

# Introduction à la philosophie de la chimie

Dr. Jean-Pierre LLORED

[jean-pierre.llored@linacre.ox.ac.uk](mailto:jean-pierre.llored@linacre.ox.ac.uk)

[Linacre College (Oxford University) ; Department of Philosophy of Science (Bristol University) ; UMR SPHERE et UMR LIED (Université Paris Diderot)]

Master LOPHISS. UE "Introduction à la philosophie des sciences", Département d'histoire et de philosophie des sciences, Université Paris Diderot, 18 décembre 2018.

# Etat d'esprit de l'enseignant



The most a philosophy can hope for is not to lock out any interest forever. No matter what doors it closes, it must leave other doors open for the interests which it neglects.

JAMES, William. *A Pluralistic Universe*. (1909), Hibbert Lectures at Manchester College on the Present Situation in Philosophy. London, Bombay, and Calcutta: Longmans and Co, Lecture I, *The Types of Philosophy Thinking*, p. 32.

« La possibilité de définir un objet indépendamment de l'histoire de sa formation et de ses rapports avec son ou ses environnements enchevêtrés, la possibilité de reproduire un phénomène en laboratoire, de prévoir, de dégager des relations générales à partir des cas particuliers ne renvoie pas alors à une question de droit, mais de fait, dont il s'agit le cas échéant de comprendre la signification et les limites. Le caractère abstrait de certaines connaissances scientifiques n'est pas le résultat d'une pensée abstraite mais est lié à la découverte d'une possibilité d'abstraction propre à tel ou tel aspect du réel que les sciences explorent. » STENGERS Isabelle. « Le pouvoir des concepts », *in Les concepts scientifiques*. STENGERS Isabelle et SCHLANGER Judith, Gallimard, Paris, 1991, pp. 59-60.

# **PLAN DU COURS**

- 1. Réquisits pour penser la chimie : Les apports d'une épistémologie expérimentale**
- 2. Perspectives ouvertes et discussion**

# Comment définir un produit chimique ?

Par une composition, une structure, des propriétés.

Parmi ces propriétés :

Propriétés « intrinsèques » (du produit « lui-même ») et propriétés relationnelles.

Rôle du « milieu » dans lequel se trouve le corps : est-il un simple « topos » détachable du corps ? Un « environnement » qui permet de le situer ? Ou bien participe-t-il, de façon constitutive, à ce qu'est le corps en question et à sa façon de réagir avec ce qui l'entoure ?

# Petit détour historique pour commencer

# **Pratiques chimiques et perspectives relationnelles : Pratiques alchimiques de transmutation**

**Contexte de pratiques** : Le métal est un corps mixte dont il est possible de séparer les éléments principiels constitutifs et de les agencer d'une nouvelle manière. Calcination, distillation, dissolution apparaissent comme des **opérations** permettant d'atteindre de tels buts. **Identité opérationnelle des substances** qui sont des **instruments pour agir**.

**Interprétations corrélatives** : Pluralisme de théories diverses selon le nombre d'éléments principiels, la prééminence du Mercure, du Soufre ou du Sel, etc.

**Combinaisons d'éléments et échange graduel des qualités : prémisses d'une chimie des relations** ? Différents principes qui se mélangent, s'échangent et se conservent durant les transformations de la matière. Les qualités (chaud et froid, sec et humide) non opposées ( $\neq$  Aristote) mais qui présentent des différences quantitatives soumises à la mesure et aux opérations.

# Pratiques chimiques et perspectives relationnelles Table des rapports

## Table des différents Rapports observés en chimie entre différentes substances, Etienne-François Geoffroy (1718)

**Contexte de pratiques :** Chimie des sels, nouveaux règlements de l'Académie royale des sciences (1699), **Wilhelm Homberg** évoque l'interchangeabilité de corps qui répondaient à des catégories principales distinctes (étude des sels « moyens »). Réception de la chimie newtonienne en terres cartésiennes.

**Table des rapports :** Tables empiriques et mise en ordre des réactions connues. Notion de « **déplacement** » chimique : « Toutes les fois que deux substances qui ont quelques dispositions à se joindre l'une avec l'autre se trouvent unies ensemble ; s'il survient une troisième qui est plus de rapport avec l'une des deux, elle s'y unit en faisant lâcher prise à l'autre ». Geoffroy cité par J.R. Partington, *A History of Chemistry*, vol III, Macmillan ed, London, (1962), p. 53.

# Table des rapports de Etienne-François Geoffroy (1718)

↔	⊖	⊖	⊖	▽	⊖v	⊖^	SM	▲	♀	†	♀	⊕	♂	⊕	▽
⊖v	♀	♂	▲	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖v	⊕	⊖	⊖	♀	†	⊕	▽
⊖^	⊕	♀	⊖v	⊖	⊖	⊖	⊖	♂	⊖	⊖	♀	PC	♀	⊖	⊖
▽	♀	†	⊖^	⊖	⊖	⊖	⊖	♀	†			⊖	⊖	⊖	⊖
SM	⊖	♀	▽		⊕		⊕	†	♀						
⊖	♀	⊖		⊕			⊖	⊖	⊖	⊖					
		♀													
		⊖													
	⊕														

↔ Esprits acides.  
 ⊖ Acide du sel marin.  
 ⊖ Acide nitreux.  
 ⊖ Acide vitriolique.  
 ⊖ Sel alcali fixe.  
 ⊖ Sel alcali volatil.

▽ Terre absorbante.  
 SM Substances metalliques.  
 ♀ Mercure.  
 Ⓛ Regule d'Antimoine.  
 Ⓜ Or.  
 Ⓝ Argent.

Ⓛ Cuivre.  
 Ⓛ Fer.  
 Ⓛ Plomb.  
 Ⓛ Etain.  
 Ⓛ Zinc  
 PC Pierre Calaminaire.

Ⓛ Soufre mineral. [Principe.  
 Ⓛ Principe huileux ou Soufre  
 Ⓛ Esprit de vinaigre.  
 ▽ Eau.  
 Ⓛ Sel [dents  
 Ⓛ Esprit de vin et Esprits ar-

Isabelle Stengers, L'affinité ambiguë : le rêve newtonien de la chimie du XVIII<sup>e</sup> siècle, in *Eléments d'histoire des sciences*, Serres Michel Ed, Bordas, Paris, p. 297-320.

## Principe de la table

A  
a  
b  
c



## Rapport et propriétés chimiques relationnelles

Déplacement de la fonction explicative des principes, responsables des qualités, vers l'état d'union entre deux corps et la notion de processus qui implique union et désunion.

Comparaison de l'intensité des liens entre corps et prévision de réactions chimiques.

Influence jusqu'au début du 19<sup>e</sup> siècle sur la production de nouveaux critères d'identification des corps (extraction et recréation au laboratoire, analyse et synthèse). « Faiseurs de table » : Gellert, Bergman, Wenzel, etc.

# Cours de chimie de Venel (chimie du XVIII<sup>e</sup> siècle)

Cours de chimie de Venel, p. 416

« Tous les corps sont menstrues les uns des autres, [...], il n'y a point une substance qui en dissolve une autre mais [...] elles se dissolvent toutes deux. »

« Des matières très variées et combinées d'une infinité de façons reçoivent et communiquent sans cesse des mouvements divers. Les différentes propriétés de ces matières, leurs différentes combinaisons, leurs façons d'agir si variées qui en sont des suites nécessaires, constituent pour nous les *essences* des êtres ; et c'est de ces essences diversifiées que résultent les différents ordres, rangs, systèmes que ces êtres occupent, dont la somme totale fait ce que nous appelons la Nature. »

Même idée dans l'article « Menstrues » (t. X, p. 341) : « D'ailleurs l'action menstruelle est absolument réciproque. »

# **Relation périodique entre les propriétés chimiques et les poids atomiques des éléments, Mendeleev (1869)**

## **Contexte :**

**Congrès de Karlsruhe (1860) :** Ordonner l'ensemble des connaissances.

**Redéfinition des rapports entre chimie organique et chimie minérale.**

**Hypothèse de Prout :** Primat du poids atomique comme critère de classement.  
Focalisation sur des corrélations arithmétiques diverses au détriment des analogies des propriétés chimiques à une échelle globale (Dumas, Béguyer de Chancourtois, etc.)

**Système de poids atomiques de Gerhardt-Cannizzaro :** Idée d'un loi générale de périodicité. Loi des octaves (Newlands, 1865), système périodique de Odling (1865).

# **Pluralisme matériel, Mendeleev (1869)**

## **Apports de Mendeleev :**

Rejet de l'hypothèse de Prout et affirmation d'un pluralisme matériel.

**Réorganisation des connaissances autour des éléments caractérisés par leur poids atomique et non plus autour des corps simples.**

Anticipation expérimentale et étude des contrastes et dissemblances.  
Raisonnement de proche en proche et pratique d'approximations.  
Mendeleev maille peu à peu un réseau de relations. Prévision de l'éka-iodine.

Mendeleev écrit (1891, p. 23) :

It is useful in this sense to make a clear distinction between the conception of an element as a separate homogeneous substance, and as a material but invisible part of compound. Mercury oxide does not contain two simple bodies, a gas and a metal, but two elements, mercury and oxygen, which, when free, are a gas and a metal. Neither mercury as a metal nor oxygen as a gas is contained in mercury oxide; it only contains the substance of the elements, just as steam only contains the substance of ice, but not ice itself, or as corn contains the substance of the seed but not the seed itself. The existence of an element may be recognised without knowing it in the uncombined state, but only from an investigation of its combinations, and from the knowledge that it gives, under all possible conditions, substances which are unlike other known combinations of substances (...) Besides, many elements exist under various visible forms whilst the intrinsic element contained in these various forms is something which is not subject to change. Thus carbon appears as charcoal, graphite, and diamond, but the element carbon alone contained in each is one and the same.

Mendeleev, Dimitri. I. *The Principles of Chemistry*. Vol 1. London: Longmans, Green and Co [first English edition from the fifth Russian edition], 1891.

**Changement de statut de l'élément interprété comme une unité de relations ou maille d'un réseau d'échanges matériels qui offre un grand pouvoir explicatif et heuristique. Il circule, s'échange, se conserve durant les transformations ( $\neq$  corps simple).**

## Substance and function

According to Cassirer (1910, 210), it is “justified and unavoidable that science should condense a wealth of empirical relations into the assumption of a particular thing-like bearer.”

Cassirer, E. *Substance and function & Einstein's theory of relativity* (English translation by W. Swabey and M. Sawbey). Chicago: The Open Court Publish Company, 1910.

We cannot use *functions* to account for what we call the empirical reality and *at the same time* consider and describe them. The peculiar character of the two aspects of the elements rests on the tension and opposition remaining between these two standpoints. In the light of this, it can be understood that the chemical concept of element also shows a different form, according to the way we approach it. Element may appear as a fixed substantial kernel, a “simple substance” according to Paneth, from which different properties can be successively ascribed to chemical bodies sharing the same atomic weight (Mendeleev) – or the same atomic number (Paneth) –, while, conversely, from the standpoint of the critique of knowledge, those ‘common properties’ and their mutual relations *form* the real empirical data and *play a regulative function* in the edification of the periodic table. In this later case, that of Critical Philosophy, the concept of ‘basic element’, to use Paneth’s turn of phrase, would be a “mere idea” – *focus imaginarius* –, in the strict meaning Kant gave this term in the *Critique of the Pure Reason* (1781, A644-46, B672-74).

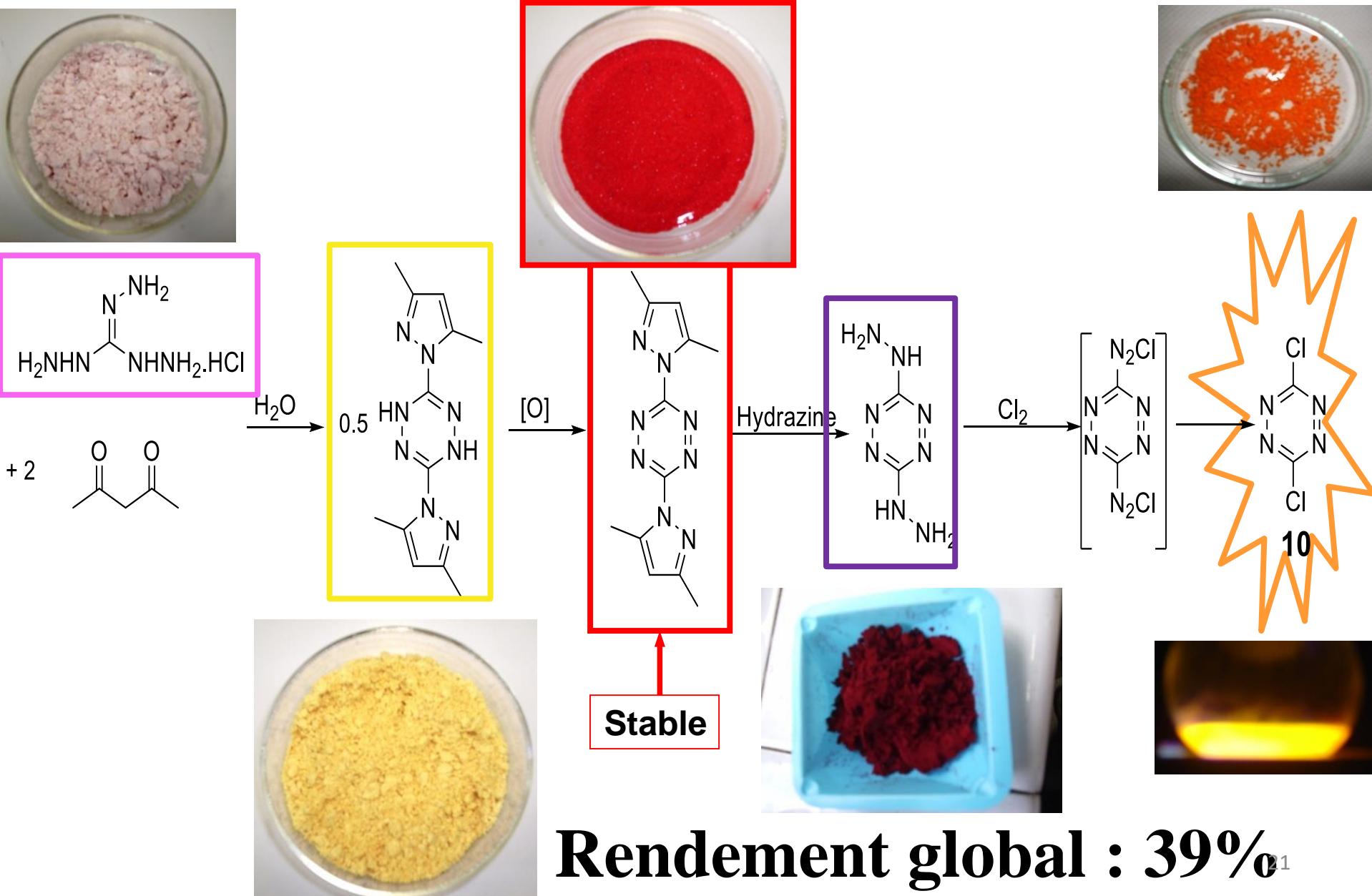
Llored, Jean-Pierre. « Substance and Function: The Case of Chemical Elements », in Eric Scerri & Elena Ghinaudi (eds.), Oxford University Press, Oxford, livre en cours de préparation.

