



*Le « Radeau des Cimes » survolant la canopée : voir à l'intérieur la contribution de F. Hallé sur les forêts primaires*

**La**  
**Lettre**  
**de**

**CHERCHEURS**  
**TOUJOURS**

**N° 20, septembre 2013**

# SOMMAIRE

## RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES-DÉBATS

(octobre 2012 - mai 2013)

### PENSER, CLASSER LA BIODIVERSITÉ

Guillaume LECOINTRE ..... 3

### ARAIGNEES ET SCORPIONS : BIOLOGIE ET VENINS

Christine ROLLARD et

Max GOYFFON ..... 6

### L'EURO DANS LA TOURMENTE

Michel LELART ..... 8

### LES NANOTECHNOLOGIES : QUESTIONS, ENJEUX POUR LA SANTÉ

Alexei GRINBAUM ..... 13

Laurent LÉVY ..... 13

### LES FORÊTS TROPICALES : QUEL AVENIR ?

Francis HALLÉ ..... 15

Pierre-Michel FORGET ..... 18

### L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES CHEZ L'ENFANT

Gérard VERGNAUD ..... 20

Stella BARUK ..... 22

## PROCHAINES MANIFESTATIONS

### CONFÉRENCE-DÉBAT

(8 octobre 2013) **L'OLFACTION CHEZ L'HOMME ET CHEZ L'ABEILLE : Perception et Mémoire**

avec Paul LAFFORT (Dijon) et Egon Peter KÖSTER (Utrecht) ..... 23

### VISITES

(9 octobre 2013) **Musée Fragonard de l'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT** ..... 23

(15 octobre 2013) **I-stem (INSTITUT DES CELLULES SOUCHES), Génopole d'Évry** ..... 23

# RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES-DÉBATS

## octobre 2012 - mai 2013

4 octobre 2012

### PENSER, CLASSER LA BIODIVERSITÉ

Modérateur : Michel THIREAU, Professeur honoraire au Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris

#### Guillaume LECOINTRE

Systematicien, Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris  
Directeur du Département de recherche « Systématique et Évolution »

*(Résumé du texte fourni par G. Lecointre ; l'original complet est lisible sur le site web de Chercheurs Toujours)*

**D**epuis que l'homme existe, il voit des chiens faire des chiens et des chats faire des chats. Ses sens lui enseignent que le monde vivant est ordonné et que l'ordre engendre l'ordre. Le besoin immédiat de repères, pour des raisons pratiques comme pour des raisons métaphysiques, lui fait donner sa préférence à la perception d'un ordre apparent plutôt qu'au désordre pourtant perceptible.

La systématique, science des classifications, a pour rôle de gérer les liens entre les objets du monde réel, les concepts (les catégories) et les noms. S'agissant des sciences naturelles, elle a souvent été enseignée sous forme de listes classificatoires à mémoriser ; ce qui conduisit à laisser des générations d'élèves, d'étudiants et de biologistes dans une ignorance générale du pourquoi et du comment on classe les êtres vivants ; et ceci même chez des biologistes. Cette ignorance a laissé s'installer des confusions.

**La première des confusions** installée jusque dans les pages des manuels scolaires pour collégiens **est d'ordre cognitive**. On confond les opérations de tri, de classification et d'assignation. Le tri est une opération divisive qui ségrège, sépare mais ne regroupe pas. Des tris successifs sont utilisés pour réaliser des clés de détermination. Une clé de détermination sert à identifier un être vivant au moyen d'un cheminement au sein d'une arborescence décisionnelle. Au bout du trajet, on obtient un nom d'espèce. Une clé ne dit rien sur le monde : elle est uniquement utilitariste. Ce n'est pas le cas d'une classification. Celle-ci, tout au contraire, est une procédure agglomérative : elle ne divise pas, elle regroupe. Les regroupements se font sur certaines catégories de critères ou de propriétés. Si le produit de

l'acte de classification, un système classificatoire, est compliqué, c'est que le monde réel est compliqué. Enfin, l'assignation est le rangement d'un individu dans l'une des catégories qui a été préalablement fabriquée

**La seconde confusion est d'ordre philosophique** : elle est installée dans la tension entre l'essentialisme de notre culture et le nominalisme scientifique. Expliquons-nous. Dans l'histoire des sciences, les catégories l'ont souvent emporté sur la perception de la complexité de ce qu'elles contiennent. En d'autres termes, notre désir d'ordre a presque effacé notre perception du désordre. Dans le monde du botaniste suédois Carl von Linné (1707-1778), le créateur est responsable de l'ordre et la variation des chats est une corruption par la matière du plan de création initial qui comportait l'Idée de chat. L'espèce est dans la nature, pour Linné, comme la manifestation de la volonté créatrice de Dieu. On retrouvera cet essentialisme plus tard sous d'autres formes avec le zoologiste Ernst Mayr (1904-2005), dans le sens où le programme de classification des années 1940-1970 confond le contenant (la boîte, la catégorie) et le contenu (les individus réels). Le problème de fond est qu'on ne fait pas de biologie évolutive avec l'essentialisme. A l'inverse de celui-ci, le nominalisme scientifique consiste à reconnaître que c'est nous qui faisons les classifications et leurs catégories et que nous les posons sur un flux permanent d'êtres vivants changeants en aménageant des limites conventionnelles et des noms qui satisfont nos besoins langagiers. Le nominalisme scientifique nous conduit à savoir distinguer les contenants (nos boîtes, nos concepts, nos ensembles) des contenus (les individus biologiques). Par convention, nous fabriquons des contenants, c'est-à-dire

des boîtes dans nos têtes, avec des étiquettes dessus, que l'on appelle espèces, calées sur un modèle théorique : elles correspondent à des communautés de reproduction qui, dans la profondeur du temps, s'étendent d'un point de fragmentation généalogique à un autre. *L'espèce, comme contenant, est donc définie par un flux généalogique théorique indivis.* Nous assignons des individus à une même espèce sur critère de ressemblance et/ou d'interfécondité. L'évolution des espèces dans le monde réel n'est que le changement incessant et sans rupture des populations naturelles dans le temps et pas seulement le changement génétique. Répétons-le : dans la nature n'apparaissent que des barrières reproductives. La géométrie des boîtes « espèces », comme les noms, sont des conventions de langage.

**La troisième difficulté** est d'avoir conscience qu'une classification résulte de l'intention du classificateur. Elle possède un « cahier des charges ». Nos catégories mentales sont faites avec une intention rarement explicitée, même en sciences. Encore aujourd'hui, nous vivons quotidiennement avec une multiplicité de concepts classificatoires. Toutes ces conventions de langage coexistent dans nos têtes et un même être vivant peut être assigné à des catégories d'intentions différentes selon le contexte d'utilisation dans lequel on se trouve : ce lapin *Oryctolagus cuniculus* sera tour à tour gibier dans les bois, volaille au restaurant ou mammifère dans un laboratoire de systématique. Là intervient une distinction importante : certaines de nos catégories sont utilitaristes, d'autres sont scientifiques.

Il existe depuis les débuts des sciences naturelles une tension entre des concepts élaborés en vertu de ce que les organismes font et ceux élaborés en fonction de ce qu'ils ont. Les sciences qui ont pour but d'embrasser l'exhaustivité du vivant dans la gestion des rapports entre les mots, les êtres et les catégories sont la systématique et la taxinomie. Leur « cahier des charges » aujourd'hui est de classer les organismes vivants sur la base de ce qu'ils ont. Il existera d'autres sciences aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles qui forgeront des catégories sous forme de concepts fonctionnalistes, comme les sciences écologiques (avec par exemple les concepts de fousseurs, zooplancton, détritivores, prédateurs, benthos, etc.) ou les sciences physiologiques (homéothermes, vivipares, etc.). Ces sciences ont leurs catégories à elles, qui parfois interfèrent avec celles de la systématique, mais sans programme de classification exhaustive. Il va sans dire que ces interférences sont souvent sources de malentendus ou d'erreurs. Pour revenir à la systématique, qu'il s'agisse d'un cahier des charges qui se propose de restituer le plan divin de création pour le botaniste suédois Carl von Linné (1707-1778) ou plus tard du cahier des charges qui se propose

de reconstituer les liens de la filiation évolutive pour Charles Darwin (1809-1882), à partir du début du XVIII<sup>e</sup> siècle on va donc tenter de faire parler les classifications des origines de ce qui est. Pour cela, les auteurs vont se fonder majoritairement sur ce que les êtres vivants ont. Car tous les auteurs ont l'intuition que c'est en fondant nos catégories sur ce que les êtres vivants ont en commun (plumes, poils, etc.) et non par ce qu'ils font (fousseurs, etc.), non par la façon dont ils fonctionnent (ovipares, etc.), non par les milieux qu'ils colonisent (benthos, etc.), non par la façon dont on les utilise (bétail, etc.) que les catégories fabriquées auront des chances de refléter les origines de ce qui existe. C'est l'entomologiste allemand Willi Hennig (1913-1976) qui trouvera en 1950 les moyens méthodologiques de réaliser le rêve de Charles Darwin, à savoir faire des classifications dont les « boîtes » soient cohérentes avec l'arbre généalogique du Vivant. Les hominidés sont des primates, les primates (et donc les hominidés) sont des mammifères ; le tout est vertébré. Les oiseaux sont des dinosaures, les dinosaures (et donc les oiseaux) sont des reptiles ; le tout est vertébré. Du point de vue de la justification des boîtes, pour faire un groupe complet il suffit de le justifier par un attribut exclusif. « Oiseaux » est justifié par la plume. Le groupe « oiseaux » est complet car on ne trouve pas de plume en dehors des oiseaux. « Poissons » est justifié par le crâne. « Poissons » n'est pas complet car il existe des crânes en dehors des poissons : tous les tétrapodes ont un crâne ; et ils ne sont pas mis dans les poissons. Le groupe des « poissons » n'est plus valide en systématique moderne. L'école de Hennig portera le nom de « systématique phylogénétique », d'après le titre de son livre de 1950, laquelle se développera surtout à partir des années 1970 et dont le cahier des charges reste en vigueur aujourd'hui.

**La quatrième difficulté** est inhérente à l'histoire de la systématique : elle consiste à se dégager des restes du scalisme. Le terme de scalisme provient de *scala* qui signifie « échelle ». En plus de catégories scientifiques dont la cohérence est plus ou moins bien maîtrisée selon les époques, il existe aussi, en trame de fond, des « images de la Nature », schémas organisateurs, représentations du cadre théorique de l'ordre de la nature. La figure théorique longtemps dominante a été, depuis Aristote (384-322 av. J.-C.), une figure de continuité appelée « chaîne des êtres » ou « échelle des êtres », qui remonterait, autant qu'on sache, à Démocrite (460-370 av. J.-C.) et à Platon (427-347 av. J.-C.). Cette chaîne nous parvient au Moyen Âge chez des auteurs comme Ramon Llull (1232-1315) ou Charles de Bouelles (1470-1553) avec des préoccupations théologiques. Cette continuité de la nature prendra ses formes scientifiques chez Gottfried

Wilhelm Leibniz (1646-1716) et surtout Charles Bonnet (1720-1793) même si, au fond, ce sont surtout des considérations sur les valeurs qui rendent compte du fait que c'est l'homme qui culmine au sommet. Cette échelle a la vie dure, et ceci jusque tard dans le XX<sup>e</sup> siècle : l'école de classification associée à la théorie synthétique de l'évolution (1940-1970), connue sous le nom de « systématique éclectique », dessinait des arbres mais continuait à concevoir des catégories (des « boîtes ») en travers des branches appelés « grades », réactivant une version évolutionniste de l'échelle des êtres par-dessus des arbres, et ceci en dépit du fait que les échelles et les arbres sont géométriquement incompatibles.

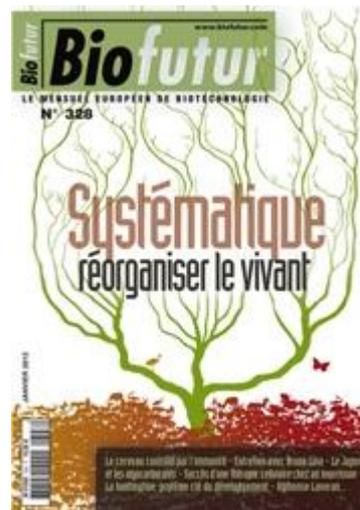
### Conclusion

L'homme scientifiquement immature se place au centre du monde, presque spontanément, primitivement, comme le ferait l'enfant qui ne s'est pas encore éveillé à ce qui l'entoure. Il en va de même pour la science des classifications, qui, tout comme l'astronomie est passée du géocentrisme à l'héliocentrisme, a dû passer de l'anthropocentrisme de Linné à la classification phylogénétique dans laquelle l'homme n'est qu'une branche parmi d'autres dans l'immense buisson du vivant. Les sciences n'ont pas pour vocation de délivrer ou de soutenir sur commande un discours sur les valeurs : elles doivent rester neutres sur ce plan. Elles n'ont pour vocation que de fournir une explication rationnelle du monde réel, laquelle fonde sa vocation universaliste sur la possibilité laissée à des observateurs indépendants de reproduire des expériences – y compris des expériences de classification. En sciences naturelles, l'apparement, et lui seul, est un critère exempt de discours sur les valeurs, parce qu'il ne réduit pas le sens des espèces à la présence d'une seule autre. L'arbre qui traduit les apparentements et les classifications qui en découlent ne fait que dire « qui partage quoi avec qui ». Il s'agit donc, répétons-le, d'établir des degrés de partage, emboîtés successivement par agglomérations, pas des exclusions.

