

Objets, méthodes et enjeux de la chimie

Dr. Jean-Pierre LLORED

[Linacre College (Oxford) ; Department of History and Philosophy of Science (Cambridge University, visiting scholarship) ; UMR SPHERE et UMR LIED (Université Paris 7)]

jean-pierre.llored@linacre.ox.ac.uk

“Penser la science - Séminaires Ilya Prigogine”. “La chimie : Stop ou encore ? Controverses sur un moteur essentiel de notre société”. Vendredi 20 octobre 2017. Maison de l’UAE. Bruxelles.

Remerciements

adressés aux organisateurs du séminaire,
Kenneth Bertrams, Catherine Bouland,
Claudine Buess, Marek Hudon, Cécile
Moucheron, Benoît Timmermans et
Edwin Zaccai, ainsi qu'à Romain
Weikmans.

« Au moment où nous apprenons le « respect » que la théorie physique nous impose à l'égard de la nature, nous devons apprendre également à respecter les autres approches intellectuelles, que ce soient les approches traditionnelles, des marins et des paysans, ou les approches créées par les autres sciences. Nous devons apprendre non plus à juger la population des savoirs, des pratiques, des cultures produites par les sociétés humaines, mais à les croiser, à établir entre eux des communications inédites qui nous mettent en mesure de faire face aux exigences sans précédent de notre époque. »

PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle. *La nouvelle alliance*, Éditions Gallimard, Paris, 1979, pp. 390-391.

Plan de l'exposé

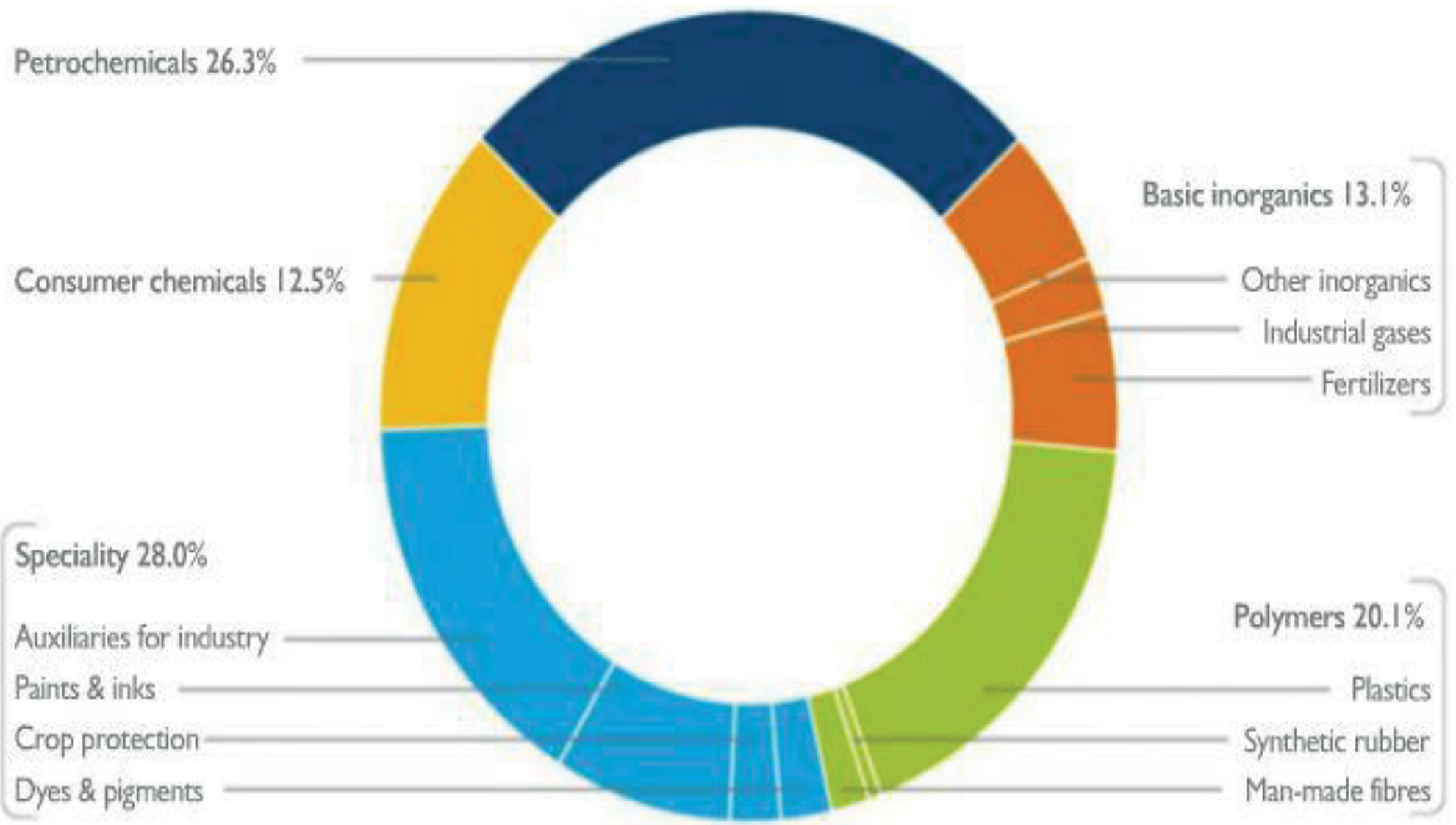
- 1. Que font les chimistes de nos jours ?**
- 2. Points importants pour penser la chimie et ses méthodes**
- 3. Quelques enjeux de la chimie**

Partie 1 :
Que font les chimistes de nos jours ?

Ventes de l'industrie chimique européenne en 2015 par secteur

Source : Cefic Chemdata International 2016

Sales 2015 (€519 billion)



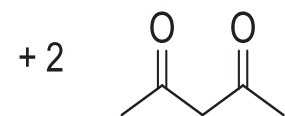
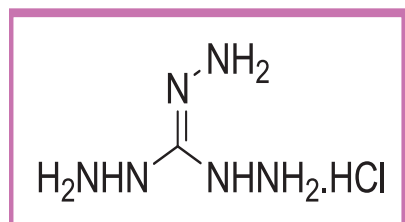
Synthèse : Produire une nouvelle molécule ou un nouveau matériau.

Analyse : Déterminer la composition d'un corps ou d'un mélange, le degré de pureté d'un corps, ses caractéristiques physiques, chimiques ou rhéologiques, etc.

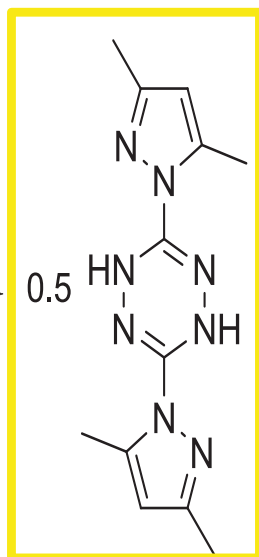
Formulation : Préparer un mélange de corps qui a les propriétés requises pour remplir une fonction d'usage (crème cosmétique, pâte dentifrice, parfum, peinture, etc.).

Synthétiser

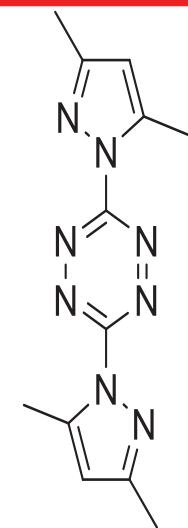
Synthèse de la dichloro-s-tétrazine : ENS Cachan



H₂O

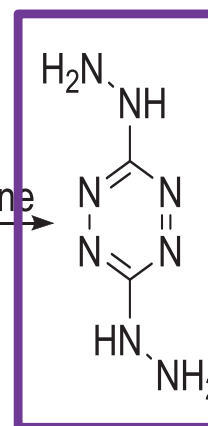


[O]

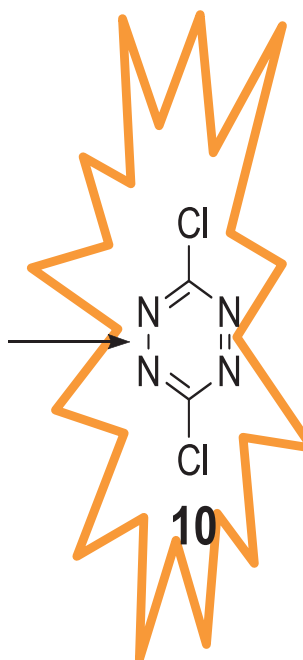
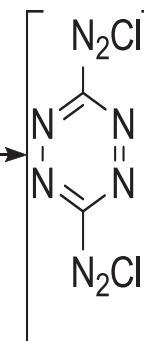


Stable

Hydrazine

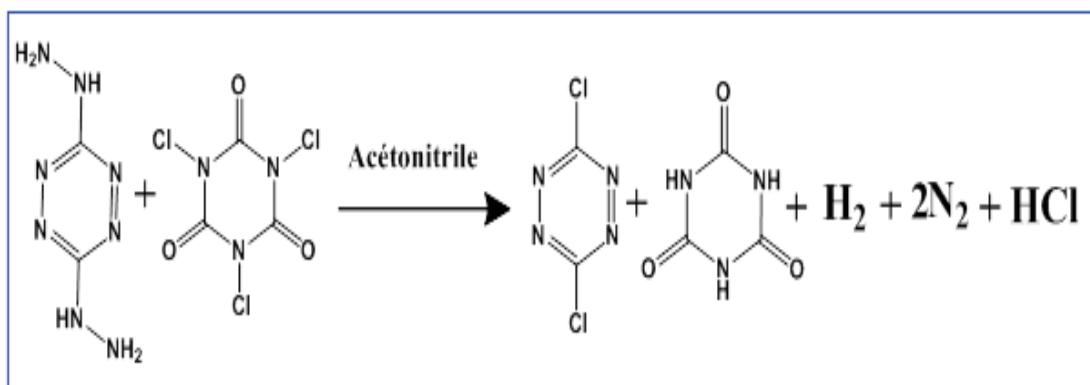


Cl₂



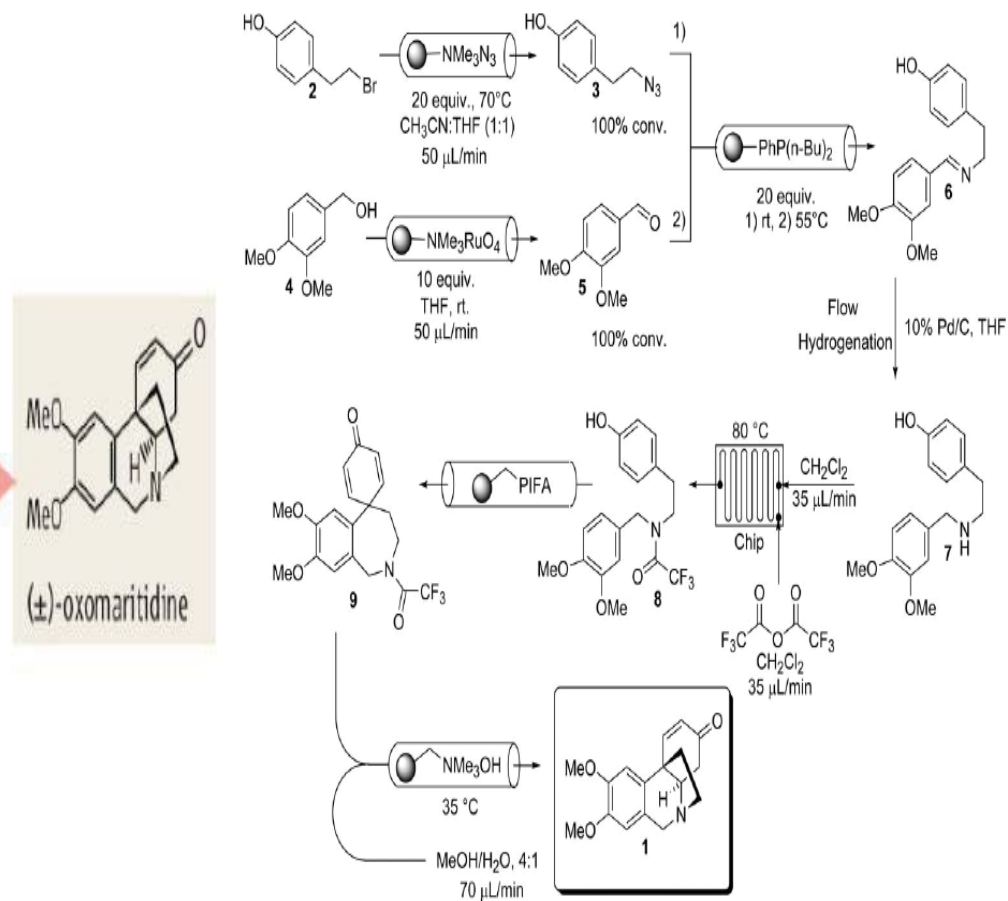
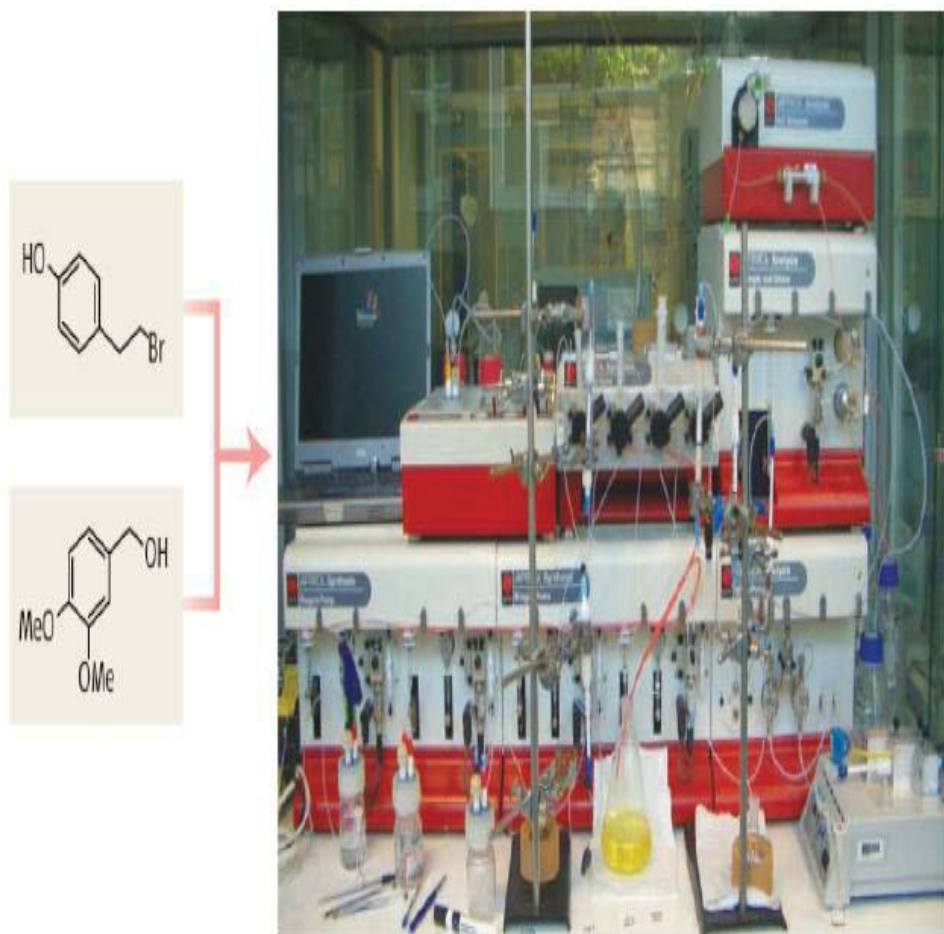
Rendement global: 39%