**Comment définir un produit chimique ?**

**Pouvez-vous résumer la situation ?**

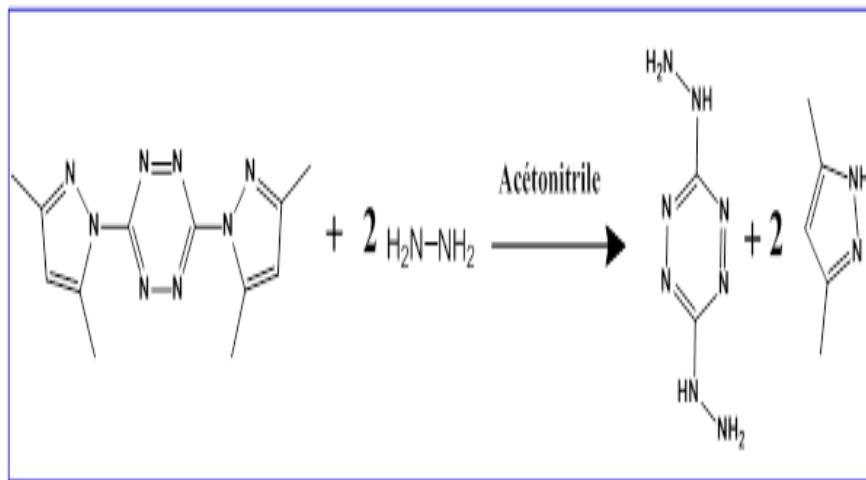
# **Relations, opérations et *relata***

# Synthèse de la dichloro-s-tétrazine : ENS Cachan



# Détail d'une étape essentielle :

## Synthèse de la 3,6-bishydrazinotétrazine

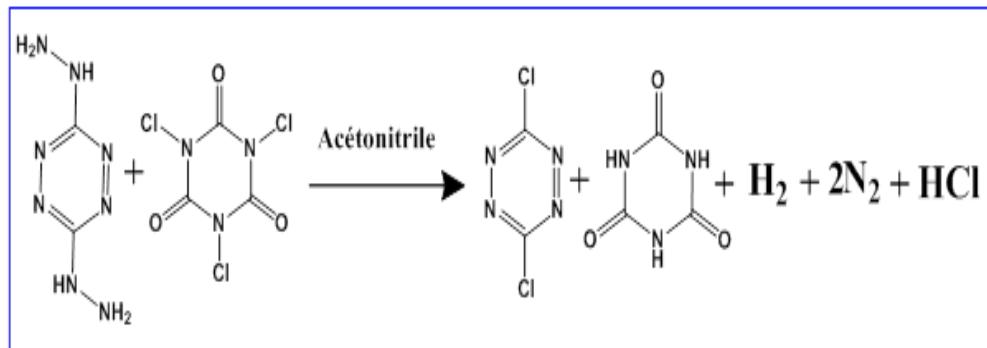


Montage de la synthèse



Montage de la synthèse  
après ajout de l'hydrazine

# Détail d'une deuxième étape essentielle : La dichloration



Montage réactionnel

# Purification du produit



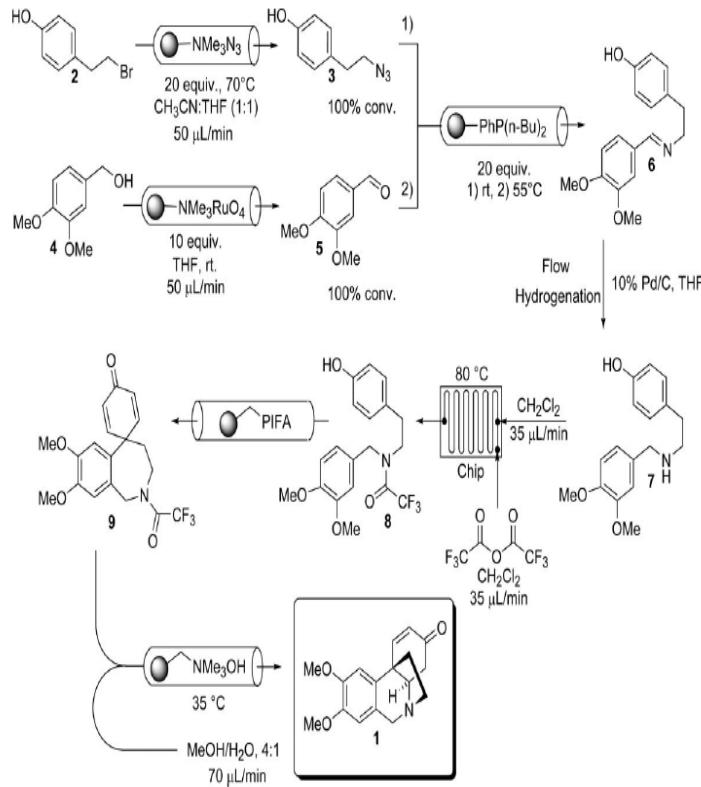
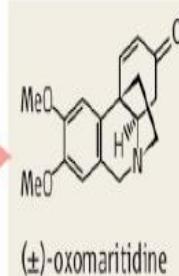
Purification sur colonne



Concentration sous pression réduite  
à l'évaporateur rotatif

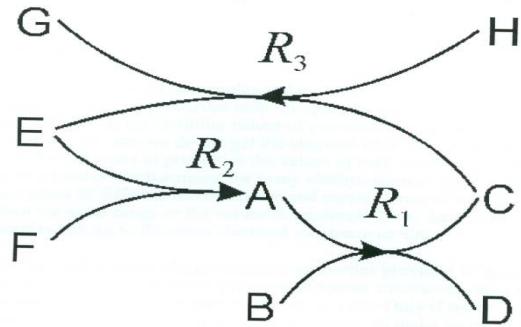


# Procédé en mode continu



Scheme 1 Synthesis in flow of  $(\pm)$ -oxomaritidine.

Ian R. Baxendale, Jon 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, pp. 2566-2568.



Relations (réactions chimiques) et *relata* (corps chimiques) sont clairement indissociables dans les pratiques des chimistes. Un corps chimique est le résultat de purifications successives qui lui permettent d'être isolé *par rapport* à d'autres corps. Cette étape de purification fait proliférer instruments, verreries, *milieux réactionnels*, dispositifs et protocoles. Le corps purifié permet alors de définir une classe de composés qui sera étudiée par le biais de ses types de « réactions » avec d'autres composés, bref, à partir des relations de transformation dans lesquelles ce corps se trouve engagé.

La notion de « pureté » est une condition de possibilité d'édification des classifications chimiques et non une « propriété intrinsèque » de la matière. *Elle est le résultat d'une action, elle nécessite un milieu.* Les chimistes parlent de « degrés de pureté ».

*Relata*, relations, procédés, et milieux sont constitutivement enchevêtrés dans les classifications, les théories et les savoir-faire chimiques. Les catégories de produit et de transformation sont interdépendantes dans ce cadre, il n'est pas possible de penser les *relata* sans relations, un individu sans processus de transformation, et inversement. Un produit chimique, malgré ce qu'indique sa formule, n'est jamais un corps pensable et utilisable seul, en lui-même, pour lui-même.

« For instance, no one could have been able to predict that chlorofluorocarbons (CFCs), such as chlorodifluoromethane, could cause ozone depletion from the basic knowledge of its composition, structure, and from what she/he already knew about all already stabilized reactions involving this kind of body at that time. »

LLORED, Jean-Pierre. “Investigating consistencies, inconsistencies and the Meaning of the *Ceteris Paribus* Clause in Chemistry”, *Humana Mente, Journal of Philosophical Studies*, Vol. 32, 2017, 53–74, p. 57.

« Chemistry at the core is a science of peculiar relations. Instead of studying isolated objects to be measured, compared and put into a classificatory scheme, dynamic relations between objects constitute the basic set of chemical knowledge, and, at the same time, provide the grounds for the classification of the objects themselves ... The resulting classification has turned out to be again a network structure, with substance as nodes and chemical class relation as connections; it has enormous systematizing and predictive power with regard to chemical properties. »

SCHUMMER, Joachim. « The Chemical of Chemistry I: A Conceptual Approach », *HYLE, International Journal for the Philosophy of Chemistry*, Vol. 4, n°2, 1998, pp. 129-162, p. 131.

# Making networks of interdependencies wider and compatible

Green chemistry intensifies the co-dependence between chemical bodies, their parts, their environments, their transformations, and now their inclusion into the active retrocausal chains of ecosystems.

Life cycle analysis opens the frontiers of laboratories and factories to wider domains, local and more global, spatial and temporal, humans and non-humans.

The co-dependence between *relata* (chemical bodies) and relations (chemical reactions) has reached another step thanks to green chemistry.

# **Corps actifs et opérations**

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

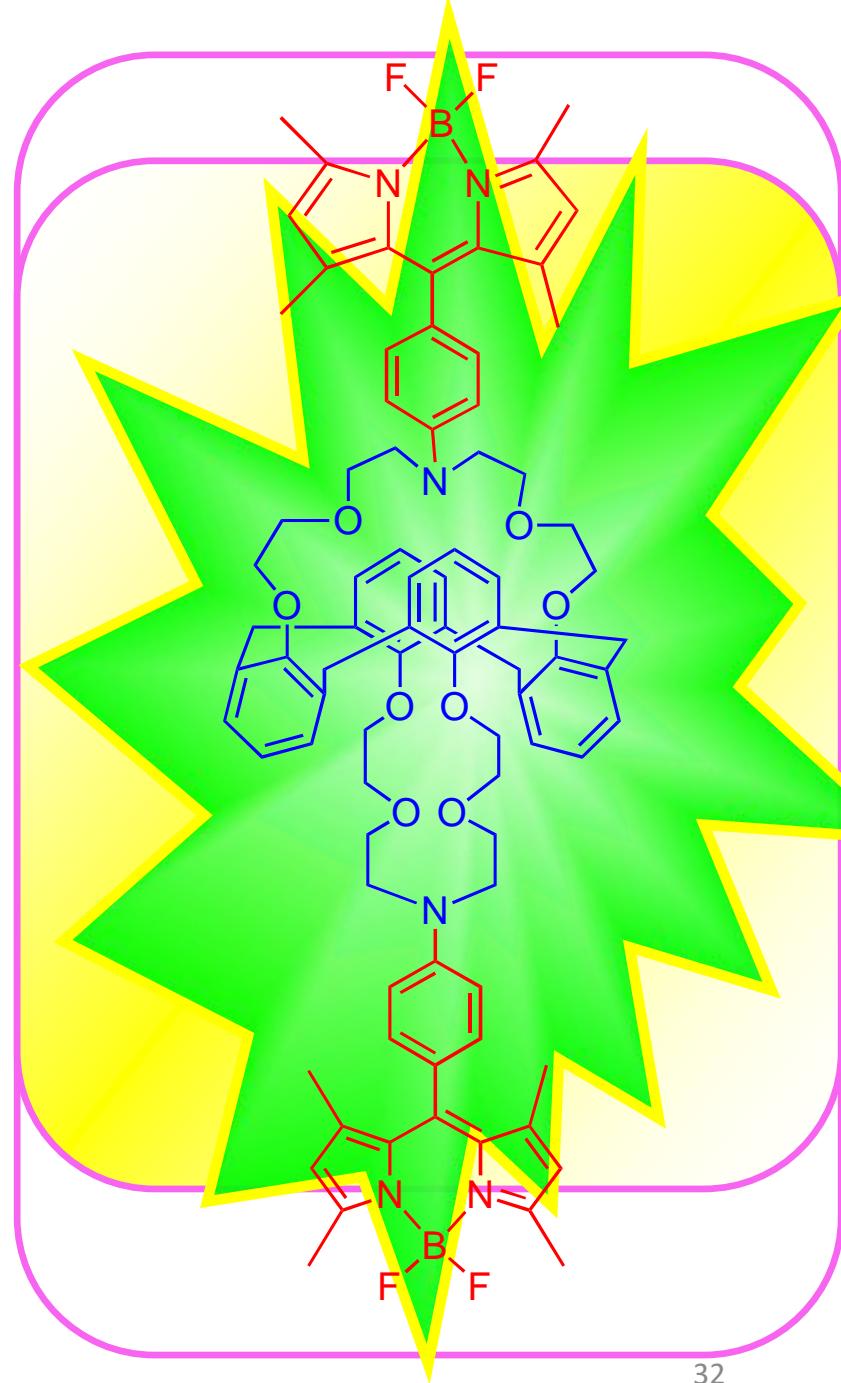
Les corps sont pensés comme actifs, dotés de « capacités » à agir.



# Détection de cations



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



## Active bodies and chemists (1)

Boscovich had followed Leibniz in proposing both active (attractive) and passive (repulsive) tendencies as fundamental features of material substances.

Chemists have routinely distinguished active substances from inactive *in* experiential manipulations. This activity is relative to the **interventionist strategy at stake within a chemical procedure.**

The binary molecular structure scheme of Berzelius required two electrically active components mutually attracting one another.

Simple experimental chemistry assigns *causal powers* to some substances, such as acids and alkalis, and not to others.

## Active bodies and chemists (2)

Electron donor and electron receiver (Lewis) and proton donor and receiver (Bronsted) theories of molecular coherence shift the locus of activity from the observable/manipulable level to the level of constituents, that is from observation and experiment to theory.

Thus we have the familiar activity/nature regress: Acidity is an agentive property activity displayed in chemical phenomena, accounted for by the molecular constitution (nature) of active products.

## Définition opératoire des corps (1)

« Si l'on cherche la définition du lithium dans un ouvrage de chimie, on trouvera peut-être qu'il s'agit d'un élément dont le poids atomique est approximativement de 7. Mais si l'auteur est doué d'un esprit plus logique, il indiquera que si vous choisissez parmi les minéraux vitreux, translucides, gris ou blancs, très durs, cassants et insolubles, celui qui donne à une flamme incolore une coloration cramoisie ; si vous mélangez ce minéral avec de la chaux ou de la mort-aux-rats pilée et si vous pouvez dissoudre partiellement ce mélange dans de l'acide muriatique, puis une fois la solution évaporée, après avoir extrait le résidu avec de l'acide sulfurique et l'avoir dûment purifié, si vous pouvez le transformer en un chlorure par la méthode habituelle, obtenir ce chlorure à l'état solide, le fondre et l'électrolyser avec une demi-douzaine d'éléments puissants jusqu'à ce qu'il en sourde un globule de métal argenté et rosâtre qui flottera sur de l'essence, le matériau résultant de tout cela serait un spécimen de lithium. »

PEIRCE, Charles Saunders. *The Collected Papers of C. S. Peirce*, Harvard University Press, Cambridge, Massachussets, 1931-1958, Volume 2, paragraphe 330, notre traduction.

## Définition opératoire des corps (2)

Cette approche du lithium permet d'échapper à un discours essentialiste et permet une définition, ouverte et provisoire, de ce corps qui inclut des actes à reproduire, des relations du lithium sur d'autres corps, et des degrés de généralité par classification.

**Selon cette définition, le mot « lithium » représente en effet, non pas une essence, mais l'origine ou le résultat d'une *action*.** La définition met l'accent sur la séquence des actions à accomplir **sur et avec** le lithium **ainsi que sur la série des contextes** où tout chimiste a déjà travaillé avec du lithium et doit s'attendre à le retrouver une nouvelle fois. *Le mot lithium signifie donc l'ensemble des règles procédurales que tout chimiste, en tant qu'agent, doit suivre pour former ou identifier ce dernier.*

Analogie avec la définition opératoire des métaux proposée par Diderot dans l'*Encyclopédie*.

## Action et « groupe de relations »

LEWES, George Henry. *Problems of Life and Mind*, op. cit, Problem II: The Principles of Certitude, Chapter 2: « Is and appears », Kegan Paul, Trench, Turbner & Co, London, 1874-1879, p. 51, notre traduction :

« Dans une pincée de sel de table n'apparaît pas le métal sodium mou ou le chlore gazeux à l'odeur âcre, que le regard mental des chimistes voit, et que toute homme de science déclarerait qu'ils sont réellement là, en soutenant son affirmation par la présentation à nos sens du métal et du gaz. Je maintiens, au contraire, que ni le métal, ni le gaz ne *sont* présents, et mon affirmation est soutenue par le fait qu'aussi longtemps que le sel reste *sel*, aucune trace de *gaz* ou de *métal* n'est perceptible. Afin de prouver son affirmation que ces éléments sont bel et bien là, sous-jacents aux apparences, le chimiste doit complètement changer le groupe de relations, et pour ce groupe en substituer un autre, alors, en effet, le gaz et le métal réapparaissent. »

## Définition opératoire des corps (3)

« En effet, alors que la subordination des attributs aux substances peut rester l'idéal d'une science ontologique qui croit à la fois à la puissance productive de la substance et à la puissance déductive de la connaissance, il faut en venir à la coordination des attributs entre eux, puis à la coordination des substances entre elles, quand on veut saisir l'expérience chimique dans ce qu'elle a d'essentiellement corrélatif, de même que la pensée théorique dans ce qu'elle a d'essentiellement inductif. »

BACHELARD, Gaston. (1932). *Le Pluralisme Cohérent de la Chimie Moderne*, Deuxième édition, Vrin, Paris, 1973, p. 26.