Les mots et les catégories ont la vie dure. Il n'est rien de plus difficile que de faire changer en nos têtes le découpage du monde, surtout si nous l'avons reçu tôt. Des mots issus des classifications, tels « invertébrés », « poissons », traversent les âges tandis que ce que les hommes pensent des causes qui sont à l'origine de la diversité du vivant change selon les époques. Il peut en résulter des décalages entre ce dont on parle et ce dont on croit parler. Les classifications biologiques enseignées encore aujourd'hui de l'école primaire aux

premiers cycles universitaires portent la trace d'une soumission de la science de Linné aux explications religieuses du monde. Invertébrés, agnathes, poissons sont les restes de sa « science divine ». Or, les scientifiques aujourd'hui envisagent explicitement une tout autre causalité sous-jacente à l'ordre naturel : depuis Hennig, l'arbre phylogénétique *fait* la classification. Ces changements sont dus à une révolution méthodologique et conceptuelle doublée de deux révolutions technologiques. La révolution méthodologique est la polarisation des caractères de Hennig, le codage formalisé des caractères dans des matrices de caractères, et enfin le rejet des groupes paraphylétiques, conformément au cahier des charges darwinien de la classification. La première révolution technologique à partir de la fin des années 1960 fut le développement d'algorithmes et l'arrivée des ordinateurs dans les laboratoires. On put alors calculer, parmi un ensemble d'arbres possibles pour un jeu d'espèces donné, l'arbre qui maximisait la contiguïté des états de caractères identiques. La seconde révolution technologique est celle de la systématique moléculaire et elle n'est pas terminée. Ces changements ne doivent pas nous inquiéter : la systématique est une science à

part entière, et en cela elle progresse dans ses résultats, également dans ses méthodes



### Bibliographie

LECOINTRE, G. & LE GUYADER, H. Classification phylogénétique du vivant. Tome I : Troisième édition. Belin, 2006, Tome II : Belin, 2013.

LECOINTRE, G. (Dir). Comprendre et enseigner la classification. Seconde édition, Belin, 2008.

LECOINTRE, G. (Dir). Guide critique de l'évolution. Belin, 2009 (Co-auteurs : Corinne FORTIN, Gérard GUILLOT et Marie-Laure LE LOUARN-BONNET).

LECOINTRE, G. (Coord.). Dossier sur la systématique dans la revue *Biofutur* (n°328), janvier 2012.

HEAMS, T., HUNEMAN, P., LECOINTRE, G. & SILBERSTEIN, M. 2012. Les mondes darwiniens. Seconde édition augmentée, 1576 pp., Éditions Matériologiques ([www.materiologiques.com](http://www.materiologiques.com)).

27 novembre 2012

## ARAIGNÉES ET SCORPIONS : BIOLOGIE ET VENINS

Modératrice : Marie-Françoise MERCK, Chargée de recherche honoraire à l'INSERM

(Texte paru le 28.06.2013 sur le site <http://lecercle.jesechos.fr> du journal Les Échos, sauf le dernier paragraphe, extrait du résumé initial de Max Goyffon)

**Christine ROLLARD**

Maître de Conférences au Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris

et

**Max GOYFFON**

Professeur honoraire au Muséum National d'Histoire Naturelle

**P**roches parents au sein des arachnides, les araignées et les scorpions ne sauraient se confondre, leurs différences étant évidentes, entre autre la forme de leur corps. Néanmoins, des similitudes existent : ces deux groupes zoologiques sont tous deux venimeux et prédateurs carnivores, voire cannibales, et leur croissance s'effectue par mue successive jusqu'au stade adulte. De plus, ce sont des animaux à grande plasticité écologique, occupant une grande variété de milieux et possédant une forte résistance à des conditions environnementales particulières. La diversité se retrouve également dans les techniques de chasse, la reproduction ou encore les soins aux jeunes (les scorpions et certaines familles d'araignées portent les jeunes sur leur dos jusqu'à leur dispersion).

Parmi les arachnides fossiles, les premières découvertes ont été attribuées aux scorpions datant du Silurien (environ 430 millions d'années) et les araignées du Dévonien (environ 390 millions d'années).



Femelle d'*Araneus quadratus* (famille des Araneidae). L'auteur de la photo est Bruno De Reviers.

L'araignée est tout d'abord l'animal de la soie. Elle en produit différents types qu'elle utilise à des fins diverses : construction de pièges de formes variées, emmaillotage des proies, protection des œufs, support de transport aérien au gré du vent ou fil de rappel. Même si elles n'en construisent pas toutes, les toiles les caractérisent souvent dans l'esprit des gens, qu'elles

soient orbitales (géométriques), en réseau, tubulaires ou encore en nappe, parfois prolongée par une sorte d'entonnoir comme chez les tégénaires de grande taille dont on voit les mâles errer dans nos habitations à l'automne à la recherche d'une partenaire. Elles sont cosmopolites, ce qui n'empêche pas leur extraordinaire diversité (plus de 43 000 espèces décrites dans le monde réparties en 112 familles) et leur présence dans des biotopes très variés, essentiellement terrestres.

On distingue trois sous-ordres : les *liphistiomorphes*, comprenant quelques espèces asiatiques, les *mygalomorphes* ou mygales, avec 6-7 % du nombre total, soit environ 2 700 espèces (dont une quarantaine en Europe), et les *aranéomorphes*, ou « araignées vraies » renfermant la quasi-totalité des espèces. La distinction se fait sur certains caractères visibles morphologiquement : les deux premiers groupes possèdent quatre poumons et leurs chélicères sont orientées dans le plan sagittal avec des crochets plus ou moins parallèles à l'axe du corps, le dernier groupe a deux poumons et des chélicères plus verticales munies de crochets croisés. La taille du corps des araignées est très variable, compris entre 0,3mm et 13cm (cas de certaines mygales tropicales). Les mygales de France, de taille plus modeste (entre 1 et 3cm), sont essentiellement présentes dans le midi et se répartissent dans trois familles, *Atypidae*, *Nemesiidae* et *Ctenizidae*.

La mauvaise réputation des araignées est souvent exagérée par rapport au risque réel des envenimations, car très peu d'espèces sont susceptibles d'être impliquées dans des morsures. Citons par exemple le groupe des veuves noires ou latrodictes et les loxoscèles (cosmopolites) parmi les « araignées vraies », et les mygales du genre *Atrax* ou *Hadronyche* (présents en Australie) ; de fait, les cas d'aranisme avéré sont très rares.

Celle des scorpions est plus inquiétante en raison de la puissance supposée de leurs venins. Les scorpions (au nombre de 2 000 espèces environ identifiées dans le monde, dont la taille varie entre 8mm et 25cm) seraient

des animaux caractéristiques des déserts chauds, milieu particulièrement riche en espèces venimeuses, où le venin serait un avantage sélectif : les proies sont rares, il ne faut pas les manquer. Il est vrai que les espèces dangereuses pour l'homme, en réalité surtout pour les enfants, se trouvent volontiers dans des zones arides sèches : Sahara, Proche-Orient. Mais il faut aussi se garder de tout raccourci simplificateur avec les scorpions : au Brésil, en Inde, les espèces dangereuses sont des espèces de savane, voire de forêt.



Scorpion noir, *Androctonus æneas*, parfois nommé *Androctonus bicolor æneas*.

Au reste, les scorpions se trouvent là où on ne les attendrait pas vraiment, en altitude, dans les chaînes montagneuses les plus hautes, le massif de l'Himalaya ou la Cordillère des Andes, tout comme les araignées. À dire vrai, ils ne dépassent guère l'altitude de 5 000m mais le manque d'oxygène possible ne les affecte pas car leurs besoins sont réduits et surtout, ils disposent, comme les araignées d'ailleurs, d'une molécule dissoute dans leur sang ou hémolymphe, qui fixe réversiblement l'oxygène à la manière de l'hémoglobine des vertébrés.

Pour certains auteurs, « l'hémocyanine est très bien adaptée à des animaux à faible dépense d'énergie », en ajoutant « mieux que ne le serait l'hémoglobine ». Cette hémocyanine qui colore le sang en bleu en raison de la présence de cuivre et non du fer comme l'hémoglobine, procure certainement un avantage aux espèces en leur permettant de s'adapter à tous les milieux. Les scorpions, du moins certaines espèces, se montrent aptes à coloniser de nouveaux territoires, comme les milieux urbains pourvu qu'ils puissent trouver des conditions convenables et de la nourriture en quantité suffisante.

En France, le petit scorpion noir inoffensif *Euscorpium flavicaudis* est parvenu jusqu'au centre de Bordeaux où il vit fort bien, trouvant dans les caves et les chais, hygrométrie et température favorables ainsi que des proies telles araignées, cloportes ou peut-être mille-pattes. Plus sérieuse est l'invasion de Brasilia, capitale du Brésil, par une espèce dangereuse, *Tityus serrulatus*, qui à l'origine est une espèce forestière. Le problème est

identique, quoique moins dangereux, avec l'invasion des immeubles de Buenos Aires par *Tityus trivittatus*. Ces deux espèces sont parthénogénétiques, de sorte qu'une seule femelle suffit à contaminer un immeuble ou une maison, et les blattes sont leurs proies favorites. Des solutions tentent d'être trouvées pour tenter d'éradiquer ou de limiter ce phénomène.



Femelle d'*Androctonus australis* avec ses jeunes sur le dos, pendant les quelques jours qui suivent leur naissance.

Les scorpions (moins de 2 000 espèces) sont tous venimeux, sans exception. Les araignées (environ 43 000 espèces) sont très majoritairement venimeuses à l'exception de deux petites familles. Les scorpions, surtout certains représentants d'une famille particulière (Buthidae), comptent un petit nombre d'espèces dangereuses pour l'homme, alors que les araignées ne mettent qu'exceptionnellement la vie humaine en danger sauf conditions particulières, à l'exception notable d'une famille de mygales australiennes au venin neurotoxique. Il convient encore de signaler le danger potentiel de certaines espèces au venin nécrosant qui entraînent parfois des complications mortelles (*Loxosceles sp.*). Si la production de sérums antivenimeux reste importante vis-à-vis des piqûres de scorpions, celle des sérums antivenimeux d'araignées a presque complètement disparu sauf naturellement en Australie et aussi au Brésil

Les venins d'araignées et de scorpions contiennent des toxines protéiques voisines de structure et d'effets. La glande à venin des araignées ayant une origine digestive, les composants de leurs venins sont beaucoup plus diversifiés que ceux des scorpions. En particulier, les venins d'araignées sont riches en enzymes, en protéases en particulier qui assurent une véritable pré-digestion de la proie. Les araignées disposent en outre de toxines polyaminiques, donc non protéiques, qui agissent comme des curarisants transitoires du système locomoteur des arthropodes, notamment des insectes qui constituent leurs proies habituelles. Les toxines des venins de scorpions agissent surtout sur des canaux ioniques (sodium, potassium, calcium, chlore) des

cellules des tissus dits excitables (système neuro-musculaire) en modifiant leur excitabilité. La fraction des molécules identifiées dans les venins de scorpions et d'araignées ne représente qu'un très faible pourcentage des molécules produites par les glandes à venin. Aussi, compte tenu de la puissance et de la spécificité des toxines actuellement connues, de grands espoirs se fondent sur la diversité de la "chimiothèque naturelle" que constituent les glandes à venin pour y trouver des molécules d'intérêt thérapeutique. Les premiers espoirs nés de la diversité des molécules létales pour les insectes ont été déçus. Mais des résultats récents révélant l'existence de molécules actives sur des

récepteurs de la sensibilité douloureuse, présentes dans les venins d'araignées mais aussi dans d'autres venins (cônes, serpents), laissent entrevoir la mise sur le marché d'une nouvelle famille d'antalgiques originaux qui, semble-t-il, ne créerait pas d'accoutumance.

### **Bibliographie**

*Au fil des araignées.* Ouvrage multi-auteurs sous la direction de F. CANARD (2008).

*Arachna. Les voyages d'une femme araignée.*

C. ROLLARD et V. TARDIEU (2011). Ed. Belin/MNHN.

29 janvier 2013

## **L'EURO DANS LA TOURMENTE**

Modératrice : Marie-Françoise MERCK, Chargée de Recherche honoraire à l'INSERM

(Conférence donnée devant l'Assemblée générale, texte à paraître dans la Revue de l'Union Européenne)

### **Michel LELART**

Directeur de Recherche émérite au CNRS

Laboratoire d'Économie d'Orléans

**L**a monnaie européenne a remplacé les monnaies nationales le 1<sup>er</sup> janvier 1999. Cela fait donc près de quinze ans que la monnaie unique est une réalité. Le système est désormais installé, les institutions fonctionnent, les habitudes sont prises, l'euro est connu un peu partout dans le monde. Malgré le rejet du projet de Constitution par la France et les Pays-Bas en 2005, malgré les hésitations des autres pays membres de l'Union européenne à rejoindre la zone, on pouvait considérer il y a quelques années encore que la mise en place de la monnaie unique était un succès. Tout a changé depuis, au point que l'on envisage sérieusement que tel ou tel pays puisse revenir à sa monnaie nationale. On va même jusqu'à s'interroger sur la survie de la zone euro.

