvent très bien rester globalisés, ce modèle suppose une R&D qui se développe au niveau local de l'agro-écosystème considéré.

Conclusion

Pour conclure, je dirai seulement que la direction des changements dans les pratiques de recherche et développement des chimistes vers l'un ou l'autre de ces modèles de chimie verte seront essentiellement influencés par des choix d'une nature tout autre que technique, qui sont des choix de nature économique et politique et peut-être même pas liés directement et d'abord à l'agriculture. Surtout, ces choix ne peuvent pas être fait en isolation des choix d'évolution de la politique industrielle et surtout de la politique d'évolution future de l'industrie chimique.

Même si ça paraît de bon sens dit comme ça, on ne voit pas ce lien fait directement et explicitement dans les discussions autour des politiques agricoles. Pourtant, étant le caractère globalisé et le succès économique de l'industrie chimique – qui se maintient d'ailleurs ces dernières années en dépit de la crise, ça me paraît le maillon essentiel dans les évolutions de l'agriculture. On devrait donc penser les trois ensemble – l'agriculture, l'industrie chimique et les politiques de recherche et développement en chimie (dans ses interactions avec d'autres disciplines).