## Définition opératoire des corps (4)

« [C]omme la matière doit se dévoiler dans des propriétés inter-matérielles, comme l'action inter-matérialiste n'est jamais finie, qu'elle est toujours renouvelable dans de nouveaux rapports inter-matérialistes, il semble que tout *complément* de connaissances se répercute en *rectifications* principales sans fin. Ainsi la conscience synthétisante qui s'exerce dans les processus de la synthèse chimique commence dans d'essentiels recommencements. (...) Elle [la bonne démarche d'exploration des sciences] demande une rectification dans plusieurs directions. Dans les grandes occasions du progrès scientifique, c'est tout un système qui doit se rectifier à la lumière d'une expérience scientifique. La conscience de la rationalité s'éduque dans le changement même des systèmes de rationalité ! »

Bachelard, Gaston. *Le Matérialisme Rationnel*, Deuxième édition, Presses Universitaires de France, Paris, 1963 [1953], p. 24. L'italique marque l'insistance de l'auteur.

# Objet, substance, capacité et fonction

DEWEY, John. *Logic: the theory of enquiry*, Holt and Cie, New York, 1938, p. 129 : « The object, sugar, may disappear in solution. It is then further qualified; it is a soluble object. In a chemical interaction its constitution may be so changed that it is no longer sugar. Capacity for undergoing this change is henceforth an additional qualification or property of anything that is sugar. »

*Ibid.*, p. 129 : « Being a substantial object defines a specific function. »

## *Esse sequitur operari*

Aristote : *Operari sequitur esse* : l'opération (procès) est subordonnée à l'existence des choses.

L'épistémologie de la chimie, par une étude détaillée des pratiques chimiques, et un retour au laboratoire, permet d'établir, comme les philosophies processuelles, le renversement de cette situation.

« *Esse sequitur operari*: Things are constituted out of the flow process, and substantiality is subordinate to activity. Things are simply what they do. » Rescher, N. *Process Metaphysics. An introduction to Process Philosophy*, Suny, New York, p. 43-44.

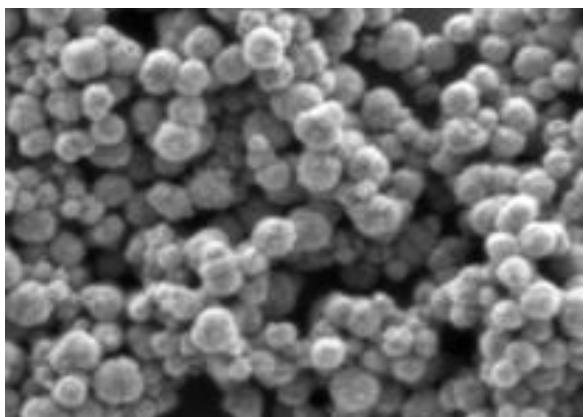
# **Le rôle constitutif du milieu réactionnel**

# Les effets du milieu sur le tout et ses parties (1)

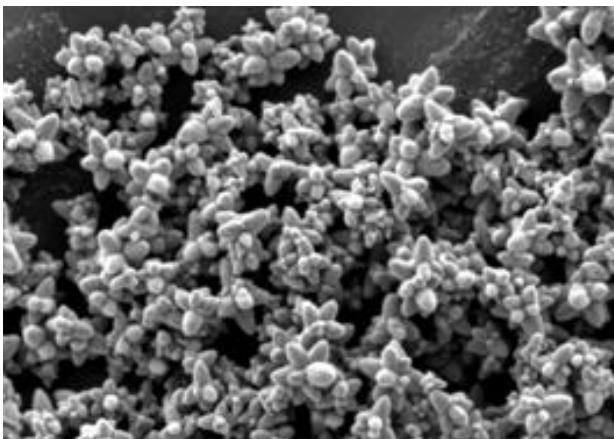
Les chimistes doivent aujourd’hui penser ensemble les ingrédients, le tout fabriqué (une molécule ou un matériau), ses parties, le milieu associé et le procédé pour élucider une transformation. On est loin, très loin, du seul cadre du tout et des parties « intrinsèques ».

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, pp. 591-598.

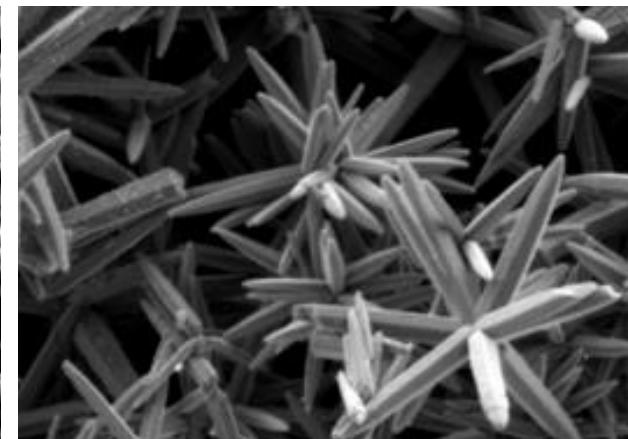
## Effets du pH



pH 5.6



pH 11.2



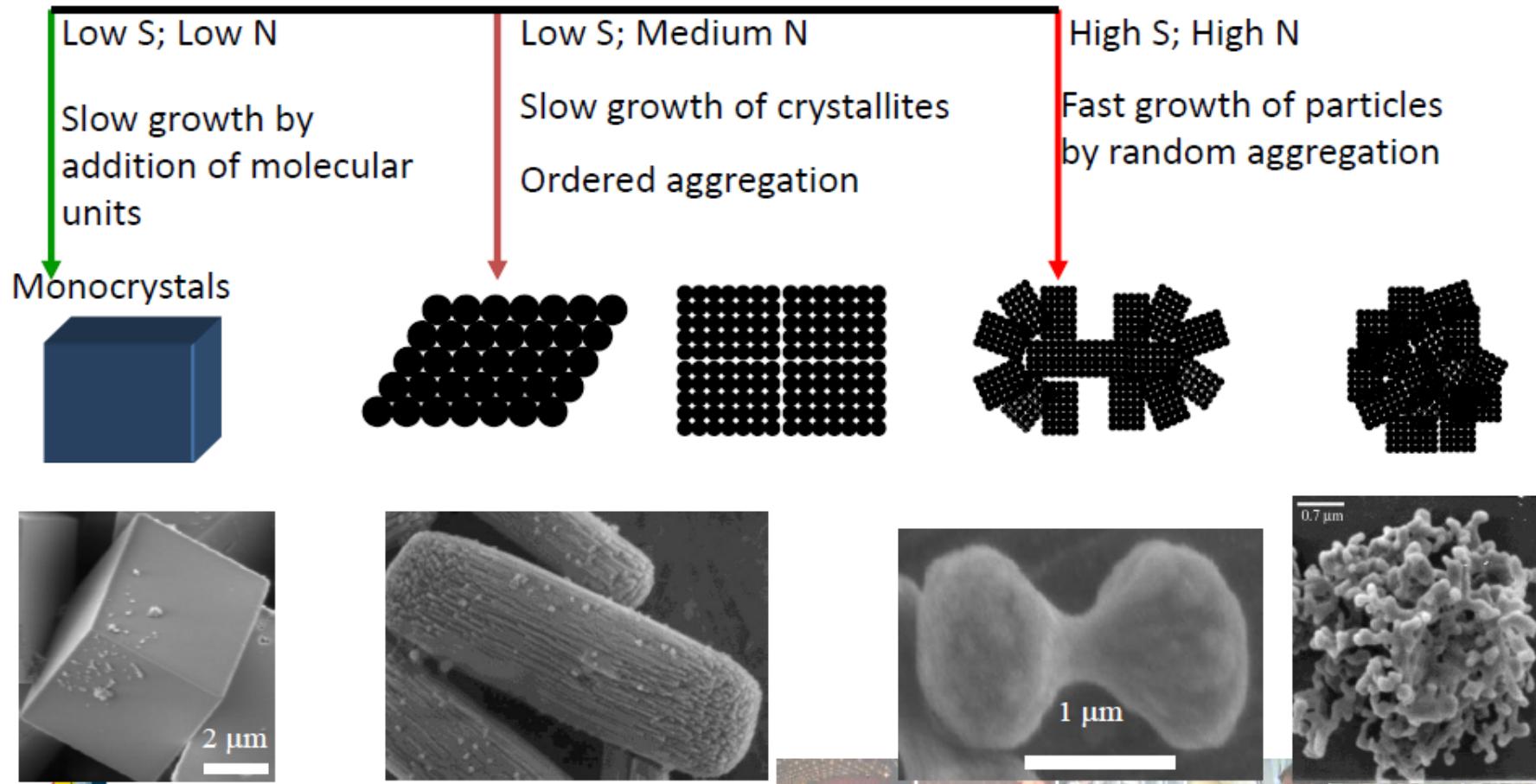
pH 12.5

2  $\mu$ m

# Les effets du milieu sur le tout et ses parties (2)

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.

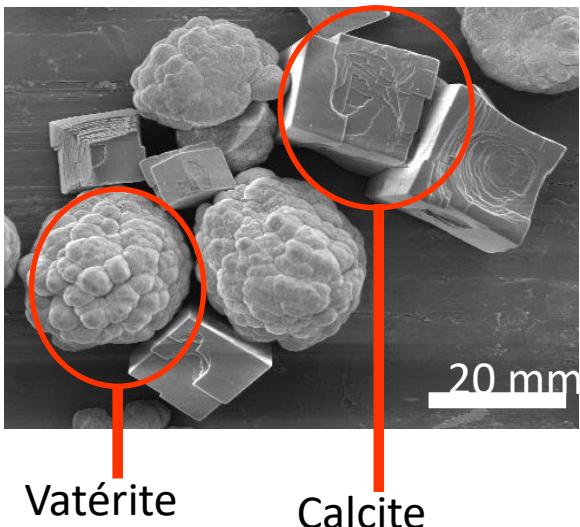
## Nucleation



# Le rôle décisif du milieu réactionnel (1)

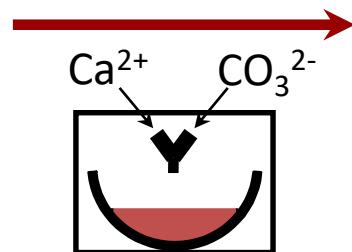
$\text{CaCO}_3$  à  $0.02 \text{ mol.L}^{-1}$

Précipitation "chaotique"

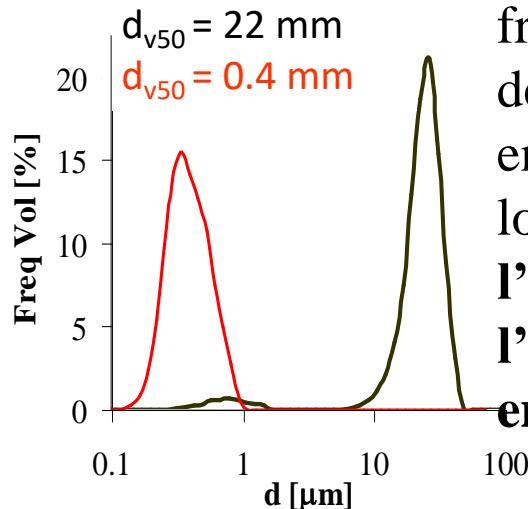
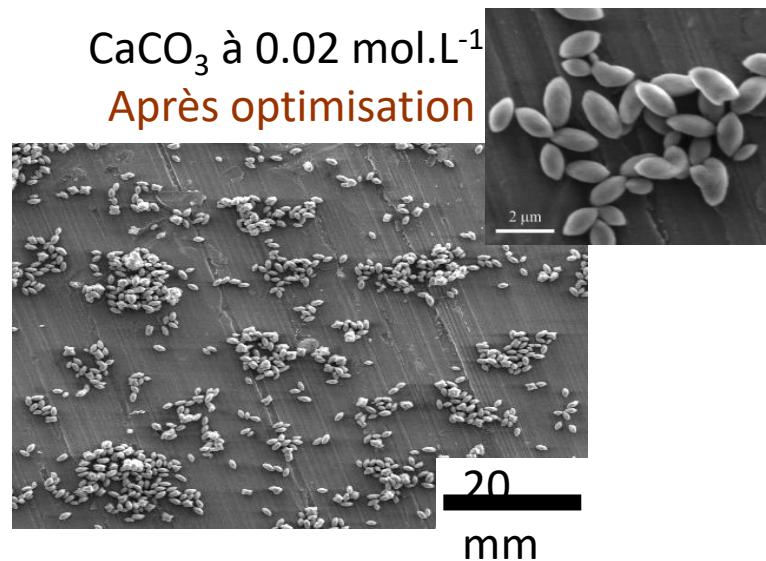


Donnet, M., Bowen, P., Jongen, N., Lemaitre, J. & Hofmann, H. (2005). « Use of Seeds to Control Precipitation of Calcium Carbonate and Determination of Seed Nature », *Langmuir*, 21, 100-108.

germes  
+  
Acide polyacrylique



$\text{CaCO}_3$  à  $0.02 \text{ mol.L}^{-1}$   
Après optimisation



Il n'y a pas d'un côté une formule chimique «  $\text{CaCO}_3$  », et de l'autre des fragments « Ca, C, et 3 O » qu'il s'agit de mettre en rapport une fois pour toute en termes de nombre, de masse, ou de localisations spatiales relatives : **l'histoire de l'entité, le rôle du milieu, l'aspect processuel doivent être pris en compte !**

## Le rôle décisif du milieu réactionnel (2)

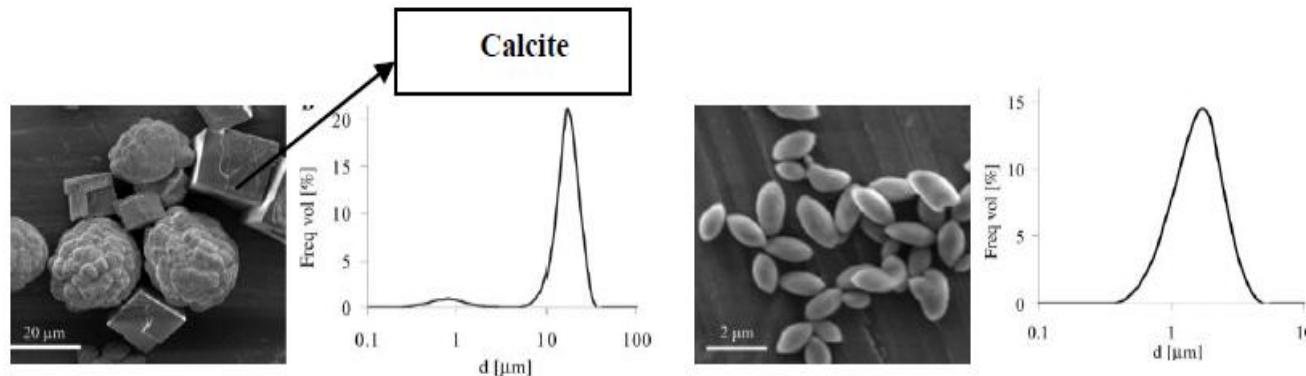


Figure 19 : a)  $\text{CaCO}_3$  : Mélange de calcite et vaterite obtenu par précipitation, (b)  $\text{CaCO}_3$  calcite pure obtenue par précipitation avec ensemencement (reproduit avec la permission de Donnet *et al.*, (2005) ; American Chemical Society COPYRIGHT<sup>111</sup>).

Bachelard écrivait (*La philosophie du non*, 1940, p.78) : « Pour bien souligner que la substance est définie par un *groupe de déterminations externes agencées de telle manière qu'elles ne peuvent toutes ensemble se préciser assez pour atteindre un intérieur absolu, peut-être pourrait-on retenir le nom d'ex-stance.* »

# La structure interne dépend de la taille du cristal qui elle-même dépend du procédé et du milieu associé.

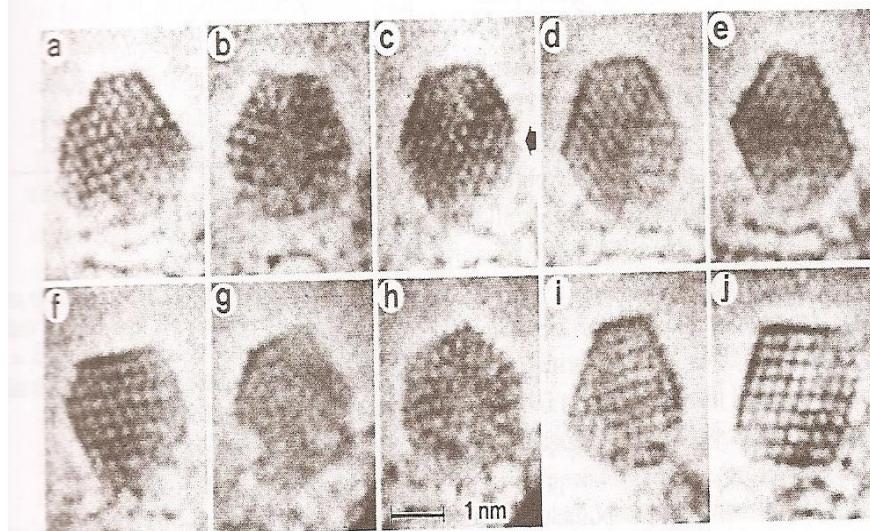
Oscillation entre différentes structures des particules d'or (450 atomes et taille égale à 2 nm).