Détail d'une étape essentielle : La dichloration



Montage réactionnel

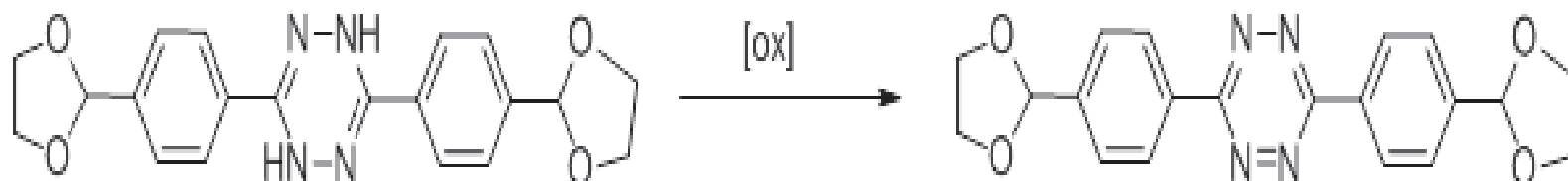
Procédé en mode continu



Scheme 1 Synthesis in flow of (±)-oxomaritidine.

Ian R. Baxendale, John Deeley, Charlotte M. Griffiths-Jones, Steven V. Ley, Steen Saaby and Geoffrey K. Tranmer, « A Flow Process for the Multi-Step Synthesis of the Alkaloid Natural Product Oxomaritidine: a New Paradigm for Molecular Assembly », *Chem. Commun.*, 2006, 2566-2568.

Détermination des conditions opératoires d'une « bonne » synthèse

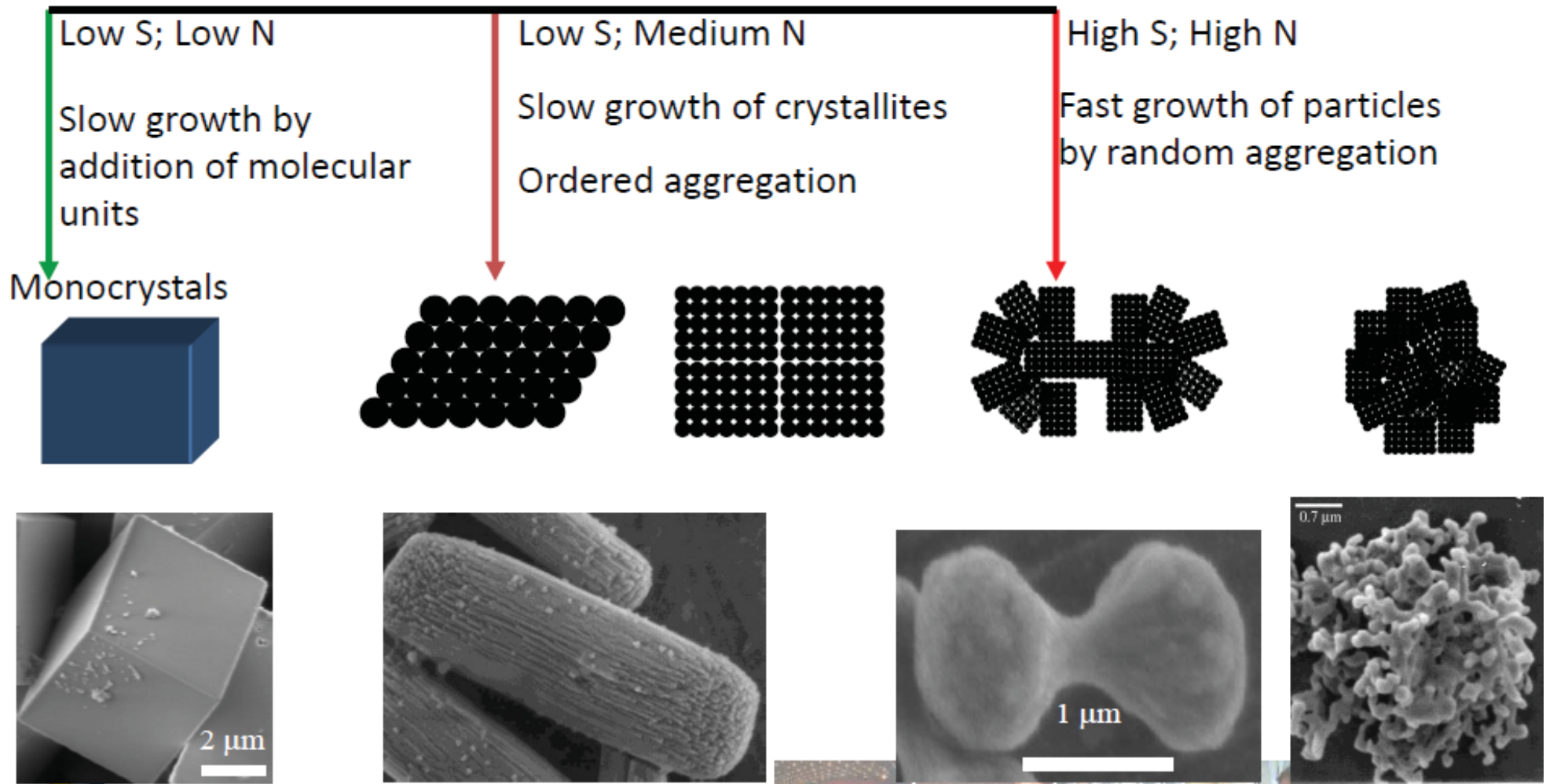


Oxydant	Dichlorométhane	Acide acétique	Diéthylazodicarboxylate	Trichlorure de fer
<u>Condition(s)</u>	Agitation à température ambiante à l'air pendant 12 jours	Agitation à température ambiante pendant 3 heures puis extraction au dichlorométhane et purification par colonne de chromatographie	Agitation à 40°C pendant 3 heures. Le solvant est enlevé par concentration sous pression réduite et purification colonne de chromatographie	Agitation à température ambiante pendant 2 heures puis la solution est concentrée sous pression réduite, le produit est obtenu par essorage et purifié par colonne de chromatographie
<u>Résultat</u>	Oxydation ne fonctionne pas	Méthode assez fiable	Cette voie d'oxydation ne fonctionne pas	Cette méthode ne peut pas être retenue

Le rôle des façons de faire : science des procédures

N: Number of particles. S: Sursaturation factor. $S_R = C_1/C_s$, where C_1 is the solute concentration and C_s is the equilibrium solubility at the temperature and the pressure of the system.

Nucleation



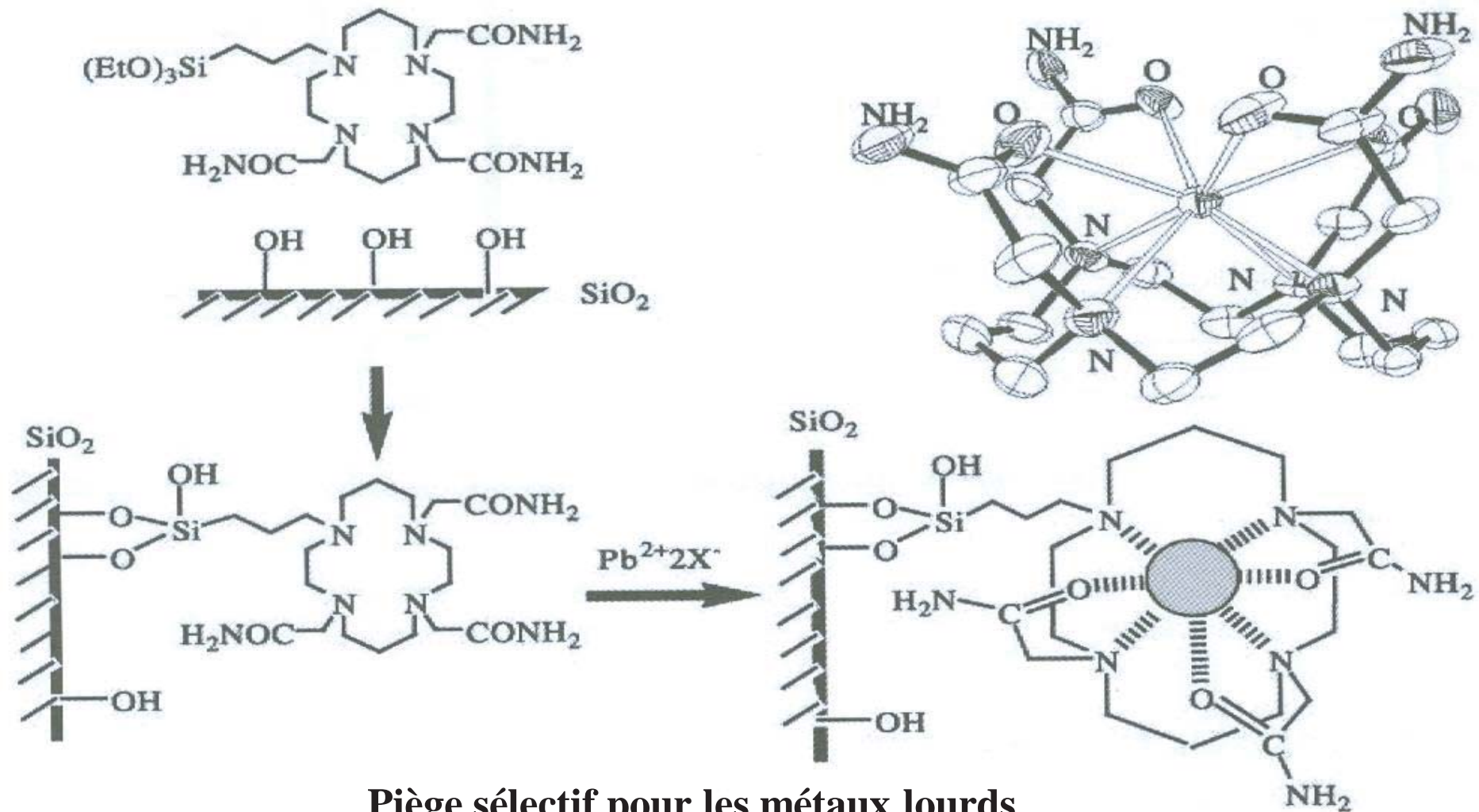
Purifier et analyser

Purification par chromatographie colonne de silice :
Les corps sont séparés en fonction de leurs interactions avec
la colonne

Les corps sont pensés comme actifs, dotés de
« capacités » à agir



Corps chimiques « hybrides » alliant chimie des solutions et chimie des matériaux : purification de milieux