Que s'est-il donc passé ? Un revirement aussi complet et aussi rapide doit trouver sa source dans des facteurs faciles à identifier. Nous pensons qu'il s'agit là d'une conséquence de la crise financière internationale qui a éclaté aux États-Unis au cours de l'été 2007. C'est « la tourmente » que nous allons expliquer avant d'analyser quelles ont été ses conséquences pour l'euro, puis d'examiner ce qui pourrait ou devrait être fait maintenant.

#### **La tourmente : la crise financière internationale**

Pour bien comprendre comment sont organisées les relations monétaires internationales, il faut remonter au lendemain de la guerre. Les États-Unis ont invité les pays alliés à participer à une réunion organisée à

Bretton Woods en juillet 1944. Les Britanniques avaient un plan – le fameux plan Keynes – qui consistait à définir une monnaie internationale et à mettre en place une banque pour la gérer et faciliter en même temps le règlement des transactions entre les pays. L'évolution des créances et des dettes des uns envers les autres devait être parfaitement maîtrisée par le respect de quelques règles simples. On pouvait parler d'un « système monétaire international ».

Ce projet était aussi novateur qu'astucieux – on en parle encore de nos jours ! – mais les Américains avaient le leur, qui a été naturellement adopté. Il ne prévoyait pas de monnaie particulière pour les transactions entre les pays. Il créait bien une institution nouvelle, le *Fonds Monétaire International* (FMI), mais ce n'était pas une banque qui pourrait créer et devrait gérer une monnaie nouvelle. Dès lors, que s'est-il passé ? Comme il fallait naturellement que les pays se règlent ce qu'ils se devaient, ils ont dû utiliser leurs propres monnaies... et il s'est révélé bien plus facile d'utiliser toujours la même. C'est ainsi que le dollar US est devenu en fait la monnaie internationale, sans qu'aucun accord ne l'ait jamais expressément établi. Le Plan Marshall a permis de « donner » aux pays européens les dollars dont ils pouvaient ensuite se servir. Mais c'est la rareté du dollar qui a marqué les années 50, jusqu'à ce que les États-Unis investissent massivement à l'étranger. C'est alors qu'un nouveau problème s'est posé car ils s'étaient engagés à convertir en or les dollars détenus par les banques centrales étrangères... De ce fait leur stock d'or

a diminué tout au long des années 60, au rythme de ces conversions.

Et c'est la décision du Président Nixon, le 15 août 1971 : les États-Unis ne rachètent plus leurs dollars. Dès lors les dollars vont « sortir » des États-Unis et aller grossir les avoirs des banques centrales à un rythme accéléré (6 milliards en 1960, 60 en 1970 !). Dans les années 70, ce sont les banques US qui prêtent à des pays étrangers, notamment d'Amérique latine. Et comme les banques européennes ont commencé à prêter les dollars déposés chez elles – par les pays pétroliers par exemple – une mécanique d'accumulation de créances et de dettes en dollars s'est mise en place, à la fois entre les États-Unis et le reste du monde, puis entre les pays du Nord et les pays du Sud. Le phénomène des euro-dollars qui a permis un recyclage des surplus pétroliers trouve néanmoins sa limite. En octobre 1983 le Mexique ne peut plus rembourser ses banques. D'autres pays suivent. C'est la première crise de la dette, dette des États envers les banques – ce qu'on appelle la finance indirecte, puisque les banques sont des intermédiaires entre ceux qui ont de l'argent et ceux qui en ont besoin.

Les banques sont mal remboursées... elles ne vont plus prêter, du moins plus autant. Quelques années plus tôt, avec l'arrivée au pouvoir du Président Reagan, un vent de déréglementation s'est levé aux États-Unis, qui a touché un nombre grandissant de secteurs – notamment la finance – et s'est étendu largement dans le monde. Les règles étant assouplies, l'imagination a pu se libérer. Les innovations ont alors fleuri, dans la finance plus qu'ailleurs puisque les contraintes y sont moins sévères et qu'elle est même parfois purement virtuelle. C'est alors qu'on a vu les marchés financiers prendre de plus en plus d'importance, les agents préférant se prêter et s'emprunter de moins en moins en passant par les banques, de plus en plus en émettant ou souscrivant, en vendant ou en achetant des titres. Cette désintermédiation financière présente un avantage qui a beaucoup contribué à son succès : sur un marché, les titres peuvent être achetés et vendus sans attendre l'échéance. Le cours assure toujours l'équilibre des transactions.

Mais la finance s'inscrit dans le temps et le futur n'est jamais sûr. On peut se tromper, on peut aussi perdre confiance, on peut surtout s'entraîner les uns les autres, sans même le savoir... Les réactions peuvent alors s'enchaîner, jusqu'à ce que la confiance soit compromise. C'est ce qui s'est passé en 1994 avec la crise des marchés financiers – crise de la finance directe cette fois. Elle a commencé au Mexique à la faveur d'un climat et d'un horizon politiques incertains, s'est propagée en Asie du Sud-Est, en Russie, en Argentine, en Turquie... Elle a suscité quelques réformes

ponctuelles, mais qui n'ont guère stabilisé la finance internationale.

Nous connaissons la suite : la déréglementation a laissé les banques étendre sans limites leurs opérations et fait les beaux jours des fonds spéculatifs et des paradis fiscaux. Des crédits ont été accordés imprudemment (sub-primés) par des banques américaines et ensuite remplacés par des titres (la titrisation) susceptibles d'être échangés sur les marchés comme s'ils étaient remboursés aussitôt. Tout cela a poussé quelques millions de ménages d'Américains à s'endetter exagérément et fragilisé un certain nombre d'institutions financières un peu partout dans le monde. Un retournement du marché immobilier était inévitable, les difficultés des banques de certains pays n'ont pas étonné, la crise financière s'est étendue à l'économie. Il s'est agi cette fois non plus d'une crise de la finance indirecte ou de la finance directe, mais d'une crise générale de la finance. Elle a touché à la fois les institutions et les marchés, à la fois un grand nombre d'institutions et la plupart des agents intervenant sur les marchés en achetant ou vendant des titres, prêtant ou empruntant de l'argent. C'est parce que la crise a été cette fois une crise générale de la finance qu'elle a eu des conséquences sur les pays de la Zone euro.

### **La Zone euro face à la crise**

Dix-sept pays européens sont actuellement membres de la Zone euro. Ils n'ont plus chacun leur monnaie, ils ont la même qu'ils doivent gérer tous ensemble. C'est l'affaire de la *Banque Centrale Européenne* (BCE) dont l'objectif principal, plusieurs fois énoncé par le Traité, est « de maintenir la stabilité des prix » (art. 127 notamment)<sup>1</sup>. Cet objectif est considéré comme atteint si l'inflation est proche de, mais inférieure à 2 %. Le Traité de Maastricht avait bien prévu que pour entrer dans la Zone euro les pays devaient avoir rapproché et réduit leur taux d'inflation. Cela ne voulait pas dire qu'une politique monétaire de stabilité, qui pouvait se comprendre à ce moment-là, allait toujours convenir à tous les pays.. Bien au contraire, les économies ne progressent pas toutes au même rythme ni de la même façon... surtout quand elles doivent réagir à une crise comme celle qui a éclaté en 2007. Il est évident que depuis quelques années des politiques monétaires nationales seraient parfois préférables.

La Zone euro veut dire aussi que les pays ne peuvent plus modifier la valeur de leur monnaie par rapport à celle de leurs partenaires puisqu'ils ont la même, ni par rapport à celle de pays tiers puisque leur politique de change elle aussi devient communautaire. C'est le Conseil des Ministres qui peut conclure des accords de change avec des pays tiers – par exemple avec les États-Unis – ou « formuler des orientations générales de

politique de change vis-à-vis d'autres monnaies » (art. 219). Les pays de la Zone euro ne peuvent donc plus s'ajuster en modifiant leur taux de change. Cela n'est pas gênant à deux conditions qui sont celles auxquelles une zone monétaire est « optimale »<sup>2</sup>. Ou bien aucun pays membre ne risque de subir un choc extérieur qui n'affecterait pas ses partenaires et auquel il lui faudrait réagir. Ou bien un tel choc, que nous appelons asymétrique peut survenir, mais le pays concerné, qui ne dispose plus du taux de change, conserve d'autres moyens de s'ajuster... C'est le déplacement de main-d'œuvre, la flexibilité des prix et des salaires, les transferts consentis par les partenaires...

Qu'en est-il dans la Zone euro ? Il n'était guère possible d'imaginer à sa naissance qu'aucun pays ne serait jamais affecté par un tel choc. La crise de 2007 a transformé ce risque en réalité, tant ses conséquences ont été spécifiques pour chacun des pays, qu'il s'agisse du ralentissement de l'économie, de la solidité du système bancaire, de l'endettement des États. Il est évident que si les pays avaient disposé de leur monnaie nationale, certains l'auraient dévaluée, d'autres l'auraient peut-être réévaluée<sup>3</sup>. Ils n'ont pas pu s'ajuster par les taux de change, ont-ils pu le faire d'une autre façon ?

Au sein de la Zone euro, on imagine mal des déplacements importants de main-d'œuvre entre les pays ou une baisse significative des prix et des salaires chez certains d'entre eux. Il reste le transfert au profit de pays devenus fragiles. Cette solution pose problème. D'une part le budget communautaire est limité (à peine plus de 1 % du *Produit Intérieur Brut*, PIB, alors que le budget fédéral américain atteint 50 % !). Il ne permet pas une aide massive au profit de tel ou tel pays affecté plus durement par la crise. D'autre part, les politiques économiques restent nationales, mais les États ne sont pas pour autant absolument maîtres de leur budget et de leurs dépenses. Ils doivent respecter certaines règles, parmi lesquelles celle dite du non-renflouement. Ni l'Union en tant que telle, ni aucun des États membres ne peuvent « répondre des engagements... d'un autre État membre ni les prendre à leur charge » (art. 125). Un pays ne peut donc en aider un autre.

Cette règle n'est pas la seule relative à la politique économique. Une autre tout aussi importante et aussi bien connue concerne les déficits publics qui ne peuvent dépasser 3 % du PIB et la dette publique qui ne peut dépasser 60 % (art. 126). Ces ratios qui constituent autant de « critères de convergence » mesurant la capacité des pays candidats d'entrer dans la Zone (art. 140) se transforment en contraintes que les pays membres doivent continuer de respecter (art. 126). Cette obligation, sanctionnée par la procédure de déficit

public excessif, a été renforcée par le Pacte de Stabilité et de Croissance qui a précisé les sanctions susceptibles d'être appliquées... mais qui ne l'ont été qu'exceptionnellement, tant cette règle est sévère. Elle l'est devenue bien plus encore avec la crise. Les États ont eu besoin de relancer leur économie et/ou de soutenir leurs banques, ce qui passe par des dépenses et/ou des crédits supplémentaires et contribue à les fragiliser.

Le problème s'est posé avec la Grèce, mais cette fois pour des raisons spéciales. Au moment de son adhésion, en 2001, ce pays ne satisfaisait pas à ces deux critères. Son déficit était plus du double de celui annoncé ! Il s'est agi non pas bien sûr d'une erreur de calcul, mais d'une falsification des comptes nationaux. Il faut savoir que les comptes de l'ensemble des agents économiques d'un pays n'ont pas la précision des comptes d'une entreprise qui sont régulièrement certifiés. Ajoutons à cela que la Grèce est peu industrialisée, qu'elle est une économie de services dans laquelle la productivité ne s'améliore que lentement, que sa balance courante est fortement déficitaire, que son endettement croît inexorablement... et que les agences de notation permettent de savoir, et rapidement, comment évolue la situation d'un pays. Les difficultés de la Grèce se sont étendues à l'Irlande, puis au Portugal, puis à l'Espagne. L'Italie et la France semblaient en deuxième ligne. Un pays ne pouvait plus faire face à lui seul aux problèmes engendrés par la crise. Il fallait que la Zone euro, et au-delà la communauté internationale, réagisse sans tarder.

Une *première* mesure a concerné la politique monétaire qui est devenue « non conventionnelle » ce qui n'est guère conforme à l'article 127. La BCE n'a pas seulement baissé ses taux pour rendre le crédit moins cher, elle a prêté aux banques pratiquement sans limites, pour une durée inhabituellement longue et en acceptant en garantie des titres risqués dont les banques n'étaient pas mécontentes de se débarrasser ! La *deuxième* mesure a concerné encore la BCE qui a commencé en mai 2010 à acheter sur le marché dit secondaire – c'est le marché de l'occasion – des titres émis par des pays en difficultés. Cette procédure fait baisser les taux auxquels ces pays peuvent emprunter : c'est une aide qui leur est consentie indirectement, en contradiction formelle avec le Traité (art. 123) comme avec les statuts de la BCE ! La *troisième* mesure est la mise en place d'un système d'assistance financière conditionnelle pouvant atteindre 500 milliards d'euros, pour la plupart empruntés sur les marchés avec la garantie des États et complétés par 250 milliards que pourrait prêter le Fonds Monétaire International, lequel ne prête plus qu'aux pays du Tiers monde ou émergents depuis 35 ans ! C'est de cette façon que la Zone euro espère se mettre à l'abri des remous que la finance internationale pourrait continuer

d'engendrer. En fait, d'autres mesures ont dû être prises, très rapidement, afin de préserver l'avenir de la zone euro.