(e), (f), (j) : Octaèdre tronqué avec des structures cubiques à faces centrées.

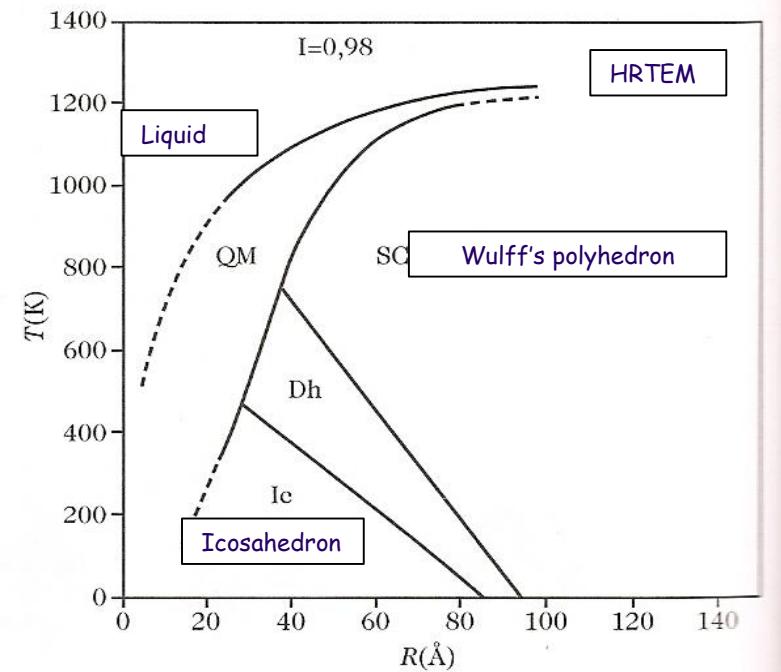
(a), (d), (i) : Polyèdre avec une structure à face centrée et une macle.

(b), (h) : Icosaèdre avec différentes macles.

Les énergies nécessaires pour passer d'une forme à une autre sont très faibles.



Dodecahedron: Dh  
Quasimelting: QM



Ajayan P.M., Marks L.D., *Phys. Rev. Lett.*, 60, (1988), 585.

Itjima S., Ichihashi T., *Phys. Rev. Lett.*, 56, (1986), 616.

# La richesse inexhaustible de la matière (1)

Il importe de « solidariser le substrat et ses capacités » et « de devoir admettre la richesse inexhaustible et sans cesse renouvelée de ce qui est étendu. » DAGOGNET, François, *Rematérialiser*, Vrin, Paris, 1989, p. 166.

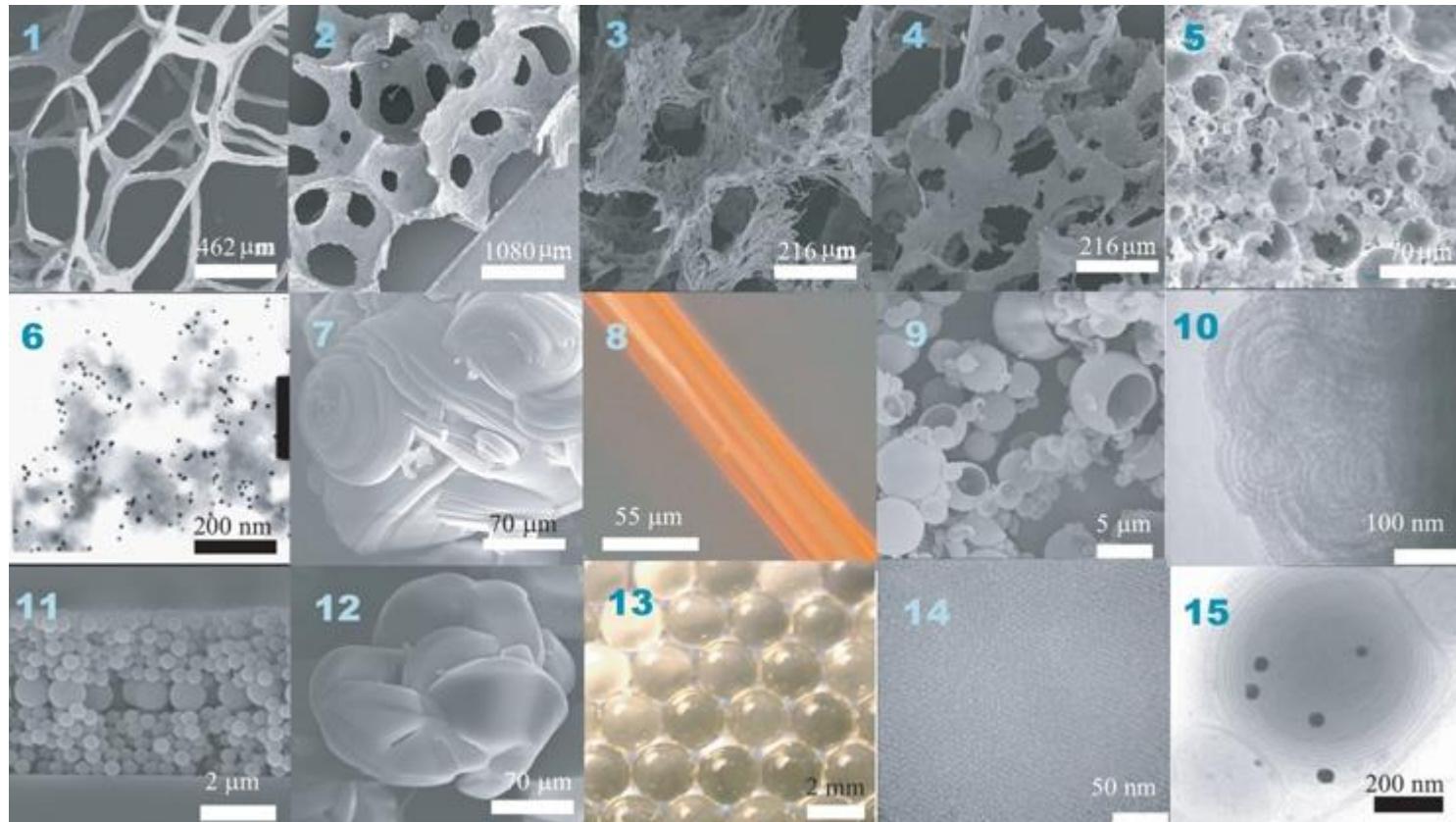
« [L]a moindre parcelle [de cette matière] contient d'abord une pluralité de dispositifs, que le laboratoire déplie et réarrange, qu'il construit. On n'en a jamais fini avec elle. » (*Ibid.*, p. 240).

« La chimie apprend essentiellement la diversité des « liens », leurs pouvoirs respectifs, leur force, les emplacements ou les sites, les orientations des composants. Comptent moins les corps que l'organisation, les différences résidant dans les proportions, les types de fédération, les positions. On en revient, d'une certaine manière, à la séparation si nette, et d'importance entre un mélange, un amas, une solution, et une « véritable alliance ». » (*Ibid.*, pp. 242-243).

## La richesse inexhaustible de la matière (2)

« La matière n'est plus un simple obstacle qui renvoie le mouvement. Elle le transforme et se transforme. Plus le grain de matière est petit, plus il a de réalité substantielle ; en diminuant de volume, la matière s'approfondit. » BACHELARD, Gaston (1934). *Le nouvel esprit scientifique*, Quadrige/PUF, 7<sup>ème</sup> édition, Paris, 2012, p. 144.

# Chimie intégrative contemporaine



Backov, R. Combining soft matter and soft chemistry: integrative chemistry towards designing novel and complex multiscale architectures, *Soft Matter*, 2, (2006), 452–464.

# **Milieu et philosophie : digression à vocation réflexive**

# Aristotle's *topos*

According to Aristotle: "the place of a thing is the innermost motionless boundary of what contains it" (*to tou periechontos peras akinēton proton*, Physics IV 212a20).

This *topos* is a place detachable from the body. **For Aristotle, what defines the identity of a body lies inside its own local boundary.**

**This concept does not address the context-sensitiveness of chemical and biological bodies.**

# Plato's *chôra*

In Plato's *Timaeus*, we can find the name of *chôra* (χώρα), the basic meaning of which is that of the territory of a *polis* (city-state), enabling it to exist in a relationship of mutual fitness. *Chôra* is, in the first place, the countryside which surrounds the city proper (*astu*), and which nourishes it.

Plato uses this term by analogy as an ontological image, in which *chôra* becomes the nurse (*tithênê*) of relative Being (*genesis*), which was born, lives and is bound to die. Differing from absolute Being (*ontôs on, eidos, idea*), which exists in itself and transcends space and time, *genesis* cannot exist without a *chôra*. Both are inseparable, and this relationship is ambivalent, since the *chôra* is not only the nurse or even the mother (*mêtêr*) of *genesis*, but also its imprint (*ekmageion*). As regards relative Being, *chôra* — in other words the *milieu* of a certain being — is thus both one thing (a matrix) and its contrary (an imprint); i.e. both A and non-A.

# Aristotle's *topos* and Plato's *chôra*

Here is an aporia which Plato never surmounts. This aporia comes from the fact that Plato's rationalism relying on the principle of the excluded middle, i.e. that there cannot exist a third term which would be both A and non-A, he could not intellectually admit the "third and other gender" (*triton allo genos*), neither absolute nor relative Being, which he nevertheless attributes to *chôra*.

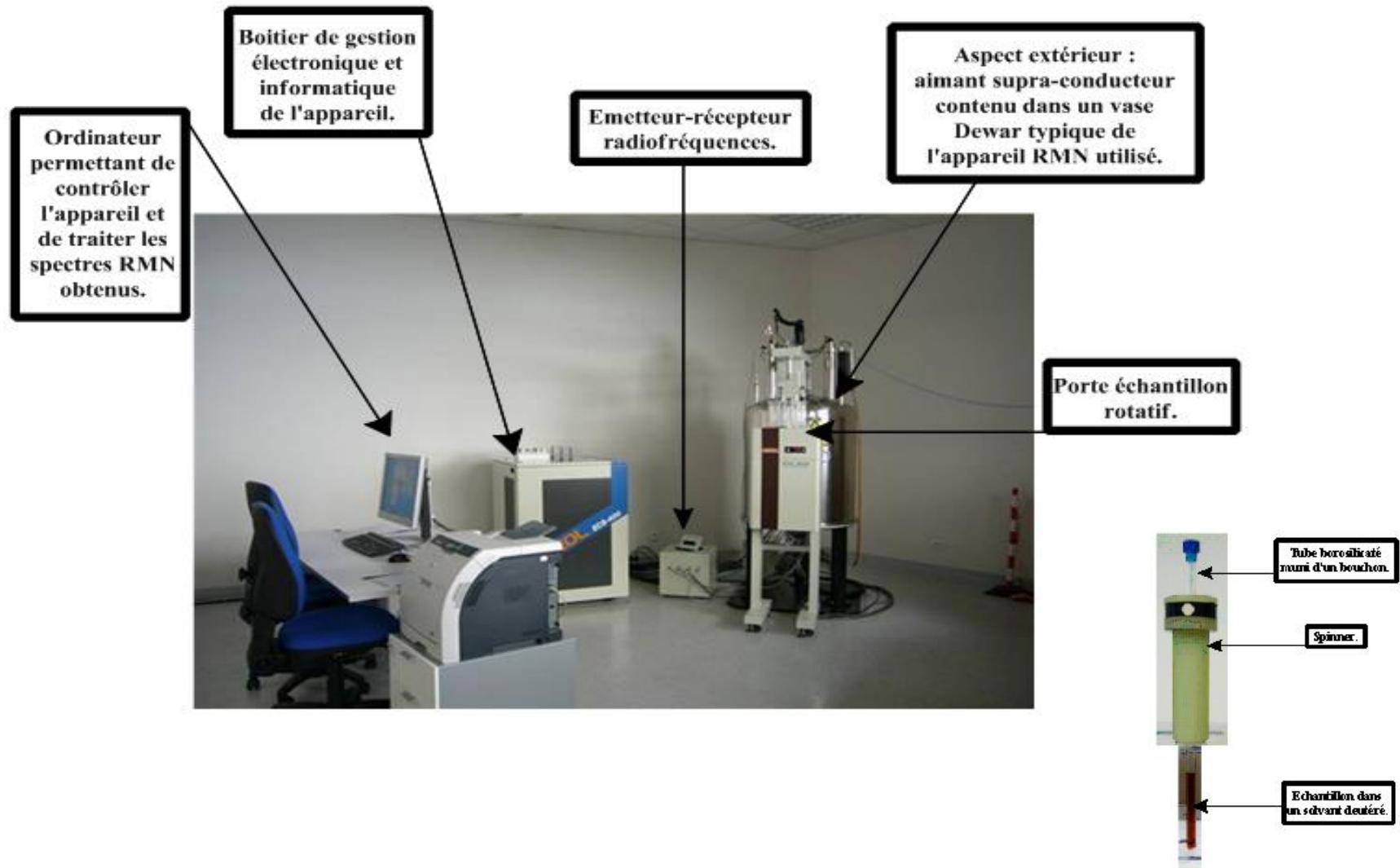
**Chemical and biological are closer to *chôra* than to *topos*. Studying them require to take into account: (1) the history of the chemical or biological device, and (2) the constitutive role of what surrounds a body.**

# Milieu et milieu associé

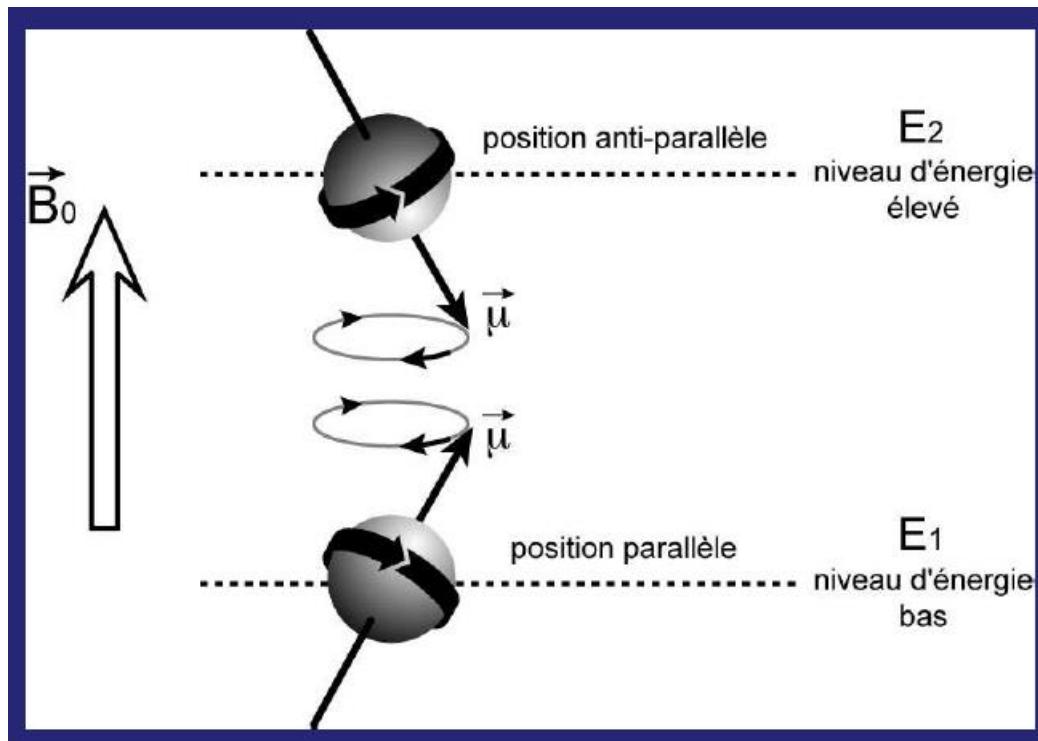
Gilbert Simondon a proposé l'expression « milieu associé », en 1964, afin d'insister sur le fait que le milieu n'est pas quelque chose qui est donné, dès le départ, mais davantage quelque chose qui coexiste, qui évolue avec (co-évolution ; constitution mutuelle) l'objet technique, en particulier durant le ou les phases (processus) d'individuation (Simondon, Gilbert. (1964). *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*. Paris: Presses universitaires de France).

