

La démarche scientifique expérimentale, un langage "systémique" : mise en évidence d'une phase critique d'apprentissage.

Pierre BRICAGE,
Laboratoire PAF **Processus d'Accompagnement et de Formation**
ING3S **Ingénierie en Sciences Sanitaires et Sociales**,
Faculté des **Sciences & Techniques**, Université de Pau & des Pays de l'Adour
pierre.bricage@univ-pau.fr

résumé

Pendant plus de dix ans, la mise en œuvre de la démarche expérimentale, en sciences biologiques, en première année d'Université, a été évaluée, aussi bien en situation de remise à niveau (étudiants d'âges divers, en ré-orientation), qu'en année de préparation à des concours d'entrée des écoles professionnelles paramédicales, qu'en première année de licence de Sciences de la Vie.

Les résultats indiquent qu'il existe, comme dans d'autres situations cognitives, une phase critique d'apprentissage. Si l'habitude de la mise en œuvre de ce langage systémique n'est pas acquise suffisamment tôt par l'élève, l'étudiant court le risque de ne jamais pouvoir la mettre en œuvre : "après l'heure, ce n'est plus l'heure !".

mots clés : apprentissage, approche systémique, cognition, démarche expérimentale, évaluation, phase critique

The experimental scientific approach : "experimental design" A "systemic" language, with a critical phase of learning.

Support Training Processes Laboratory
Health & Social Sciences Engineering,
Faculty of **Science & Technology**, University of Pau & Pays de l'Adour

abstract

For over ten years, the implementation of the experimental approach was evaluated, with students in biological sciences at the University. Not only in the first year of the Bachelor of Life Sciences, but also with students in a situation of upgrading (students of various ages, entering a re-orientation process) or in a course for to prepare the compete entrance of paramedics High Schools.

The results indicate that there is, as in other cognitive situations, a critical period of learning. If the habit of using this systemic language is not acquired early enough, the student can not avoid the risk of never be able to use it : "after the time, this is no more the time. "

Key words : learning, systemic approach, experimental design, evaluation, critical period

Introduction

L'enquête internationale PISA ¹ a montré, en 2000, que, quel que soit leur parcours éducatif, en France, les jeunes de 15 ans ² ont un niveau de mise en œuvre de la démarche scientifique qui les situe loin derrière les japonais et en Europe loin derrière les britanniques. ³ Pourquoi ?

Cette évaluation a été confirmée en 2003 ⁴.

Le point faible des jeunes en France est **la mise en œuvre de la démarche expérimentale** : "*La phase d'investigation, de recherche et de formulation d'hypothèses leur pose problème.*" ⁵ (L'interprétation des résultats de 2006 ⁶ est encore en cours. ⁷)

Pourquoi ? **En quoi est-ce inquiétant ?**

Qu'est-ce que la démarche scientifique expérimentale ? ⁸

Quelles sont leurs représentations mentales de la démarche scientifique expérimentale ?

Comment remédier à cette "carence" éducative ?

Pendant plus de dix ans, la mise en œuvre de la démarche expérimentale, en sciences biologiques, en première année d'Université, a été évaluée, aussi bien en situation de remise à niveau (étudiants d'âges divers, en ré-orientation), qu'en année de préparation à des concours d'entrée des écoles professionnelles paramédicales ⁹, qu'en première année de licence de Sciences de la Vie ¹⁰.

Quels sont les niveaux de réussite des étudiants :

- dans l'analyse qualitative et quantitative d'un document scientifique ?,
- dans la mise en œuvre pratique des concepts clés de l'étude du fonctionnement d'un système (chimique, physique, biologique, ..., sociologique) : "situation témoin", "plateau", "seuil", "temps de latence", "hyper- et hypo-fonctionnement", "témoins successifs" ?

Quels sont les facteurs qui influencent cet apprentissage ?

¹ à consulter - site PISA de l'O.C.D.E. (en anglais) : <http://www.pisa.oecd.org>

- site PISA de la DEPP (en français) : <http://www.educ-eval.education.fr/pisa2003.htm>

Accès aux exercices PISA, libres de diffusion : <http://www.educ-eval.education.fr/pisa3.htm>

avec tous les exemples d'épreuves, téléchargeables au format pdf, dans les domaines évalués :

- culture mathématique (58 pages) - compréhension de l'écrit (68 pages)
- culture scientifique (23 pages) - résolution de problèmes (23 pages)

² Bourny G. & al. (2001) Les élèves de 15 ans. Premiers résultats d'une évaluation internationale des acquis des élèves (PISA 2000). Note d'Information 01.52 (ni0152_22422.pdf, 260 ko), MEN-DEP, décembre 2001, 6 p.

³ La France est aussi devancée par l'Autriche et l'Irlande et précède de peu les Etats-Unis et l'Allemagne. Ibid Bourny & al. (2001)

⁴ La France a un peu rattrapé l'Autriche et la Finlande précède maintenant le Japon.

Bourny G. & al. (2004) Les élèves de 15 ans - Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2003.

Note d'Évaluation 04.12 (5220.pdf, 148 ko), MEN-DEP, décembre 2004, 6 p.

⁵ Ibid Bourny & al. (2004)

⁶ Collectif (2008) L'évolution des acquis des élèves de 15 ans en culture mathématique et en compréhension de l'écrit. Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2006. Les notes d'information - D.E.P.P. - N°08.08.

<http://www.education.gouv.fr/cid20804/l-evolution-des-acquis-des-eleves-de-15-ans-en-culture-mathematique-et-en-comprehension-de-l-ecrit.html>

⁷ Ce qui représente un "temps de latence" de 3 ans, pour le traitement de l'information recueillie.

⁸ La méthode scientifique ou comment concilier les observations, les hypothèses et les théories :

- Le tandem observation-expérimentation - Élaboration d'une hypothèse à partir de diverses observations
- Comment se représenter la réalité - Des hypothèses aux lois, aux théories, voire aux modèles
- Des hypothèses aux prédictions - Des prédictions aux expériences

In Wynn Ch.M. & A.W. Wiggins (2001) Intuitions Géniales. Le Top 5 des meilleures idées scientifiques.

De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 218 p.

⁹ Bricage P. (1998) Préparation aux concours d'entrée des écoles paramédicales. SOINS, Formation, Pédagogie, Encadrement n° 25, p. 44-50.

¹⁰ Bricage P. (2001) Évaluation. Filière SDV 1^{ère} année, Méthodologie scientifique, UFR Sciences, UPPA, 89 p.

I. Matériels et méthodes

L'expérience est "le principe de la science".

Depuis la création du baccalauréat scientifique en 1850 (l'enseignement des disciplines scientifiques commence alors en 3^{ème}), **les instructions officielles recommandent aussi bien aux professeurs de physique et de chimie, qu'à ceux de biologie et de géologie, d'établir les fondements scientifiques à partir de l'expérience**, toutes les fois où cela est possible. ¹¹

Le scientifique propose des énoncés et les teste pas à pas : il bâtit **des hypothèses** et les met à l'épreuve par **l'observation des faits et l'expérimentation**. ¹²

1. La démarche scientifique expérimentale : un langage systémique.

(Les figures sont en fin de texte après la bibliographie et le glossaire)

Qu'est-ce que l'expérience ? ^{13 14}

Comme **l'observation**, l'expérimentation scientifique est **à la fois** l'acceptation des faits que le réel impose à l'observateur et la recherche active d'une réponse (au moins une) aux questions (au moins une) que ces faits "abduisent et induisent". Mais, en plus de l'observation, **l'expérimentation** aboutit à l'invention et à la mise en œuvre de procédures d'intervention sur le réel (Figure 1a).

Qu'est-ce qu'une hypothèse ?

Dans le cadre d'une théorie constituée, ou à constituer, c'est une supposition ¹⁵, en attente de confirmation ou d'infirmité, qui ¹⁶, **par déduction (après abduction et induction)**, tente d'expliquer un groupe de faits ou de prévoir ¹⁷ l'apparition de faits nouveaux. ¹⁸

Qu'est-ce qu'un problème ?

L'émergence d'un problème est la première étape de la démarche scientifique. ¹⁹ Cette étape obéit à **la loi systémique constructive** ²⁰ : la formulation du problème oriente sa résolution et la compréhension de ce qui fait problème dévoile ce qui doit, et, éventuellement, peut être résolu.

Dans cette démarche hypothético-déductive, c'est **l'intuition** qui fait le lien entre l'induction et la déduction (Figure 1b). ²¹

¹¹ Gires F. & N. Hulin (1999) Les "appareils" de l'enseignement. Pour La Science n° 257, p. 12-14.

¹² **"Les théories sont des filets destinés à capturer le monde, à le rendre rationnel, à l'expliquer et le maîtriser. Seul celui qui lance un filet pêchera."**

Popper K.R. (2007) La logique de la découverte scientifique. Payot, Paris, 484 p.

¹³ Granger G.G. (2002) Qu'est-ce que l'expérience ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 38-43.

¹⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/Experiment>

¹⁵ Bricage P. (2001) A new evolutionary paradigm : the Associations for the Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages., In The creation of a sustainable society depends on Innovative Systems Thinking. 100th Anniversary of Karl Ludwig von Bertalanffy's International Conference on Systems Thinking "Unity through Diversity", Vienna, 1 p.

¹⁶ Bricage P. (2005) The Cell originated through Successive Outbreaks of Networking and Homing into Associations for the Mutual and Reciprocal Sharing of Advantages and of Disadvantages, between the Partners, with a Benefit only for their Wholeness. 10 p. <http://minilien.com/?AhsGujV2gC>

¹⁷ Bricage P. (2005) The Metamorphoses of the Living Systems: The Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages. 10 p. <http://minilien.com/?R9E2rFXJlc>

¹⁸ Szczeciniarz J.J. (2002) Qu'est-ce qu'une hypothèse ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 26-31.

¹⁹ Meyer M. (2002) Qu'est-ce qu'un problème ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 56-61.