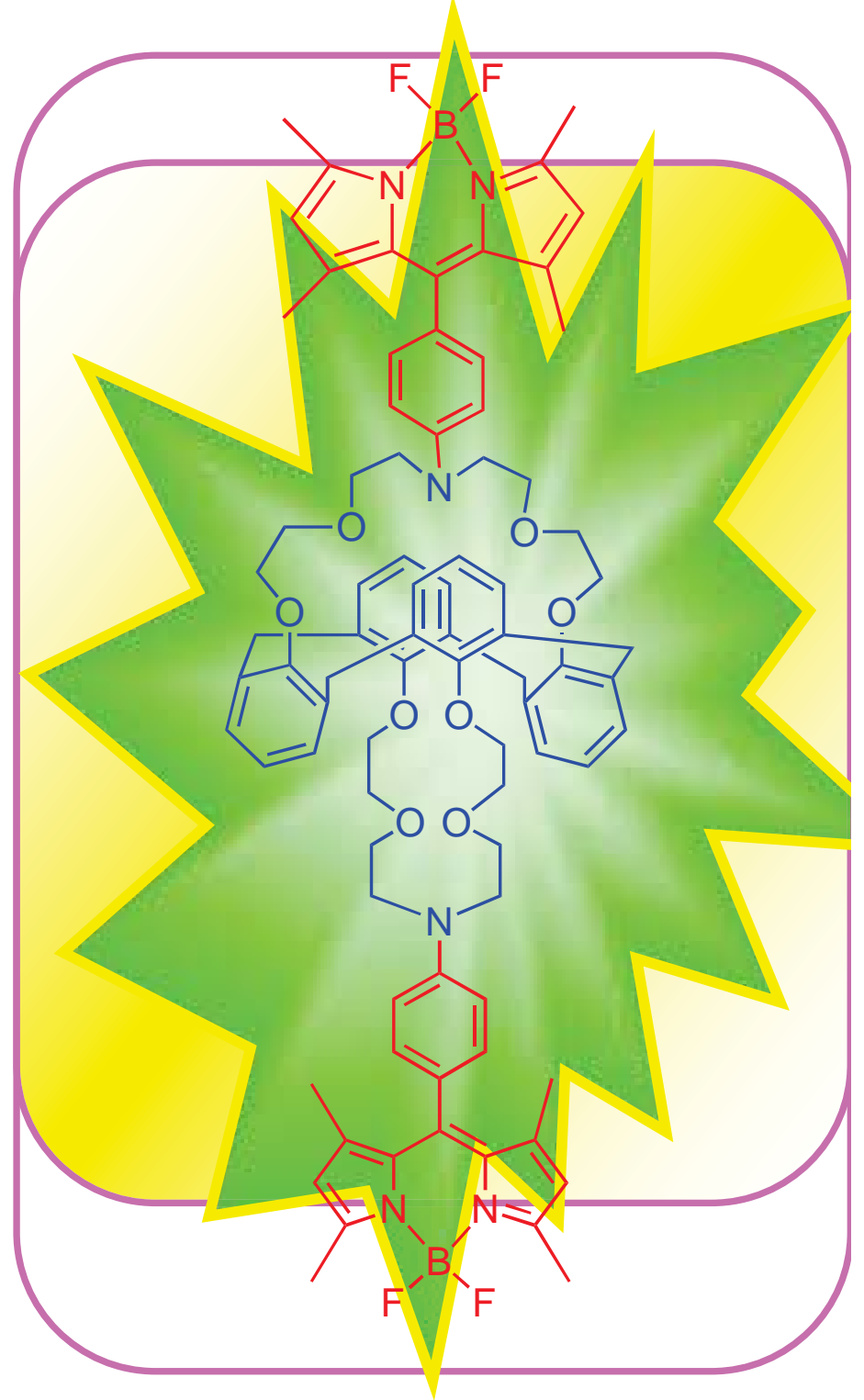
Piège sélectif pour les métaux lourds

F. Barbette, F. Rascalou, H. Chollet, J.-L. Babouhot, F. Denat, R. Guillard., « Extraction of uranyl ions from aqueous solutions », *Anal. chim. Acta*, 2004, pp. 502-509.

Détection de cations



(CEA-CNRS-INSERM-INRA) : « Toxicologie nucléaire
environnementale » (2004-2006).



Analyse de perturbateurs endocriniens

Perturbateur endocrinien : agent exogène qui interfère avec la production, la libération, le transport, le métabolisme, la liaison, l'action et l'élimination des hormones naturelles, hormones responsables de l'entretien de l'homéostasie et de la régulation des processus de développement.

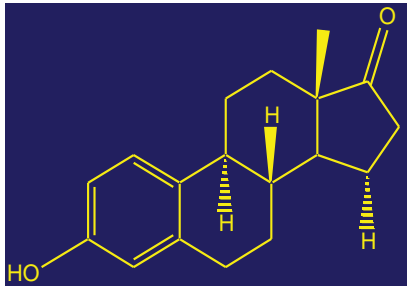
Exemples :

Substances de synthèse à activité hormonale (contraceptifs, hormones de substitution, additifs à l'alimentation animale).

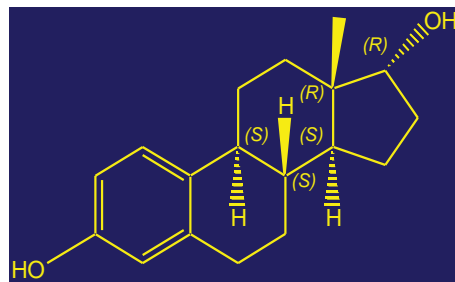
Substances chimiques à usage industriel, agricole et domestique, et leurs produits de dégradation (pesticides, alkylphénols, dioxines, etc.).

Dosage de perturbateurs endocriniens dans les sédiments de rivières

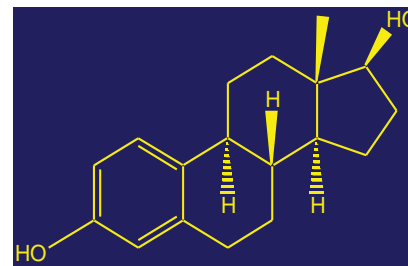
Estrogènes



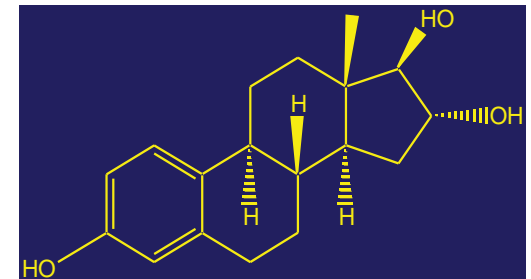
E1



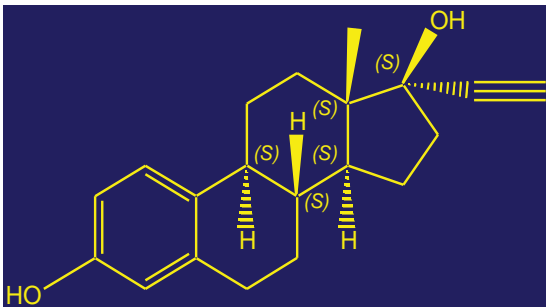
17 α -E2



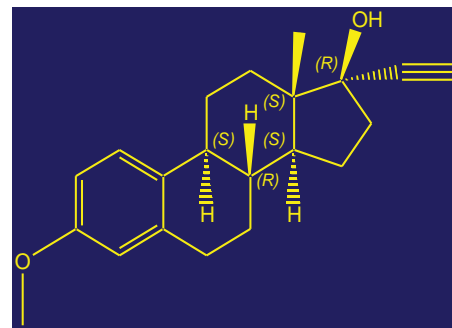
17 β -E2



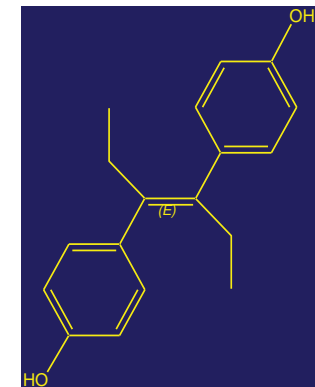
E2



EE2



Me-EE2



DES

S. Kinani, S. Bouchonnet, S. Bourcier, N. Creusot, J-M. Porcher and S Aït-Aïssa. "Extraction and purification procedures for simultaneous quantification of phenolic xenoestrogens and steroid estrogens in river sediment by gas chromatography/ion trap mass spectrometry". Rapid Communications in Mass Spectrometry, 22, 2008, 3651-3661.

Analyse : exemple des inhibiteurs endocriniens

Sources multiples de pollution



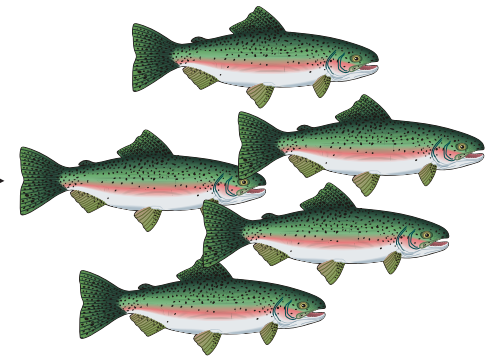
Milieu aquatique



Individu

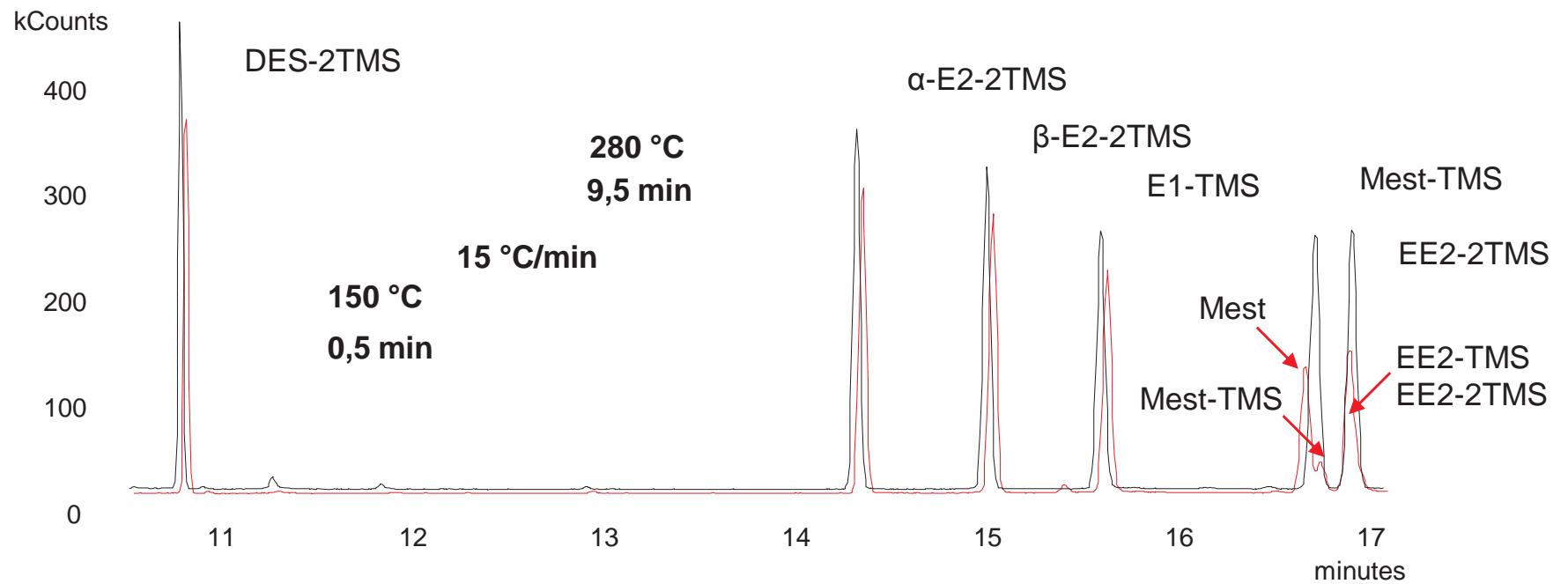


Populations
Communautés



Dosage de perturbateurs endocriniens dans les sédiments de rivières

Dérivation chimique : BSTFA



— 80 µL BSTFA , 45 min à 70°C

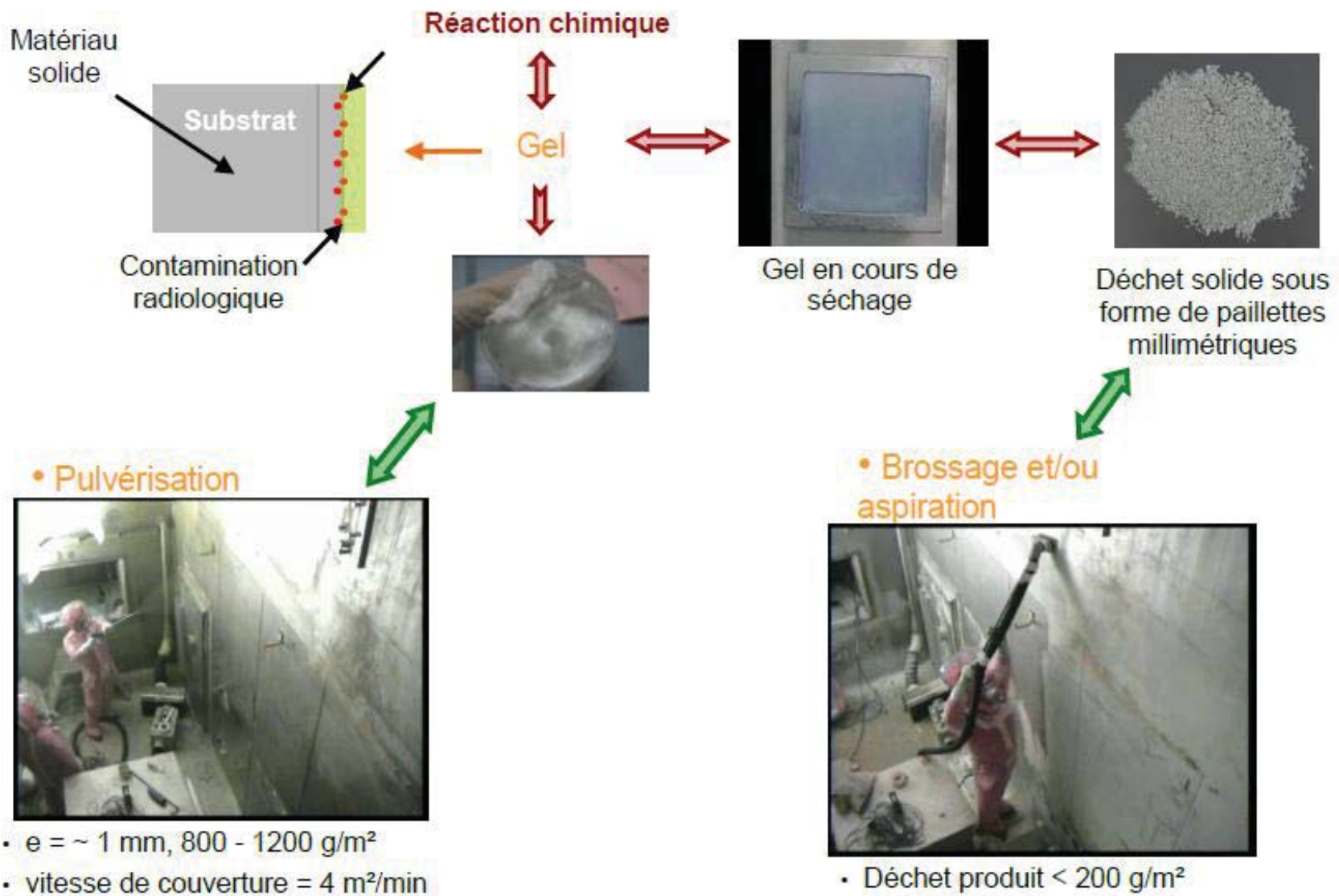
— 80 µL (BSTFA / Pyridine, 1:1 / v:v) , 45 min à 70°C