# Le rôle constitutif des modes d'intervention

# RMN (1)



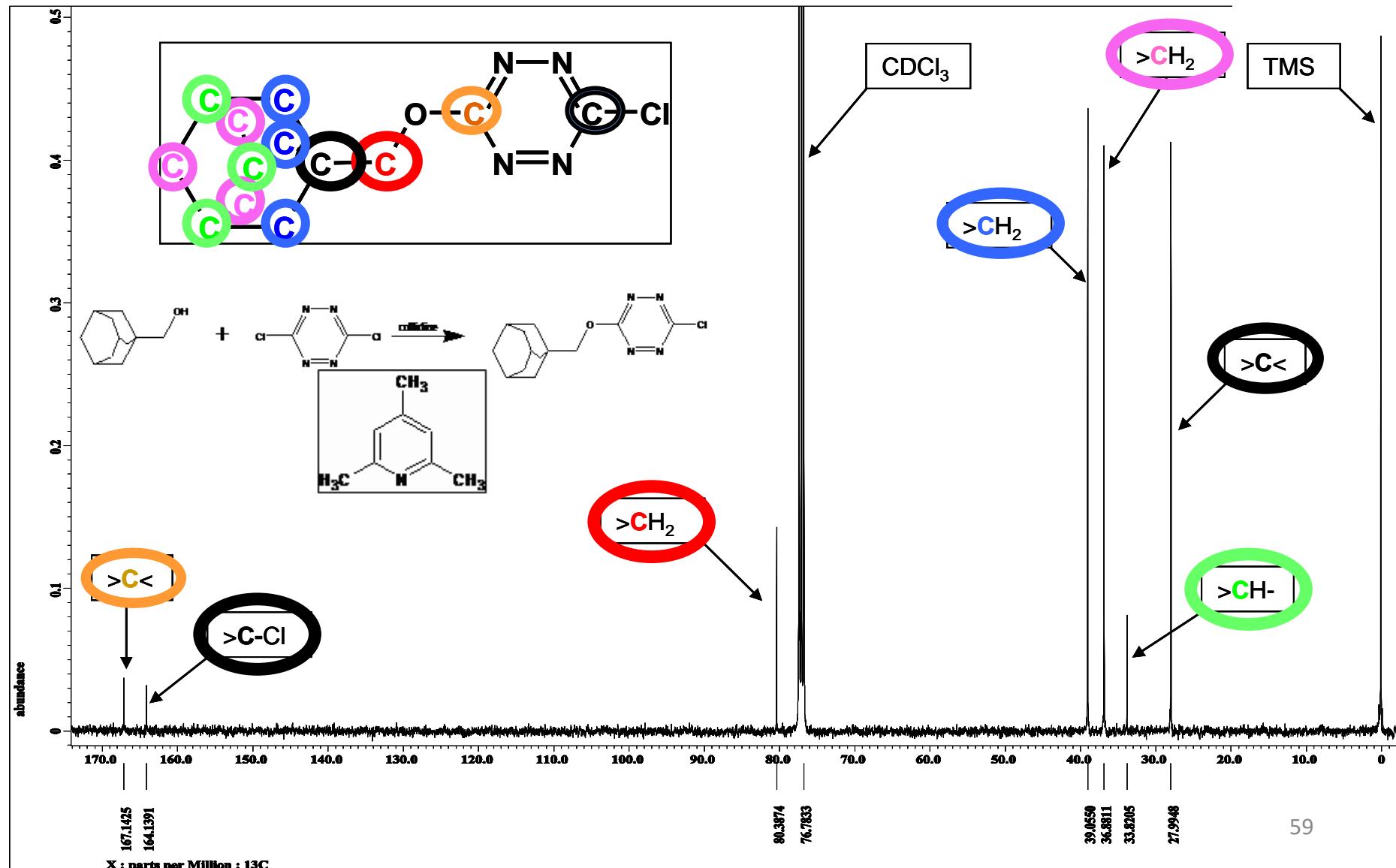
# RMN (2)



RMN  $^{13}\text{C}$  : Les signaux des ensembles de noyaux de carbone chimiquement équivalents dépendent de la connectivité dans la molécule et d'un champ magnétique extérieur, et ce relativement à un corps de référence le tétraméthylsilane (TMS) pour un solvant donné.

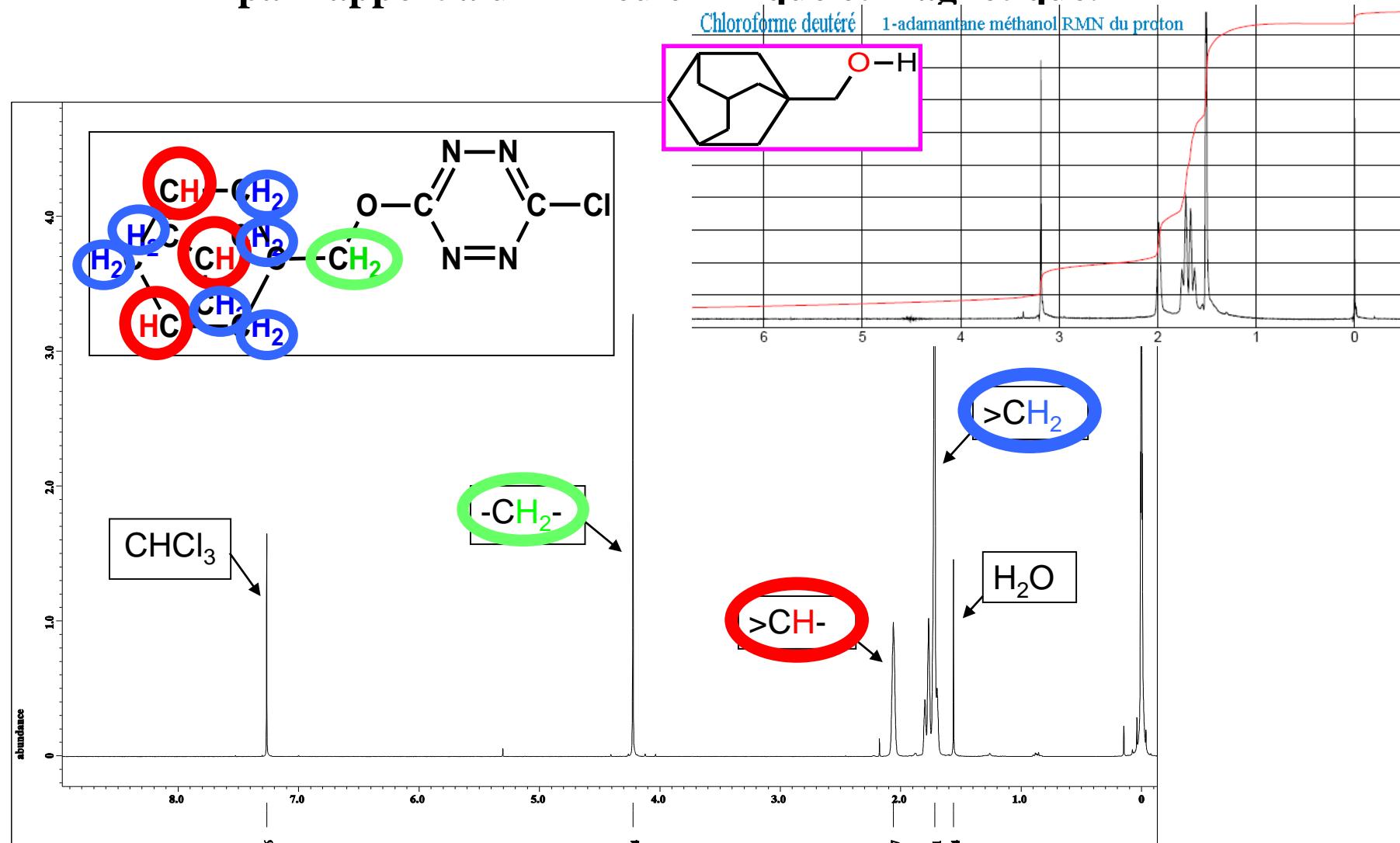
Que signifie le mot « partie » pour un corps chimique ?

$(\text{CH}_3)_4\text{Si}$



# RMN $^1\text{H}$ :

Une autre méthode de RMN implique une nouvelle analyse du tout et des parties par rapport à un milieu chimique et magnétique.



La nature des parties change selon le mode d'intervention. Il faut donc considérer le tout, les parties, le milieu associé et le mode d'intervention *en même temps*. <sup>60</sup>

## Concepts et conditions d'application d'un concept

« Pour englober des preuves expérimentales nouvelles, il faudra alors *déformer* les concepts primitifs, étudier les conditions de l'application de ces concepts et surtout incorporer *les conditions d'application d'un concept dans le sens même du concept*. C'est dans cette dernière nécessité que réside, d'après nous, le caractère dominant du nouveau rationalisme, correspond à une forte union de l'expérience et de la raison. La division classique qui séparait la théorie de son application ignorait cette nécessité d'incorporer les conditions d'application dans l'essence même de la théorie. »

Bachelard, Gaston. *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris, 1938, p. 61.  
L'italique marque l'insistance de l'auteur.

# Prise et matière

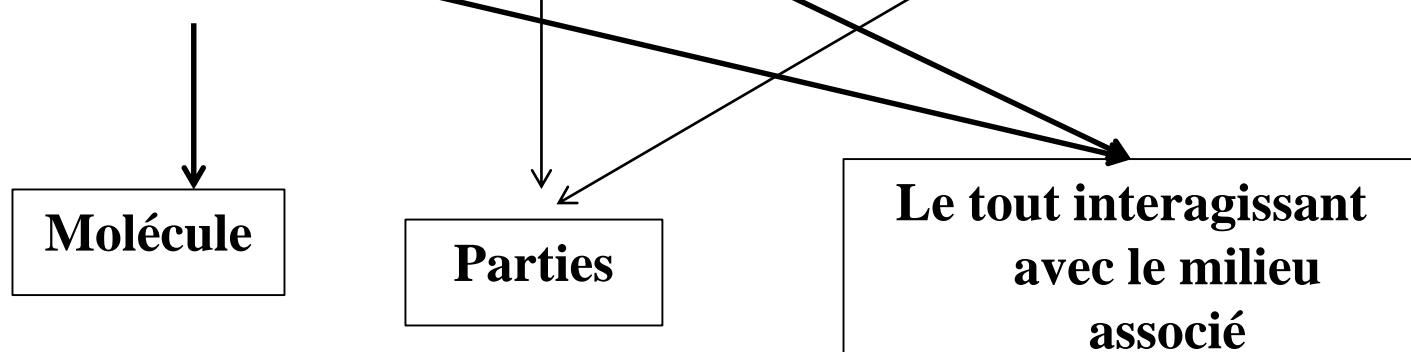
« Du point de vue des dispositifs, les corps livrés à eux-mêmes sont toujours des sources d'embarras ou sont ignorés comme pertinents. Plongés dans la gangue des corps enchevêtrés, les dispositifs sont toujours réducteurs et artificiels (conventionnels). Mais l'essentiel se passe entre les deux. Les dispositifs doivent toujours composés avec les corps en les pliant par des prises adéquates et les corps ne peuvent exprimer leurs qualités qu'à travers des dispositifs. »

Christian Bessy et Francis Chateauraynaud, *Experts et faussaires. Pour une sociologie de la perception*, 2ème édition augmentée d'une postface, Editions Petra, Collections « Pragmatismes », Paris, 2014, p. 302.

**Ni réduction du tout à ses parties  
(réductionnisme),  
ni réduction des parties au tout  
(holisme)**

# Relations entre niveaux d'organisation : Approche des orbitales moléculaires (Mulliken)

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



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

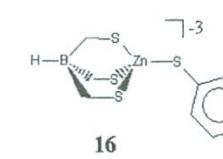
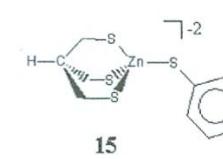
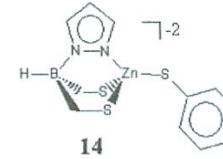
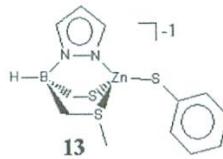
Techniquement la détermination des coefficients  $a_1$  et  $b_1$  nécessite de faire appel à la molécule toute entière. Au-delà de l'aspect technique, la justification de cette minimisation fait appel au milieu (molécules, photons de longueurs d'onde spécifiques).

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 :

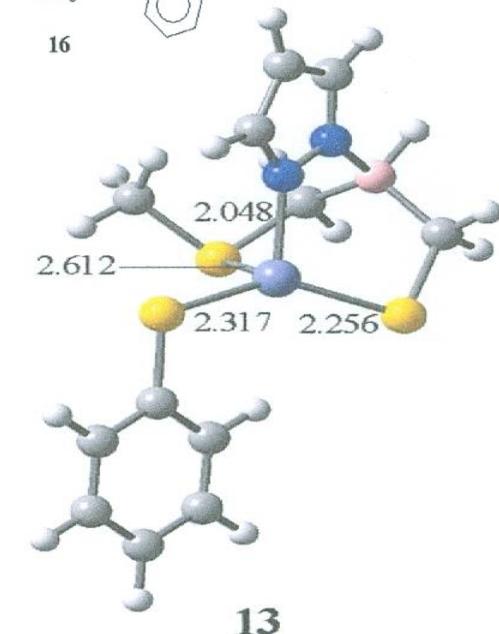
**chaque atome** ;

**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.

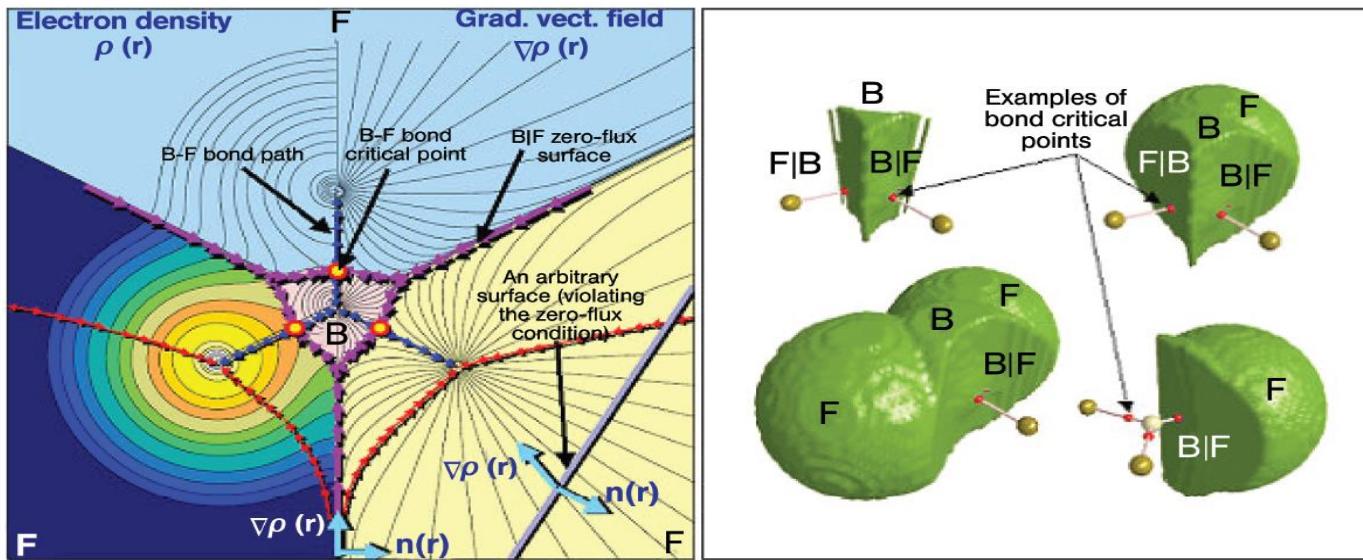


Structure optimisée du complexe n°13 au niveau de calcul B3LYP/BS1. Longueur de liaison en Å.