### Quel avenir pour la Zone euro ?

La crise financière qui a éclaté en 2007 a donc conduit à un assouplissement de la politique monétaire de la BCE afin de relancer l'activité économique. Les États de la Zone ont de leur côté lancé des plans de relance qu'ils ont financés en s'endettant toujours davantage, à la fois en empruntant aux banques et surtout en émettant des obligations sur les marchés. La solvabilité de certains États, évaluée par les agences de notation, s'est rapidement dégradée. La situation de certaines banques s'est également détériorée. Comme les traités n'avaient pas prévu de mécanisme de gestion des crises, il avaient même interdit la solidarité entre les pays (art. 125, le non-renflouement), les pays européens ont dû prendre rapidement, dans les années qui ont suivi, les mesures susceptibles d'assurer la stabilité de la Zone.

Une première mesure a été la décision de créer un mécanisme permanent de gestion des crises sous forme d'un *Mécanisme Européen de Stabilité* (MES) qui doit compléter en juillet 2013 la facilité créée dans l'urgence trois ans plus tôt. Ce nouvel organisme, qui pourra disposer au maximum de 700 milliards d'euros, pourra acheter des titres émis par les États. Cette aide n'est possible que parce que le Traité de Lisbonne a été modifié. Un alinéa 3 a été ajouté à l'article 136 qui prévoit que « les États membres dont la monnaie est l'euro seront autorisés à créer un mécanisme de stabilité qui sera activé si cela s'avère indispensable pour garantir la stabilité de la Zone euro dans son ensemble. L'accès à toute assistance financière dans le cas du mécanisme sera soumis à une conditionnalité stricte ». Ainsi un pays ne pourra bénéficier de ce système que s'il s'engage à respecter certaines conditions de nature à réduire son endettement. On retrouve là les conditions habituelles du FMI. Avec ce mécanisme, la Zone euro s'est dotée d'une sorte de Fonds Monétaire Européen. Mais la comparaison ne peut être poussée trop loin. Le MES par exemple peut emprunter sur les marchés et il peut utiliser une fraction de ses ressources pour soutenir des banques en difficultés.

D'autres mesures ont concerné les politiques économiques, dont on sait qu'elles restent nationales, afin de renforcer la gouvernance économique au sein de la Zone. Ces mesures se sont étalées sur plusieurs années. C'est le « semestre européen », qui doit permettre une meilleure conformité des programmes économiques et des budgets nationaux avec une stratégie collective. C'est le « six pack », ensemble de règlements européens qui renforcent la surveillance des États en matière de finances publiques. L'évolution de

la dette est maintenant surveillée elle aussi, comme le déficit. Alors que la procédure de déficit excessif devait être décidée à une certaine majorité, elle devra maintenant être refusée à cette majorité, elle s'appliquera donc plus souvent. Un ensemble d'indicateurs susceptibles de caractériser des déséquilibres macro-économiques pourront déclencher une procédure de « déséquilibre excessif » qui pourra elle aussi obliger un pays à payer une amende. Toutes ces mesures, et il en est d'autres, telles que la nécessité d'équilibrer les comptes (la règle d'or), sont reprises dans un nouveau *Traité sur la stabilité, la coordination et la gouvernance* (TSCG) accepté non pas par les 27 pays de l'Union européenne, mais par 25 seulement, le Royaume-Uni et la République tchèque l'ayant refusé.

La Zone euro est-elle maintenant tirée d'affaires ? Les pays ont les moyens de s'entraider et ils peuvent le faire. Leurs politiques économiques sont désormais mieux encadrées, et sans doute plus efficacement. Mais les problèmes demeurent. Un *premier* est lié à l'histoire même de cette Zone. La monnaie unique devait être un facteur de cohésion entre les pays membres en même temps qu'elle entraînerait une croissance plus soutenue. Au bout de quinze ans, la croissance y est plus faible que dans la plupart des régions dans le reste du monde.

### Situation des pays membres de la Zone euro (2012)

Date entrée	Pays	Déficit public en %	Dette publique en %	Taux de croissance en %	Taux de chômage en %	Solde bal. commerc. en %
1999	Allemagne	-0,2	81,9	0,7	5,4	6,4
	France	4,8	90,2	-0,1	11,0	-1,8
	Italie	3,0	127,0	-1,3	12,0	-0,5
	Espagne	10,6	84,2	-1,5	26,8	-0,9
	Pays-Bas	4,1	71,2	-1,0	6,5	8,2
	Belgique	3,9	99,6	-0,3	8,4	1,0
	Portugal	6,4	123,6	-3,2	17,8	-1,9
	Autriche	2,5	73,4	0,8	4,9	3,0
	Irlande	7,6	117,6	0,9	13,5	5,0
	Finlande	1,9	53,0	-0,2	8,2	-1,6
	Luxembourg	0,8	20,8	0,3	5,6	5,6
2001	Grèce	10,0	156,9	-4,2	26,8	-5,3
2007	Chypre	6,3	85,8	-8,7	15,6	-4,8
	Malte	3,3	72,1	1,0	6,4	-0,8
2008	Slovénie	4,0	54,1	-2,3	10,2	2,7
2009	Slovaquie	4,3	52,1	2,0	14,5	2,0
2011	Estonie	-0,3	10,1	3,2	8,7	-3,1
2014	Lettonie					
	ZONE EURO	3,7	90,6	-0,3	12,2	1,8

*Un déficit public négatif correspond à un excédent.*

*Le solde commercial (écart entre exportations et importations) est en % du PIB.*

Quant à la convergence, il est facile de voir dans le tableau ci-dessus que l'évolution s'est plutôt faite en sens inverse, tant les écarts entre certains pays sont devenus énormes. Un *deuxième* problème tient au fameux approfondissement. Jusqu'où faut-il aller dans le processus d'intégration ? On a décidé au départ une politique monétaire commune avec des politiques économiques nationales. Pour beaucoup ce n'est pas

assez. Un pas de plus a été fait en réponse à la crise, mais va-t-il suffire à assurer une plus grande cohésion dans la Zone et à éviter d'autres difficultés ? Certains pensent qu'il faut franchir le pas vers un fédéralisme géré par les institutions européennes alors que d'autres veulent maintenir une Europe contrôlée par les États.

Un *dernier* problème concerne l'élargissement. Onze pays ont adopté l'euro le 1<sup>er</sup> janvier 1999, la Grèce deux années plus tard, sur la base de comptes erronés. 17 pays sont actuellement membres de la Zone mais onze autres membres de l'Union européenne ont vocation à y entrer, sauf le Royaume-Uni qui a obtenu le droit d'attendre sans fin. Ces adhésions étaient plus ou moins programmées il y a dix ans, elles soulèvent beaucoup moins d'enthousiasme depuis... La Lettonie est une exception assez inattendue. Et que dire des pays qui sont candidats (la Turquie...) ou de ceux qui sans doute vont l'être un jour ou l'autre (la Serbie ou le Kosovo...) ? Ce n'est pas demain que la Zone euro sera géographiquement et donc politiquement durablement stabilisée !

Elle le sera d'autant moins qu'elle pourrait fort bien, à l'inverse, se rétrécir. Avant la crise, la sortie d'un pays, en l'occurrence celle de la Grèce, ne pouvait être sérieusement évoquée. Elle apparaît aujourd'hui comme une option parfaitement plausible, même si elle soulève un grand nombre de difficultés, et alors que ses conséquences politiques autant que financières risqueraient d'être désastreuses pour le pays concerné ! Une autre perspective est la sortie de l'Allemagne. Elle est plus rarement évoquée, et elle apparaît plus singulière, mais en définitive elle se comprendrait fort bien. L'Allemagne qui est le pays le plus performant de la Zone pourrait être tentée de ne plus accompagner et soutenir des partenaires dont la politique économique est moins rigoureuse et qui ne font pas autant d'efforts qu'elle. Un tel scénario en ouvre automatiquement d'autres. Plusieurs pays par exemple pourraient décider de sortir ensemble, soit vers le haut, soit vers le bas, et plutôt que de reprendre chacun leur liberté en retrouvant une monnaie nationale, conserver entre eux, mais entre eux seulement, une même monnaie. On aurait ainsi un nouvel euro distinct de l'ancien, l'un serait plus fort, l'autre serait plus faible, la valeur de l'un par rapport à l'autre serait indiquée par le marché.

Ces perspectives font peur. Elles semblent bien irréalistes aujourd'hui. Mais dans vingt ans, ou même plus tôt si la crise des dettes souveraines s'éternise, si une reprise durable de l'activité se fait attendre, si un pays, parmi ceux d'aujourd'hui ou parmi ceux à venir, peine réellement à rester proche des autres ? Si la crise financière doit se prolonger ou réapparaître sous une forme ou sous une autre, c'est l'existence même de la

Zone euro sur ses bases actuelles qui pourrait se trouver compromise.

Il est difficile de déterminer exactement quelle est la responsabilité de la crise financière internationale dans la crise de la Zone euro. On ne peut douter qu'elle en ait accentué l'ampleur. La BCE n'a-t-elle pas été obligée de suivre la *Réserve Fédérale américaine* et d'adopter une politique qui n'était pas exactement celle imposée par les traités européens ? Les pays de la Zone euro n'ont-ils pas laissé leur endettement s'accroître au gré des mesures de soutien qu'ils ont décidées à la suite des États-Unis et comme le Japon ? Dès lors, la stabilité de la Zone euro pourra-t-elle être assurée d'une façon durable si la finance internationale ne retrouve pas elle-même une plus grande stabilité ?

Des mesures ont été prises en ce sens depuis le début de la crise, notamment par le G 20. Elles concernent la surveillance bancaire comme les paradis fiscaux, le contrôle des agences de notation comme la gouvernance au sein du Fonds Monétaire International. Mais elles ne concernent en rien la monnaie internationale. C'est pourtant là la vraie réforme dont le monde a besoin. La Zone euro, qui a tant de peine à gérer sa monnaie en ces temps de crise, pourra-t-elle le faire mieux à mesure que sa monnaie deviendra de plus en plus une monnaie internationale et sera de plus en plus utilisée par le reste du monde ?

#### Notes

<sup>1</sup>Les articles sont ceux du Traité de Lisbonne. Leur numérotation a changé par rapport au Traité de Maastricht, mais pas leur contenu pour ceux que nous citons.

<sup>2</sup>Nous exposons ici – succinctement – la thèse de la zone monétaire optimale défendue par Robert Mundell.

<sup>3</sup>Dans l'hypothèse où le système monétaire européen basé sur des parités de chaque monnaie aurait été maintenu. Sinon, les monnaies se seraient dépréciées ou appréciées sur le marché des changes.

#### Bibliographie :

BANQUE DE FRANCE, De la crise financière à la crise économique, *Documents et débats*, n°3, janvier 2010.

BOURRINET J. et VIGNERON P., *Les paradoxes de la zone euro*, Bruylant, Bruxelles, 2010.

DEVOLUY M., *L'euro et-il un échec ?*, La Documentation Française, Coll. Reflexeurope, Paris, 2011.

LE HERON E., *A quoi sert la Banque Centrale Européenne ?*, La Documentation Française, Coll. Reflexeurope, Paris, 2013.

LELART M., *Le système monétaire international*, La Découverte, Coll. Repères, Paris, 8<sup>ème</sup> édition, 2011.

19 février 2013

## LES NANOTECHNOLOGIES : QUESTIONS, ENJEUX POUR LA SANTÉ

Modératrice : Rodica RAVIER, Directrice de Recherche honoraire au CNRS

### Questions et enjeux des nanotechnologies

Alexei GRINBAUM

Physicien au Laboratoire des Recherches sur les Sciences de la Matière, CEA-Saclay

**N**anosciences et nanotechnologies ne sont pas le fruit d'une rupture brutale, mais résultent d'une évolution s'étendant sur quelques dizaines d'années. Elles concernent plusieurs disciplines scientifiques : physique, chimie, biologie, informatique ou sciences des matériaux. Le moment décisif a été l'invention, au milieu des années 1980, du microscope à effet tunnel qui a permis aux scientifiques d'agir directement à l'échelle nanométrique.

Si elles enthousiasment les chercheurs, les « nanos » inquiètent une partie du public. Ne pourraient-elles pas modifier profondément nos corps, notre environnement, notre rapport à la nature, voire nos relations à autrui ? Ne risquent-elles pas d'effacer la frontière entre l'inerte et le vivant ? Et ne nous obligeront-elles pas à préciser

bientôt ce qui, dans l'homme, doit être considéré comme intangible et ce qui peut être amélioré ?

Le débat, on le voit bien, se situe sur deux registres différents. Le premier questionne le cadre législatif national et européen. Comment faut-il organiser le processus de transfert technologique de la recherche vers l'industrie ? Quel cadre juridique concevoir pour fixer les limites de ce qui est autorisé ?