²⁰ Bricage P. (2007) Comment les systèmes biologiques mettent-ils en place (team building) des organisations, juxtaposées et imbriquées en réseaux (networks), "groupwares" robustes et durables ? Quels sont les facteurs limitants de ces processus ? Colloque AFSCET Andé La gouvernance, 26 p.

<http://www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf>

Qu'est-ce qu'une théorie ?

Toute théorie est un système, **modèle explicatif** de faits ²², articulé autour d'une hypothèse (le moins possible ?) et étayé par un ensemble de faits (le plus possible) lui conférant une cohérence. ²³

Toute théorie émerge donc d'un ensemble d'étapes en interactions et en rétroactions.

La démarche scientifique expérimentale obéit à la loi systémique constructale ! ²⁴

La démarche scientifique expérimentale n'en est qu'un outil particulier ²⁵ (**Figure 1**) :

"A scientific method consists of the collection of data through observation and experimentation, and the formulation and testing of hypotheses." ²⁶

Cette démarche de modélisation est banale en sciences. ²⁷

"Science probes; it does not prove." (Bateson Gregory, 1979)

2. Les "performances" testées.

Elles ne sont pas "originales". Elles sont habituellement mentionnées dans les programmes officiels des sciences de la nature et de la vie, tant au collège qu'au lycée. Elles sont illustrées par la pratique ²⁸ habituelle des enseignants :

"Analyser en détail des documents."

"Transformer un texte en schémas simples." ²⁹

"Présenter des résultats dans un tableau."

"Faire apparaître graphiquement une relation." ³⁰

"Rédiger un devoir structuré avec des documents graphiques" ³¹

²¹ Sattler R. (1986) Bio-philosophy. Analytic and Holistic Perspectives. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 284 p.

²² Bricage P. (2000) Systèmes biologiques : le "jeu" de la croissance et de la survie. Quelles règles ? Quelles décisions ? Quels bilans ? La décision systémique : du biologique au social. Atelier AFSCET, Paris, Institut International d'Administration Publique, 25 nov. 2000, 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/JdVie1.pdf>

²³ Gayon J. (2002) Qu'est-ce qu'une théorie ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 62-67.

²⁴ Ibid Bricage P. (2007) <http://www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf>

²⁵ Although procedures vary from one field of inquiry to another, identifiable features distinguish scientific inquiry from other methodologies of knowledge. Scientific researchers propose **hypotheses as explanations of phenomena, and design experimental studies to test these hypotheses**. These steps **must be repeatable in order to predict dependably any future results**. Theories that encompass wider domains of inquiry may **bind many hypotheses together in a coherent structure**. This in turn may help form new hypotheses or place groups of hypotheses into context.

²⁶ Scientific method refers to the body of **techniques for investigating phenomena, acquiring new knowledge, or correcting and integrating previous knowledge**. It is based on **gathering observable, empirical and measurable evidence** subject to specific principles of reasoning.

Isaac Newton (1687, 1713, 1726). "[4] Rules for the study of natural philosophy", Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 3rd edition. The General Scholium containing the 4 rules follows Book 3, The System of the World. Reprinted on pages 794-796 of I. Cohen B. & A. Whitman's (1999) translation, University of California Press ISBN 0-520-08817-4, 974 p. http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method

²⁷ Jeffers J.N.R. (1982) Modelling. Outline Studies in Ecology. Chapman and Hall, London, New York, 80 p.

²⁸ Bricage P. (1977) L'exploitation des procédés d'enseignement et des techniques éducatives en sciences naturelles. II. Les travaux pratiques, dirigés ou indépendants. Bull. A.A.S.N.S. n° 58, p. 5-30.

²⁹ In Conseils méthodologiques pour l'épreuve de biologie.

Équipe pédagogique du Lycée de Belfort (1993) Comment lire, comprendre et rédiger un devoir de biologie.

Fiche méthode (élève de 2^{nde}). Biologie Géologie n° 3-1993, p. 523.

³⁰ In Conseils méthodologiques pour l'épreuve de biologie.

Équipe pédagogique du Lycée de Belfort (1993) Construire un graphique. **Fiche méthodologique (élève de 5^e)**. Biologie Géologie n° 3-1993, p. 522. **Fiche proposée après apprentissage de la lecture graphique**.

Et elles sont normalement acquises au cours de la formation pédagogique des enseignants. ³²

Elles sont le préalable à une réussite universitaire, de qualité, des étudiants ! ³³

La lecture des titres, dans d'anciens numéros (cités en exemple dans une publicité de réabonnement) de la revue La Recherche de mars 2008 (<http://www.larecherche.fr>) permet de faire la liste des notions à acquérir et à mettre en œuvre :

la notion de témoin (*In* n° spécial "Émergence. La théorie qui bouscule la physique", *In* dossier "Le risque climatique"),

la notion de témoins successifs (*In* n° spécial "Cerveau", *In* dossier "Les particules élémentaires", *In* dossier "La mémoire"),

la démarche expérimentale (*In* n° spécial "Les écritures non déchiffrées", *In* dossier "L'évolution [Comment les espèces s'adaptent]"),

la recherche de liens de cause à effet de "corrélation" ³⁴ (*In* dossier "Biodiversité [Les menaces sur le vivant]", *In* dossier "Neandertal [Enquête sur l'homme de]", *In* dossier "L'histoire de la Terre [4,5 milliards d'années d'évolution]").

3. Les types d'exercices proposés.

En 1747, James Lind, médecin à bord du HM Bark Salisbury, trouve un remède au scorbut., en menant une expérience scientifique en conditions contrôlées. Après avoir sélectionné 12 hommes d'équipages malades, il les divise en lots aussi identiques que possible (témoins réciproques les uns des autres) qu'il soumet à des remèdes différents, pendant 2 semaines. ³⁵

Nous modifions nos "croyances" lorsque nous sommes confrontés à des informations contredisant ce qui nous semblait acquis. La vérité scientifique n'est que provisoire et contingente, d'où l'importance de la notion de témoin(s), à la base du **raisonnement abductif** (approche systémique holistique) et du **raisonnement déductif** (approche cartésienne : analyse et synthèse, par définition) :

"s'obliger à tenter de connaître, pour essayer de comprendre, afin d'oser décider", c'est d'abord **"définir un code, c'est-à-dire un langage commun où chaque mot, pour tous, a le même sens"**, car "... la diversité de nos opinions ne vient pas de ce que les uns sont plus raisonnables que les autres, mais seulement de ce que nous conduisons nos pensées par diverses voies, et ne considérons pas la même chose." ^{36, 37}

En sciences expérimentales, le langage est aussi une action. ³⁸

Ce langage est à la fois **"présentatif"** et **"interprétatif"**, pour ce faire, il est d'abord graphique, **qualitatif, puis quantitatif**. C'est un système de l'action de penser ³⁹ et d'agir : "modélisation".

³¹ Équipe pédagogique du Lycée Jean-Paul Sartre de Bron (Rhône) Collectif professeurs-correcteurs au baccalauréat (1993) Rédiger un devoir de baccalauréat D. Méthodes en biologie-géologie (**élève de terminales**) Biologie Géologie n° 3, p. 533-534.

³² Bricage P. (1985) Techniques des Objectifs Pédagogiques : une formation individualisée, finalisée et contractualisée, modulaire. Formation des Professeurs des Écoles. École Normale de Mont-de-Marsan. 247 p.

³³ <http://webcampus.univ-pau.fr/courses/METHODOLOGIESDV>

³⁴ **corrélation**, p. 66, *In* Indge B. (2004) La biologie de A à Z. Dunod, Paris, 344 p.

³⁵ An early example of experimental design. http://en.wikipedia.org/wiki/Experimental_design

³⁶ **L'abduction** *In* Zwirn D. & H. Zwirn (2003) La révision des croyances. Pour La Science n° 311, p. 64-69.

³⁷ de Larebeyrette J. (1965) De l'esprit d'analyse et de synthèse en biologie. Cahiers de Biothérapie n° 7, p. 1-26.

³⁸ Keller E. F. (1999) Le rôle des métaphores dans les progrès de la biologie. Les Empêcheurs de penser en rond, Institut Synthélabo pour le progrès de la connaissance. Librairie Lavoisier, Paris, 154 p.

³⁹ Among other facets shared by the various fields of inquiry is the conviction that **the process must be objective to reduce a biased interpretation of the results**. Another basic expectation is to document, archive and share all data and methodology so it is available for careful scrutiny by other scientists, thereby allowing other researchers the opportunity to verify results by attempting to reproduce them.

La démarche expérimentale est un "langage" mettant en œuvre une approche systémique !

3.1. Exemples d'exercices en année de **remise à niveau/ré-orientation** (APILS).

- a. - mise en évidence de la notion de niveau de base⁴⁰ ou de seuil.⁴¹ (**Transparent 1**)
- b. - mise en évidence de la notion de témoin et de témoins successifs.⁴² (**Transparent 2**)
- c. - mise en évidence de la notion de facteur limitant à la suite d'un changement d'échelle.⁴³
- d. - mise en évidence de la notion de temps de latence.⁴⁴

Ces "mises en évidence" nécessitent une analyse qualitative et quantitative. (**Transparent 3**)

La durée d'un problème, d'application, est comprise entre 1 heure et 1 heure et demie.

3.2. Exemples d'exercices en année de **prépa/pré-professionnalisation** (DUCSS).

- a. - analyse qualitative : phases (amplitude, durée).⁴⁵
- b. - analyse quantitative (**Transparent 4**) :
 - lecture directe de valeurs : maximum (plateau) et minimum (niveau de base),
 - lecture par extrapolation linéaire : intensité infraliminaire, notion de seuil
 - calculs : de vitesses (pentes), d'écart (amplitudes en %, par rapport à une référence).

En plus des notions de base précédentes, l'analyse graphique⁴⁶ doit être plus "technique", plus approfondie et plus "rapide". La durée d'un problème "de concours" est comprise entre 30 et 60 minutes et, la seule question posée est "interprétez le plus complètement possible les documents".