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.

# AIM : La molécule comme somme de ses atomes topologiques ?



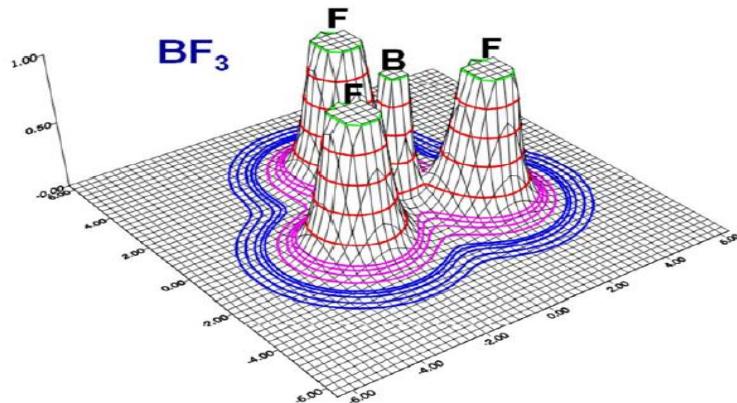
L'atome topologique est défini par l'union de l'attracteur-noyau et du bassin associé. Les atomes sont séparés par des « surfaces interatomiques » définies par la nullité du flux du vecteur gradient de densité en chacun de leur point.

« La théorie quantique des atomes dans les molécules, QTAIM, démontre que toute propriété mesurable d'un système, fini ou périodique, peut être écrite comme **la somme des contributions** des atomes qui le composent. » BADER, Richard, F. W. *Atoms in Molecules: A Quantum Theory*, Oxford University Press, Oxford (U.K), (1990), p. 10, notre traduction.

# Le débat à propos des atomes topologiques suit son cours et oriente les recherches

« Nous rappelons que les champs du vecteur gradient établissent une partition des molécules en atomes, ce qui signifie que le gradient de la densité  $\rho$  taille les atomes en tant qu'*atomes moléculaires* et non en tant qu'atomes libres ou isolés. Ainsi, **toute molécule se compose d'atomes moléculaires qui ne se recouvrent pas**. (...) Chaque type de noyau apparaît à l'intérieur de milliers d'atomes moléculaires possibles. Il y a en fait des millions d'atomes (moléculaires) de carbone parce que chaque atome est découpé à partir d'autant d'environnements chimiques moléculaires particuliers qu'il existe de molécules. **D'une certaine façon, chaque atome moléculaire est doté de propriétés qu'il hérite de la molécule de laquelle il est une partie. En d'autres termes, les atomes reflètent les caractéristiques d'un environnement chimique particulier.** »

POPELIER, Paul. *Atoms in Molecules. An Introduction*, Prentice Hall, London, (2000), p. 35, notre traduction.



# Petit résumé

**La définition, provisoire et ouverte, d'un corps défini par les modes d'intervention et par les opérations qu'il peut réaliser.**

**La dépendance mutuelle des relations et des *relata* dans le cadre chimique.**

**Un raisonnement « à trois niveaux » dans lequel le tout, ses parties et le milieu, prennent sens *ensemble*. Les niveaux dépendent mutuellement les uns des autres par rapport à un milieu donné, et sont constitués par le mode d'accès.**

**Ontologie des corps actifs dotés de capacités à agir et dont la définition est relative à un milieu.**

**Bien avant la physique quantique, la chimie n'a cessé de montrer le rôle “constitutif” du milieu et des modes d'intervention sur les corps chimiques.**

# Consequence

**Referring to intrinsic properties, or to isolated bodies, is all but self-evident, and can even become quickly problematic in the domain of chemistry. Such ‘intrinsicalness’ and ‘being in isolation’ can play, at best, a *functional* role in a particular scientific discourse or philosophical enquiry, but no more, if one takes the way chemists actually work into account.**

Rom Harré & Jean-Pierre Llored, “Procedures, Products, and Pictures”, *Philosophy*, The Royal Institute of Philosophy, Cambridge University Press, 2018, 93, pp. 167-186.

« S'il est permis de parler de l'image de la nature selon les sciences exactes de notre temps, il faut entendre par là, plutôt que l'image de la nature, l'image de nos rapports avec la nature. (...) C'est avant tout le réseau des rapports entre l'homme et la nature qui est la visée de cette science. (...) La science, cessant d'être le spectateur de la nature, se reconnaît elle-même comme partie des actions réciproques entre la nature et l'homme. La méthode scientifique, qui choisit, explique, ordonne, admet les limites qui lui sont imposées par le fait que l'emploi de la méthode transforme son objet, et que, par conséquent, la méthode ne peut plus se séparer de son objet. »

Werner HEISENBERG, *La nature dans la physique contemporaine (Das Naturbild der heutigen Physik, 1955)*, Paris, Gallimard, 1962, pp. 33-34.

## 2. Perspectives ouvertes et discussion

## 2.1.

**Statut et sens de la clause *ceteris paribus* en chimie :  
Exemple de chimie au service de la santé**

# Is the *ceteris paribus* clause possible in chemistry? (1)

Whenever A and B are chemicals the definition of which depends upon the associated milieu and the modes of intervention, the clause seems controversial. If the "properties" of bodies are, even partly, constituted by the mode of access – for example by an instrument – within a chemical transformation, it appears to us that the sentence "all the other thing being equal" should be understood in a specific way for, at least, two main reasons:

- (1) *relata*-chemical bodies and relations cannot be detached separately from the context relative to which they are operationally defined by chemists;
- (2) the nature of the parts and the internal structure of a chemical body often depend on the surroundings.

**Following this line of reasoning, the meaning of the clause does not seem to be the same once and for all but appears, by contrast, relative to the domain of practice under investigation.**

Llored, J.-P., "Investigating the meaning of the *ceteris paribus* clause in chemistry", in *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline*, Second Edition, Scerri Eric and Lee McIntyre (Eds.), Boston Studies in the Philosophy and History of Sciences, Vol. 306, Springer, 2015, 219-233.

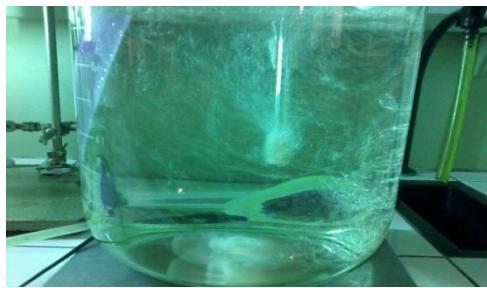
# Is the *ceteris paribus* clause possible in chemistry? (2)

If chemical discourses refer to active bodies and simultaneous variation of many factors, we should nonetheless bear in mind that chemists never cease to consolidate and renew solid bedrocks of scientific knowledge and know-how.

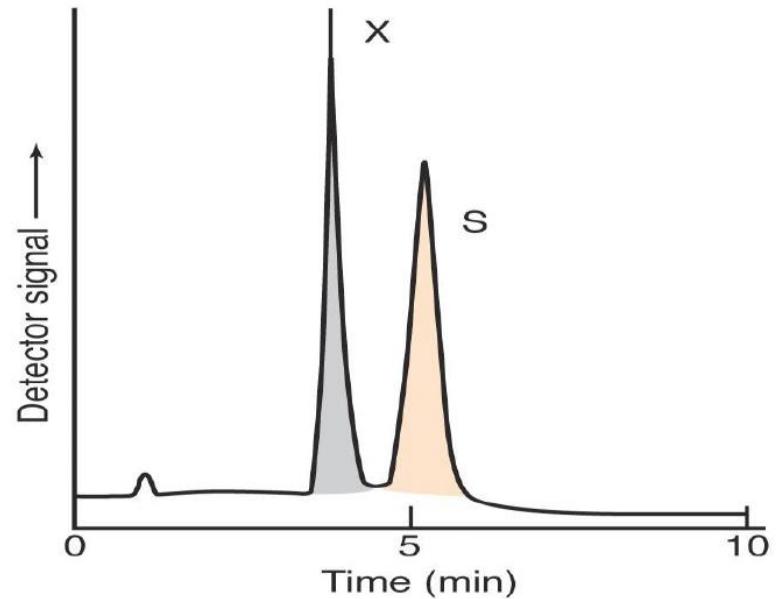
The question is thus to study chemical inferences from the work of the chemists themselves in order to understand what is measured and how it is to be measured, and to investigate the meaning of the clause thereafter.

Llored, J.-P., "Investigating Consistencies, Inconsistencies, and the Meaning of the Ceteris Paribus Clause in Chemistry", *Humana Mente, Journal of Philosophical Studies*, 2017, Vol. 32, 53–74.

# Example: Quantity determination of some xenobiotics contained in water



# Analysis by chromatography



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

## *Ceteris paribus* clause in chemistry

Many changes occur during the course of the experimental procedure implying that many factors have unavoidably moved at the same time. Chemicals are reactive, so is, at least, a part of the apparatus. A mixture of chemical bodies is being separated or transformed while, for example, the active area of the working chromatographic column changes and permanently alters the ensuing process.

Llored, Jean-Pierre, “Investigating the pragmatic meaning of the *ceteris paribus* clause in chemistry”, in *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline*, 2<sup>nd</sup> edition, Eric Scerri and Lee McIntyre (eds.) (Dordrecht: Springer, (2014), 219-233).

## ***Ceteris paribus* clause in chemistry**

The central problem is that of the co-stabilization of an apparatus with the set of bodies with which it interacts; a problem which includes various acts of modeling as part of the global project.

It is the whole complex composed by the apparatus, the methods carried out for calibrating and using it, the bodies, the associated milieu, and the ancillary devices which should be the starting point of our epistemological enquiry.

**To investigate the meaning of the *ceteris paribus* clause in chemistry requires an investigation of the conclusions that chemists can relevantly draw from comparisons with reference to the complex {apparatus-methods-bodies-associated milieu-devices}.**

## **The complex {apparatus-methods-bodies-associated milieu-devices}**

The method of analysis is not used in the same way if the apparatus, the bodies, and the associated milieu change.

In this context of activity, methods can never be blandly detached from the content it yields. The association between the apparatus and the method depends on the associated milieu, the device, and the bodies under study.

The five elements of the complex are co-adapted to one another. If chemists change a factor, for example a type of column, the mode of injection of the solvents, the quantity of product, the matrix from which it is originated, the preparation of the sample, the detector, among other possibilities, they will have to resume the process of co-adaptation from the very beginning because the complex does not work anymore.

## *Ceteris paribus* clause in chemistry

In short, chemists must stabilize a specific domain of application of the whole complex in order to determine a quantity of a particular type of body within certain limits imposed by standards of normalization and laws.

The sentence “all things being equal” encompasses the co-adaptation and the channeling of multifarious fluctuations which, in turn, leads to the very possibility of making holistic inferences as regards the performance of the whole complex within the normative framework of a quality control process.

## *Ceteris paribus* clause in chemistry

Consistency and inconsistency are about different measures or inferences taken or drawn from this whole complex. What can be accepted and what must be rejected or considered to be inconsistent, depend upon cumulative work experience of the community of chemists at stake, and upon confidence intervals which characterize the confidence or the credibility which can be ascribed to the result of a particular quantitative determination. Confidence intervals consist of a range of values that act as good estimates of the unknown population parameter.

## *Ceteris paribus* clause in chemistry

However, it is not unusual that none of these values covers the value of the concentration that must be quantified. A level of confidence of the confidence interval is thus chosen using chemical knowledge and know-how which are already at the disposal of chemists. This level of confidence indicates the probability with which the confidence range captures the ‘true’ value of the quantity under consideration. characterizing the dispersion of the operational process, *i.e.*, thanks to the statistical modelling of sets of data.

## *Ceteris paribus* clause in chemistry

The performance of the complex is more or less justified depending on how well it hangs together as a whole for achieving its particular goal. The density of such interconnections contributes to the consistency of the empirical outcomes, and to that of the inferences, obtained or made from the complex at stake. **A relational consistency thus stems from a practice of stabilization.**

This situation depends on the precision of the outcomes. Because precision is sensitive to the way it is determined some specific types of precision should be distinguished.

**Reproducibility:** the measure of agreement between results obtained with the same method on identical test or reference material under different conditions, executions by different persons, in different laboratories, with reproducibility is the standard deviation of these results.

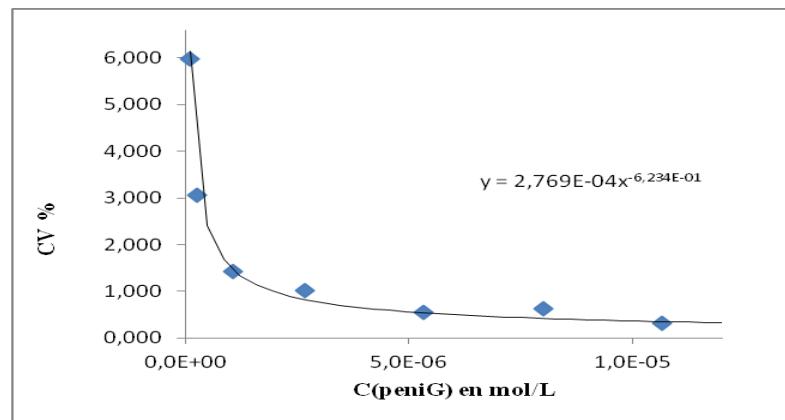
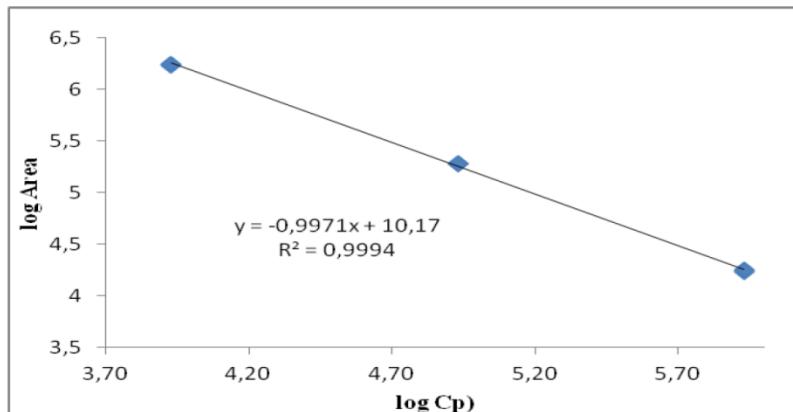
**Repeatability:** the measure of agreement between results obtained with the same method on identical test or reference material under the same conditions, the job done by one person, in the same laboratory, with the same equipments, at the same time or with only a short time interval.