Le deuxième interpelle davantage les représentations symboliques d'un monde invisible susceptible d'être manipulé à notre insu. Quels enseignements tirer de ce débat pour prendre en compte aussi les enjeux éthiques et sociaux ?

### La nanomédecine : une réponse aux limites des traitements actuels

Laurent LÉVY

Président du Directoire et co-fondateur de la Société Nanobiotix, Paris

(Cf. également sa contribution indépendante sur le site <http://lecercle.lesechos.fr> du journal Les Échos)

#### La nanotechnologie

**L**es nanosciences et les nanotechnologies recouvrent l'ensemble des activités scientifiques et technologiques intervenant à l'échelle nanométrique : ce sont les sciences de l'infiniment petit. Elles font référence à la compréhension de phénomènes et à la fabrication d'objets qui ont une taille à l'échelle du nanomètre (nm), soit 1 milliardième de mètre ou  $10^{-9}$  mètre. Les nanoparticules font partie de ces objets.

Les nanotechnologies, déjà présentes dans un nombre important de produits, révolutionnent de manière profonde de nombreux domaines. Elles sont déjà largement présentes dans des applications comme l'électronique, les pigments pour les peintures ou le

papier, le renfort des pneus, les systèmes de délivrance pour les médicaments, et intégrées dans un nombre de produits finis important. Le marché des nanotechnologies pourrait dépasser les 1.000 Md\$ d'ici 2015 (étude de LEEM et Bionest Partners en octobre 2008). La santé est un secteur en pleine croissance qui devrait bénéficier largement de l'apport des nanotechnologies.

#### La nanomédecine

Dans l'étude menée par le LEEM et Bionest Partners en octobre 2008, la nanomédecine est considérée comme étant l'un des principaux leviers de croissance de l'industrie pharmaceutique pour les décennies à venir. Si l'on se réfère à la définition de la Plateforme Technologique Européenne de Nanomédecine (ETPN), la nanomédecine est l'exploitation de nanotechnologies

pour le développement d'applications de ruptures dans le domaine de la santé. Ces applications sont possibles grâce à l'exploitation des propriétés physiques, chimiques et biologiques des matériaux à l'échelle nanométrique et autorisent ainsi des approches novatrices.

Disposer de matériaux à l'échelle du nanomètre permet deux choses essentielles :

- obtenir des propriétés qu'il est impossible d'acquérir avec des matériaux non nanométriques. Un des aspects les plus révolutionnaires de cette approche utilisant des « nanos » est la maîtrise de principes scientifiques et de matériaux dotés de propriétés entièrement nouvelles, qui apparaissent lorsque la taille d'un objet passe en dessous d'un seuil ;
- disposer d'objets compatibles avec l'échelle de la cellule pour qu'ils puissent interagir à l'intérieur de celle-ci.

Lors du traitement d'une maladie, deux approches s'imposent habituellement : l'approche macroscopique et l'approche moléculaire (se référer au schéma ci-dessous).

L'approche macroscopique peut être définie comme celle où l'on utilise des outils avec des fonctions

physiques précises (découper, imager...) : scalpel, équipement d'imagerie ou sonde.

L'approche moléculaire (impliquant des interactions entre molécules) utilise, quant à elle, des produits tels que des médicaments (molécules chimiques ou biologiques) pour générer un effet thérapeutique ou faire un diagnostic.

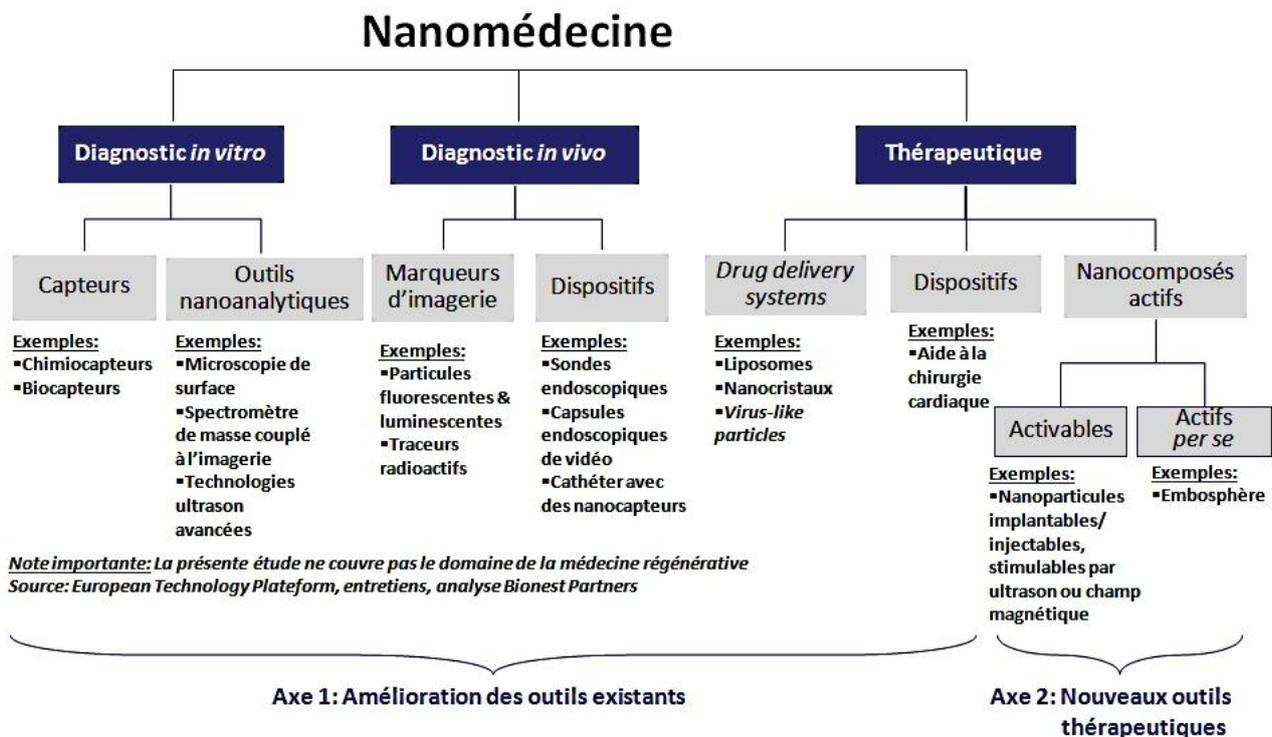
Ces deux mondes ne se croisaient pas jusqu'à l'apparition de la nanomédecine. Son caractère novateur est donc de permettre la fabrication d'objets présentant des fonctions physiques capables d'interagir à l'échelle de la cellule jusqu'à l'échelle moléculaire.

Ces technologies permettent par exemple de produire un diagnostic plus rapide mais aussi de rendre les médicaments moins toxiques ou plus efficaces.

### Quelles applications ? Pour quelle valeur ?

La nanomédecine est aussi large que la nanotechnologie et s'applique de différentes façons dans le domaine de la santé.

Le schéma ci-dessous présente une segmentation des applications de la nanomédecine en fonction de leur utilisation en thérapie ou en diagnostic.



Applications de la nanomédecine (Drug delivery systems : systèmes de délivrance pour des médicaments ou nanovecteurs). Source : étude du LEEM et de Bionest Partners sur la nanomédecine, oct. 2008.

Si les applications sont très nombreuses et variées, il est néanmoins possible de déterminer deux grands axes de la nanomédecine.

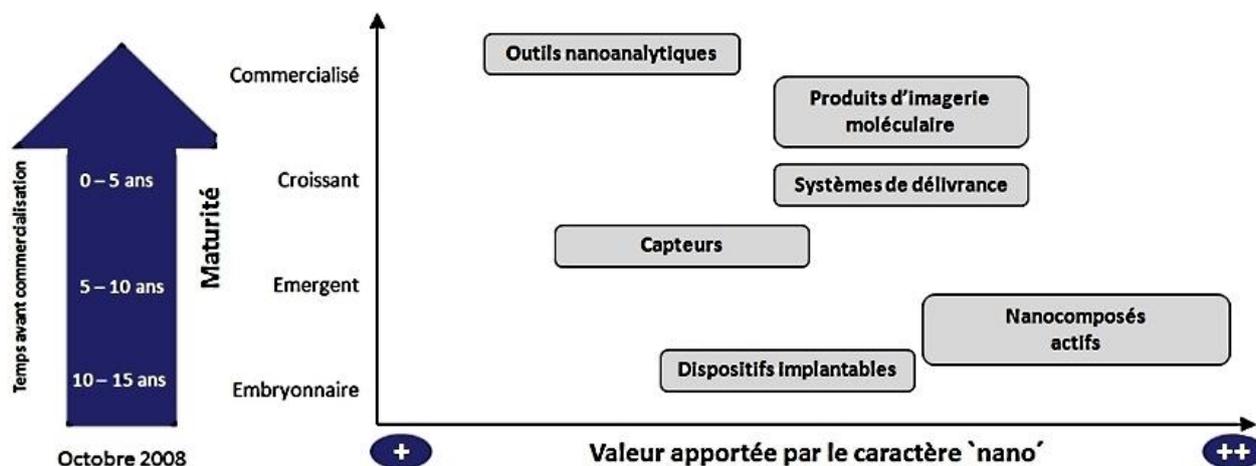
Le premier concerne les améliorations d'approches existantes. Par exemple, les systèmes pour la délivrance

des médicaments (principe actif) ou *nanovecteurs*, qui visent à améliorer la distribution des produits dans le corps et/ou à diminuer leur toxicité. Ces approches donnent des outils plus efficaces, notamment appliqués au cancer, mais ne changent pas les fondamentaux car

elles font intervenir des molécules thérapeutiques qui gardent leurs caractéristiques intrinsèques.

Le second axe, qui selon le LEEM (les entreprises du médicament) a beaucoup plus de valeur, est celui qui apporte une innovation de rupture en utilisant une nanoparticule elle-même comme principe actif. Il ne s'agit plus du principe du médicament pour lequel les interactions moléculaires jouent un rôle prépondérant, mais de la nanoparticule elle-même qui va générer un effet physique à l'intérieur de la cellule pour en modifier le comportement. Dans cette approche, toute la

valeur est portée par les nanoparticules, le produit ne pouvant exister sans cette dernière. Ce bouleversement est apporté par la possibilité d'utiliser de nouveaux mécanismes thérapeutiques et de dissocier les différentes fonctions du produit telles que la biodistribution, la toxicité et l'effet thérapeutique, ce qui n'était pas possible avec les médicaments classiques. Les nouveaux outils apportés par cette dernière approche pourront probablement révolutionner la façon de diagnostiquer et traiter les maladies, ouvrant ainsi de nouvelles opportunités très significatives à l'industrie pharmaceutique.



Valeur et maturité des produits de nanomédecine. Source : étude du LEEM et de Bionest Partners sur la nanomédecine, oct. 2008

C'est sur ces opportunités offertes par l'introduction des nanotechnologies dans la médecine que s'est construit le projet de Nanobiotix dont l'objectif est d'amener de

nouveaux modes d'actions physiques au cœur de la cellule pour développer de nouveaux outils thérapeutiques en oncologie.

9 avril 2013

## LES FORÊTS TROPICALES : QUEL AVENIR

Modératrice : Françoise SAINTENY, Directrice de Recherche honoraire au CNRS

### Les forêts tropicales : enjeux, menaces, espoirs

**Francis HALLÉ**

Professeur honoraire à l'Université de Montpellier

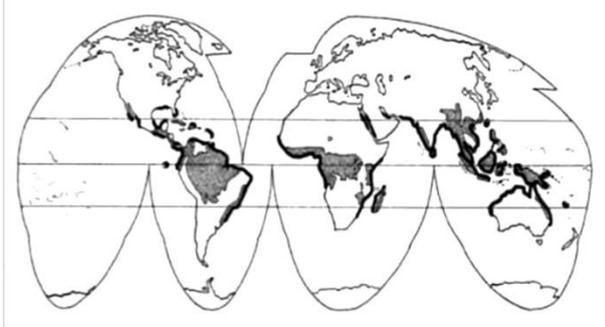
(Texte rédigé par Françoise Sainteny en accord avec l'auteur et paru - sans la 2<sup>ème</sup> figure - le 15.05.2013 sur le site <http://lecercle.lesechos.fr> du journal Les Échos)

**L**a forêt tropicale est présente dans 76 pays. Un milliard de personnes y vivent. Des villes énormes y sont implantées, Abidjan, Lagos, Douala en Afrique, Manaus, Belem do Para en Amérique du sud ou Djakarta, Singapour, Bangkok en Asie. À première vue, rien ne distingue une forêt tropicale d'un continent à l'autre. En réalité, tout est

différent. Aucune espèce végétale ou animale n'est commune aux forêts des trois continents.