3.3. Exemples d'exercices en année de **détermination** (L1SDV).

Le niveau technique attendu est le même, mais la durée est plus longue (jusqu'à 2 heures), et plus d'attention est donnée à l'accompagnement à la fois dans la "méthode d'enquête-redécouverte" (par des questions "guide") et dans la "méthode déductive de contrôle". (**Transparent 5**)

Bricage P. (1988) Action des micro-ondes (fréquences, intensités, durées) sur les systèmes biologiques : quels effets et quand ? Congrès de la Société de Chimie Biologique : Systèmes BioÉnergétiques, Structure, Contrôle et Evolution. Bombannes, 10 p.

This practice, called **full disclosure**, also allows statistical measures of the reliability of these data to be established. Pearl J. (2000) Causality: Models, Reasoning and Inference, Cambridge University Press. 384 p.

⁴⁰ exemple de document source d'exercice :

Bremner WJ, MV Vitiello & PN Prinz (1983) Loss of circadian rhythmicity in blood testosterone levels with aging in normal men. *J Clin Endocrinol Metab.* 56: 1278 -1281.

⁴¹ exemples de corrigés sur le webcampus de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour :

Prépa Concours Professions Paramédicales <http://webcampus.univ-pau.fr/courses/DUCSSSANITAIREWEB>
Méthodologie scientifique en sciences de la vie <http://webcampus.univ-pau.fr/courses/METHODOLOGIESDV>

⁴² exemple de document source d'exercice :

Fréon G. (1964) Recherches histophysiologiques sur la neurosécrétion dans la chaîne nerveuse ventrale du Criquet migrateur, *Locusta migratoria*. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 259 : 1565-1568.

⁴³ La biomasse florale (échelle logarithmique en abscisses, de 10^{-3} g à 10^{+3} g) est le **facteur limitant** (famille de droites dans ce **système de représentation log-log**) de la masse de nectar disponible (échelle logarithmique en ordonnées, de 10^{-2} à 10^{+4} microLitre), et chaque domaine linéaire du plan de représentation correspond à une relation co-évolutive entre une famille de plantes et un type de pollinisateur : papillons pour les ressources disponibles les plus faibles (moins de 1 microLitre), abeilles (**10X** plus), bourdons (10X plus), chauve-souris (plus de 10X plus). *In* Frankie G.W. (1975) Tropical forest phenology and pollinator plant coevolution. *In* Gilbert L.E. & P.H. Raven, eds., Coevolution of Animals and Plants, University of Texas Press, Austin, pp. 192-209.

⁴⁴ Wehrhahn C. & T. Poggio (1976) Real-time delayed tracking in flies. *Nature* n° 5555, p. 43-44.

⁴⁵ Concours d'entrée en première année de psychomotricité. Faculté de Médecine Toulouse-Rangueil, Université Paul Sabatier, Toulouse III. Épreuve de biologie (2007). Durée 2h. Première partie 10 points. Restitution organisée des connaissances sans support documentaire : stabilité et variabilité des génomes. (Votre exposé sera structuré, comportera une introduction et une conclusion et sera **illustré par des schémas** judicieusement sélectionnés). Deuxième partie 10 points. Exploitation de documents : la myasthénie et la jonction neuromusculaire. (**À partir des documents fournis, proposez un mécanisme** expliquant la myasthénie).

⁴⁶ Cleveland W.S. & R. McGill (1985) Graphical Perception and Graphical Methods for Analyzing Scientific Data. *Science* vol. 229, p. 828-833.

II. Résultats

1. **Figure 2** : niveaux de mise en œuvre de la démarche scientifique.

Lors de l'épreuve **d'analyse d'un document**, parmi les étudiants qui suivent la prépa concours, ⁴⁷ certains, mais uniquement parmi ceux qui ont obtenu un bac S (et qui suivent l'option kinésithérapie), arrivent même à valider une compétence scientifique expérimentale (de résolution de problèmes ⁴⁸) de niveau licence (bac +3). ^{49, 50} Mais aucun de ceux qui ont validé une licence non-scientifique (en sciences de l'éducation, ou en psychologie, en particulier pour ceux qui suivent l'option psychomotricité) après un bac non-scientifique, n'arrive à atteindre le niveau 4 de l'échelle d'évaluation de la mise en œuvre de la démarche expérimentale. Pourquoi ?

2. **Figure 3** : vitesses d'apprentissage.

On pourrait croire que seule la vitesse d'apprentissage diffère d'un groupe d'étudiants à un autre parce qu'elle est fonction de la pédagogie mise en œuvre, et qu'apprendre ("faire sien") n'est qu'une question de temps, de conditionnement... "Tôt ou tard, le but sera atteint." Mais, il n'en est rien ! La moyenne est "trompeuse"... Car, au contraire, "tôt ou tard", le niveau d'acquisition de compétences **atteint un plateau**, quel que soit le nombre de répétitions !

En année de ré-orientation, certains étudiants, après 10 répétitions d'entraînement différentes et 2 séances d'examen, restent toujours incapables d'atteindre le niveau 1 de l'échelle d'évaluation, incapables de "cerner" **la notion de témoin**. Plus de la moitié de ces étudiants restent incapables de **faire une analyse qualitative** d'un graphe. Et, encore moins nombreux sont ceux qui sont devenus capables d'en **faire une étude quantitative**. POURQUOI ?

TOUT SE PASSE COMME SI, quelle que soit son orientation actuelle, **plus tôt l'individu a**, dans son cursus, **"quitté"** l'orientation scientifique (L plutôt que S) moins il est capable d'apprendre à mettre en œuvre la démarche scientifique expérimentale. Plus il est âgé, et moins cette orientation scientifique a été marquée (ES plutôt que S) et **plus il s'est "spécialisé" depuis longtemps** dans une formation non-scientifique (L), **sans "ré-orientation" ou "remise-à-niveau"** (du type CNED par exemple), moins il est "apte" à assimiler et à appliquer la démarche scientifique expérimentale (et moins il est apte à désapprendre et à ré-apprendre ?)

Comment expliquer ces résultats d'un point de vue neuro-fonctionnel ?

L'âge n'est pas le seul facteur influençant, le sexe intervient également. ⁵¹

⁴⁷ <http://webcampus.univ-pau.fr/courses/DUCSSSANITAIREWEB>

⁴⁸ Et ce n'est pas parce qu'il n'y a pas de solution qu'il n'y a pas de problème !

Perelman Y. & al. (2000) Oh, la physique! 250 casse-tête pour tester votre sens physique. Dunod, Paris, 251 p.

⁴⁹ En étant même capables de résoudre des problèmes posés à des épreuves de concours de niveau licence...

Collectif (1988) Sujet du **CAPES** interne (en Sciences de la Nature et de la Vie). Composition à partir d'un dossier (4 heures) 1. La régulation de la sécrétion des hormones sexuelles. Bull. APBG (Association des Professeurs de Biologie et Géologie) n° 3-1988, p. 507-511.

Le niveau d'un concours ce n'est pas celui d'un programme (défini par la quantité des savoirs et par leurs niveaux), mais celui du niveau des compétences (savoir-faires et savoir-être) mises en œuvre face à la demande d'utilisation adéquate de ce programme !

⁵⁰ Est-il raisonnable de sélectionner les futurs médecins sur la seule validation de QCM ?

Une réforme des programmes et pratiques pédagogiques pour leur recrutement n'est-elle pas souhaitable ?

Bricage P. (2007) Quel enseignement supérieur & quel accompagnement pour quelles formations en sciences et technologies ? Bull. A.E. E.N.S., n° 1, p. 71-98.

⁵¹ Il est bien connu que les connexions neuro-neurales s'établissent et se répartissent différemment dans le cerveau selon le sexe. Ne serait-ce que parce que, dès la vie fœtale, l'imbibition hormonale de tous les tissus diffère d'un sexe à l'autre. Les petits garçons et les petites filles **apprennent différemment... et se comportent différemment !** Malheureusement, avec la mixité ("il n'y a pas d'avantages sans inconvénients"), il n'est plus possible de mettre en œuvre des pédagogies d'apprentissage différenciées d'un sexe à l'autre. Pourtant...

En effet si, en année de détermination (L1SDV), quel que soit le bac, les performances des filles sont toujours meilleures (proportionnellement aux effectifs) que celles des garçons, en année de ré-orientation (APILS), les garçons se remettent mieux à niveau, et plus vite, que les filles. En année de prépa concours (DUCSS), il n'y a pas de différence significative entre les deux sexes.

III. Discussion

S'il n'existe pas de définition absolue de l'apprentissage, on s'accorde pour dire que c'est **un processus par lequel un individu enregistre des éléments de son environnement qui modifieront son comportement ultérieur**.⁵² Une couleur, un son, un mot activent des récepteurs sensoriels. Ceci déclenche un processus de connexions multiples entre neurones (**Figure 4 : la percolation neuronale**).

Plus un enfant fait fonctionner son cerveau, plus il lui est facile d'apprendre de nouvelles choses. **Quand il sollicite souvent ses aptitudes, ses temps de réaction deviennent plus courts. Une action mobilise d'autant moins l'activité neuronale qu'elle a été plus répétée, intériorisée... et bien apprise que lorsqu'elle ne l'est pas.** Ce qui libère de l'espace dans le cerveau pour d'autres apprentissages.

"Plus on fait, plus on sait et plus on se met en capacité d'apprendre encore plus !"⁵³

Plus l'activité devient routinière plus le cerveau s'économise.⁵⁴

Plus les parcours sont variés, plus les sources d'information sont multiples, plus ils profitent à l'individu. Plus celui-ci diversifie ses expériences plus il multiplie les processus enregistrés "intériorisés".