## *Ceteris paribus* clause in chemistry

**The within-laboratory reproducibility:** the agreement between results obtained with the same method on identical test material under different conditions, execution by different persons, with the same or different equipment, in the same laboratory, at different times

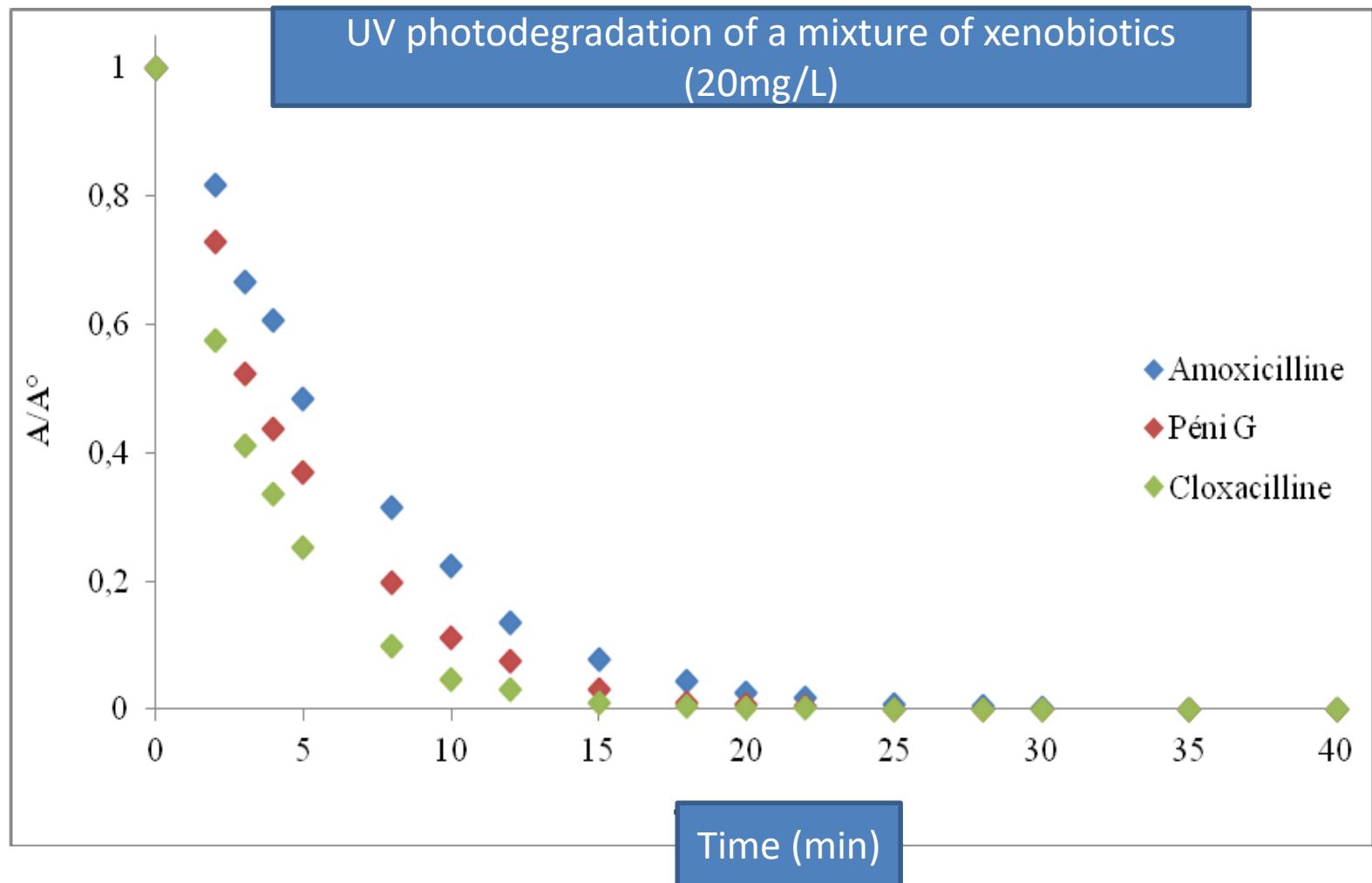
**The robustness/ruggedness of an analytical procedure:** the measure of its capacity to remain unaffected by small, but deliberate variations in method parameters and provides an indication of its reliability during normal usage.

# Stabilizing the whole complex (1)



C (mol/L)	1,07.10 <sup>-4</sup>	8,0.10 <sup>-5</sup>	5,33.10 <sup>-5</sup>	2,67.10 <sup>-5</sup>	1,07.10 <sup>-6</sup>	8,00.10 <sup>-6</sup>
Area	835331	639008	381290	130271	57889	39510
	836077	638324	380750	130056	58057	39405
	834624	639286	381999	130034	57934	39319
	835880	638741	381308	129819	58014	39682
	836260	640046	382113	130027	58310	39907
	835141	638084	380979	130200	58323	3903
Mean area	835552,2	638914,8	381406,5	130067,83	58087,83	39621
SD	626,645	706,48	545,385	157,235	186,688	132,473
CV%	0,075	0,111	0,143	0,121	0,321	0,546

## Stabilizing the whole complex (2)



## *Ceteris paribus* clause in chemistry

Each step of the co-stabilization of the whole complex involves a certain amount of repetitions and holds a wide range of multifarious tools together. Concomitant changes of factors, the use of many statistical tools and tests, the continuous modeling of results, and the use of normalization standards, do not cease to be at the forefront of this workaday practice.

This situation is somewhat different from the case of an apparatus, for example a voltmeter, which only needs to be connected to any electrical circuit provided, of course, that the voltage is measurable by the voltmeter at hand. **The stabilization of the complex, the reliability of this stabilization, and the determination of the unknown quantity are at stake within the ongoing process, they are precisely that which chemists must reach: They are not ‘given.’**

Putnam has shown that neither concepts nor the most basic categories are unique, unavoidable or absolute: “The logical primitives themselves, and in particular the notions of object and existence, have a multitude of different uses rather than one absolute “meaning.” (H. Putnam: *The many faces of realism: the Paul Carus lectures*, La Salle: Open Court Publishing Company, 1987, p. 19)

We claim that it is the same situation for allegedly cross-context premises, postulates, and clauses. As a matter of fact, the meaning of a clause or a premise can indeed be transformed depending on the scientific domain involved, and take another semantic, operative, and technological meaning.

**We should take the couple {scientific and technological preparation-metaphysical assumptions associated to them} into account in order to investigate human inferences, and not exclusively scientific languages, logics, or apparatus. This is the reason why, what we call a lack of consistency should always be investigated considering both the way a particular scientific practice is stabilized, and the metaphysical assumptions and commitments about the entities and processes under study upon which this particular scientific practice revolves.**

**The clause ceases to be a premise or a metaprinciple which would be available independently of the situation. Rather, it acquires the epistemological status of a result of a long series of articulations and stabilizations; a result which, once obtained, makes it possible for chemists to validate or not to validate the quantification, whenever all but the quantity of the body under investigation is channeled by co-stabilization.** The clause gets its meaning within the provisional and open-ended process of co-stabilization of bodies, instruments, and methods; knowing that each step reveals decisions related to what chemists already know and to what they have to do.

**The *ceteris paribus* clause thus gets a meaning in chemical metrology, but this meaning is different from that used in logic or within the framework of the deductive and nomological reasoning proposed by Hempel (1966). It has been *transformed* and not simply *transposed* from a particular sphere of scientific activity or human inference to another. The clause becomes a heuristic tool for innovation and action that can be connected to ethical purposes in order, for instance, to control and replace bad consequences of uses of chemicals by sustainable ones.**

Llored, J.-P., "Investigating Consistencies, Inconsistencies, and the Meaning of the Ceteris Paribus Clause in Chemistry", *Humana Mente, Journal of Philosophical Studies*, 2017, Vol. 32, 53–74.

## 2.2.

# Réflexion sur un changement de représentations et de métaphysique

# Changer de représentation de la science : La science comme production d'inconnu (1)

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. (2016), “Connecting the Philosophy of Chemistry, Green Chemistry and Moral Philosophy”, *Foundations of Chemistry*, volume 18, n°2, pp. 125-152.

Comme l'écrivait Schummer (2001) :

« With every production of a new substance, the scope of non-knowledge increases tremendously, by the number of undetermined properties of the new substance as well as by all chemical reactivities of the already existing substances with the new one. » Schummer, Joachim (2001), “Ethics of Chemical Synthesis”, *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7 (2), pp. 103-124.

## Changer de représentation de la science : La science comme production d'inconnu (2)

As a consequence, our knowledge about material properties will always remain incomplete. Science does not create knowledge only. It also transforms the world and produces 'the unknown.' Chemical bodies are milieu-dependent; the ways they act upon the world always depend on associated milieux. Chemical bodies, as we have pointed it out, are not simply totally predictable by considering the body in isolation. Their dependence to the associated milieu explains why chemistry is, by nature, an incomplete knowledge.

Llored, J.-P., "Investigating Consistencies, Inconsistencies, and the Meaning of the *Ceteris Paribus* Clause in Chemistry", in M. Estrada-González & M. Martínez-Ordaz (Eds.), *Beyond Toleration? Inconsistencies and Pluralism in the Empirical Sciences*, *Humana mente*, Vol. 32, 2017, 53–74, p. 57.

# Impacts on public health

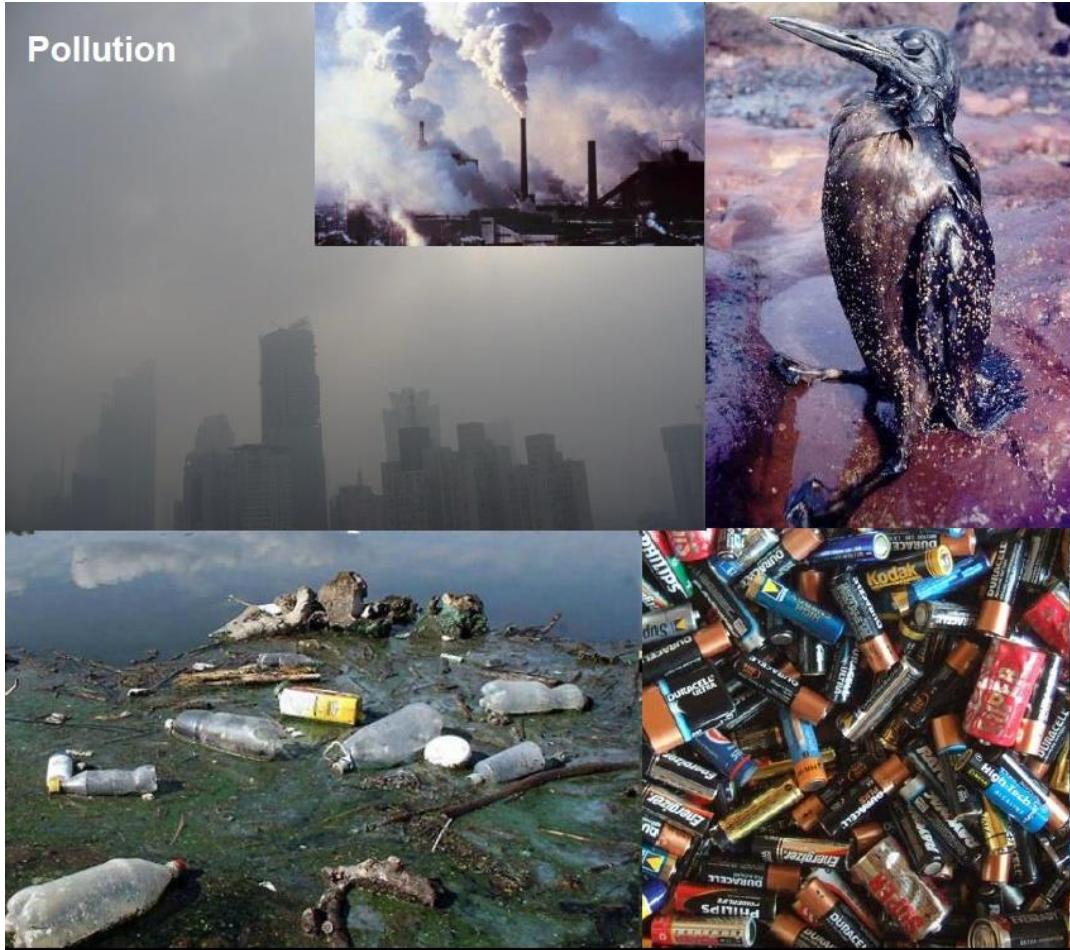


Antifungal

Bisphenol A: used to make plastic and resins; endocrine disruptor.

Thalidomid: Primarily prescribed as a sedative or hypnotic, it was used against nausea to alleviate morning sickness in pregnant women. Shortly after the drug was sold in West Germany, between 5,000 and 7,000 infants were born with phocomelia (malformation of the limbs). Only 40% of these children survived.

# Environmental impacts of chemistry



## Principe de précaution et philosophie relationnelle ?

« En raison du nombre massif de nouvelles substances chimiques introduites dans les écosystèmes, ce processus créatif engendre une imprévisibilité croissante des changements environnementaux. Inventer une nouvelle substance et la mettre sur le marché revient à créer de nouvelles possibilités imprévisibles de dommages à l'environnement et à la santé publique, ce qui ne peut qu'accroître les difficultés à exercer de façon fiable un contrôle *a priori* de ces dommages. Il y a là une source légitime de préoccupation : la chimie est l'un des facteurs majeurs qui rendent notre monde imprévisible. Il n'y a pas de meilleure justification à l'exigence de soumission des fruits de l'innovation chimique à des procédures rigoureuses de contrôle public et à la volonté de placer ces procédures sous l'égide du Principe de Précaution. »

Godard, Olivier. « Le principe de précaution et les risques chimiques », in *La chimie, cette inconnue ?*, Jean-Pierre Llored (Dir.), Hermann, Paris, à paraître en 2019, pp. 150-187, notre insistance.

## Un corps chimique est aussi un corps social !

« Quand la leçon de choses se donne comme *choses*, l'acide sulfurique et le sucre, elle est déjà une leçon de *choses sociales*. De même l'hydrogène et l'oxygène sont à bien des égards, si l'on ose s'exprimer ainsi, des gaz sociaux, des gaz de haute civilisation ! [...] Le matérialisme instruit est inséparable de son statut social », nous rappelle Bachelard (*Le matérialisme rationnel*, PUF, Paris, 1953, p. 31).

Les produits de la chimie – corps et objets – ont des modes d’existence pluriels et sont, à ce titre, *indexés* à la vie quotidienne et, ce faisant, investis de *valeurs* et de *significations* marchandes, sociales et culturelles desquelles leurs usages dépendent et que ces derniers contribuent, en retour, à redéfinir.

En s’inspirant de Leroi-Gourhan (*le Geste et la parole*, Paris, Albin Michel, 1964, 2 volumes) : Anthropisation de l’environnement par les corps et objets chimiques, humanisation de l’environnement par les symboles (dont font partie les symboliques (al)chimiques), et hominisation du corps animal par effet en retour des symboliques et des corps chimiques !

# Changer de métaphysique

**Si l'être même du corps chimique est indissociable de la connaissance que le chimiste en a, il ne saurait être ni un « quelque chose » défini en soi, ni un pur substrat qui perdure au cours du temps.**

**Le corps est à chaque instant pleinement réalisé comme étant seulement ce qu'il paraît être, et simultanément, comme n'étant jamais la même, perpétuellement transformé par les processus de sa constitution, de sa reconstitution, et de l'apprentissage de ses voies de constitution.**

**Tel un « quelque chose là-bas » indéfini, comparable à une sonde matérielle pour l'analyse chimique ou à un trouble émergeant diagnostiqué en clinique, le corps entre dans une série d'interactions qui produisent des choses déterminées se caractérisant par leur performance et leur fonctionnalité. Ce corps n'est rien de plus et rien de moins que ce que l'on sait des techniques permettant de l'exhiber.**

**Identité et changement, conservation et transformation, sont donc conciliables dans le cadre d'une approche épistémologique inspirée de la chimie et pour laquelle : (1) le mode d'intervention n'est plus éliminable dans la définition de ce à quoi nous disons avoir affaire, (2) corps et milieux dépendent mutuellement les uns des autres.**

Jean-Pierre Llored « Concept d'émergence, chimie et chimie quantique : étude d'une mise en relation », thèse de doctorat en philosophie soutenu le 25 novembre 2013 à l'Ecole Polytechnique, 750 pages.

# Matière (1)

*mātēriā*

[*materiā*], *materiae*, latin (Gaffiot)

1. Matière, matériel.
2. Bois, bois de construction.
3. Branche, tronc, souche, bois.
4. Nourriture, aliment, vivres, victuailles.
5. Sujet, argument, thème.
6. Origine, cause, occasion, prétexte.
7. Caractère, attitude, nature, penchant, capacité, faculté.

# Matière (2)

« La substance dont est faite le tronc de l'arbre, en tant qu'elle est productrice de branches, de feuilles. Ce mot a pour racine *mater* qui veut dire mère. L'élargissement successif des sens du mots, d'abord dans la langue commune à des matériaux variés, puis dans la langue philosophique à une notion essentielle, ne doit donc pas faire oublier son contenu initial : la matière reste la matrice commune où s'engendre les multiples et divers objets du monde. » Lévy-Leblond, *De la matière*, Seuil, Paris, 2006, p. 12.

# Matière ou matières ?

Idée, selon Lévy-Leblond, et tant d'autres penseurs à toutes les époques, des présocratiques aux philosophes contemporains, de la matière comme « matrice commune » (Saint Thomas d'Aquin parlait de « *l'ens commune* ») à partir de laquelle s'engendre tous les corps matériels du monde. Matière abstraite et indifférenciée à l'origine de tout, commune à toutes et à tous.

Idée que l'on retrouve, par exemple, chez Kant comme condition de possibilité de la connaissance, ainsi que dans la phénoménologie (Robert Legros sur le concept d'humanité).

