

Redonner du sens à la chimie verte : principes, leviers et perspectives

Grégory CHATEL

Comme évoqué dans notre première chronique le mois dernier [1], le terme « chimie verte » est parfois jugé daté, flou, voire inconfortable dans certains cercles académiques ou industriels. Et pourtant, il revient avec insistance dans les discours politiques, les stratégies d'entreprise, les programmes de formation et les débats publics. Pourquoi ce retour, maintenant ?

Pour y répondre, il est nécessaire de revenir à la source, non par nostalgie, mais pour mieux comprendre ce que la chimie verte peut (et doit) devenir face aux défis actuels.

Les 12 principes : poser le cap de la chimie verte

C'est en 1998 que les Américains Paul Anastas et John Warner publient pour la première fois les 12 principes de la chimie verte (voir *figure*) [2]. Leur approche marque une rupture dans la manière de penser la chimie : au lieu de gérer les pollutions une fois produites, il s'agit de les prévenir à la source, en concevant des molécules, des procédés et des matériaux intrinsèquement plus sûrs, plus sobres et plus respectueux de l'environnement.

Cette vision, à la fois préventive, systémique et proactive, a structuré toute une génération de recherches, de formations et d'initiatives industrielles. Elle a surtout fourni un socle pédagogique puissant : ces douze principes permettent de traduire des enjeux complexes en objectifs concrets, lisibles, adaptables à différents contextes (enseignement, innovation, réglementation...).

Vingt-cinq ans plus tard, ces principes restent un repère. Ils n'ont rien perdu de leur actualité. Bien au contraire : à l'heure où la chimie est sommée d'accélérer sa transition, ils constituent une boussole essentielle pour guider les transformations, à condition de savoir les faire vivre [3].

Des leviers concrets pour transformer la chimie

Si les 12 principes de la chimie verte offrent un socle solide, leur mise en œuvre concrète reste un défi, tant pour le milieu académique, qui doit les intégrer dans ses recherches et ses enseignements, que pour les industriels, confrontés à des enjeux de compétitivité, de sécurité, de conformité réglementaire et de performance. C'est pourquoi une structuration simplifiée en trois grands leviers d'action a progressivement émergé, afin de relier les principes fondateurs aux réalités concrètes des laboratoires, des enseignements et des sites industriels.

1. Agir sur les intrants

Tout commence par le choix des matières premières et des substances utilisées. Cela signifie favoriser des ressources renouvelables, recyclées ou issues de coproduits industriels ; éviter les substances dangereuses ou préoccupantes (PFAS, solvants halogénés, perturbateurs endocriniens...) ; et anticiper les contraintes liées aux ressources critiques. *Par exemple, dans le secteur cosmétique, la substitution d'ingrédients à risque par des alternatives naturelles ou bio-inspirées, plus sûres et plus traçables, illustre bien ce premier levier* [4].



Les 12 principes de la chimie verte selon Anastas et Warner (© Chimie Verte Academy).

2. Transformer les procédés

Une chimie plus verte passe par des procédés plus sobres, plus efficaces et plus sûrs. Cela inclut la réduction du nombre d'étapes, la limitation des solvants, l'optimisation énergétique ou encore le recours à des technologies d'activation innovantes comme les ultrasons, les micro-ondes ou les fluides supercritiques ou en développant des procédés catalytiques. C'est aussi l'intensification des procédés (réactions plus rapides, plus sélectives), l'utilisation de réacteurs continus en remplacement de batchs énergivores ou encore la simplification des opérations de purification. *Dans l'industrie des matériaux, par exemple, des procédés de synthèse sol-gel sans solvant ou à température ambiante permettent de réduire drastiquement les émissions et la consommation énergétique* [5].