L'observation par l'imagerie médicale du fonctionnement dans le cerveau de l'aire de Broca, associée au langage, montre qu'elle est aussi activée lors de la réalisation d'actes moteurs, indiquant des liens de **"ré-entrées"** entre action et langage : **"il faut dire pour faire et faire pour dire."** Le langage et l'organisation du comportement reposent sur des zones communes du cerveau.⁵⁵

Le cortex du cerveau des mammifères est construit couche après couche. Le destin des cellules y est scellé au cours d'une **fenêtre temporelle critique** : "Avant l'heure ce n'est pas l'heure. Après l'heure ce n'est plus l'heure." Chez la souris, cette destinée est déterminée **à la fois par des gènes**, qui orientent le devenir des cellules, **et par la position topologique** des cellules orientables.⁵⁶

Chez l'embryon humain, chaque organe évolue d'abord sous l'impulsion d'un programme génétique qui le met en place. Ensuite, la richesse et la stabilité des contacts définitifs entre neurones sont liées à la qualité, à l'intensité et à la répétition des sollicitations qui parcourent les circuits établis.

Alors que leur taux de réussite à l'école est plus élevé que celui des garçons (81% de réussite aux baccalauréats contre 76%), les filles ne représentent que 30% des effectifs des classes préparatoires scientifiques. Et elles abandonnent à cause des maths ! <http://www.femmesetsciences.fr>

Barbault C. (2008) Lutte contre les stéréotypes. Valeurs mutualistes n° 255, p. 13.

L'égalité n'est-ce pas d'abord prendre en compte les différences, pour permettre à tous de réussir au mieux ?

Ne devrait-on pas apprendre différemment les mathématiques (et le français ?) aux garçons et aux filles ?

Au moins devraient-ils pouvoir disposer de choix pédagogiques "nombreux" pour pouvoir en trouver au moins un qui leur convienne.

⁵² définition de Georges Chapouthier (2008) *In Encyclopedia Universalis* CD-ROM

⁵³ **"Savoir pour prévoir, afin de pouvoir." Auguste Comte**

⁵⁴ Wagner F. (2006) Comment apprennent-ils ? Vies de Famille sept. 2006, p. 10-13.

⁵⁵ André L. (2006) Une aire cérébrale multi-usage. Pour La Science n° 346, p. 25.

Koechlin E. & Th. Jubault (2006) Broca's Area and the Hierarchical Organization of Human Behavior. Neuron, n° 50, p. 963-974.

⁵⁶ Mangale V.S. & al. (2008) Lhx2 Selector Activity Specifies Cortical Identity and Suppresses Hippocampal Organizer Fate. Science n° 5861, p. 304-309.

Mais, **sous réserve que leur création réponde à une "période critique" d'heure et de durée**, fixes pour chaque espèce, et généralement précoce et brève. ⁵⁷ **"Toute cire un jour durcit et s'écaille, toute pâte lève, tout ciment se fige. La plasticité n'a qu'un temps."**

Chaque phase a **un début et une fin** (comme la capacité reproductrice a un début avec la puberté et une fin avec la ménopause) **et au-delà de sa durée elle ne se répète pas** :

il y a **"un temps et un espace d'action** pour chaque chose, "avant l'heure ça n'est pas l'heure, après l'heure ça n'est plus l'heure", et" le temps perdu ne se rattrape plus".

Avec l'âge, il est connu que les temps de réponse augmentent.

L'augmentation des temps de latence entraîne une détérioration des performances. ⁵⁸

Certes il n'est pas possible d'extrapoler les résultats obtenus chez d'autres animaux à l'homme. La mémoire épisodique, par exemple, fonctionne différemment chez l'homme et le rat. ⁵⁹

Mais il est démontré que, chez tous les mammifères, la mémorisation nécessite une très grande attention. ⁶⁰ Et, que l'apprentissage des langues par exemple réussit mieux chez ceux qui le commencent plus jeunes. Le placement à long terme (de l'âge de 21 mois à 54 mois) d'enfants dans un orphelinat entrave leur développement cognitif. Dès l'âge de 42 mois, les enfants en familles d'accueil ont des performances cognitives et motrices très supérieures. **Ceci suggère l'existence d'une période critique pour le développement intellectuel de l'enfant.** ⁶¹

En observant par imagerie médicale le fonctionnement du cerveau de personnes lisant des caractères alphabétiques, on constate que les zones activées sont celles des processus moteurs engagés pour l'écriture manuscrite. En changeant le mode d'apprentissage de l'écriture, en remplaçant la main et le stylo par le clavier d'ordinateur, on constate que les enfants ayant appris à reconnaître (et à utiliser) le clavier pour écrire ont plus de difficultés à lire et en particulier parce qu'ils ont du mal à distinguer les caractères écrits. ⁶²

Ce qui pose le problème de l'utilisation de l'outil informatique et des nouvelles technologies. ⁶³

Ce qui pose aussi le problème de la formation des futurs enseignants ! ⁶⁴

La rétine traite l'information qu'elle reçoit et envoie au cerveau 12 "films" différents. Ces films sont peut-être des plans élémentaires que le cerveau empile pour construire une image. Comme si l'on assemblait des mots pour construire une histoire qui a du sens ⁶⁵ :

- **Graphical perception is the visual decoding of the qualitative (categorical or conceptual types) and quantitative (numerical values of variables) informations encoded on graphs.**

⁵⁷ Robert J.M. (1982) Comprendre notre cerveau. Editions du Seuil, Paris, Collection Points Sciences, 270 p.

⁵⁸ Ibid Wehrhahn C. & T. Poggio (1976)

⁵⁹ Roberts W.A. & al. (2008) Episodic-Like Memory in Rats: Is It Based on When or How Long Ago? Science Vol. 320, n° 5872, p. 113-115. DOI: 10.1126/science.1152709

⁶⁰ Lakatos P. & al. (2008) Entrainment of Neuronal Oscillations as a Mechanism of Attentional Selection. Science Vol. 320, n° 5872, p. 110-113. DOI: 10.1126/science.1154735

⁶¹ Nelson C.A. & al. (2007) Cognitive Recovery in Socially Deprived Young Children: The Bucharest Early Intervention Project. Science n° 5858, p. 1937-1940.

<http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/sci;318/5858/1937.pdf>

⁶² Ibid Wagner F. (2006)

⁶³ Bricage P. (2008) Types de fréquentation observés selon les types de cours proposés dans un dispositif pédagogique de e-formation : influence des objectifs pédagogiques et du type d'étudiant potentiel, bilan d'une démarche pratique d'évaluation. 18 p. *In* L'accompagnement pédagogique via le numérique. Atelier échange de pratiques. Session de formation Université d'hiver Vivaldi 2008 UNR Aquitaine UPPA, Montory, Bayonne-Anglet.. Sur le webcampus de l'UPPA : <http://webcampus.univ-pau.fr/courses/CL50cd>, cours L'accompagnement.

⁶⁴ Bricage P. (1993) Quelle pédagogie pour quelle formation ? Bull. AEENS n° 2, p. 45-71.

⁶⁵ Werblin F. & B. Roska (2007) Des films sur la rétine. Pour La Science n° 356, p. 54-60.

- When a person looks at a graph, the information is visually decoded by the person's visual system. A graphical method is successful only if the decoding is effective. No matter how clever and how technologically impressive the encoding, it fails if the decoding process fails. ⁶⁶

À l'école primaire, apprendre à "lire, écrire et compter" ne suffit pas. C'est **par la pratique d'activités d'éveils** scientifiques (et artistiques) que l'élève peut à la fois apprendre la démarche expérimentale (avec la notion de témoin) et apprendre à "lire, écrire et compter". Au collège, ce n'est pas en apprenant "optionnellement" le latin ou le grec, mais en apprenant l'étymologie, **en faisant** des sciences expérimentales, qu'il améliorera **à la fois** la lecture et l'écriture, française et scientifique, et qu'il comprendra des concepts clés en sciences économiques et sociales. Au lycée, c'est par la maîtrise de la démarche expérimentale que le futur étudiant pourra comprendre que "memoriser & appliquer" ce pas suffisant pour "apprendre & comprendre", mais que c'est indispensable !

Conclusion

L'évaluation PISA 2006, en reprenant des exercices de 2003 pour la culture mathématique et de 2000 et 2003 pour la compréhension de l'écrit, a permis une comparaison temporelle des acquis des élèves. ⁶⁷ Depuis 2000, **les résultats de la France indiquent une tendance à la baisse, autant par rapport à elle-même que par rapport à la moyenne des pays de l'O.C.D.E.** : la moyenne des pays de l'O.C.D.E. baisse légèrement mais la baisse de la France est plus accentuée. ⁶⁸

La question est d'importance car, **les élèves des bas niveaux sont plus nombreux et leur performance est plus faible. Des écarts de score très importants sont observés** entre élèves de troisième et élèves de seconde générale et technologique, et, entre les filles et les garçons, en compréhension de l'écrit. **Les difficultés de lecture et d'écriture pèsent sur la réussite globale.**

L'apprentissage de la lecture est **un processus d'exaptation**. ⁶⁹ Dans le cerveau, du primate supérieur adapté à la vie de chasseur-cueilleur qu'est l'homme, deux voies de lecture, directe et phonologique, coexistent. Elles sont activées simultanément et se soutiennent l'une l'autre ⁷⁰ : **"le tout est plus que la somme de ses parties"**. L'imagerie cérébrale montre que tous les hommes, partout, dans toutes les langues, pour lire, utilisent le même circuit neuronal ⁷¹ et, si ce circuit n'est pas activé, s'il n'est pas mis en place, ou s'il est détruit, la capacité de lire est absente ou perdue. C'est une **capacité émergente** qui s'est **mise en place par percolation** (Figure 4) ⁷², c'est-à-dire par réaffectation de populations neuronales (recyclage) en un réseau de ré-entrées (boucles de rétroactions) de leurs informations, **par apprentissage** (comme dans la démarche expérimentale : Figure 1). L'hypothèse est faite que "la lecture" et l'écriture scientifique (l'apprentissage et la mise en œuvre de la démarche expérimentale) est un processus de même nature, qui nécessite pour sa mise en place, son acquisition, et son expression, la stimulation appropriée d'un territoire neuronal dont les propriétés préexistantes le rendent **plus apte à ce type de tâche, mais qui n'y est pas initialement affecté.**

⁶⁶ Ibid Cleveland W.S. & R. McGill (1985)

⁶⁷ 4700 élèves de 15 ans scolarisés au collège ou au lycée ont participé à l'enquête PISA 2006, visant à évaluer principalement **la culture scientifique**.