L'essentiel pour les forêts tropicales, c'est la pluie. Raison pour laquelle les anglais les appellent « Rain Forests ». Récemment, l'Institut de Recherche sur l'Amazonie à Manaus a démontré que la saturation de

l'air en humidité ne suffit pas pour qu'il pleuve car, pour se former, les gouttes de pluie ont besoin de germes. Dans nos régions, les poussières ambiantes en font office mais dans les forêts tropicales il n'y a pas la moindre poussière. Ce sont les arbres qui produisent les germes sous forme de molécules spécifiques et volatiles sur lesquelles les molécules d'eau vont s'agglutiner pour former les gouttes. Dans une certaine mesure, les arbres de la forêt tropicale contrôlent la pluie qu'ils reçoivent.



*Répartition des forêts tropicales dans le monde*

Beaucoup d'idées reçues, débordantes de superlatifs, courent sur les forêts tropicales. Les arbres y seraient plus gros, plus grands que dans nos forêts. Faux : les arbres les plus gigantesques se trouvent en Californie ou dans le sud australien, donc tout à fait en dehors des tropiques. Les forêts tropicales seraient plus lourdes que celles de nos contrées. Faux, encore : l'évaluation du poids des forêts a montré que la forêt tropicale pèse 500 tonnes à l'hectare, soit 2 à 3 fois moins que les forêts tempérées. On croit aussi que les arbres de forêt tropicales poussent plus vite que ceux de nos forêts. Cela n'est vrai que pour certaines espèces pionnières qui peuvent atteindre 9 mètres de haut en un an, 23 mètres en 3 ans. Mais dans les forêts primaires intactes, les arbres ne poussent pas plus vite que nos chênes.

### **Forêts tempérées, forêts tropicales : des contraintes différentes**

Curieusement, l'énorme différence qui existe entre les deux types de forêts a été découverte récemment (1950) : elle se situe dans des facteurs limitants, appelés contraintes. Chez nous, les contraintes sont physiques. L'hiver, avec les jours très courts, le gel, la neige, le froid. L'été, avec la sécheresse, le feu. Plus ces contraintes physiques sont fortes, moins il y a d'espèces vivantes. Dans les régions tropicales le climat est constant. Il fait toujours humide, toujours lumineux. Il y a des vents, mais ils sont calmes, pas de cyclones ni de tempêtes. Les contraintes physiques sont remplacées par des contraintes biologiques gigantesques venant des autres êtres vivants, celles qu'exercent les animaux sur les plantes, et les plantes sur les animaux.

Un exemple pris en Amazonie illustre bien à quel point les êtres vivants des milieux tropicaux sont dépendants

les uns des autres. Les fourmis aztèques habitent dans les tiges creuses d'un arbre, l'Imbauba. Elles y trouvent abri. En contrepartie, elles protègent l'arbre de ses prédateurs, les chenilles, qu'elles attaquent impitoyablement. Pour des raisons qui nous échappent, ces fourmis n'attaquent pas certains autres animaux qui vivent dans le même arbre, comme le paresseux. Mammifère très lent, pratiquement immobile, le paresseux échappe à ses prédateurs, d'énormes aigles qui tournent autour de la *canopée* (le haut de la forêt, directement exposé au rayonnement solaire). Comment ? Grâce à un camouflage qui lui fait prendre la couleur de la canopée : ses poils abritent des algues vertes. Et des centaines de papillons se cachent dans les poils du paresseux, devenant eux aussi invisibles aux yeux de leurs prédateurs. Tel un énorme écheveau biologique, tous les êtres vivants de la forêt tropicale sont très étroitement reliés les uns aux autres, ce qui en fait à la fois la richesse et la fragilité.

### **La co-évolution : source de nouvelles espèces**

C'est en 1975, que la co-évolution plantes-animaux a été découverte. Le remplacement des contraintes physiques par des contraintes biologiques aboutit à l'augmentation du nombre d'espèces dont l'évolution devient plus rapide. A ce titre, l'exemple de la co-évolution du papillon *Heliconus* et de la passiflore est édifiant. La femelle de ce papillon pond ses œufs sur la passiflore. Les chenilles naissent et se nourrissent des feuilles de la plante. Cependant, la passiflore présente, comme toutes les espèces, une certaine variabilité : elle devient toxique et bientôt, les chenilles meurent. La variabilité touchant aussi le papillon, un nouvel *Heliconus* apparaît, dont les chenilles sont résistantes à la toxicité de la passiflore. A leur tour, celles-ci deviendront toxiques et donneront naissance à des *Heliconus* toxiques. Papillon dans la forêt tropicale, on est à l'abri de la prédation si l'on est toxique.

L'essentiel est de le faire savoir. Voilà pourquoi l'*Heliconus* est l'un des plus beaux papillons d'Amazonie : sous les tropiques, l'extrême beauté est un danger. C'est ainsi que la ressemblance avec cet *Heliconus* toxique est très avantageuse pour d'autres papillons qui ne sont pas de la même famille, ni toxiques. Cette ressemblance les protège de leurs prédateurs, méfiants. La barrière chimique de la passiflore a ainsi rendu service à son prédateur initial, le papillon. En partant de deux partenaires, un papillon et la passiflore, 150 nouvelles espèces de papillons et près de 150 nouvelles espèces de passiflores sont apparues, démontrant que la co-évolution est un mécanisme de spéciation, une source d'espèces nouvelles.

Le premier relevé du nombre d'insectes dans la canopée tropicale date de 1982. A cette époque, on envoyait un

gaz toxique dans la canopée puis on dénombrait les espèces tombées au sol. Avant 1982 on estimait à 3 millions le nombre d'espèces, un nombre passé à 30 millions en 1982. Certains ont prétendu que 80 % de la diversité biologique de la planète était marine. En réalité, les espèces marines ne représentent que 15 % des espèces vivantes. La forêt tropicale est le milieu le plus vivant du monde. Il constitue le sommet de la biodiversité mondiale.

**CANOPEE**  
**Energie solaire 100 %**  
**Vent**  
**Foudre**  
**Humidité variable**  
**100 % à 30 %**  
**Faune 75 %**



**SOUS-BOIS**  
**Energie solaire**  
**0,5 % à 0,1 %**  
**Pas de UV**  
**Ni vent, ni foudre**  
**Humidité constante**  
**90 % à 100 %**  
**Faune 25 %**

*Caractéristiques de la canopée et du sous-bois dans la forêt tropicale.*

### La forêt tropicale : enfer ou paradis ?

Un paradis pour Darwin. Embarqué à 22 ans avec Fitzroy sur le Beagle, il déclare en arrivant à Rio en 1832 n'avoir « jamais éprouvé de délice aussi intense... ». Il s'extasie sur des papillons bleus et s'écrie « hosanna, hosanna, le plaisir est tel qu'il n'y a aucun moyen ni d'ailleurs aucun espoir d'en éprouver jamais un plus profond ».

Un enfer pour Binger, le gouverneur français de la Côte d'Ivoire, qui en 1887, décrivait la jungle comme un « cauchemar ». Nul doute que si la plus haute autorité du pays adopte une telle attitude, on n'a aucun scrupule à détruire la forêt, surtout lorsque l'opération est rentable. Un siècle plus tard, en 1982, le directeur du Centre Technique Forestier Tropical montrait une ignorance totale de la biodiversité : « remplacer une forêt tropicale par un beau pâturage bien entretenu ou une plantation bien menée de palmiers à huile n'a rien de critiquable, cela vaut bien une forêt ».

### La fin des forêts primaires

La forêt primaire est celle dans laquelle on peut marcher et même courir sans rencontrer d'obstacle. A l'inverse, en forêt secondaire on doit tailler sa route. Aussitôt la forêt exploitée, la lumière pénètre dans le sous-bois et permet à la végétation au sol d'obstruer les pistes.

Encore aujourd'hui on enseigne dans les écoles forestières du Cameroun qu'une forêt non exploitée est destinée à s'étouffer et à mourir. Or les forêts existent depuis 380 millions d'années... Elles sont surtout exploitées pour le bois. Qu'il soit précieux ou non, il attire les convoitises. Les arbres n'ont pas été plantés et la main d'œuvre est sous payée, ce qui rend l'exploitation des forêts très lucrative. La France a malheureusement une place trop importante dans cette exploitation. Tant en Afrique qu'en Amazonie ou en Asie, notre gouvernement aide des compagnies d'exploitation par l'intermédiaire de l'Agence Française de Développement (AFD). Les exploitants n'ont aucune vue d'ensemble, exclusivement préoccupés de technologie et de profit. Actuellement, on assiste à une accélération certaine de l'exploitation des forêts. Les « coupeurs de bois », de plus en plus contestés, pressentent la fin d'une époque qui leur était abusivement favorable.

Dans les années 1960, la forêt tropicale semblaient inépuisables. En 2013, il n'existe plus de forêts primaires ou presque. Luc Jaquet vient de terminer au Gabon, avec Francis Hallé, un film en hommage aux dernières belles forêts d'Afrique. Il n'a pas trouvé de forêt primaire. Il en reste encore, mais il faudrait des jours et des jours de pirogues, puis des jours et des jours de marche pour découvrir quelques hectares de forêt primaire. Pendant le tournage de ce film, « il était singulièrement pathétique d'entendre les scies hurler à intervalles réguliers et de subir les secousses sismiques provoquées par la chute d'arbres gigantesques » raconte Francis Hallé.

### Il ne faut pas désespérer

Quelques pratiques traditionnelles ou innovantes peuvent contribuer à empêcher la forêt tropicale de disparaître.

L'Agroforesterie en fait partie. En effet, il existe sous les tropiques, au Pérou, en Éthiopie, en Indonésie, une tradition agronomique qui associe, grâce à la forte énergie incidente, la forêt à l'agriculture. Très productive, cette association donne aux populations un très bon niveau de vie et, en fin de compte, l'agroforêt joue le même rôle qu'une forêt naturelle. A ne pas négliger non plus, le commerce écologique : si l'achat de bois en provenance des forêts naturelles est à proscrire, acheter le bois de plantations portant le label

écologique est un moyen de faire vivre les habitants du pays et de préserver la forêt, à condition que ce label regagne de sa crédibilité, actuellement en baisse à cause des pratiques du bureau Veritas qui prévient les entreprises de son passage.

L'écotourisme en canopée est une nouveauté à suivre. Comparée à l'écotourisme pédestre, il a l'avantage de ne pas compacter les sols. De même, « les maisons dans les arbres » à usage des touristes constituent aujourd'hui une mode qui se répand. Cette mode pourrait gagner les forêts tropicales. Au Laos, à Bokéo, vous pouvez passer la nuit dans la canopée et entendre chanter les gibbons. La biochimie peut aussi offrir un avenir à la forêt : la canopée contient 4 à 5 fois plus de molécules actives

que le sous-bois de la forêt. Molécules exploitables en phytochimie et en pharmacologie sans dommage pour la forêt car les feuilles repoussent rapidement. Enfin, les Néerlandais ont entrepris de développer le « canopy farming », une innovation qui exploite les conditions climatiques exceptionnelles régnant dans les hauteurs de la forêt ; les plantes y sont cultivées sur des plateaux reposant sur la canopée.

On se souvient du film de Cousteau, *Le monde du silence*. Il faisait découvrir l'univers sous-marin. Ce que l'on découvre dans les forêts tropicales est au moins aussi beau et écologiquement nécessaire. Raison de plus pour ne pas le perdre.

## Les forêts tropicales : Back to the future !

**Pierre-Michel FORGET**

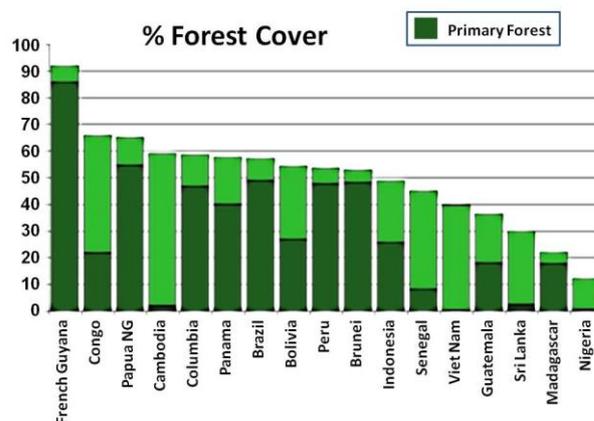
Maître de Conférences au Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris

Chargé de mission au CNRS, Président de l'Association for Tropical Biology and Conservation (2008)

(Texte paru le 23.04.2013 sur le site <http://lecercle.lesechos.fr> du journal Les Échos)

**G**uyane, Surinam, Guyana, Panama, Costa Rica, Queensland (Australie), Mata Atlantica et Pantanal (Brésil), Petites Antilles, Mascareignes, Indonésie, Tanzanie, Ouganda, Rwanda... Après avoir visité toutes ces contrées, on peut se faire une idée du meilleur et du pire sur notre planète en matière de conservation des forêts tropicales sèches et humides, qu'elles se situent en zone littorale, en plaine ou en montagne, jusqu'à des altitudes extrêmes de 2 200 à 2 600 mètres.