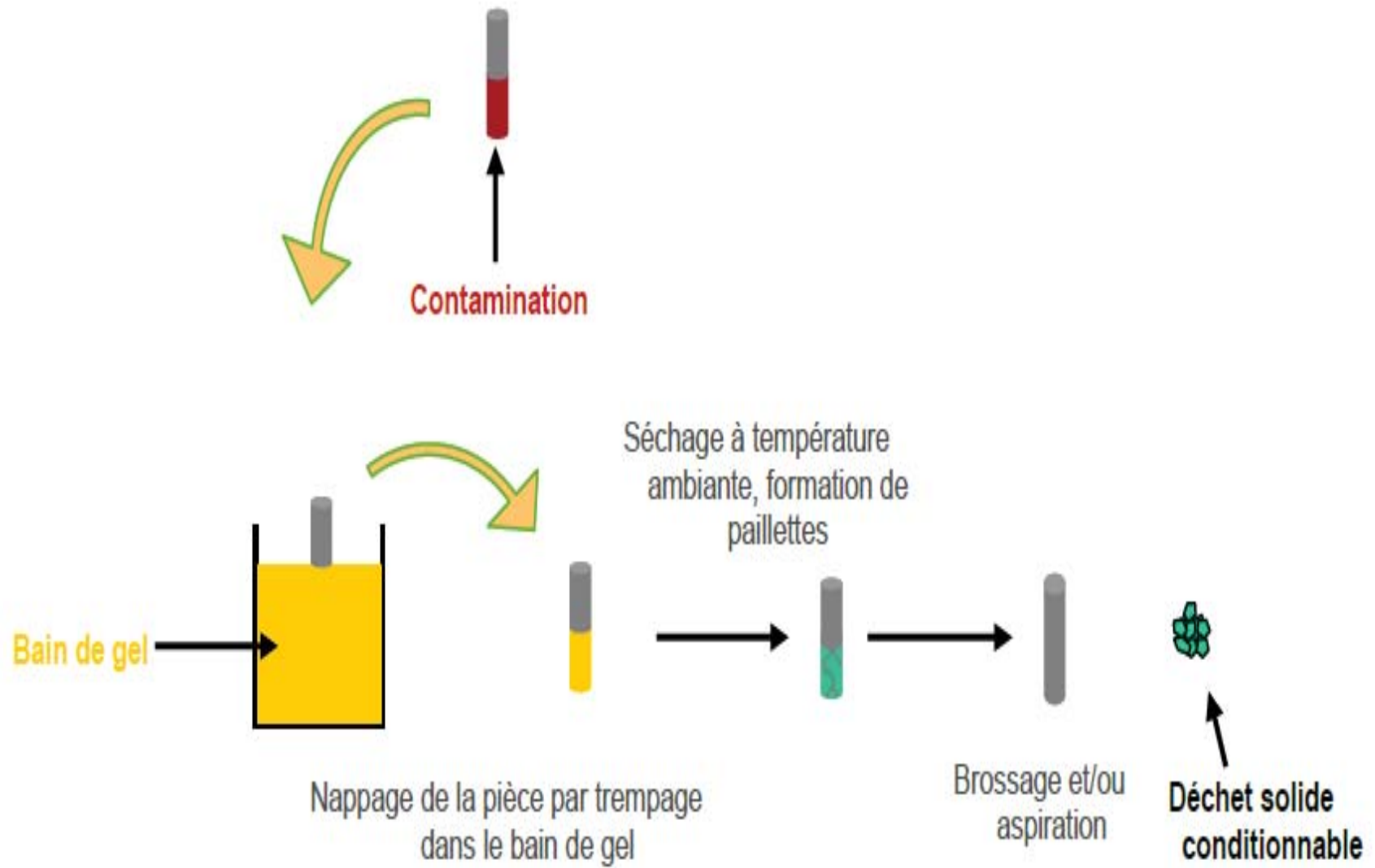
Formuler

Romain Castellani, « Formulation et caractérisation de gels de nappage à reprise instantanée », rapport de stage de cinquième année d'Ecole d'ingénieur (Polytech' Montpellier), 2013, 47 p. :

https://romaincastellani.fr/site/IMG/pdf/rapportstage_m52010_web.pdf

Décontamination nucléaire utilisant des gels formulés





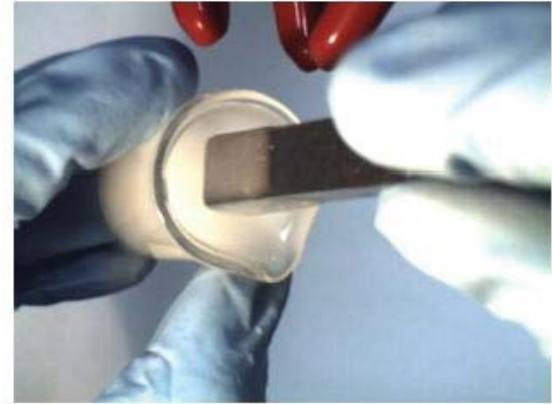
Source *op. cit.*, p. 6.



Bain liquide



Nappage



Retrait de la pièce



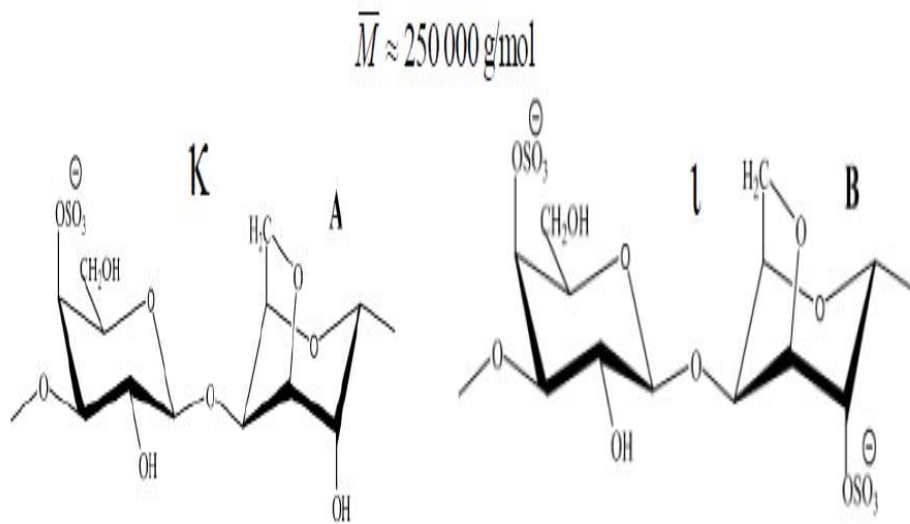
Séchage



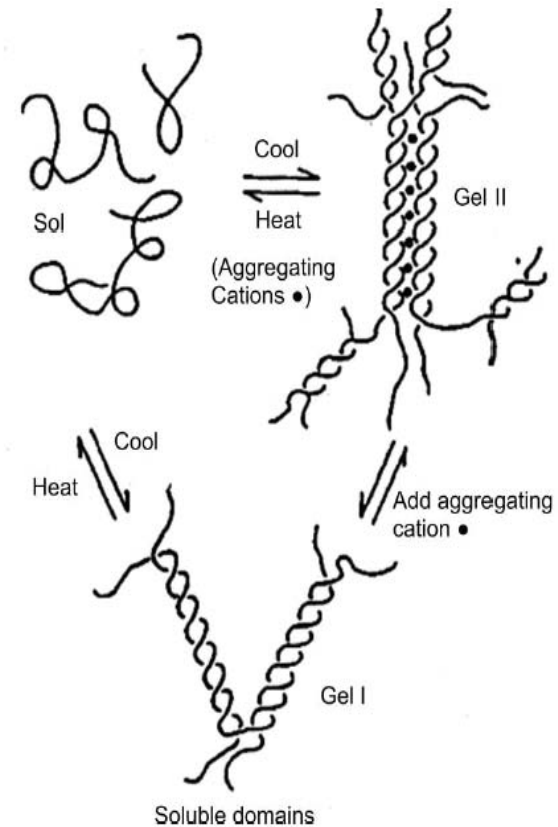
Récupération du gel sec

Source *op. cit.*, p. 39.

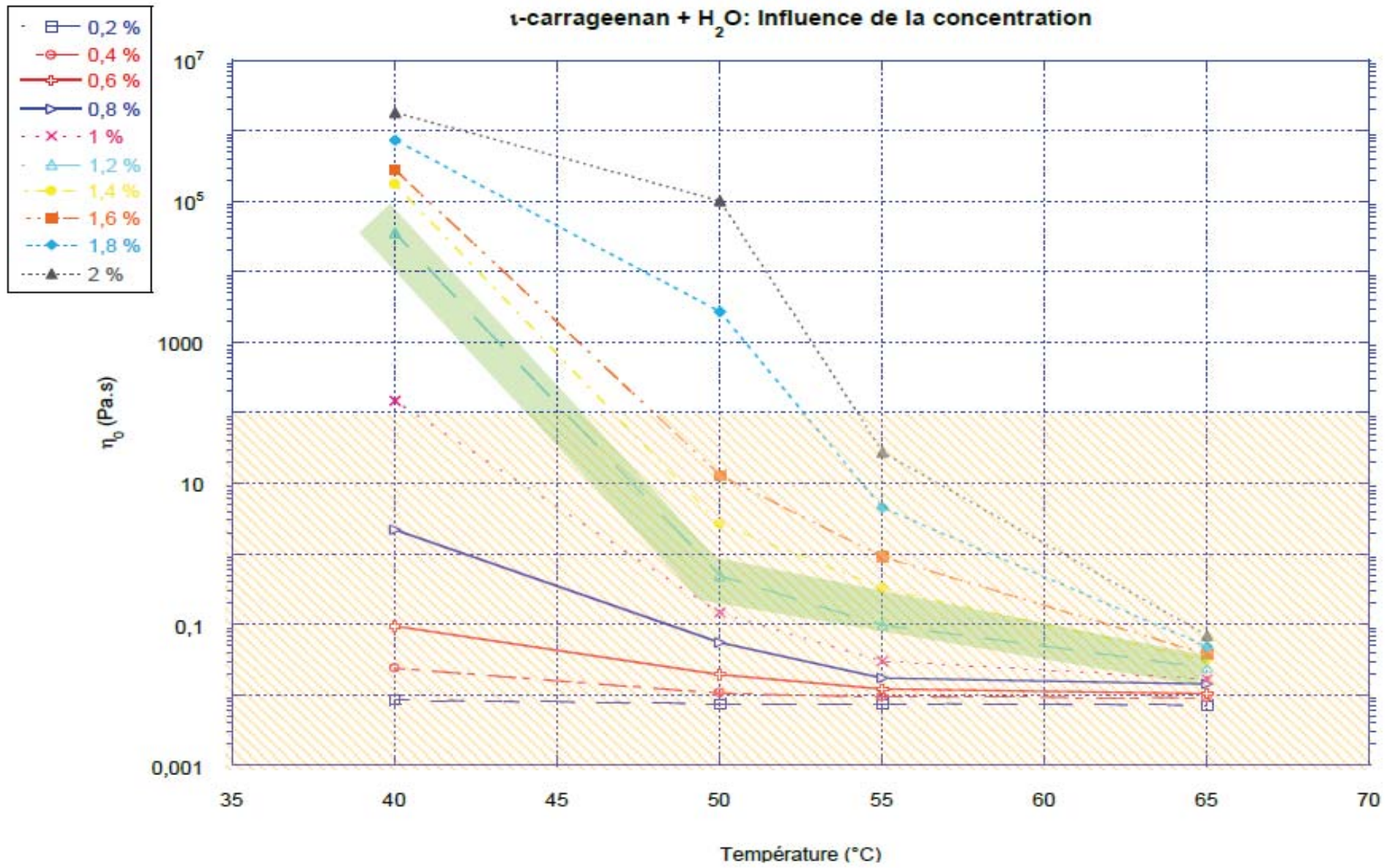
Additifs sensibles à la température : les carraghénanes



Source *op. cit.*, p. 14 et p. 15.