⁶⁸ Monnier A.-L. (sous la dir. de) (2007) L'évaluation internationale PISA 2003 : compétences des élèves français en mathématiques, compréhension de l'écrit et sciences. Les Dossiers, n° 180 (5,52 Mo, 4831.pdf), MEN-D.E.P.P., mars 2007, 240 p. ISBN 978-2-11-095421-1

⁶⁹ **exaptation** définition *In*

Bricage P. (2003) Organisation, intégration et espace-temps des systèmes vivants. *Intégration du vivant et du social : Analogies et différences*. Colloque AFSCET Andé, 31 p. <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde03.pdf>

⁷⁰ Dehaene S. (2007) *Les neurones de la lecture*. Odile Jacob, Paris, 512 p.

⁷¹ la même région "**clé**" : l'aire occipito-temporale ventrale gauche.

⁷² **percolation** définition & figure *In* Ibid Bricage P. (2003) <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde03.pdf>

L'exaptation ne peut avoir lieu que si ce territoire est sollicité et orienté vers ce nouveau type de traitement de l'information. Comme pour toute réponse physiologique, quel que soit le niveau d'organisation ⁷³, il existe une intensité minimale (un seuil) pour son déclenchement, un temps de latence pour sa mise en œuvre, et des sollicitations répétées pour son intériorisation. C'est seulement parce que les "opérations" de mise en réseau ont été automatisées par des années d'apprentissage et se déroulent en parallèle, hors de notre conscience, qu'on pourrait naïvement croire que, comme pour la lecture, le processus soit immédiat et global ! ⁷⁴

"Donne un poisson à manger à un homme, tu le nourriras une journée."

"Apprends lui à pêcher, tu le nourriras toute sa vie." (proverbe chinois)

Les bonnes sollicitations (les stimuli appropriés) doivent donc être "portées" d'abord au bon moment (dans la bonne fenêtre temporelle) : il existe une fenêtre temporelle critique avant laquelle rien n'est possible et après laquelle rien n'est plus possible (phase réfractaire). Ce qui n'exclue pas que cela soit possible ailleurs ou différemment. Au cours de l'évolution biologique, la sélection des réseaux de neurones "pensants" a été effectuée sur la fonction ⁷⁵ et non sur la structure du réseau ou son emplacement. La modularité dynamique, par juxtapositions et emboîtements ⁷⁶, est une caractéristique habituelle de ma structure de ces réseaux.

Le développement psychomoteur est constitué par des liens qui s'établissent entre le développement moteur, neurologique, sensoriel, intellectuel et psychologique (Alexandrine Saint-Cast). **Qu'est-ce qui gouverne nos choix ? Les émotions ! ⁷⁷**

Il existe un système de neurones fonctionnant comme des miroirs à la vue des actions exécutées par d'autres humains. ⁷⁸ Les mêmes réseaux de neurones du cortex prémoteur (impliqué dans la programmation des mouvements volontaires) s'activent aussi bien lorsqu'on fait une action que lorsqu'on voit quelqu'un d'autre faire cette même action. ⁷⁹ Tout semble donc se passer comme si la perception des actions d'autrui reflétait les nôtres, et vice-versa. ⁸⁰ Mais :

"On n'apprend pas à nager seulement en regardant les autres nager, même si cela peut aider, mais en essayant de nager soi-même." Le rôle de l'enseignant n'est pas seulement de montrer, ce qui peut être fait "virtuellement" en FOAD ⁸¹, mais surtout, **d'être là, pour faire faire et pour faire évaluer** comment est fait ce qui est "réellement" fait, en présentiel !

⁷³ **niveau d'organisation** définition *In*

Bricage P. (2000) La Survie des Organismes Vivants. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Fac. Médecine, Paris, 4 fév. 2000, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr/SURVIVRE.pdf>

Bricage P. (2002) The Evolutionary "Shuttle" of the Living Systems. 5th European Systems Science Congress, Hersonissos, Greece, Res. Systemica 2: 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/Bricage.pdf>

⁷⁴ Krick G. & al. (2007) Apprendre à lire. La querelle des méthodes. Gallimard, Paris 144 p.

⁷⁵ Han J.-D. (2008) Understanding biological functions through molecular networks. Cell Res. n° 18, p. 224-237.

⁷⁶ **ergodicité et fractalité** définition *In*

Bricage P. (2001) Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Paris, Institut International d'Administration Publique, 11 p. <http://www.afscet.asso.fr/ergodiqW.pdf>

⁷⁷ Schmidt C. (2008) Quand la raison l'emporte sur la logique. La Recherche n° 416, p. 46-50.

⁷⁸ Keysers C. & al. (2003) Audiovisual mirror neurons and action recognition. Exp. Brain Res. 153, 628-636.

⁷⁹ Gallese V. & al. (1996) Action recognition in the premotor cortex. Brain 119, 593-609.

Rizzolatti G. & al. (1996) Premotor cortex and the recognition of neuron motor actions. Cogn. Brain Res. 3, 131-141. <http://www.cns.atr.jp/~erhan/Papers/OztopFranklinChaminadeCheng2005.pdf>

⁸⁰ Iacoboni M. & al. (2005) Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. PLoS Biol. 3, 79. **Pour l'instant (mai 2008) rien ne prouve qu'elle puisse être étendue à des actions plus complexes : "quelqu'un pense, donc je pense" et réciproquement...**

⁸¹ Bricage P. (2008) Types de fréquentation observés selon les types de cours proposés dans un dispositif pédagogique de e-formation : influence des objectifs pédagogiques et du type d'étudiant potentiel, bilan d'une démarche pratique d'évaluation. 18 p. *In* L'accompagnement pédagogique via le numérique. (FOAD)

De même qu'il existe une phase critique pour l'apprentissage, il existe une phase critique pour la restauration des fonctions nerveuses...

Un chaton, exposé, suffisamment tôt et trop longtemps, à un environnement qui ne lui offre que la vision de raies verticales, puis réintroduit dans univers banal n'y discerne plus les structures verticales. De même, le nouveau-né humain couché ne voit que le plafond. C'est quand il s'assoit qu'il intègre une notion de verticalité. Chez l'enfant nouveau-né, il faut opérer très précocement les cataractes. Si l'on attend plus d'un an, cet œil, même bien débouché, cet œil "qui n'a jamais vu", cet œil (et le territoire du cerveau qui lui est associé) ne verra jamais !

L'apprentissage de la démarche scientifique n'est-il pas à l'heure du multimédia un préalable à l'expression raisonnable (et raisonnée) de la citoyenneté ⁸² ? Qui peut encore croire, à l'heure d'un choix de "qualité de vie", qu'il n'y a pas d'avantages sans inconvénients ? ⁸³

Exposons dès que possible nos enfants à l'épreuve de la démarche expérimentale. Dès l'école primaire, les activités d'éveil scientifique ne devraient-elles pas être le préalable à l'apprentissage de la lecture, de l'écriture et du calcul ? L'homme a d'abord été un observateur-expérimentateur, un chasseur-cueilleur. Son potentiel neuronal est donc a priori plus exaptable vers la démarche expérimentale que vers la lecture. Si cette exaptation n'a pas lieu, ce potentiel, recyclé vers d'autres fins ("la fin justifie les moyens"), est perdu... (Encore faut-il, au préalable, avoir d'abord assuré les besoins de survie fondamentaux de l'individu ⁸⁴ : "ventre affamé n'a point d'oreille".)

Même si une formation scientifique n'est pas indispensable à l'épanouissement de chacun, elle devient nécessaire à tous dans une société technologique avancée car les choix citoyens ⁸⁵ doivent **pouvoir prendre en compte les avantages et les inconvénients** de la technologie (génétique, biotechnologies et OGM) et des sciences (ingénierie nucléaire, bioénergétique). Le respect de la capacité d'accueil de notre écoexotope de survie implique la connaissance et la maîtrise de notre capacité d'y être accueilli. ⁸⁶

L'égalité n'est-ce pas d'abord le respect de l'identité pour permettre à chacun d'exprimer au mieux sa différence ? ⁸⁷ Quelle forme de gouvernance sera capable de respecter cette diversité ? ⁸⁸

Quelle pédagogie mettre en œuvre pour cela ? ⁸⁹ Le premier moteur n'est-il pas la curiosité ? ⁹⁰

<http://webcampus.univ-pau.fr/courses/CL50cd>, cours L'accompagnement

⁸² Bricage P. (2004) Entre local et global, la gouvernance associative : quels rôles, quels coûts, quelle éthique ? Colloque AFSCET Andé *La gouvernance*, 14 p. <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde04GA.pdf>

⁸³ Bricage P. (2001) Du biologique au social ? Les associations à avantages et inconvénients partagés. L'éthique de la prise en charge sanitaire et sociale. *Atelier MCX20*, Arcachon, 21 p.

Évaluation des avantages et des inconvénients d'un procédé. Comment envisager des applications possibles à partir des connaissances scientifiques. In Wynn Ch.M. & A.W. Wiggins (2001) *Intuitions Géniales. Le Top 5 des meilleures idées scientifiques*. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, p. 131-150.

⁸⁴ Bricage P. (2001) La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques : production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? *La décision systémique : du biologique au social*. Colloque AFSCET, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr/Decision.pdf>

⁸⁵ Ibid Bricage P. (2004) <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde04GA.pdf>

⁸⁶ Ibid Bricage P (2001) <http://www.afscet.asso.fr/Decision.pdf>

Bricage P. (2004) La Nature de la Violence dans la Nature. 9 p. *Res-Systemica* n° 4.

<http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Violence04/bricage.pdf>

⁸⁷ Bricage P. (2003) Types vigiles et performances éducatives. Peut-on enseigner en prêt-à-porter de façon industrielle, ou doit-on enseigner sur-mesure de façon artisanale ? *Fête de la Science, Visages des Sciences en Aquitaine*, 79 p.