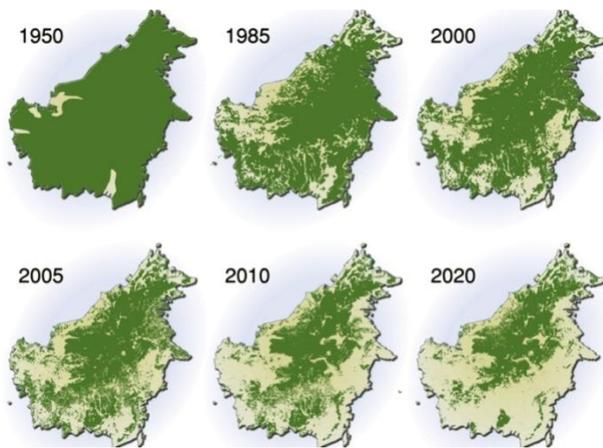
Le pire tout d'abord, avec le Nigéria, pays le plus peuplé d'Afrique, le 7<sup>ème</sup> au Monde, qui a aujourd'hui perdu 95 % de sa couverture forestière, dont 47 % entre 1990 et 2010. La forêt y est aujourd'hui très fortement fragmentée. L'agriculture, l'élevage des bovins et l'exploitation du bois en sont les causes. Paradoxalement pour un pays producteur de pétrole, le bois, au Nigéria, est surtout utilisé pour la production de charbon de bois. Le meilleur, la Guyane. Département français privilégié, morceau d'Europe en Amérique du sud, la Guyane est boisée à 95 % par de la forêt dite « primaire ». Celle-ci n'a perdu que 1,3 % de sa surface au cours des vingt dernières années. Elle est encore continue, peu perturbée par le développement des infrastructures routières mais néanmoins affectée par les activités aurifères légales ou illégales, une des causes principales de la déforestation.



Préservation de la forêt primaire tropicale (vert foncé) par rapport à la forêt totale, en % du territoire, selon les pays.

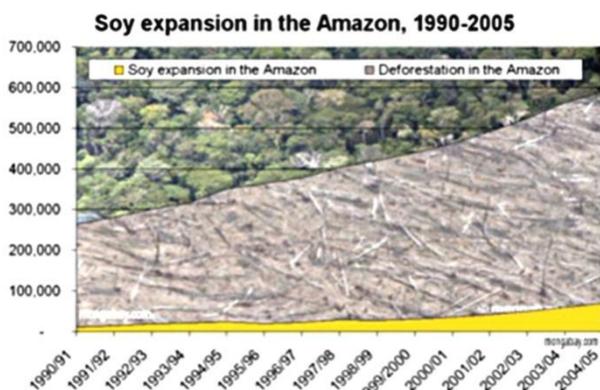
### Maintenant, la menace se trouve plutôt dans l'accumulation de pratiques fâcheuses

Entre ces deux extrêmes, il existe toute une gamme de situations contrastées. Elles s'accompagnent souvent d'efforts différents d'un pays à l'autre pour conserver et protéger la couverture forestière et sa biodiversité. Le cas de Bornéo préoccupe fortement les biologistes tropicaux nationaux et internationaux en ce début de siècle. En 1985, 75 % de sa surface était encore couverte de forêts tropicales. Vingt années plus tard, il n'en restait que la moitié. Les prévisions sont alarmistes, voire décourageantes. Un tiers seulement de la surface de l'île-continent serait encore boisé en 2020.



Déforestation à Bornéo.

Au Cameroun, les prévisions ne sont guère plus réjouissantes malgré une persistance assez élevée de la couverture forestière, quoique amputée de 18 % entre 1990-2010. D'une manière générale, à Bornéo, au Cameroun, et dans tous les autres pays tropicaux, les forêts sont en sursis depuis 20 ans. Les petites exploitations agricoles gérées par les populations locales ont cessé d'être la cause principale de la déforestation et de la fragmentation de la forêt. Maintenant, la menace se trouve plutôt dans l'accumulation de pratiques fâcheuses. La mauvaise gestion de l'exploitation des ressources ligneuses destinées au bois d'œuvre et à la production de pâte à papier en est une. L'industrialisation croissante des cultures (soja, maïs, palmier à huile) ainsi que la prolifération des élevages extensifs de bétail, une autre.



Progression de la déforestation en Amazonie (courbe supérieure) et, en parallèle, de la culture du soja (en jaune).

Enfin, le développement intempestif des infrastructures (routes, barrages), principales voies d'accès aux parcs et aux réserves, au cœur des forêts, constituent des portes ouvertes à la déforestation et à la défaunation. L'avenir de Bornéo reste l'objet d'une vive préoccupation, comme le sont aussi l'île de Sumatra en Indonésie, l'Amazonie, le bassin du Congo, la Nouvelle Guinée, et les nombreux parcs nationaux et réserves naturelles de la planète soumis à des pressions anthropiques croissantes.

## Le futur, hier, c'était demain qui est devenu "aujourd'hui"

Entre 1960 et 2000, la population mondiale est passée de 3 à 6 milliards d'habitants. Dix ans plus tard elle atteignait 7 milliards. Parallèlement, la forêt tropicale, principale source de stockage du carbone atmosphérique, était progressivement remplacée par des plantations de palmiers à huile et d'arbres à croissance rapide producteurs de pâte à papier. Paul Richard dès 1950, puis Tim Whitmore en 1990 s'interrogeaient déjà sur le futur des forêts tropicales : il n'était pas radieux. Mais il aura fallu attendre la fin du XX<sup>e</sup> siècle pour que la protection des forêts tropicales soit mise en place.

Cette année, en juin, nous célébrerons au Costa Rica, le 50<sup>ème</sup> anniversaire de l'ATBC (*Association of Tropical Biology and Conservation*). A-t-on réussi depuis 1963 à enrayer la déforestation ? Il est clair aujourd'hui, face aux bilans scientifiques publiés par centaines, que la catastrophe annoncée est sur le point de se réaliser bien que l'on puisse afficher de nombreuses réussites ponctuelles. En 2008, par exemple, sous la présidence de Nicolas Sarkozy, l'expertise scientifique de Pierre-Michel Forget, alors président de l'ATBC, et de Odile Poncy, a abouti au rejet d'un projet minier sur la montagne de Kaw en Guyane.

Pour faire mentir les augures qui, en l'an 2000, prédisaient la disparition des forêts tropicales dans les 40 prochaines années, il faut agir en urgence. L'arrivée des générations de jeunes scientifiques motivés nous interdit un pessimisme démobilisateur. Il faut tendre vers l'excellence en biologie tropicale. Il faut changer de paradigme scientifique : le temps de la « Science de la Conservation » doit devenir celui de l'« Action de la Conservation ». Aujourd'hui, nos connaissances sont devenues très largement suffisantes pour que notre discours soit crédible. Tant auprès des dirigeants politiques que des gestionnaires et des populations des pays tropicaux en développement. Il faut convaincre ces populations que non seulement leur propre survie, mais aussi le bien-être de tous les habitants de la planète, dépend de la pérennité de leurs forêts et de la résilience de leur diversité. Les parcs nationaux, les réserves naturelles, les forêts occupées par les autochtones et les locaux constituent une véritable assurance-vie. Souvent menacés par des exploitants peu scrupuleux, ces ensembles constituent les derniers remparts contre la déforestation et la perte de diversité. Car même fortement fragmentés, ils continuent à héberger et à préserver une grande partie de la diversité biologique tropicale. Comme en témoigne ce constat : on peut encore, aujourd'hui, découvrir des espèces inconnues dans les réserves naturelles situées à proximité d'agglomérations de plusieurs millions d'habitants.

## **Le "No future" des forêts tropicales (Forget 2004a) n'a plus lieu d'être**

Lors des dernières glaciations, il y a environ 12 000 ans, les forêts tempérées d'Europe ont pratiquement disparu, cantonnées autour du bassin méditerranéen. Grâce au réchauffement climatique et aux animaux disséminateurs de graines, geais ou écureuils, les chênes ont recolonisé tout le territoire perdu. Certes, au prix d'une perte de diversité. Tout comme les forêts tempérées, aujourd'hui florissantes après avoir été détruites au Moyen Âge. Même la Chine voit actuellement la surface de sa forêt augmenter. Aucune raison pour que cela ne se produise pas de la même façon sous les tropiques : lors des dernières glaciations les zones de savane ont été en grande partie reprises par la forêt grâce à la dispersion des graines par les animaux frugivores. Plusieurs initiatives, au Costa Rica, au Vietnam, au Rwanda, démontrent que les forêts tropicales peuvent être régénérées. A l'instar de la forêt de Fontainebleau, replantée et aménagée par Colbert au XVII<sup>ème</sup> siècle et qui offre de nombreux services écosystémiques au XXI<sup>ème</sup> siècle.

L'urgence est dans la conservation des arbres fructifères, les porteurs de graines, et des animaux qui les disséminent. Plus tard, la forêt s'enrichira de nouvelles espèces dispersées par les animaux venant des

zones protégées où la diversité est conservée *in natura*. La couverture boisée se reconstituera, le stockage du carbone atmosphérique reprendra, minimisant les effets du réchauffement climatique. Alors, comme après tout épisode catastrophique - et si tant est qu'on puisse considérer l'espèce humaine comme une espèce invasive dotée d'une forte propension à s'adapter, inventer, se disperser, se multiplier pour mieux coloniser tous les milieux naturels, quitte à mettre sa propre existence en danger - l'action de l'homme sur l'environnement pourra être considérée comme maîtrisée, normale. Alors le temps permettra aux autres espèces de reprendre leur place et de s'y diversifier. Mais c'est une autre histoire naturelle qui n'est pas à notre échelle de temps géologique.

### **Bibliographie**

FORGET, P.-M. (2003). *Approuague et orpillage : personne ne vous croira*. Chronique, décembre 2003\*.

FORGET, P.-M. (2004a). *Tropical Forests Tomorrow - No future ?* Tropinet, Volume 15, N° 1 April 2004. Supplement to BIOTROPICA Vol. 36 N° 1.

FORGET, P.-M. (2004b). *Les forêts tropicales : c'est pas encore fichu !* Chronique, janvier 2004\*.

\*<http://blada.com/chroniques>

9 avril 2013

## **L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES CHEZ L'ENFANT**

Modératrice : Josianne VINH, Ingénieure de Recherche retraitée de l'ENS

### **L'apprentissage des mathématiques chez le jeune enfant : situations et concepts**

**Gérard VERGNAUD**

Directeur de Recherche émérite au CNRS

(Texte paru le 12.07.2013 sur le site <http://lecercle.lesechos.fr> du journal Les Échos)

La recherche en didactique des mathématiques est une nouvelle venue dans l'histoire de la recherche ; 40 ans c'est peu. Il n'a pas fallu moins de trois circonstances pour que la possibilité de développer ce domaine de recherches devienne plausible :

- l'accélération et la généralisation du caractère scientifique et technique de la culture ;
- la difficulté de l'apprentissage des mathématiques pour une fraction importante des élèves ;
- et enfin la volonté de moderniser l'enseignement des mathématiques, qui est intervenue, dans les années 60-70 avec la réforme dite « des maths modernes ».

On a d'abord pensé à compléter la formation des professeurs ; c'était la première fonction des IREM, mis en place après que la commission Lichnerowicz en ait recommandé la création. Mais très vite, à l'initiative de quelques personnalités, des recherches sont nées dans ces IREM sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques et leur difficulté.

Plutôt que de présenter une conférence générale, je me propose de partir d'exemples simples et de montrer les difficultés qu'un adulte, même éclairé, a parfois du mal à apercevoir.

Voici trois problèmes de niveau très différent, qui demandent pourtant la même opération numérique, une addition :

- Pierre avait 7 billes. Il en gagne 5. Combien en a-t-il maintenant ?

- Robert vient de perdre 5 billes ; il en a maintenant 7. Combien en avait-il avant de jouer ?

- Thierry vient de jouer deux parties de billes. Il ne se souvient plus de ce qui s'est passé à la première partie ; à la seconde partie, il a perdu 7 billes. En faisant ses comptes, il s'aperçoit que, en tout, il a gagné 5 billes. Que s'est-il passé à la première partie ?

Le problème Pierre est réussi par la grande majorité des élèves avant la fin du cours préparatoire (CP). Le problème Robert n'est réussi qu'avec un décalage d'un an et demi à deux ans par rapport au premier. Et le troisième, le problème Thierry, est encore échoué par la quasi-totalité des élèves à la fin du CM2. Ce n'est pas la difficulté de l'opération numérique qui explique cette différence, puisque c'est la même addition, mais le raisonnement qu'il faut associer à la représentation conceptuelle des trois situations.

Le problème Pierre est un exemple de situation prototypique de l'addition : un état initial donné, une augmentation (ici un gain) ; trouver l'état final.

Le problème Robert demande de trouver l'état initial, connaissant la transformation et l'état final. Ce n'est pas une situation prototypique de l'addition. Le raisonnement fait alors appel à un théorème-en-acte : si la transformation directe est négative, la réciproque est positive. Il faut donc faire une addition, bien que Robert ait perdu des billes. Cela soulève un petit obstacle épistémologique, au point que certains élèves essaient de contourner cet obstacle en faisant une hypothèse sur l'état initial, en appliquant la transformation directe et en corrigeant leur hypothèse si l'état final ainsi trouvé ne correspond pas à leur attente. C'est le témoignage que l'inversion de la transformation ne va pas de soi.