Conformations des chaînes de carraghénane en fonction de la température et de la présence ou non de cations dans le milieu¹¹.



Source *op. cit.*, p. 26.

Partie 2 :

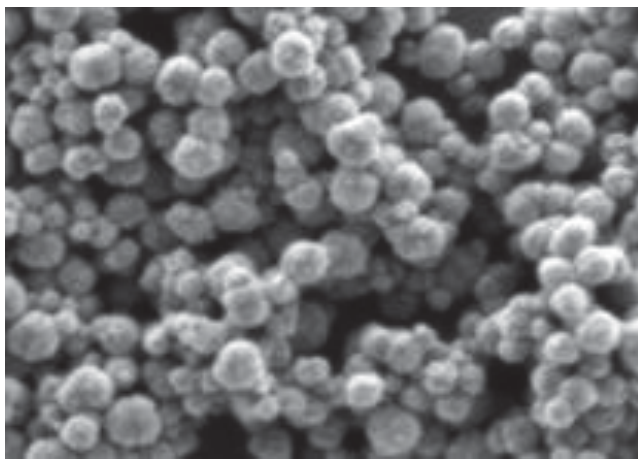
Quelques points essentiels sur les méthodes et les raisonnements des chimistes

Dépendance aux milieux

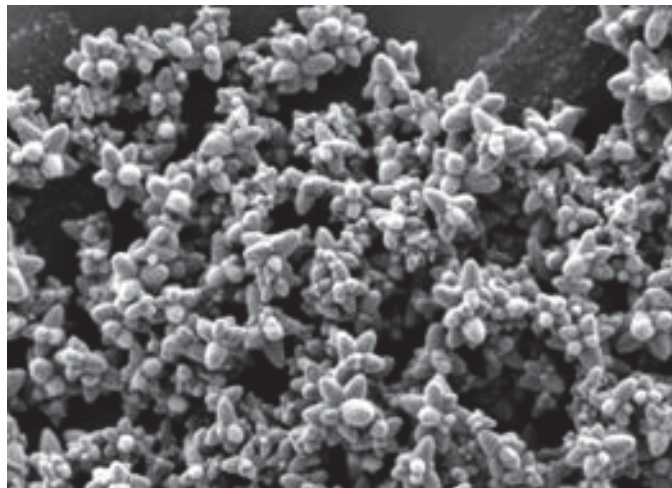
ZnO Les chimistes doivent aujourd'hui penser ensemble les ingrédients, un corps (molécule ou matériau), ses parties, le milieu associé et le procédé pour élucider une transformation.

A. AIMABLE, M. T. BUSCAGLIA, V. BUSCAGLIA, P. BOWEN. (2010). « Polymer-assisted precipitation of ZnO nanoparticles with narrow particle size distribution », *Journal of the European Ceramic Society*, 30, 591-598.

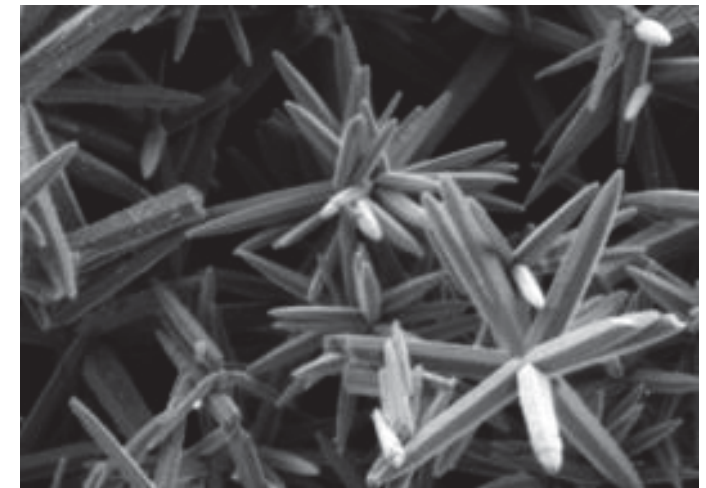
Effets du pH



pH 5.6



pH 11.2



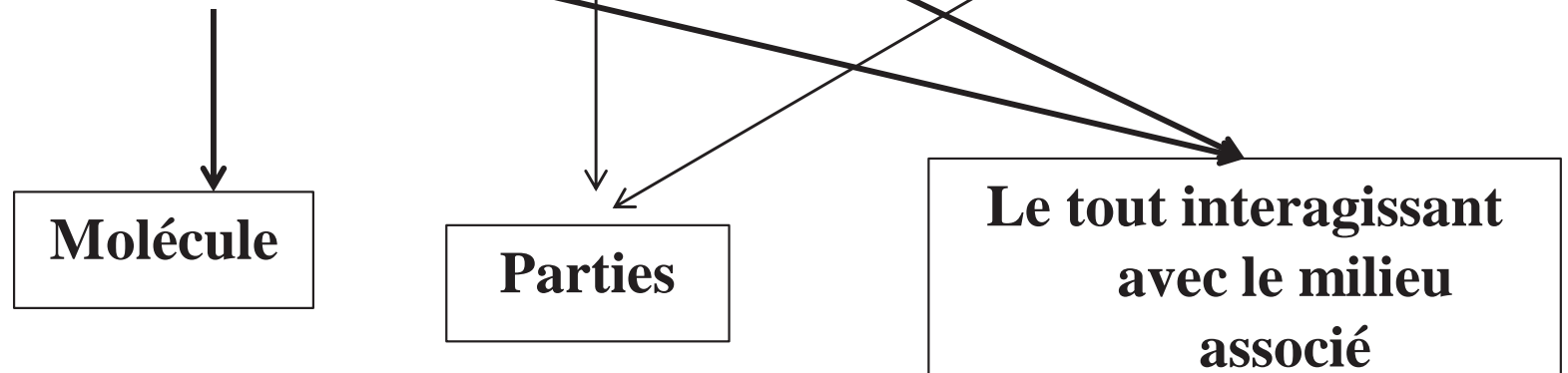
pH 12.5

2 μm

Relations entre niveaux d'organisation :

Approche des orbitales moléculaires (Mulliken)

$$\Psi(HI) = a_1 \phi(H) + b_1 \phi(I)$$



a_1 et b_1 sont déterminés par des méthodes variationnelles (minimisation d'énergie).

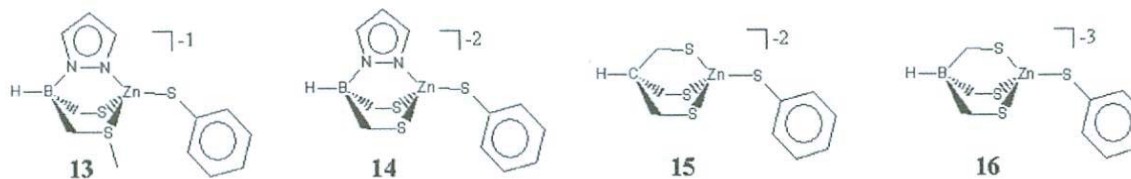
Techniquement la détermination des coefficients a_1 et b_1 nécessite de faire appel à la molécule toute entière. Au-delà de l'aspect technique, la justification de cette minimisation fait appel au milieu (molécules, photons de longueurs d'onde spécifiques).

Aucune réduction d'un niveau par un autre mais une dépendance mutuelle des niveaux *dans un milieu donné*. Le tout, ses parties, et le milieu associé sont nécessaires, en même temps, à la réalisation d'un calcul et à l'aboutissement d'un raisonnement.

« Théorie » de la densité fonctionnelle (DFT en anglais)

Basée sur une fonctionnelle de densité électronique (une fonction dans la variable est une fonction de l'énergie des électrons).

Espace moléculaire : grilles de cubes de taille modulable (approche topologique).



Le calcul utilise une fonctionnelle pour :

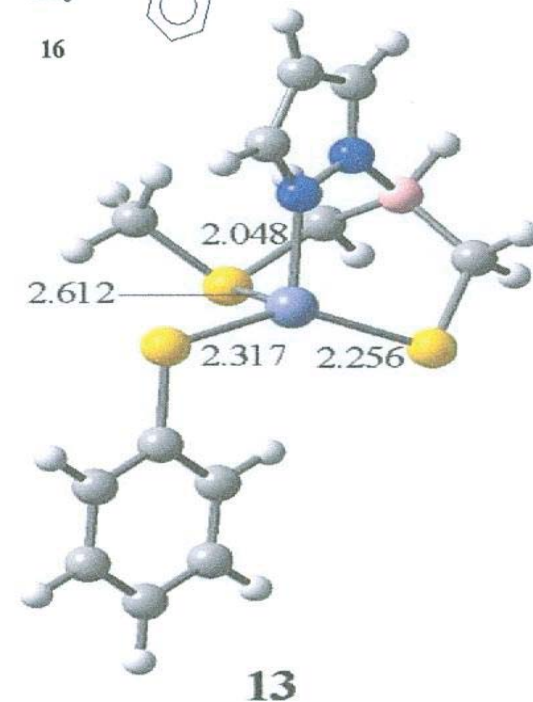
chaque atome ;

chaque effet spécifique à l'intérieur d'une molécule ;

le milieu (molécules, champs électromagnétiques, photons) ;

une information sur l'entité (structure).

Calcul de variation itératif et auto-cohérent.

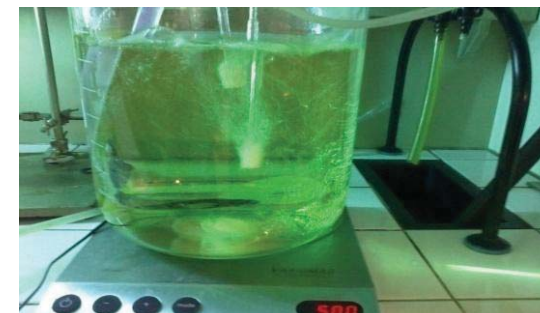


Structure optimisée du complexe n°13 au niveau de calcul B3LYP/BS1. Longueur de liaison en Å.

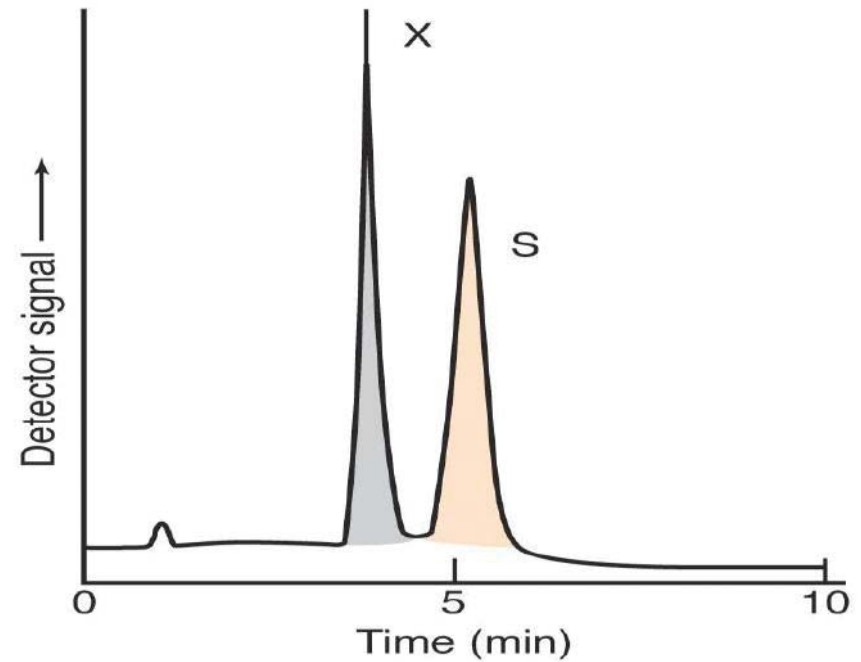
Jaune : soufre ; bleu : azote ; gris : carbone ; blanc : hydrogène ; rose : bore ; bleu ciel : zinc

D. Picot, G. Ohanessian & G. Frison. (2008). « The Alkylation Mechanism of Zinc-Bound Thiolates Depends upon the Zinc Ligands », *Inorganic Chemistry*, 47, 8167-8178.

Exemple d'un dosage d'antibiotiques dans l'eau : travail fondamental de stabilisation des résultats



Analyse par chromatographie



C_P (mol.L⁻¹)	$1,18 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-6}$
Area 1 (μV.s)	1726682	192078	17419
Area 2 (μV.s)	1734790	192339	17219
Area 3 (μV.s)	1734345	192413	18020
Mean area (μV.s)	1731939	192277	17553
SD: Standard Deviation	4558,12933	175,9839008	416,8936715

Stabiliser (1)

Spécificité : « capacité » de la méthode à permettre une évaluation non équivoque de l'analyte en présence de composants qui sont susceptibles d'être présents (effet de matrice, solvants, autres composés d'une formulation).

Linéarité : « capacité », *dans un intervalle donné*, d'obtenir des résultats de dosage directement proportionnels à la concentration ou à la quantité d'analyte dans l'échantillon.

Exactitude (définie par norme ISO 5725) : étroitesse d'accord entre le résultat d'essai et la valeur de référence acceptée.

Justesse : étroitesse d'accord entre la valeur moyenne obtenue *à partir de larges séries d'essais et une valeur de référence acceptée*.