⁸⁸ Afscet (2007) *La gouvernance dans les systèmes*. Polimetrica, Milano, 182 p.

⁸⁹ Bricage P. & al. (2007) *Systémique & Accompagnement*, 155 p., AFSCET & UPPA, archives ouvertes du CNRS en Sciences Humaines & Sociales, <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00130212>

⁹⁰ Witkowsky N. (2007) Pourquoi les manchots n'ont pas froid aux pieds ? Seuil, Science Ouverte, Paris, 200 p. <http://www.newscientist.com/lastword.ns>

Bibliographie complète (reprenant toutes les notes de bas de page)

- Afscet (2007) La gouvernance dans les systèmes. Polimetrica, Milano, 182 p.
- André L. (2006) Une aire cérébrale multi-usage. Pour La Science n° 346, p. 25.
- Barbault C. (2008) Lutte contre les stéréotypes. Valeurs mutualistes n° 255, p. 13.
- Boulanger P. & A. Cohen (2007) Le Trésor des Paradoxes, Belin, Paris, 542 p.
- Bourny G. & al. (2001) Les élèves de 15 ans. Premiers résultats d'une évaluation internationale des acquis des élèves (PISA 2000). Note d'Information 01.52 (ni0152_22422.pdf, 260 ko), MEN-DEP, décembre 2001, 6 p.
- Bourny G. & al. (2004) Les élèves de 15 ans - Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2003. Note d'Évaluation 04.12 (5220.pdf, 148 ko), MEN-DEP, décembre 2004, 6 p.
- Bremner WJ, MV Vitiello & PN Prinz (1983) Loss of circadian rhythmicity in blood testosterone levels with aging in normal men. J Clin Endocrinol Metab. 56: 1278 -1281.
- Bricage P. (1977) L'exploitation des procédés d'enseignement et des techniques éducatives en sciences naturelles. II. Les travaux pratiques, dirigés ou indépendants. Bull. A.A.S.N.S. n° 58, p. 5-30.
- Bricage P. (1985) Techniques des Objectifs Pédagogiques : une formation individualisée, finalisée et contractualisée, modulaire. Formation des Professeurs des Écoles. École Normale de Mont-de-Marsan. 247 p.
- Bricage P. (1988) Action des micro-ondes (fréquences, intensités, durées) sur les systèmes biologiques : quels effets et quand ? Congrès de la Société de Chimie Biologique : Systèmes BioÉnergétiques, Structure, Contrôle et Evolution. Bombannes, 10 p.
- Bricage P. (1993) Quelle pédagogie pour quelle formation ? Bull. AEENS n° 2, p. 45-71.
- Bricage P. (1998) Préparation aux concours d'entrée des écoles paramédicales. SOINS, Formation, Pédagogie, Encadrement n° 25, p. 44-50.
- Bricage P. (2000) La Survie des Organismes Vivants. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Fac. Médecine, Paris, 4 fév. 2000, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr/SURVIVRE.pdf>
- Bricage P. (2000) La nature de la violence dans la nature : déterminismes écophysiologique et génétique de l'adaptation aux changements dans les écosystèmes végétaux. La Violence. Colloque AFSCET Andé, 18-19 mars 2000, 7 p. <http://www.afscet.asso.fr/ViolencePB.html>
- Bricage P. (2000) Systèmes biologiques : le "jeu" de la croissance et de la survie. Quelles règles ? Quelles décisions ? Quels bilans ? La décision systémique : du biologique au social. Atelier AFSCET, Paris, Institut International d'Administration Publique, 25 nov. 2000, 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/JdVie1.pdf>
- Bricage P. (2001) Évaluation. Filière SDV 1^{ère} année, Méthodologie scientifique, UFR Sciences, UPPA, 89 p.
- Bricage P. (2001) Du biologique au social ? Les associations à avantages et inconvénients partagés. L'éthique de la prise en charge sanitaire et sociale. Atelier MCX20, Arcachon, 21 p.
- Bricage P. (2001) La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques : production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? La décision systémique : du biologique au social. Colloque AFSCET, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr/Decision.pdf>
- Bricage P. (2001) A new evolutionary paradigm : the Associations for the Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages., In The creation of a sustainable society depends on Innovative Systems Thinking. 100th Anniversary of Karl Ludwig von Bertalanffy's International Conference on Systems Thinking "Unity through Diversity", Vienna, 1 p.
- Bricage P. (2001) Les caractéristiques du vivant biologique et sociétal ? Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Paris, Institut International d'Administration Publique, 11 p. <http://www.afscet.asso.fr/ergodiqW.pdf>
- Bricage P. (2002) Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systémique du vivant. Évolution du vivant et du social : Analogies et différences. Colloque AFSCET Andé, 20 p. <http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf>
- Bricage P. (2002) The Evolutionary "Shuttle" of the Living Systems. 5th European Systems Science Congress 16th-19th Oct. 2002, Hersonissos, Creta, Greece, Res. Systemica 2: 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/Bricage.pdf>
- Bricage P. (2003) Organisation, intégration et espace-temps des systèmes vivants. Intégration du vivant et du social : Analogies et différences. Colloque AFSCET Andé, 31 p. <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde03.pdf>

Bricage P. (2003) Types vigiles et performances éducatives. Peut-on enseigner en prêt-à-porter de façon industrielle, ou doit-on enseigner sur-mesure de façon artisanale ? Fête de la Science, Visages des Sciences en Aquitaine, 79 p.

Bricage P. (2004) Entre local et global, la gouvernance associative : quels rôles, quels coûts, quelle éthique ? Colloque AFSCET Andé La gouvernance., 14 p. <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde04GA.pdf>

Bricage P. (2004) La gouvernance du vivant : les acteurs et les systèmes., Colloque AFSCET Andé La gouvernance., 26 p. <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde04GV.pdf>

Bricage P. (2004) La Nature de la Violence dans la Nature. 9 p. Res-Systemica n° 4.

<http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Violence04/bricage.pdf>

Bricage P. (2005) The Cell originated through Successive Outbreaks of Networking and Homing into Associations for the Mutual and Reciprocal Sharing of Advantages and of Disadvantages, between the Partners, with a Benefit only for their Wholeness. 10 p. 6th European Systems Science Congress, 16th-21st Sept. 2005, Paris, France, <http://minilien.com/?AhsGujV2gC> & <http://minilien.com/?MKOkk2v5Nv>

Bricage P. (2005) The Metamorphoses of the Living Systems: The Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages. 10 p. 6th European Systems Science Congress, 16th-21st Sept. 2005, Paris, France, <http://minilien.com/?R9E2rFXJlc>

Bricage P. (2007) Comment les systèmes biologiques mettent-ils en place (team building) des organisations, juxtaposées et imbriquées en réseaux (networks), "groupwares" robustes et durables ? Quels sont les facteurs limitants de ces processus ? Colloque AFSCET Andé La gouvernance., 26 p.

<http://www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf>

Bricage P. (2007) Quel enseignement supérieur & quel accompagnement pour quelles formations en sciences et technologies ? Bull. A.E. E.N.S., n° 1, p. 71-98.

<http://www.afscet.asso.fr/publications/CDUStxtPBW6F.pdf>

Bricage P. & al. (2007) Systémique & Accompagnement, 155 p., AFSCET & UPPA, archives ouvertes du CNRS en Sciences Humaines & Sociales, <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00130212>

Cailleux A. & J. Komorn (1981) Dictionnaire des racines scientifiques. Editions cdu-sedes, Paris, 263 p.

Cleveland W.S. & R. McGill (1985) Graphical Perception and Graphical Methods for Analyzing Scientific Data. Science vol. 229, p. 828-833.

Collectif (1988) Sujet du CAPES interne (en Sciences de la Nature et de la Vie). Composition à partir d'un dossier (4 heures) 1. La régulation de la sécrétion des hormones sexuelles. Bull. APBG (Association des Professeurs de Biologie et Géologie) n° 3-1988, p. 507-511.

Collectif (2002) La science en 10 questions. Sciences et Avenir Hors-série n° 133, 82 p.

de Larebeyrette J. (1965) De l'esprit d'analyse et de synthèse en biologie. Cahiers de Biothérapie n° 7, p. 1-26.

Dehaene S. (2007) Les neurones de la lecture. Odile Jacob, Paris, 512 p.

Donnadieu G. & M. Karsky (2002) La systémique, penser et agir dans la complexité. Éditions Liaisons, Paris, 270 p. <http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf>

Équipe pédagogique du Lycée de Belfort (1993) Conseils méthodologiques pour l'épreuve de biologie Construire un graphique. Fiche méthodologique (élève de 5^e). Fiche proposée après apprentissage de la lecture graphique. Biologie Géologie n° 3-1993, p. 522.

Équipe pédagogique du Lycée de Belfort (1993) Conseils méthodologiques pour l'épreuve de biologie. Comment lire, comprendre et rédiger un devoir de biologie. Fiche méthode (élève de 2^{nde}). Biologie Géologie n° 3-1993, p. 523.

Équipe pédagogique du Lycée Jean-Paul Sartre de Bron (Rhône) Collectif professeurs-correcteurs au baccalauréat (1993) Rédiger un devoir de baccalauréat D. Méthodes en biologie-géologie (élève de terminales) Biologie Géologie n° 3, p. 533-534.

Frankie G.W. (1975) Tropical forest phenology and pollinator plant coevolution. In Gilbert L.E. & P.H. Raven, eds., Coevolution of Animals and Plants, University of Texas Press, Austin, pp. 192-209.

Fréon G. (1964) Recherches histophysiologiques sur la neurosécrétion dans la chaîne nerveuse ventrale du Criquet migrateur, *Locusta migratoria*. C.R. Acad. Sci. Paris, 259 : 1565-1568..

Gallese V. & al. (1996) Action recognition in the premotor cortex. Brain 119, 593-609.

Gayon J. (2002) Qu'est-ce qu'une théorie ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 62-67.