3. Réduire les impacts à toutes les étapes du cycle de vie

La chimie verte ne s'arrête pas à la sortie d'usine. Elle invite à penser l'écoconception des produits, leur usage, leur fin de vie, leur recyclabilité ou leur biodégradabilité. Cela peut se traduire par le développement de plastiques biosourcés compostables, d'emballages allégés et recyclables ou encore de produits d'entretien sans substances allergisantes. L'enjeu est ici de limiter les émissions, les rejets et les effets sanitaires, tout en intégrant une logique de responsabilité élargie du producteur.

Parce qu'au-delà des principes, c'est la capacité à structurer l'action qui fait la différence. Ces trois leviers offrent une lecture pragmatique qui couvre l'ensemble du cycle de vie des produits : du choix des matières premières à leur transformation, jusqu'à la quantification des impacts sur l'environnement, la santé et le climat. Ils permettent de faire le lien,

Définition du mois

Analyse du Cycle de Vie (ACV) : L'ACV est une méthode d'évaluation normalisée (ISO 14040/14044) qui permet de quantifier les impacts environnementaux d'un produit, d'un procédé ou d'un service, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie (approche « *from cradle to grave* » ou « *du berceau à la tombe* »). En chimie verte, l'ACV est un outil essentiel pour objectiver les choix technologiques, comparer des alternatives (biosourcé vs pétrosourcé, solvants, procédés, etc.), éviter les transferts d'impacts et guider les innovations vers des solutions réellement plus durables. *L'ACV n'est pas une fin en soi, mais peut être une boussole quantitative au service de l'écoconception, de la défossilisation et de l'amélioration continue.*

de manière explicite, entre la chimie verte et des enjeux concrets comme la réduction des gaz à effet de serre (GES), la sécurité des procédés, l'économie circulaire ou encore les exigences réglementaires.

Surtout, ils rappellent que la chimie verte n'est pas une solution parfaite, mais une démarche d'amélioration continue, fondée sur l'évaluation rigoureuse des impacts à toutes les étapes. Une démarche qui impose de penser systémique, d'éviter les transferts de pollution, et de mesurer les effets dans leur globalité, au lieu de se limiter à des gains ponctuels ou isolés.

Chimie verte : une terminologie à revendiquer

Dans le monde industriel, le terme « green chemistry » reste plus fréquemment utilisé que son équivalent français. Son usage s'est diffusé dans un contexte international, en lien avec les engagements RSE des grands groupes, les standards de reporting extra-financier et les réglementations anglo-saxonnes. Pour certains acteurs, il présente l'avantage de la clarté dans un écosystème globalisé.

En revanche, en français, le terme « chimie verte » suscite parfois des réticences. Certains industriels lui préfèrent « chimie durable », perçue comme plus neutre, plus conforme aux référentiels ISO ou aux cadres institutionnels, et surtout moins exposée au soupçon de greenwashing. En effet, une forme de prudence s'est installée, face à l'inflation des promesses écologiques.

Cependant, le terme « chimie durable » reste flou : il évoque une finalité louable, mais ne dit rien des moyens mis en œuvre. Un produit peut être dit « durable » par son usage ou sa recyclabilité, même si son procédé de fabrication est énergivore ou polluant. À l'inverse, la chimie verte intègre dès la conception les choix scientifiques et techniques : ressources, réactifs, procédés et impacts à chaque étape du cycle de vie. Elle repose sur un socle rigoureux, les 12 principes fondateurs, qui permet d'éviter le greenwashing et d'objectiver les pratiques par des métriques mesurables.

Ainsi, il est essentiel de défendre ce choix du terme chimie verte. La chimie verte est une manière contemporaine de faire de la chimie. Cette terminologie garde toute sa force, à condition de clarifier les liens avec d'autres notions clés : chimie biosourcée, analyse de cycle de vie (ACV), écoconception, circularité. La chimie verte n'est pas un label, ni une niche : c'est une démarche structurante, exigeante, compatible avec l'industrie et ses réalités, pour peu qu'on l'inscrive dans des pratiques évaluables, rigoureuses et partagées.