Stabiliser (2)

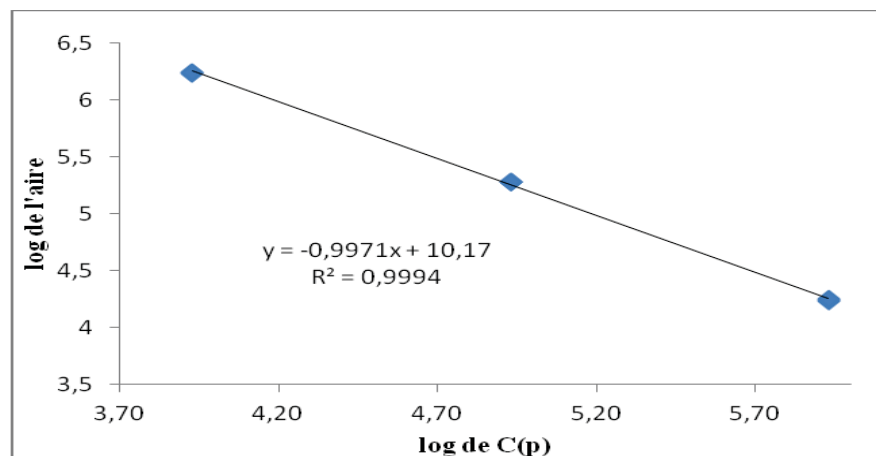
Fidélité : l'étroitesse d'accord entre une série de mesures obtenues dans des conditions prescrites à partir de prises d'essais multiples provenant d'un même échantillon homogène et homogénéisé.

Répétabilité : fidélité évaluée dans des conditions opératoires *identiques* (même analyste, même équipement, même laboratoire) et dans un court intervalle de temps.

Reproductibilité : exprime la « variabilité inter-laboratoires » (études collaboratives habituellement appliquées à la standardisation de la méthodologie).

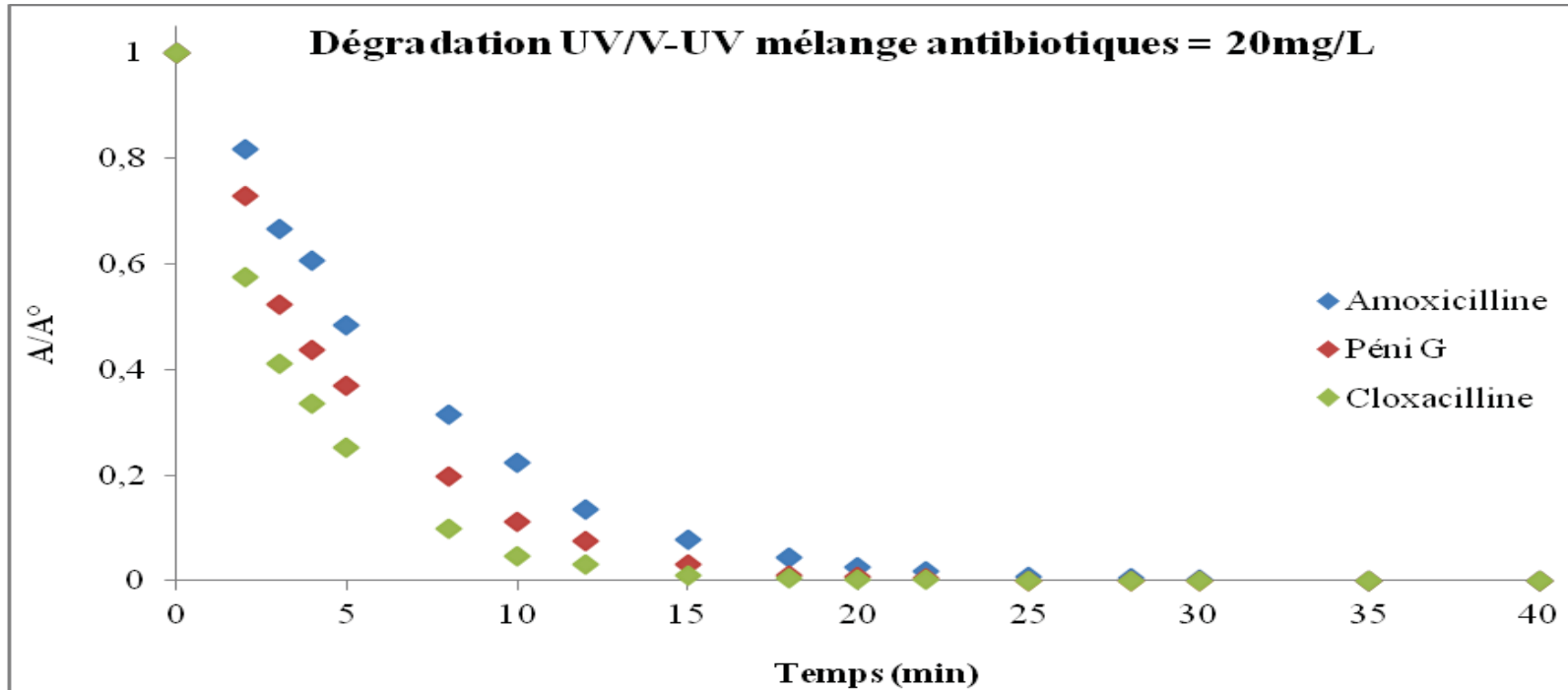
On définit des limites, un intervalle de validité, une limite de détection, une limite de quantification, et une robustesse (*stabilité* du protocole par rapport à des variations faibles délibérément introduites dans les paramètres de la méthode ; la robustesse fournit une *indication* sur la *fiabilité* du protocole *dans des conditions normales d'utilisation*).

Stabiliser (3)



C (mol/L)	1,07E-04	8,00E-05	5,33E-05	2,67E-05	1,07E-05	8,00E-06	5,33E-06	2,67E-06	1,07E-06	8,00E-07	5,33E-07	2,67E-07	1,07E-07
Aires injections	835331	639008	381290	130271	57889	39510	24133	9696	3424	4189	2220	1552	597
	836077	638324	380750	130056	58057	39405	24234	9709	3528	4167	2168	1524	549
	834624	639286	381999	130034	57934	39319	24166	9814	3380	4159	2187	1449	505
	835880	638741	381308	129819	58014	39682	24188	9707	3433	4268	2172	1583	541
	836260	640046	382113	130027	58310	39907	24280	9955	3455	4195	2220	1528	515
	835141	638084	380979	130200	58323	39903	24499	9778	3455	4184	2183	1494	535
Aire moyenne	835552,17	638914,83	381406,50	130067,83	58087,83	39621,00	24250,00	9776,50	3445,83	4193,67	2191,67	1521,67	540,33
SD	626,645	706,480	545,385	157,235	186,688	251,086	132,473	99,134	48,775	38,872	23,019	46,418	32,266
CV %	0,075	0,111	0,143	0,121	0,321	0,634	0,546	1,014	1,415	0,927	1,050	3,050	5,971

Stabiliser (4)



Lorsque que le complexe {appareil-méthodes-corps-milieu associé} est stabilisé, *le facteur changeant est la quantité à déterminer.*

Si vous changez un élément (une colonne, un éluant, une température, etc.), tout est à refaire.

Le travail des chimistes est un lent travail de stabilisation des résultats.

Le sens de la phrase « toute chose étant égale par ailleurs » ou clause *ceteris paribus* en chimie

La clause *ceteris paribus* devient davantage un défi ou un guide qu'un fondement des raisonnements ; une obtenue plus qu'un point de départ. Elle acquiert donc un *sens pragmatique* et devient une condition locale de possibilité d'une validation expérimentale incluse dans un contexte de production et un milieu chimique, sachant que les critères de normalisation sont relatifs à chaque domaine d'activité.

La connaissance et les conclusions des chimistes portent sur le complexe total {appareil-méthodes-corps-milieu associé} et non sur le corps en question considéré comme seul, isolé.

Attention à ne pas attribuer à un élément du complexe une caractéristique uniquement valable pour ce complexe, ce qui serait une erreur de raisonnement (erreur méréologique).

Partie 3

Quelques enjeux de la chimie de nos jours

Impact environnemental de la chimie



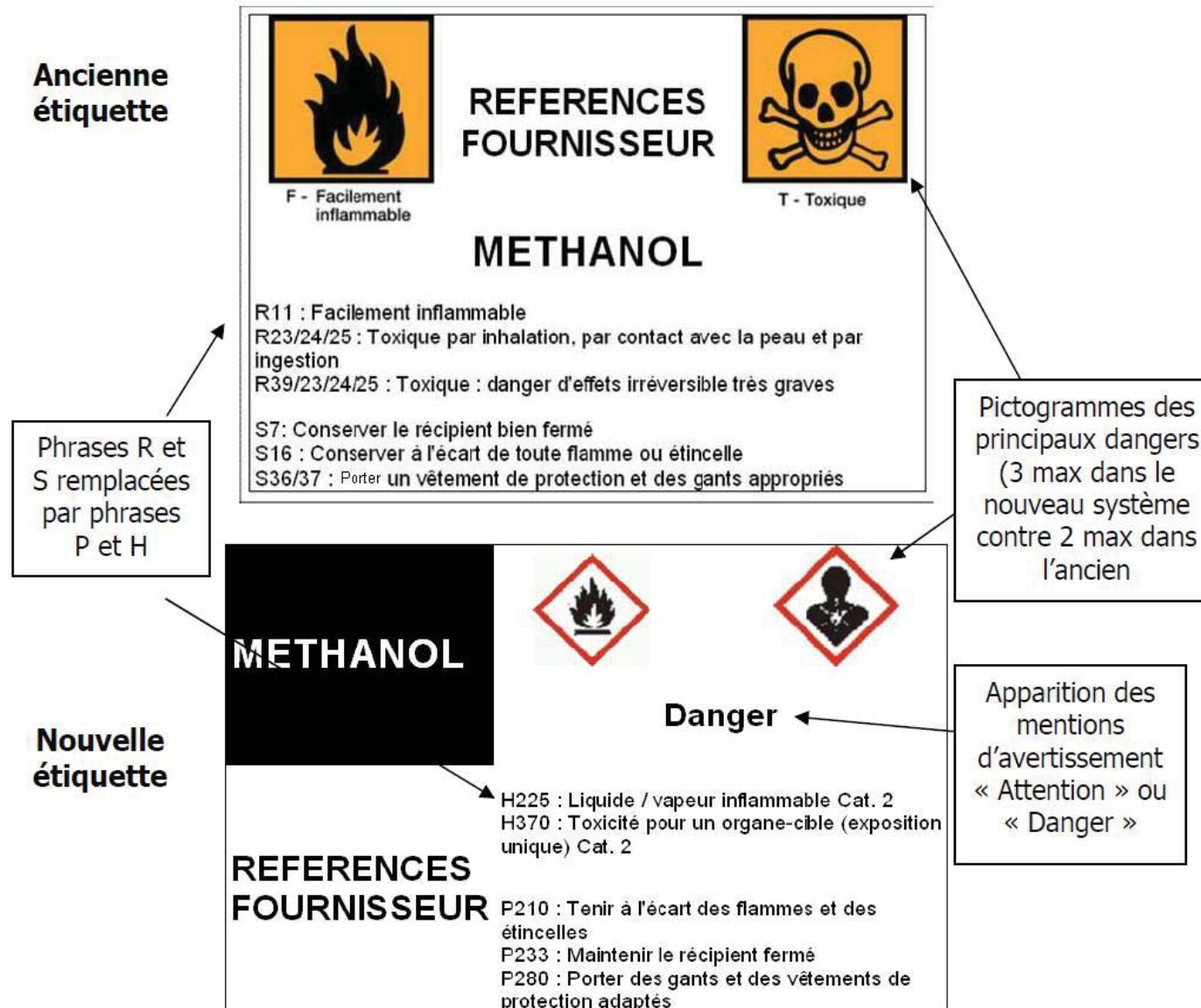
Impact sanitaire de la chimie



Bisphénol A utilisé pour fabriquer des plastiques et des résines. C'est un inhibiteur endocrinien.

Thalidomide : Médicament prescrit à l'origine en tant qu'hypnotique ou sédatif, il a été utilisé contre les nausées dans le cas des femmes enceintes. Peu de temps après sa commercialisation en Allemagne de l'ouest, entre 5000 et 7000 enfants sont nés avec une pathologie de type phocomelia (malformation des membres). Seuls 40% de ces enfants ont survécu.

Fiche de sécurité (FDS)



Différences entre ancienne et nouvelle étiquette

Danger selon le code du travail

Directive 98/24/CE du Conseil concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail

Le code du travail définit le danger comme « **la propriété intrinsèque d'un agent chimique susceptible d'avoir un effet nuisible** » (directive 98/24). Il est important de retenir que le danger est propre à l'agent chimique, indépendamment de ses conditions d'utilisation.

L'expression « d'agent chimique » est plus globale que celle de « substance chimique » car elle inclut ces dernières mais aussi les préparations, et les produits générés par l'activité de l'entreprise comme les poussières, les vapeurs, les fumées, les déchets.

Ce changement d'appellation fixée par la directive est loin d'être anodin quand on sait l'importance de ces agents dans la genèse de nombreuses maladies professionnelles (poussières d'amiante ou de bois, fumées de soudures ou de combustion, etc.).