Le problème Thierry, lui, est encore plus complexe, car il fait appel à une addition contre-intuitive : ajouter les billes gagnées en tout et les billes perdues à la seconde partie. En algèbre ce serait la somme des valeurs absolues de deux transformations de signe contraire. Certes, l'énoncé est plus complexe, mais c'est le choix des valeurs numériques qui rend ce problème plus difficile : en effet si l'on remplace **gagné 5 billes en tout** par **perdu 15 billes en tout**, les élèves de CM2 réussissent : ils opèrent alors un glissement de sens avec la décomposition d'un tout en deux parties de même signe, deux pertes en l'occurrence.

En résumé, l'arithmétique élémentaire fait appel à des situations et à des concepts qui ne sont pas seulement

numériques ; les compétences formées entre 4 et 7 ans concernant l'addition et la soustraction, doivent être enrichies par de nombreuses conceptualisations.

Il existe deux conceptions prototypiques de l'addition : la réunion de deux parties en un tout et l'augmentation d'une quantité initiale. La comparaison entre quantités et entre grandeurs, la composition et la décomposition de transformations, la composition et la transformation de relations appellent des conceptualisations supplémentaires dont certaines sont assez redoutables pour les élèves. Témoigne de cette difficulté, dans l'histoire des mathématiques, le fait que, jusqu'au 19<sup>ème</sup> siècle, certains mathématiciens ne considéraient pas les nombres négatifs comme des nombres. On trouve un écho à ce phénomène au niveau du collège. Lorsqu'on donne des équations à résoudre à des élèves de quatrième, on peut observer que certains d'entre eux, lorsqu'ils aboutissent à une solution négative, ont comme première réaction de dire qu'ils se sont trompés : une solution négative leur paraît contraire au sens commun.

Le champ conceptuel des structures additives concerne en fait toute la scolarité obligatoire ; et beaucoup d'adultes restent embarrassés par les opérations sur les transformations et les relations de signe différent. Je n'en donnerai qu'un exemple, celui des relations de Chasles,

### Relations de Chasles

Valeur algébrique de  $AB = \text{abs}(B) - \text{abs}(A)$

sur lequel vient s'appuyer le théorème fondamental

$$\overline{AC} = \overline{AB} + \overline{BC}$$

Voici un exemple trivial qui illustre ce phénomène

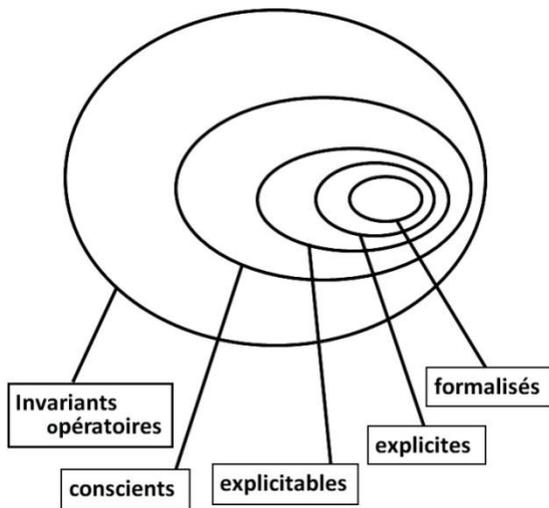


Et un exemple contre-intuitif



Ainsi, le développement des connaissances et des compétences se fait sur la longue période de l'apprentissage et de l'expérience, à travers des situations variées, pour lesquelles le sujet est inégalement armé par ses connaissances antérieures. On observe à la fois des continuités et des ruptures, en ce sens que, confronté à une situation nouvelle, le sujet ne peut que chercher à s'appuyer sur ses connaissances antérieures ; mais il peut alors devoir soit les adapter, soit les contredire si elles font obstacle à cette adaptation.

Chacun de nous exprime ses connaissances par son activité en situation (c'est la forme opératoire) et par les



énoncés oraux ou écrits qu'il peut formuler sur le réel (c'est la forme prédicative). Les graphiques et les formalisations sont à ranger du côté du prédicatif. Mais ce serait une erreur théorique que de refuser leur statut cognitif aux concepts tenus pour pertinents et aux jugements tenus pour vrais dans l'action : d'où les expressions « concepts-en-acte » et « théorèmes-en-acte ». Ce sont des invariants opératoires.

Le schéma plus haut permet de représenter les processus de conceptualisation depuis leur forme implicite voire inconsciente, jusqu'à leur forme explicite, voire formalisée.

## La maîtrise de la langue est première dans l'apprentissage des mathématiques fondé sur le sens

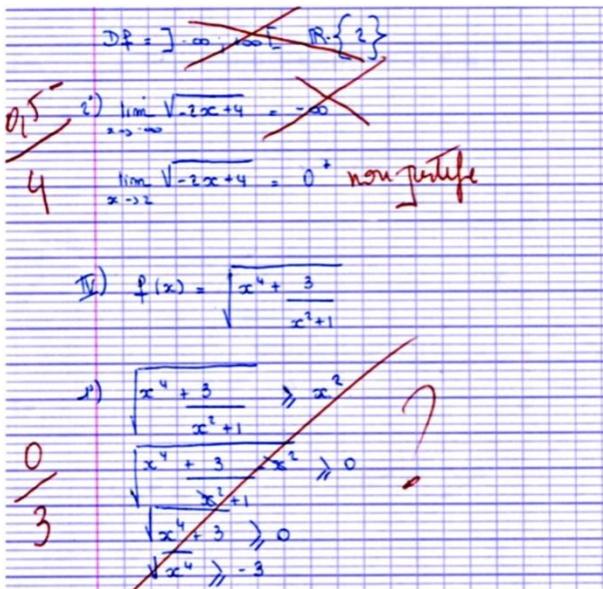
**Stella BARUK**

Professeur de mathématiques, chercheuse en pédagogie

(Texte rédigé par l'Institut des Hautes Études pour la Science et la Technologie (IHEST) pour une conférence analogue, « Faut-il revisiter les conditions de l'apprentissage des mathématiques ? », tenue lors du Cycle national de l'IHES 2010-201. Texte ci-dessous paru le 17.07.2013 sur le site <http://lecercle.lesechos.fr> du journal Les Échos)

Depuis quatre décennies, Stella Baruk reçoit les erreurs dans les copies de mathématiques comme « des cadeaux » montrant « les infinies possibilités inventives des enfants ».

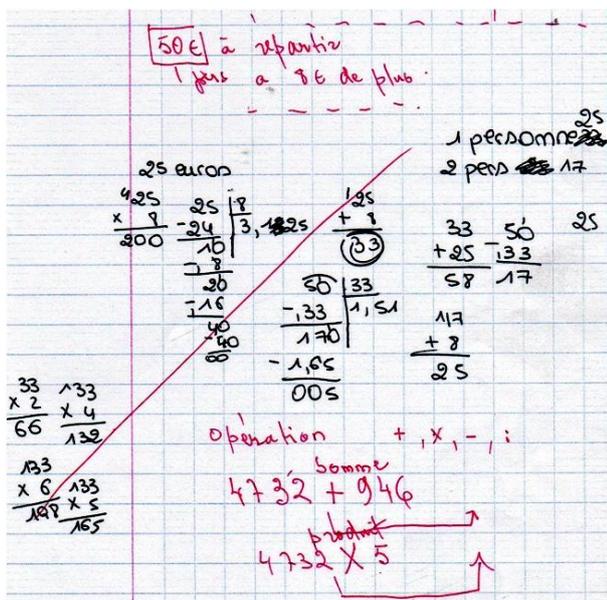
Mais si elles s'accumulent au cours de plusieurs années de scolarité, elles constituent des « compressions d'erreurs » qu'elle nomme des « petits (ou) des grands Césars ».



"Grand César" : Terminale S

Ces observations, issues d'expériences de terrain dans les écoles, et ses nombreux travaux de recherche en pédagogie confortent sa conviction : il faut revisiter les conditions d'apprentissage des mathématiques et développer une nouvelle méthode fondée sur le sens, l'analyse des erreurs et la langue.

Le « séisme » de l'introduction des « maths modernes » dans les années soixante-dix n'a rien changé à la conception archaïque du calcul à l'école primaire. Seul le « combien ça fait » intéresse l'école, rendue de ce fait indifférente à la perte de sens pour les élèves en difficulté, explique le professeur de mathématiques. Les analyses des formes numériques obtenues à partir des opérations, qui permettraient aux élèves de trouver du sens à ce qu'ils font, n'est pas conduite. Or, au niveau de la conceptualisation, donc des idées, il est essentiel de savoir qu'« une opération est un choix, une manière d'assembler deux nombres à partir d'une certaine loi de composition ; c'est le résultat d'une action ». Si ce processus de décision pour résoudre un problème n'est pas compris, les opérations n'ont plus de sens, elles sont happées par le calcul. « Quand on sait distinguer le processus du résultat, on tient un levier pour changer la façon de travailler en classe, assure Stella Baruk, mais raisonne-t-on vraiment en classe ? ».

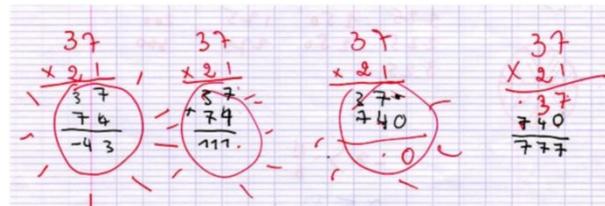


"Petit César" (4<sup>ème</sup>) : il s'agissait de répartir 50 € entre deux personnes de telle façon que l'une ait 8 € de plus que l'autre.

### Analyser les erreurs

L'accumulation des mêmes erreurs, produites à vingt ans d'écart, souligne à quel point les élèves renoncent à trouver du sens aux expressions mathématiques. Les « Césars d'erreurs » sont aussi des « compressions d'incompréhensions », encouragées par un système qui « légitime cette absence de sens » et repose sur une « simulation de sens ». La notation domine, l'analyse des erreurs est négligée alors qu'elle participe de

l'appropriation du savoir. Celle-ci permettrait en effet de mesurer ce que les élèves ont compris, de leur faire découvrir le sens de ce qu'ils écrivent et de ne plus s'en tenir aux seules règles qui « réifient et font peur ».



"Petit César" (4<sup>ème</sup>) : algorithmes.

L'école ne se soucie guère d'utiliser, puis de clarifier la terminologie indissociable de la possibilité de penser, donc de raisonner ; or, comme le souligne Stella Baruk, « la langue est première ».

Quant à la numération, elle est « le socle du socle », et c'est dans la langue qu'elle s'enracine, bien au-delà de l'obsession de compter ! La maîtrise de la numération au primaire, essentielle dans l'apprentissage des mathématiques au collège puis au lycée, se construit à partir d'une langue rigoureuse. Il s'agit de mettre en cohérence « le lu, le su, le vu, l'entendu » en s'appuyant sur une coexistence, rendue pacifique, entre patrimoine langagier des enfants et langue mathématique. Si l'école ne fait pas cet effort dès le départ, l'intelligence des enfants reste en souffrance et ceux-ci sont bien mal préparés à l'apprentissage des mathématiques.

# PROCHAINES MANIFESTATIONS

## CONFÉRENCE-DÉBAT

Mardi 8 octobre 2013, 14 h 30. Salle Lacassagne de l'Institut Curie, 22 rue d'Ulm, Paris 5<sup>ème</sup>. Entrée gratuite.

### L'OLFACTION CHEZ L'HOMME ET CHEZ L'ABEILLE : Mémoire et Perception

avec Paul LAFFORT, Directeur de Recherche honoraire au CNRS, Dijon  
et Egon Peter KÖSTER, Professeur émérite à l'Université d'Utrecht, Pays-Bas

(Modératrice : Marie-Françoise MERCK, Chargée de recherche honoraire à l'INSERM, Présidente de l'Association)

## VISITES

(en collaboration avec l'AFAS, Association Française pour l'Avancement des Sciences)

Mercredi 9 octobre 2013, 10 h, Musée Fragonard de l'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT ENVA, 7 avenue du Général de Gaulle, Maisons-Alfort (Station « École Vétérinaire de Maisons-Alfort », ligne 8)

Entrée 5 € par personne, à régler sur place.

Mardi 15 octobre 2013, 15 h, à l'I-stem (INSTITUT DES CELLULES SOUCHES)

Géropole, Campus 1, 5 rue Henri Desbruyères, Évry (<http://www.istem.eu/plan-daccés>)

Un rendez-vous pourra être organisé à 14 h 30 à la station « Le Bras de Fer », RER D. Entrée gratuite.

Important: le nombre de participants étant limité pour ces deux visites, l'inscription préalable est obligatoire, par mail ([chercheurs.toujours@inserm.fr](mailto:chercheurs.toujours@inserm.fr)) ou par téléphone (M.-F. Merck, 01 45 80 41 79)

ASSOCIATION FRANÇAISE DES SCIENTIFIQUES SENIORS  
*soutenue par le CNRS et l'INSERM*  
*Présidente d'honneur : Françoise Barré-Sinoussi, prix Nobel*

**CHERCHEURS TOUJOURS**

Siège : INSERM, 29 rue Wilhem, 75016 Paris  
chercheurs.toujours@inserm.fr ; [http://chercheurs\\_toujours.vjf.cnrs.fr](http://chercheurs_toujours.vjf.cnrs.fr)