Adapter le discours, sans céder au flou

C'est dans cette optique que la Chimie Verte Academy a engagé un travail collectif sur la manière de parler de chimie

verte selon les publics. Car si le socle scientifique reste le même (fondé à la fois sur les 12 principes historiques et sur l'évolution des approches contemporaines telles que l'écoconception, l'analyse de cycle de vie ou encore les stratégies « *Safe and Sustainable by Design* » (SSbD)), le vocabulaire, lui, doit s'adapter pour convaincre sans simplifier à outrance. De l'école primaire aux sphères industrielles, les mots, les exemples et les niveaux de précision varient : on ne parle pas de cycle de vie à un enfant, mais on peut lui faire comprendre qu'on fabrique en protégeant la planète ; on ne mobilise pas les mêmes arguments auprès d'un décideur politique que dans une formation universitaire. L'objectif n'est pas de diluer, mais de contextualiser. En adaptant les définitions sans céder au flou, la chimie verte devient à la fois plus lisible et plus crédible, un outil pédagogique et stratégique au service de la transformation de la chimie.

Exemples de définitions proposées

► **Pour les lycéens :** La chimie verte, c'est imaginer, fabriquer et utiliser les produits du quotidien de manière plus durable et plus sûre, depuis les matières premières jusqu'à la fin de vie de ces produits.

► **Pour les institutions et pouvoirs publics :** La chimie verte regroupe l'ensemble des approches visant à concevoir, produire et utiliser des substances, matériaux et procédés chimiques en réduisant leurs impacts environnementaux et sanitaires tout au long de leur cycle de vie. Elle contribue ainsi aux démarches de décarbonation de l'industrie, aux actions en lien avec la transition écologique et au développement d'une économie circulaire.

Dépasser les mots : vers des indicateurs concrets

Nommer, c'est déjà agir. Mais au-delà des mots, ce sont les preuves qui font la différence. Pour que la chimie verte affirme sa crédibilité et sa force de transformation, elle doit s'appuyer sur des indicateurs robustes, mesurables et reproductibles. Taux de conversion, bilans énergétiques, émissions de gaz à effet de serre, analyse de cycle de vie... autant d'outils qui permettent d'évaluer les progrès réels, d'objectiver les choix et de sortir des intentions pour aller vers l'impact. Ce sera l'objet des prochaines chroniques de *Chimie Verte Insights* : explorer les bonnes pratiques, les métriques, les outils et continuer à faire de la chimie verte un levier concret de transformation.

[1] G. Chatel, Nouvelle rubrique : « Chimie Verte Insights » s'installe dans *L'Actualité Chimique*, *L'Act. Chim.*, 2026, 510, p. 9-10, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/nouvelle-rubrique-chimie-verte-insights-sinstalle-dans-lactualite-chimique-p9-n510>

[2] P.T. Anastas, J.C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.

[3] H.C. Erythropel *et al.*, The Green ChemisTREE: 20 years after taking root with the 12 principles, *Green Chem.*, 2018, 20, p. 1929-61, <https://doi.org/10.1039/C8GC00482J>

[4] Dossier *Chimie verte, santé et beauté*, coordonné par J. Barrault, *L'Act. Chim.*, 2016, 412, p. I-XVI, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/n412-novembre-2016>

[5] D.P. Debecker, Approches sol-gel pour la préparation de catalyseurs hétérogènes nanostructurés, hybrides et chémo-enzymatiques, *L'Act. Chim.*, 2022, 469, p. 27-33, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/approches-sol-gel-pour-la-preparation-de-catalyseurs-heterogenes-nanostructures-hybrides-et-chemo-enzymatiques-p26-n469>

Grégory CHATEL*, directeur de la Chimie Verte Academy, maître de conférences HDR à l'Université Savoie Mont Blanc.

*gregory.chatel@univ-smb.fr