Les dangers

DANGERS PHYSIQUES	DANGERS POUR LA SANTE	DANGERS POUR L'ENVIRONNEMENT
<ul style="list-style-type: none"> 1) Explosibles 2) Gaz inflammables 3) Aérosols inflammables 4) Gaz comburants 5) Gaz sous pression 6) Liquides inflammables 7) Matières solides inflammables 8) Substances et mélanges auto-réactifs 9) Liquides pyrophoriques 10) Matières solides pyrophoriques 11) Substances et mélanges auto-échauffants 12) Substances et mélanges qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables 13) Liquides comburants 14) Matières solides comburantes 15) Peroxydes organiques 16) Substances ou mélanges corrosifs pour les métaux 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Toxicité aiguë 2) Corrosion cutanée/irritation cutanée 3) Lésions oculaires graves/irritation oculaire 4) Sensibilisation respiratoire ou cutanée 5) Mutagénicité sur les cellules germinales 6) Cancérogénicité 7) Toxicité pour la reproduction 8) Toxicité spécifique pour certains organes cibles-exposition unique 9) Toxicité spécifique pour certains organes cibles-exposition répétée 10) Danger par aspiration 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Dangers pour le milieu aquatique (aigus et chroniques) 2) Danger pour la couche d'ozone

Sources : Ineris et Inrs

Risque selon le code du travail

Le risque chimique est celui qu'engendre l'utilisation ou le contact avec un ou plusieurs agents chimiques.

La directive 98/24 le définit comme « **la probabilité que le potentiel de nuisance soit atteint dans les conditions d'utilisation et/ou d'exposition** » (Art. R. 4412-4 du code du travail).

Danger et risque chimiques

Danger (intrinsèque) / risque (exposition : notion relationnelle)

Ce qui est visé est donc le « risque probable », c'est-à-dire le risque « qu'il est raisonnable de présumer », **qui est donc tenu pour réel plutôt qu'inexistant.**

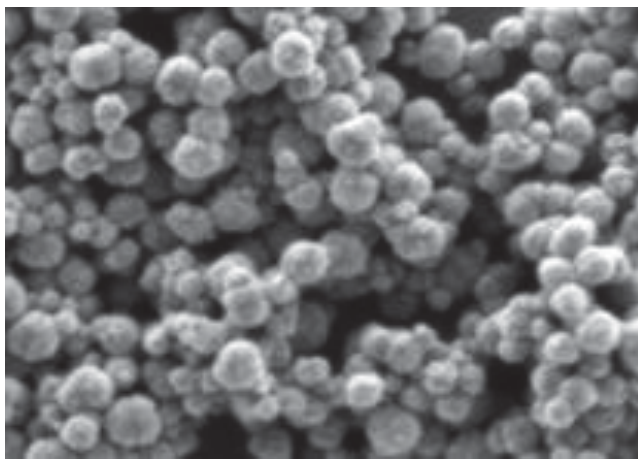
Il peut y avoir un risque relativement faible avec un agent chimique très dangereux et, inversement, l'utilisation d'un agent chimique de dangerosité faible peut générer un risque élevé.

Discussion (1)

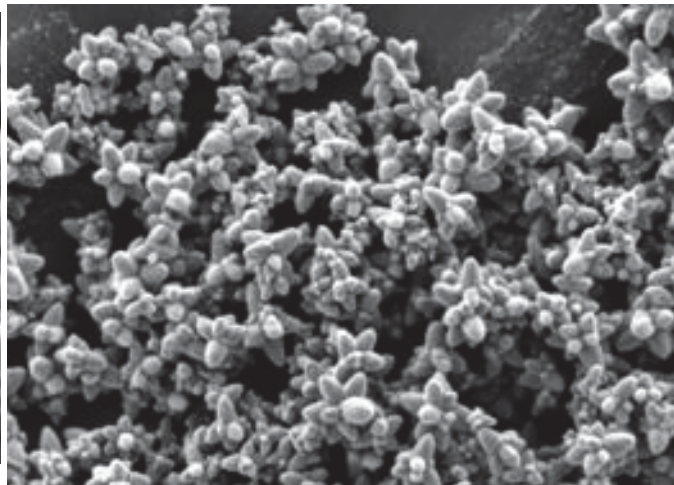
Définir un corps de façon intrinsèque et un danger comme étant « une propriété intrinsèque » de ce corps soulève des difficultés insurmontables sur le plan conceptuel.

A. AIMABLE, M. T. BUSCAGLIA, V. BUSCAGLIA, P. BOWEN. (2010). « Polymer-assisted precipitation of ZnO nanoparticles with narrow particle size distribution », *Journal of the European Ceramic Society*, 30, 591-598.

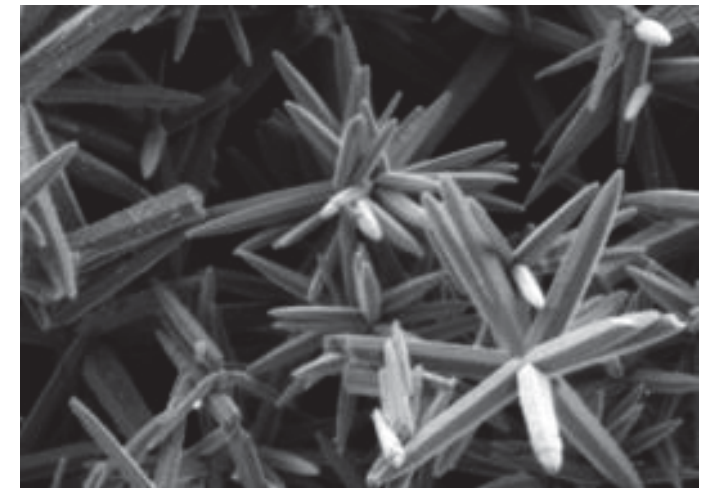
Effets du pH



pH 5.6



pH 11.2



pH 12.5

2 μm

ZnO

Discussion (2)

La définition du danger chimique proposée par le code de travail repose sur une métaphysique qui fait prévaloir les propriétés intrinsèques des corps, comme si le milieu dans lequel se trouve ce corps était un simple décor, comme si le corps en question avait la même réactivité partout : ceci est tout sauf évident.

Or les réglementations environnementales, comme REACH, reposent sur cette définition.

Nous devons donc changer certaines définitions, voire de métaphysique, et envisager une approche relationnelle des corps et des transformations chimiques ; approche qui pourrait permettre de mieux envisager le rôle constitutif des milieux associés aux corps pour penser les conséquences sanitaires et environnementales de la chimie.

Llored, J-P., “Ethics and Chemical Regulation: The Case of REACH”, *HYLE, International for the Philosophy of Chemistry*, Vol. 23, 2017, 81-104.

Changer de représentation de la science : La science comme production d'inconnu

Des substances nouvelles introduisent des propriétés nouvelles dont les effets sont difficiles à prévoir de façon exhaustive. Ils agissent à de multiples échelles d'espace et de temps, diffusent inlassablement à travers les roches et nos membranes organiques, ils modifient des temporalités locales, bref, ils changent le monde et ses différentes niches écologiques. **Aussi le développement de la chimie est-il une source permanente de création d'inconnu. L'introduction de cette nouveauté génère une gamme de possibilités relationnelles qui nous dépasse et qui n'est pas sans conséquences sur nos collectifs.** Llored, J.-P. & Sarrade, S., "Connecting the Philosophy of Chemistry, Green Chemistry and Moral Philosophy", *Foundations of Chemistry*, volume 18, n°2, 125-152.

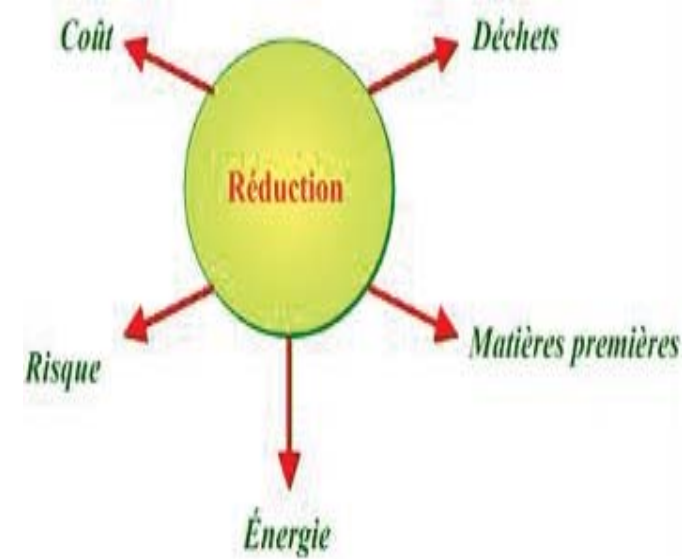
Comme l'écrivait Schummer (2001) :

« Avec chaque production d'une nouvelle substance, l'étendue du non-savoir augmente considérablement, du fait à la fois du nombre de propriétés indéterminées de la nouvelle substance et de l'ensemble des réactions chimiques qu'elle aura avec les substances déjà existantes. » Schummer, Joachim (2001), "Ethics of Chemical Synthesis", *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7 (2), p. 103-124, ma traduction.

Réponses techniques et scientifiques en cours de stabilisation



Chimie verte



Attention: la chimie verte ne correspond pas à la chimie du végétal.

En 1990, l'Agence pour la Protection de l' Environnement lance le mouvement pour la chimie verte :

« Développer des technologies chimiques innovantes pour réduire ou éliminer l'emploi et la formation de substances dangereuses dans la conception, la fabrication, l'utilisation des substances chimiques ».

Les 4 axes principaux de la chimie verte



Utiliser au mieux les matières premières qui, transformées doivent se retrouver le plus largement possible dans le produit final limitant ainsi la production de sous-produits



Utiliser des solvants propres, non toxiques et compatibles avec l'environnement



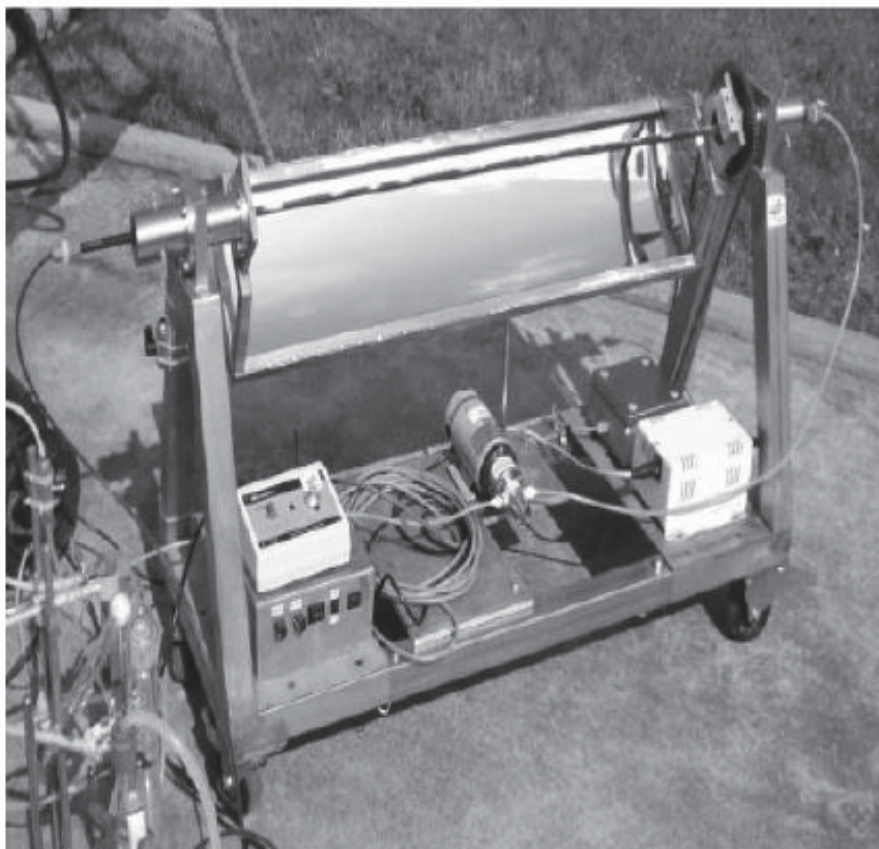
Utiliser au mieux l'énergie, en terme de rendement, d'économie, de source de rejets



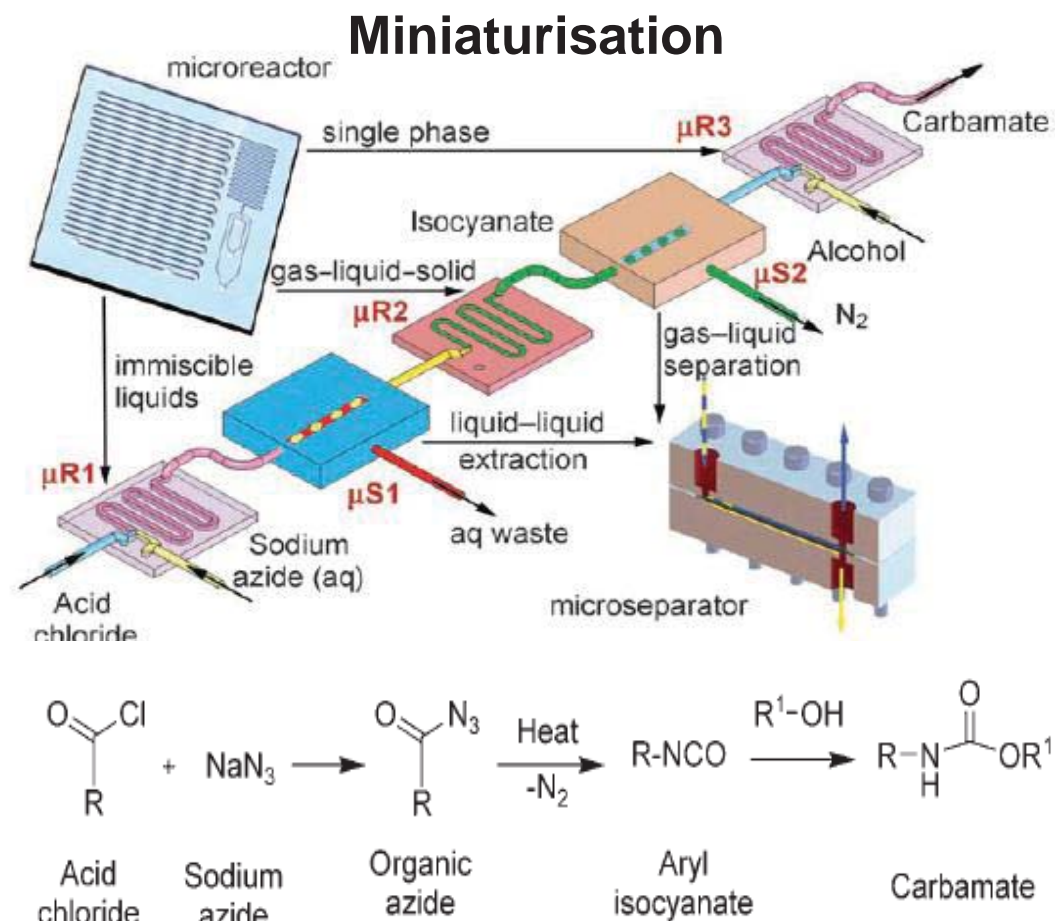
Produire des quantités minimales de déchets et dans des formes adaptées (solide, liquide ou gazeuse) limitant leur dissémination et favorisant leur recyclage

Source : Stéphane Sarrade,
ChemSud, 2009.