# Affordance



# Affordance

Gibson argued that certain invariant structural properties of the energy flux within which a person was embedded afforded perceptions of material things to people and animals as they explored the flux of electromagnetic and sonic energy within which they lived. Gibson pointed out that we do not perceive a thing in general, but as an instrument for action.

Most people who see a strip of metal as a knife, see it as a cutting instrument. In this terminology, we say a knife *affords* cutting. But only in a human context does a certain piece of steel have that attribute. We can also say that a floor affords walking to people, while a lake does not, though it was said to have for Jesus.

An affordance is relative to context, in particular to the settings of specific interactions between sentient beings and the material world.

Rom Harré & Jean-Pierre Llored, “Procedures, Products, and Pictures”, *Philosophy*, The Royal Institute of Philosophy, Cambridge University Press, 2018, 93, pp. 167-186.

## Les corps chimiques comme « ex-stances » ou comme « affordances » ?

Le mode d'intervention n'est plus éliminable. Le concept « d'affordance » prend en charge cette situation. Il a été proposé par Rom Harré sur la base des travaux de Gibson en théorie de la perception et de Bohr en physique quantique. HARRÉ, Rom. *Varieties of Realism. A Rationale for the Natural Sciences*, Basic Blackwell, Frome and London, (1986).

Les dispositions sont exprimées sous forme d'une proposition conditionnelle : « si je mets un sucre dans l'eau alors il se dissoudra ».

**Une « affordance » est une disposition pour laquelle la partie conditionnelle fait intervenir directement le corps humain ou une interaction avec un instrument mis au point par les humains.**

Exemple : Le complexe {solution sodée-électrolyseur} « afforde » le sodium sous forme métallique à l'une des électrodes.

La dépendance des « affordances » à l'appareil permet une prise en compte d'une version pragmatique de la clause *ceteris paribus* que ne permet pas la notion simple de disposition.

## Dispositions, *ex-stances* ou *affordances* ?

L’instanciation d’une disposition peut aussi être interprétée comme l’actualisation d’une potentialité du monde. Dans ce dernier cas, le milieu, le mode d’accès, la contribution de l’instrument, sont ignorés du point de vue de l’individuation du corps étudié. *Il y a toujours dans la manifestation d’une disposition un déjà-présent qui clignote.*

Dans le cas d’une « ex-stance », nous sommes en présence d’une disposition « extrinsèque », qui fait prévaloir le milieu sur l’individu, la logique du prédicat sur la logique du sujet (Aristote). Ce n’est pas satisfaisant non plus !

Passer d’une disposition à une « affordance » implique un changement de métaphysique sous-jacente (du dualisme sujet/objet à la mésologie) et un passage d’une logique diadique (S-P) à une logique triadique (S-I-P) (Peirce, Berque). Nous n’avons plus affaire à des corps observables et connus, décrits contrafactuellement par l’intermédiaire de dispositifs-miroirs, mais au résultat d’une interaction entre des corps chimiques (molécules et matériaux), un milieu et un procédé (ayant une certaine temporalité).

# Les affordances en chimie (1)

Nous ne pouvons connaître que des « affordances ».

« The affordances are not the dispositions of the glub itself, the ur-stuff. They represent what glub affords *in the context of a particular physically specified, material apparatus*. We have no idea and could have no idea how they are ultimately grounded, that is what glub properties ground them. They are ur-stuff affordances, not occurrent properties of the glub. » HARRÉ, Rom. « Dispositions and their Groundings », in *Varieties of Realism. A Rationale for the Natural Sciences*, op. cit., p. 306.

« A Davy apparatus does not display a congealed mass of metallic constituents of salts, but affords a sample of sodium metal. That a block of sodium metal safely immersed in paraffin is made of constituents of common salt requires an additional metaphysical principle that may turn out to be hard to find. » HARRÉ, Rom. « Affordances and hinges: New tools in the Philosophy of Chemistry », in *The Philosophy of Chemistry: Practices, Methodologies, and Concepts*, J.-P (Ed.), Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 2013, 580-596.

## Les affordances en chimie (2)

Les « affordances » sont des « propriétés » du complexe {appareil-monde}.

« Agent, instrument, and context were three components of a hybrid being and all three components were needed for such a being to be the bearer of an affordance for a knowledgeable experimenter... » HARRÉ, R. & LLORED, J.-P., “Mereologies and molecules”, *Foundations of Chemistry*, volume 15, n° 2, 2013, pp. 127-144.

## Les affordances en chimie (3)

Si deux instruments, INST1 et INST2, sont incompatibles, c'est-à-dire ne peuvent être pas utilisés en même temps sur le même corps, les « affordances » qui proviennent du complexe {INST1-corps} et du complexe {INST2-corps} sont des phénomènes complémentaires, au sens de Bohr.

Le complexe {réacteur-corps chimiques} « afforde » des produits alors que le complexe {appareil de RMN-corps chimiques} « afforde » des signaux liés à des « parties » équivalentes de ces corps et produits.

**Une « propriété-affordance » est émergente par rapport à une autre « propriété-affordance ». Reste ensuite à articuler ces savoirs liés à des modes d'intervention différents, sachant toutefois que les « affordances » renvoient aux pouvoirs causaux du monde (réalisme : « policy realism »), en tout cas selon Rom Harré.**

## Les affordances en chimie (4)

Cette approche est compatible avec une définition ouverte et provisoire d'un corps compris, dès lors, comme le faisceau de ses « affordances », seules connaissables, et rendant possible une définition du corps en termes d'opérations en fonction de milieu.

**Ce qui fait le lien entre les « affordances » a un sens pragmatique et non pas ontologique ou métaphysique.** Une matière, active et indifférenciée, peut être postulée en tant que guide qui permet d'innover et d'inventer de nouveaux modes d'accès et donc de manifester de nouvelles « affordances ». Ce lien pragmatique permet aussi de classer les corps, de générer de nouvelles relations qui génèrent de nouveaux *relata*. Le lien vient après, il n'est pas posé immédiatement. Ce lien, justement, sera *stabilisé* par le truchement des démarches d'inter-comparaisons qui permettent la vérité d'un relatif en chimie, sans laquelle rien n'est possible en termes d'inférences.

## **De la trivialité à la dimension politique du concept d'émergence (1)**

Si chaque « affordance » est inédite car liée à une interaction spécifique entre un corps et un mode d'accès, et si les « affordances » sont émergentes les unes par rapport aux autres car les complexes { appareils-méthodes-corps-milieu associé} sont différents et différemment stabilisés, alors le concept d'émergence perd son pouvoir de discrimination ; pouvoir sans lequel tout concept perd sa pertinence, sa « capacité à » créer une différence, à se situer à un « carrefour » de problèmes.

Faut-il renoncer, comme Hilary Putnam, à ce concept pour autant ?

## De la trivialité à la dimension politique et écouménale du concept d'émergence (2)

L'introduction des corps chimiques dans le monde génère une gamme de possibilités relationnelles qui nous dépasse et qui n'est pas sans conséquences sur nos collectifs. Bref, l'émergence relationnelle pose un problème fondamental en termes des conséquences qu'elle implique pour les formes de vie et les formes « inertes ».

Les corps chimiques sont définis et constitués par leurs modes d'accès, leur historicité et le milieu. Leur définition opératoire est toujours ouverte et provisoire.

Or, ils ont été disséminés partout sans que leurs effets sur la Terre et la santé aient été testés, sachant en outre que nous commençons *à peine* à disposer de méthodes pour évaluer leur écotoxicité relative.

Le concept d'émergence, pensé en lien avec la chimie, pose *donc* un problème politique et a, en ce sens, une dimension politique. Ouverture de pistes intéressantes pour repenser ce concept de façon ontologique, éthique (écouménale) et pragmatique, en ayant recours à une approche mésologique qui tient compte du rôle du milieu dans la définition des vivants et non-vivants.

## 2.3.

# Méréologie et chimie

## Histoires de sodium et d'eau : types de méréologie et chimie

Pour pouvoir écrire « si je place du sodium dans l'eau alors une réaction très violente se produit », je considère que « le sodium est le sodium » et que « l'eau est l'eau », avant de penser leur réaction.

Je pense **la relation à partir de *relata* purifiés** mais je n'écris pas : « Le sodium issu de l'électrolyse contient des impuretés insolubles qui sont éliminées par filtration sur un treillis métallique, c'est-à-dire contenant : (1) environ 6% de calcium, dont le chlorure est partiellement électrolyisé ; (2) des oxydes de sodium formés par des contacts accidentels avec l'atmosphère ; (3) des chlorures du bain d'électrolyse entraînés par le flux de sodium. »

L' « identité » du sodium dépend des opérations d'électrolyse et de purification ; bref du procédé et du milieu associé. La logique suppose une identité formelle « l'élément Na est l'élément Na » ; les sciences façonnent une identité opératoire. Comment raccorder ces deux notions pour penser l'émergence en lien avec la chimie ?

# Les parties du tout mais selon quel type de méréologie ? (1)

## Méréologie C

HARRÉ, R. & LLORED, J.-P. « Mereologies as the Grammars of Chemical Discourses », *Foundations of Chemistry*, 13, (2011), pp. 63-76.

L'affirmation « Na est Na » suppose implicitement que toutes les parties de l'échantillon de sodium « sont » du sodium, l'échantillon « Na » est la *somme uniforme* de tous les « Na » qu'il contient et seulement cette somme. Toute partie du sodium est semblable au tout auquel elle appartient ! Cette invariance par changement d'échelle traduit **l'idée de pureté par régression homogène**.

Cette méréologie est transitive : si l'atome de sodium est contenu dans un grain de sodium et que le grain est contenu dans un échantillon plus grand, alors l'atome appartient à cet échantillon.

# Les parties du tout mais selon quel type de méréologie ? (2)

## Méréologie S (pour « set » : ensemble)

Lorsque j'écris « l'eau est l'eau » comme j'écris « le sodium est le sodium », **impliquons-nous, pour autant, le même discours méréologique ?**

L'océan peut être considéré comme une somme de grands volumes d'eau, eux-mêmes composés de molécules d'eau ! Que faire de l'entité moléculaire à ce point de la régression ?

Le sodium est sodium, mais l'eau « contient » deux éléments : l'hydrogène et l'oxygène.

## Les parties du tout mais selon quel type de méréologie ? (3)

La fusion de tous les chats est composée de *tous* les chats *qui existent*, et de rien d'autre, affirme Lewis en posant que : (1) une classe est une partie d'une autre classe si et seulement si elle est une sous-classe de cette dernière ; (2) nulle classe ne possède de partie qui n'est pas une classe ; (3) la réalité est divisée exhaustivement en classes et individus ; (4) nulle classe ne peut être une partie d'un individu ; et (5) toute fusion d'individus est un individu.

Lewis suppose que cette méréologie vérifie : (1) la transitivité ; (2) le principe de composition non limitée : dès lors qu'il existe des choses, il existe des fusions de ces choses ; et (3) le principe de composition unique reformulé en termes de fusion : il est impossible que des choses identiques donnent lieu à des fusions distinctes. Il introduit par ailleurs la classe « singleton ».

LEWIS, D. *Parts of Classes*, Blackwell, Oxford, (1991). Lewis utilise les mots « sets, subsets, supersets ».

## **Les parties du tout mais selon quel type de méréologie ? (4)**

Les constituants de l'eau sont-ils les membres de sous-ensembles singletons d'un ensemble moléculaire plus vaste ?

Les atomes et ions de l'hydrogène et de l'oxygène sont-ils des sous-ensembles de l'ensemble des molécules d'eau ?

Si tel est le cas, chaque molécule d'eau serait alors un sous-ensemble appartenant au « super-ensemble » de la matière eau. Cependant, quelle serait l'intension d'un ensemble duquel deux ensembles, les deux atomes d'hydrogène et l'atome singleton oxygène, sont des sous-ensembles ?

**Les types de méréologie peuvent varier en fonction des pratiques chimiques engagées, bref du milieu technique, symbolique et écologique dans lesquels ils se trouvent engagés (cela rappelle les jeux de langage de Wittgenstein).**

# Les parties du tout mais selon quel type de méréologie ? (5)

## La codépendance des méréologies C et S en chimie

Si l'ion «  $H^+$  » et l'ion «  $O_2^-$  » sont des sous-ensembles de l'ensemble des molécules d'eau, quelle est la propriété commune qui fait d'eux les membres de cet ensemble ?

Celle d'appartenir en tant que constituants à cette molécule.

Par conséquent, l'application de la méréologie de type S à l'entité chimique eau dépend, en dépit de la variété de ses ingrédients, d'une méréologie de type C qui permet de comprendre la relation entre les atomes et les ions d'une part et la molécule desquelles ils sont *des parties* d'autre part.

**La tautologie si solitaire devient si solidaire d'un corpus de pratiques très hétérogènes qui intègre des opérations de synthèse et de purification, des choix ontologiques et des types de méréologie.**

# Erreurs méréologiques

**Attribuer à une partie une « propriété-caractérisation » portant seulement sur un tout en oubliant le rôle des modes d'accès et des contextes.**

**Inférer que les produits obtenus à partir d'un tout par réaction chimique ou toute analyse fractionnaire sont des parties de ce même tout, en oubliant, ce faisant, la transformation qui a eu lieu afin de former ces parties dans un milieu donné.**

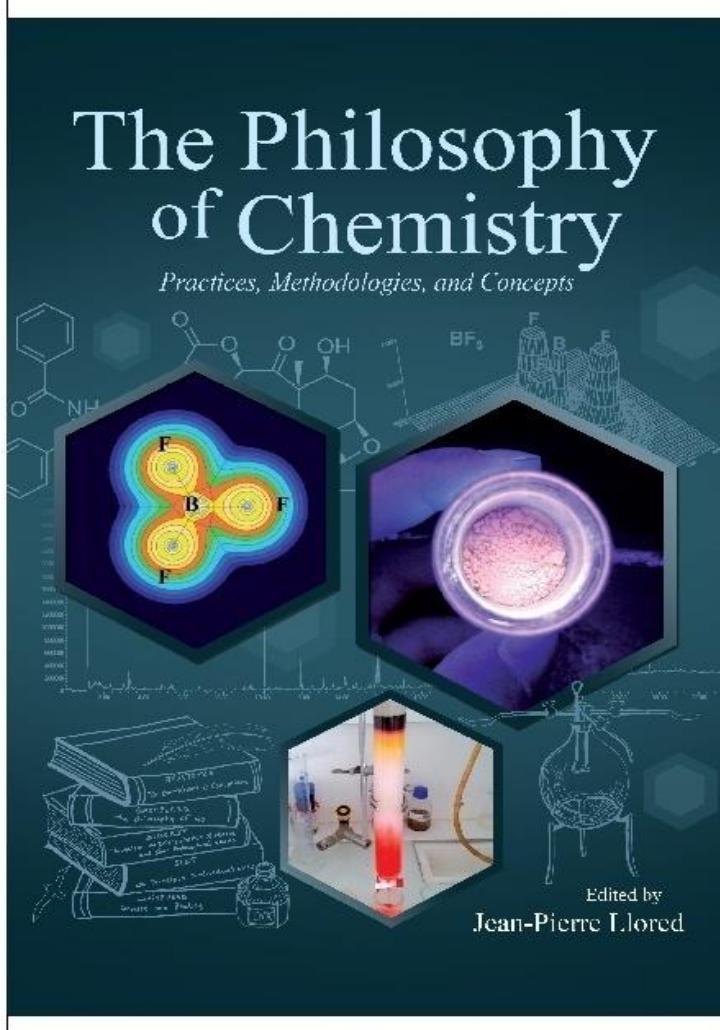
HARRÉ, Rom & LLORED, J.-P. « Molecules and Mereologies », *Foundations of Chemistry*, Volume 15, Issue 2, (2013), pp. 127-144.

**Ne pas oublier la relativité aux modes d'accès et la définition opérative des corps pour penser les méréologies chimiques.**

# Merci de votre attention



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



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

*La mésologie, un autre paradigme pour l'anthropocène ? Autour d'Augustin Berque*, coedited with M. Augendre and Y. Nussaume, Proceedings of the Conference Mesology and Anthropocene, Cerisy-la-Salle, Hermann, 2018.

*La chimie, cette inconnue?*, Paris: Hermann, in press.

*The Study of Practices*, with Rom Harré, Oxford University Press, under review.

*Chemistry: A Philosophical Investigation. Proceedings of the ISPC Paris Conference 2017*, Synthese Press Library, in preparation.

*Ethics and Chemistry*, World Scientific and Imperial College Press, in preparation.