Gires F. & N. Hulin (1999) Les "appareils" de l'enseignement. Pour La Science n° 257, p. 12-14.

- Granger G.G. (2002) Qu'est-ce que l'expérience ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 38-43.
- Han J.-D. (2008) Understanding biological functions through molecular networks. Cell Res. n° 18, p. 224-237.
- Iacoboni M. & al. (2005) Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. PLoS Biol. 3, 79.
- Indge B. (2004) La biologie de A à Z. Dunod, Paris, 344 p.
- Jeffers J.N.R. (1982) Modelling. Outline Studies in Ecology. Chapman & Hall, London, New York, 80 p.
- Keller E. F. (1999) Le rôle des métaphores dans les progrès de la biologie. Les Empêcheurs de penser en rond, Institut Synthélabo pour le progrès de la connaissance. Librairie Lavoisier, Paris, 154 p.
- Keysers C. & al. (2003) Audiovisual mirror neurons and action recognition. Exp. Brain Res. 153, 628-636.
- Koechlin E. & Th. Jubault (2006) Broca's Area and the Hierarchical Organization of Human Behavior. Neuron, n° 50, p. 963-974.
- Krick G. & al. (2007) Apprendre à lire. La querelle des méthodes. Gallimard, Paris 144 p.
- Lakatos P. & al. (2008) Entrainment of Neuronal Oscillations as a Mechanism of Attentional Selection. Science Vol. 320, n° 5872, p. 110-113. DOI: 10.1126/science.1154735
- Mangale V.S. & al. (2008) Lhx2 Selector Activity Specifies Cortical Identity and Suppresses Hippocampal Organizer Fate. Science n° 5861, p. 304-309.
- Meyer M. (2002) Qu'est-ce qu'un problème ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 56-61.
- Monnier A.-L. (sous la dir. de) (2007) L'évaluation internationale PISA 2003 : compétences des élèves français en mathématiques, compréhension de l'écrit et sciences. Les Dossiers, n° 180 (5,52 Mo, 4831.pdf), MEN-D.E.P.P., mars 2007, 240 p. ISBN 978-2-11-095421-1
- Nelson C.A. & al. (2007) Cognitive Recovery in Socially Deprived Young Children: The Bucharest Early Intervention Project. Science n° 5858, p. 1937-1940.
<http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/sci;318/5858/1937.pdf>
- Pearl J. (2000) Causality: Models, Reasoning and Inference, Cambridge University Press, New York, 384 p.
- Perelman Y. & al. (2000) Oh, la physique! 250 casse-tête pour tester votre sens physique. Dunod, Paris, 251 p.
- Popper K.R. (2007) La logique de la découverte scientifique. Payot, Paris, 484 p.
- Rizzolatti G. & al. (1996) Premotor cortex and the recognition of neuron motor actions. Cogn. Brain Res. 3, 131-141. <http://www.cns.atr.jp/~erhan/Papers/OztopFranklinChaminadeCheng2005.pdf>
- Robert J.M. (1982) Comprendre notre cerveau. Éditions du Seuil, Paris, Points Sciences, 270 p.
- Roberts W.A. & al. (2008) Episodic-Like Memory in Rats: Is It Based on When or How Long Ago? Science Vol. 320, n° 5872, p. 113-115. DOI: 10.1126/science.1152709
- Sattler R. (1986) Bio-philosophy. Analytic and Holistic Perspectives. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 284 p.
- Schmidt C. (2008) Quand la raison l'emporte sur la logique. La Recherche n° 416, p. 46-50.
- Szczeciniarz J.J. (2002) Qu'est-ce qu'une hypothèse ? La science en 10 questions. Sciences et Avenir, Hors-série n° 133, p. 26-31.
- Veyne P. (1996) Comment on écrit l'histoire. Essai d'épistémologie. Seuil, Paris, 438 p.
- Wagner F. (2006) Comment apprennent-ils ? Vies de Famille sept. 2006, p. 10-13.
- Wehrhahn C. & T. Poggio (1976) Real-time delayed tracking in flies. Nature n° 5555, p. 43-44.
- Werblin F. & B. Roska (2007) Des films sur la rétine. Pour La Science n° 356, p. 54-60.
- Witkovsky N. (2007) Pourquoi les manchots n'ont pas froid aux pieds ? Seuil, Science Ouverte, Paris, 200 p. <http://www.newscientist.com/lastword.ns>
- Wynn Ch.M. & A.W. Wiggins (2001) Intuitions Géniales. Le Top 5 des meilleures idées scientifiques. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 218 p.
- Zwirn D. & H. Zwirn (2003) La révision des croyances. Pour La Science n° 311, p. 64-69.

Sites web & webcampus

- Approche systémique (l') http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Approche_systémique
 - Associations Scientifiques Françaises (les) <http://www.sfc.fr/ActionSciences.htm>
- "site d'entrée" de - l'Association des Professeurs de Biologie et Géologie (APBG),
 - l'Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC),
 - l'Union des Professeurs des classes préparatoires aux écoles Agronomiques (UPA),
 - l'Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles (UPSTI),
 site sur lequel sont disponibles les travaux du colloque :
- Quel avenir pour l'enseignement scientifique au lycée et dans l'enseignement supérieur.**
http://www.sfc.fr/ActionSciences/AcSc_Colloque.html
- Bricage P. (2008) "Prépa Concours" Ecoles des Professions Paramédicales. 35 files, 6 Mo. (DUCSS)
<http://webcampus.univ-pau.fr/courses/DUCSSSANITAIREWEB>
 - Bricage P. (2008) Méthodologie scientifique en sciences de la vie. 37 files, 23 Mo. (L1SDV)
<http://webcampus.univ-pau.fr/courses/METHODOLOGIESDV>
 - Bricage P. (2008) Types de fréquentation observés selon les types de cours proposés dans un dispositif pédagogique de e-formation : influence des objectifs pédagogiques et du type d'étudiant potentiel, bilan d'une démarche pratique d'évaluation. 18 p. *In* L'accompagnement pédagogique via le numérique. (FOAD)
 Atelier échange de pratiques. Session de formation Université d'hiver Vivaldi 2008 UNR Aquitaine UPPA, Montory, Bayonne-Anglet. Sur le webcampus de l'UPPA :
<http://webcampus.univ-pau.fr/courses/CL50cd>, cours L'accompagnement
 - CCSTI (Centres de Cultures Scientifiques Techniques et Industriels), 34 en France
<http://www.lareunion.crihan.fr>
 (plan du cours, puis Quel webcampus ? Pour Qui ? Pour Quoi ? Comment ? Où ?)
 - Cité des Sciences & de l'Industrie, Paris <http://www.cite-sciences.fr>
 - Cohen B. & A. Whitman's (1999) The System of the World. Translation of *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 3rd edition. Isaac Newton (1687, 1713, 1726). "[4] Rules for the study of natural philosophy", The General Scholium containing the 4 rules follows Book 3, Reprinted on pages 794-796 of I. University of California Press ISBN 0-520-08817-4, 974 p. http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method
 - Collectif (2008) L'évolution des acquis des élèves de 15 ans en culture mathématique et en compréhension de l'écrit. Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2006. Les notes d'information - D.E.P.P. - N°08.08 janvier 2008. <http://www.education.gouv.fr/cid20804/l-evolution-des-acquis-des-eleves-de-15-ans-en-culture-mathematique-et-en-comprehension-de-l-ecrit.html>
 - DEPP : site PISA en français <http://www.educ-eval.education.fr/pisa2003.htm>
 Accès aux exercices PISA, livres de diffusion : <http://www.educ-eval.education.fr/pisa3.htm>
 - Dessalles J.L. (2006) L'émergence du langage au cours de l'évolution. *In* Coll. Internat. *La Fabrique du Signe. Langue(s), langage(s) et émergence(s). Linguistiques : émergences et sémiogénèse.* Maison de la Recherche, Toulouse. <http://w3.irpall.univ-tlse2.fr/axe3/prd/fabrique.htm>
 - Jarrard R.D. (2001) SCIENTIFIC METHODS an online book.
 Dept. of Geology and Geophysics, University of Utah.
<http://emotionalcompetency.com/sci/booktoc.html>
 - Musée des Arts et Métiers (CNAM), Paris <http://www.arts-et-métiers.net>
 - O.C.D.E. : site PISA en anglais <http://www.pisa.oecd.org>
 - Palais de la Découverte, Paris <http://www.palais-decouverte.fr>
 - Wiki fondation : dictionnaire en ligne <http://fr.wiktionary.org>
 encyclopédie en ligne <http://www.wikipedia.fr>

Glossaire ⁹¹ (par ordre alphabétique)**L'abduction**

du latin **abduct** : écarter, composé de **duct (ducere)** : conduire et de **ab** : en s'éloignant de ⁹²

"action d'inférer de la meilleure explication d'une observation", l'abduction ⁹³ est la démarche qui consiste à **remonter de l'effet à la cause**. La **déduction** emprunte le chemin inverse.

C'est le **raisonnement utilisé par l'enquêteur** (scientifique ou policier) pour construire une théorie pour tenter d'expliquer un fait, d'observation ou d'expérience, "nouveau" ou inattendu.

L'abduction est à la base du diagnostic médical.

L'approche réductionniste

méthode scientifique qui consiste à fragmenter, à restreindre, diminuer, contraindre (par nécessité ou par force) des systèmes complexes en éléments plus simples à étudier. Elle est très efficace. Elle a permis à l'espèce humaine de créer la bombe atomique et de commencer la conquête spatiale.

L'approche systémique

L'approche systémique est **une méthodologie de représentation**, de modélisation d'un objet actif, intégré dans **un réseau d'éléments en interactions**, et lui-même ensemble d'éléments actifs en interaction. Elle se concrétise dans le processus de modélisation et **l'utilisation du langage graphique** pour l'élaboration de modèles qualitatifs et **la construction de modèles dynamiques, quantifiés**.