Le solaire et la miniaturisation




M. Oelgemöller, N. Healy, L. de Oliveira, C. Jung and J. Mattay, « Green Photochemistry: Solar-Chemical Synthesis of Juglone with Medium Concentrated Sunlight », *Green Chemistry*, n°8, 2006, 831-834.



Scheme 1. Carbamate synthesis as a case study.

R. Sahoo, J. G. Kralj, and K. F. Jensen, « Multistep Continuous-Flow Microchemical Synthesis Involving Multiple Reactions and Separations », *Angew. Chem.*, n°46, 2007, 5704-5708.

Autre aménagement de l'espace



« Smaller, cheaper, safer »

Prix ~ taille $0,66$

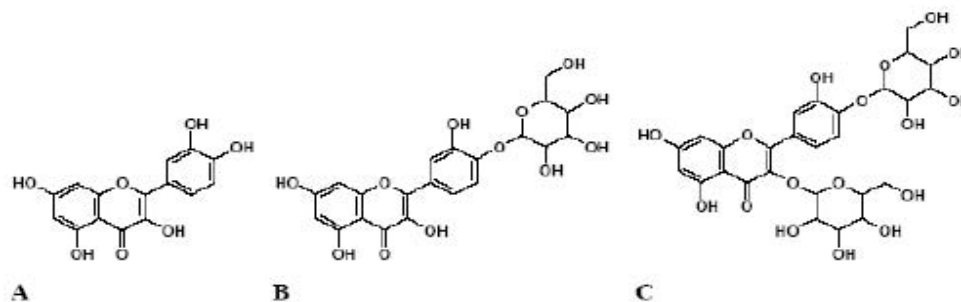
« Utiliser beaucoup moins pour produire beaucoup plus »

The image shows a side-by-side comparison of industrial plant layouts. On the left is a traditional, sprawling facility with numerous tall distillation columns and complex piping. On the right is a much more compact and modern facility with blue-tinted glass walls and integrated green spaces. An orange arrow points from the traditional layout to the compact one. The text '« Smaller, cheaper, safer »' is positioned above the compact layout, and '« Utiliser beaucoup moins pour produire beaucoup plus »' is at the bottom. The price-to-size ratio is given as 'Prix ~ taille 0,66'. The DSM logo is visible on the right side of the compact facility.

Extraire des molécules en préservant la « nature » et la biodiversité : CO₂ à l'état supercritique



Squalène : antioxydant



Chemical structures of quercetin (A), quercetin-4-glycoside (B) and quercetin-3,4-aiglycosiae (C).



Antioxydants et antineurodégénératifs

La biomasse

Quantité totale de matière organique issue de toutes les espèces vivantes [végétale (algues incluses), animaux, champignons microscopiques] présentes dans un milieu donné.

Par extension, dans le domaine de l'énergie, le terme « biomasse » regroupe l'ensemble des matières organiques (essentiellement d'origine végétale) pouvant devenir des sources d'énergie renouvelable :

par combustion (bois) ;

après méthanisation (biogaz) ;

après de nouvelles transformations chimiques (agrocarburants).

Le recours aux micro-algues



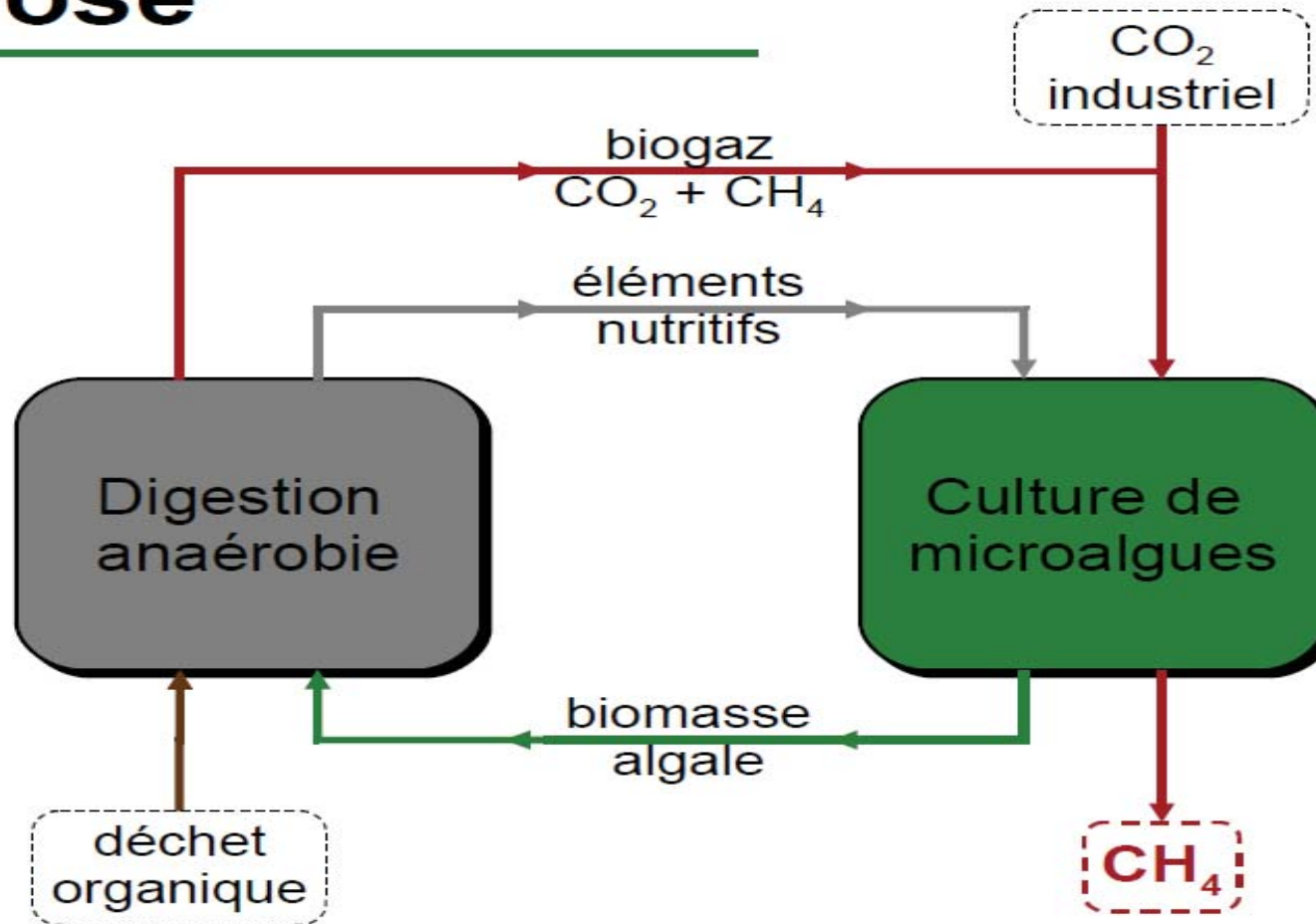
Un potentiel

- Forte teneur en lipides
- Rendement élevé
- Fixation de CO₂ industriel
- Pas de concurrence alimentaire des terres
- Une culture « simple »



Le biométhane comme source d'énergie

Symbiose



Source : Stéphane Sarrade,
ChemSud, 2009.

Représentation de la science, société et responsabilité

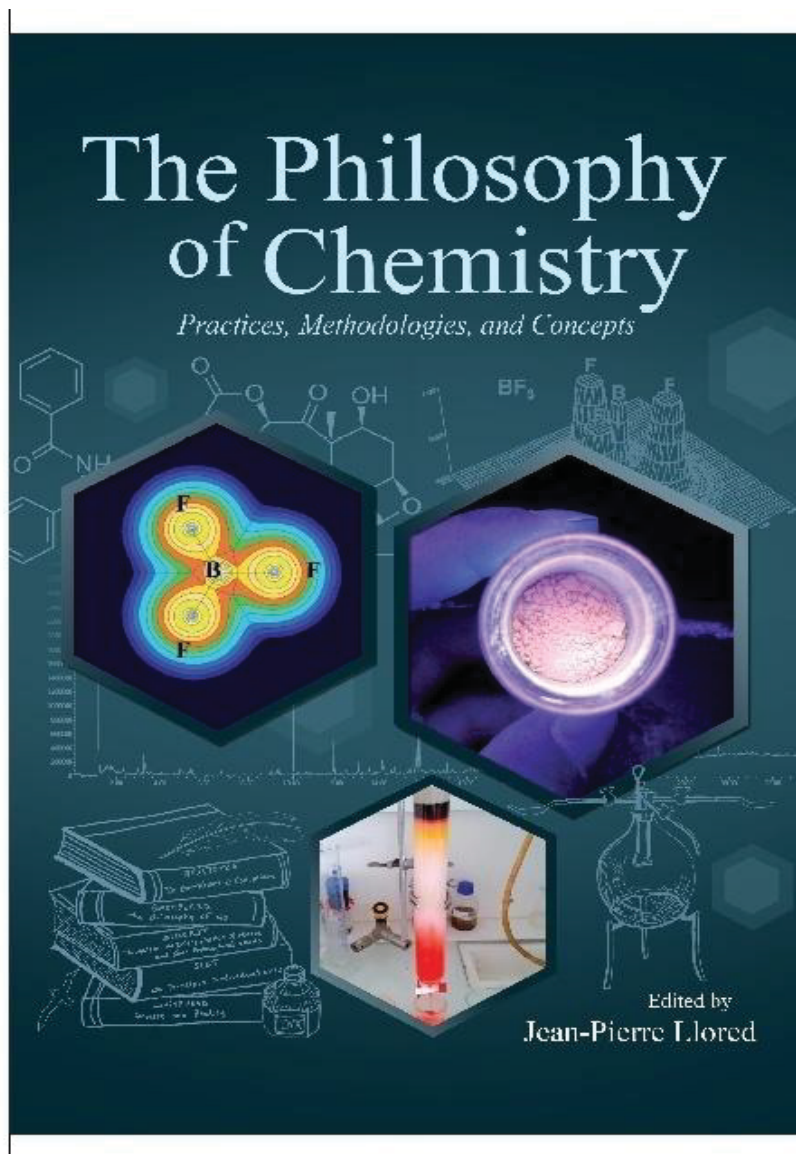
Si, par le biais de ses instruments, théories et modèles, la science dévoile les lois du monde telles qu'elles sont en dehors de nos actions, alors elle constitue un savoir autonome du reste de la société et son expertise, quoique provisoire et sans cesse renouvelée, prévaut. Dans ce cas, la chimie est « verte » au sens où elle n'apporte qu'une réponse technoscientifique à la question de l'épuisement des ressources et du bien-être de l'humanité.

Si les instruments ne sont plus éliminables (comme en physique quantique ou en chimie) pour produire et définir les corps alors les sciences ont accès aux résultats d'une interaction, ce qui engage autrement la responsabilité des scientifiques à propos de leurs productions ainsi que le lien de ces sciences avec le reste de la société. La chimie verte pourrait alors devenir une *chimie durable, au-delà du seul aspect technoscientifique*.

Llored , J.-P., “Communiquer la chimie verte”, in *Modalités de la communication scientifique et technique en France et au Royaume-Uni, perspectives historiques*, sous la direction de Muriel Le Roux, P.I.E. Peter Lang, Éditions scientifiques internationales, Bruxelles, (sous presse, à paraître en 2018).

Merci de votre attention





jean-pierre.llored@linacre.ox.ac.uk

The Philosophy of Chemistry: Practices, Methodologies, and Concepts, Cambridge Scholars Publishing, 2013.

La chimie, cette inconnue?, Hermann, Paris, ouvrage terminé, à paraître en 2018.

La mésologie, un autre paradigme pour l'anthropocène ? Autour d'Augustin Berque, en collaboration avec M. Augendre et Y. Nussaume, Actes du colloque de Cerisy-la-Salle, Hermann, en préparation, début 2018.

Philosophizing from Chemistry: Proceedings of the ISPC Paris Conference 2017, Synthese Press Library, en préparation, publication prévue en 2018.

Ethics and Chemistry, World Scientific et Imperial College Press, en préparation, publication prévue pour 2019.