Sa mise en œuvre nécessite un effort d'apprentissage conceptuel et pratique. ⁹⁴

L'approche systémique ne s'oppose pas à une approche analytique, réductionniste. Elle ne lui est pas contradictoire mais complémentaire. **Les deux sont indissociables !**

Et leur TOUT est à la fois plus et moins que la somme de leurs parties.

La conduction

du latin, **conducere** : mener ensemble, composé du préfixe **con** : ensemble et de **ducere**

"action de mener, guider, diriger, accompagner vers un but", un être ou une chose, "action de construire, d'inspecter, d'avoir la direction", en parlant des ouvrages matériels, de l'esprit et des choses morales.

La déduction

du latin **duct (ducere)** : conduire et **de** : en écartant, défaisant, descendant,

"action de tirer une conséquence, d'inférer une chose d'une autre", la déduction n'est pas exacte, c'est un procédé par lequel on va **de la cause aux effets**, du principe aux conséquences, du général au particulier. Le syllogisme est la principale forme de déduction. La déduction est opposée à l'induction.

L'exaptation

adaptation dans laquelle **une structure assure une fonction pour laquelle elle n'était pas initialement construite**, avant que n'intervienne la pression de la sélection naturelle :

- soit un organe non modifié est réutilisé à l'identique pour une autre fonction (non sélectionnée à l'origine). C'est le cas de certaines **aires du cerveau humain**, aujourd'hui **utilisées pour la lecture**.

- soit l'exaptation est une forme particulière d'adaptation naturelle, c'est-à-dire un ensemble de mutations génétiques sélectionnées par la sélection naturelle. Mais cette adaptation se fait sur la base d'un organe à l'origine prévu pour un tout autre usage. Il en va ainsi du poumon des tétrapodes, apparus chez des poissons comme une adaptation à des milieux aquatiques pauvres en oxygène, et secondairement modifiés pour fonctionner en milieu purement terrestre. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Exaptation>

L'émergence

Des systèmes dynamiques, comportant des rétroactions⁹⁵, peuvent être le siège de l'apparition "brutale" (à partir d'un certain **seuil critique**), à un degré supérieur de complexité, de nouvelles caractéristiques "inattendues". On peut définir l'émergence par deux caractéristiques⁹⁶ :

⁹¹ <http://fr.wiktionary.org> dictionnaire en ligne, gratuit, de la **wiki fondation**

⁹² Cailleux A. & J. Komorn (1981) Dictionnaire des racines scientifiques. Éditions cdu-sedes, Paris, 263 p.

⁹³ Ibid Zwirn D. & H. Zwirn (2003)

⁹⁴ Donnadiou G. & M. Karsky (2002) La systémique, penser et agir dans la complexité. Éditions Liaisons, Paris, 270 p.

⁹⁵ **"chaînes de Markov"** In Bricage P. (2004) La gouvernance du vivant : les acteurs et les systèmes., Colloque AFSCET Andé La gouvernance., 26 p. <http://www.afscet.asso.fr/pbAnde04GV.pdf>

- le "nouveau TOUT" est A LA FOIS "PLUS ET MOINS" que la somme de ses parties. ⁹⁷

Ceci signifie qu'on ne peut *qu'a posteriori* expliquer le comportement de l'ensemble par l'analyse des comportements des parties. Et *qu'a priori*, l'apparition du nouveau tout est *imprévisible* et *qu'a fortiori* son comportement futur est *imprédictible*.

- même si le comportement de l'ensemble est caractérisable, la connaissance détaillée des structures fonctionnelles de ses parties (approche réductionniste) ne renseigne jamais complètement.

L'acquisition du "langage systémique" de la démarche expérimentale est une "émergence".

Ce langage, comme tout langage, résulte de l'organisation sociale particulière de notre espèce. En prenant la parole ou l'écrit, les locuteurs ou les scripteurs s'attachent à afficher certaines qualités (compétence informationnelle, pertinence) qui sont recherchées dans l'établissement et le maintien d'une sémiologie. ⁹⁸

L'induction

du latin **in** : dans (**int** : intérieur) et **induct** "conduire à l'intérieur"

"raisonnement qui consiste à rassembler une série d'observations spécifiques pour arriver à formuler une conclusion générale", l'induction est la démarche qui, utilisant la totalité des connaissances, des expériences, et des facultés d'observation d'un individu, va lui permettre **l'action de détecter une analogie, un rapport, une relation particulière et sélective, d'un phénomène inconnu, avec un événement connu**. ⁹⁹

L'intuition

du latin **intuitio** : "**acte de voir à l'intérieur d'un seul coup d'œil**",

"connaissance immédiate, saisie sans intermédiaire conceptuel ou matériel d'un objet réel ou pensé", l'intuition est un mode de connaissance indépendant de la raison, relevant du simple sentiment.

«Pour arriver à une connaissance certaine de la vérité, Il n'y a pas d'autres voies qui s'offrent aux hommes que l'intuition évidente et la déduction nécessaire.» (Descartes, XII^e règle).

«Il n'est d'autre connaissance qu'intuitive. La déduction et le discours, improprement appelés connaissance, ne sont que des instruments qui conduisent à l'intuition.» (Jean Paul Sartre)

On trouve dans l'histoire des sciences de nombreux exemples de découvertes surgies apparemment de nulle part. Résultant d'un travail non conscient de l'esprit, les intuitions sont des synthèses qui intègrent l'ensemble des informations que nous mémorisons, enfouies dans l'inconscient ou le subconscient. Elles s'effectueraient préférentiellement dans le cerveau droit, qui serait plus apte au fonctionnement empirique tandis que le cerveau gauche (siège du langage) travaillerait selon un mode plus logique et rationnel.

Le raisonnement hypothéticodéductif

raisonnement impliquant d'abord la mise en place d'une hypothèse (par abduction, intuition ou déduction), puis la recherche de la confirmation ou de l'infirmité de cette hypothèse par la déduction.

La récursion

"action de s'appeler soi-même" <http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9cursivité>

La récursivité est une démarche qui consiste à faire référence à ce qui fait l'objet de la démarche, comme le fait de décrire un processus dépendant de données en faisant appel à ce même processus sur d'autres

⁹⁶ Le concept d'émergence est apparu vers 1920 d'un groupe de philosophe et biologistes britanniques qui n'étaient satisfaits ni par le réductionnisme (où comprendre l'élémentaire est censé expliquer le complexe) ni par le vitalisme (mouvement disparu qui opposait au réductionnisme l'idée d'énergie vitale).

http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mergence_%28sciences_de_la_complexité%29

⁹⁷ "**phylogénèse**" *In* Bricage P. (2002) Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systémique du vivant. *Évolution du vivant et du social : Analogies et différences*. Colloque AFSCET Andé, 20 p. <http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf>

⁹⁸ Selon une conception répandue, la raison d'être biologique du langage humain serait de permettre l'échange efficace d'informations utiles. Selon les cas, la communication par le langage est comprise comme profitant à l'espèce, au groupe ou aux individus eux-mêmes dans le cas d'une coopération mutuelle. Cette **vision utilitariste** est incompatible avec l'observation du langage tel qu'il est universellement utilisé dans notre espèce.

L'émergence du langage dans notre lignée (comme son absence dans les autres espèces de primates) serait expliquée par une bifurcation vers un mode d'organisation "politique" dans le passé de notre espèce.

Dessalles J.L. (2006) L'émergence du langage au cours de l'évolution. *In* Coll. Internat. La Fabrique du Signe. Langue(s), langage(s) et émergence(s). Linguistiques : émergences et sémiogénèse. Maison de la Recherche, Toulouse. <http://w3.irpall.univ-tlse2.fr/axe3/prd/fabrique.htm>

⁹⁹ *Ibid* de Larebeyrette J. (1965)

données plus simples, de montrer une image contenant des images similaires, de définir un concept en invoquant le même concept.

C'est un **processus fractal** ou **ergodique**¹⁰⁰, avec une auto-homothétie interne.¹⁰¹

La rétroduction

du latin **retro** : en arrière

"méthode hypothético-déductive, de recherche de causalités, appliquée à la connaissance du passé pour éclairer le présent, et réciproquement expliquer le passé¹⁰², et prévoir le futur"

La rétroduction

ou "induction à rebours" [backward induction] est l'une des formes privilégiées de l'abduction.

Elle **utilise la métaphore** (par exemple la métaphore de la sélection naturelle) et se combine **avec la déduction** (par laquelle on infère logiquement les conséquences des hypothèses produites par l'abduction) **et l'induction** (dans ce cas, non-démonstrative, servant uniquement à vérifier les résultats produits). Elle intègre le concept de "ré-entrée".

(Les) Théorie(s)

Les théories sont des filets destinés à capturer le monde, à le rendre rationnel, à l'expliquer et le maîtriser. Seul celui qui lance un filet pêchera.

Mais, il ne sait pas quoi, ni quand, ni où, ni comment, ni avec quoi, ni avec qui.

Et, ce n'est pas parce qu'il cherche qu'il trouvera.

FIGURES

Figure 1. La démarche scientifique expérimentale.

Figure 2. Cursus de formation et niveau atteint de mise en œuvre de la démarche scientifique.

Figure 3. Niveaux atteints et vitesses d'apprentissage.

Figure 4. La percolation neuronale.

TRANSPARENTS

Transparent 1. Niveaux de base : limites temporelles et amplitude de variation d'un phénomène.

Transparent 2. Notion de témoins successifs.

Transparent 3. La mise en relation d'événements : seuil d'action et effet proportionnel

Transparent 4. La démarche scientifique expérimentale : analyse qualitative & quantitative.

Transparent 5. La démarche scientifique expérimentale & la Loi systémique constructale

¹⁰⁰ **ergodicité** : définition *In* Ibid Bricage P. (2001) <http://www.afscet.asso.fr/ergodiqW.pdf>

L'ergodicité est définie à la fois par la propriété - de structure (organisation spatiale et temporelle) fractale , "invariante" de proche en proche, et par la propriété - de passage évolutif, de proche en proche, entre niveaux (d'organisation) adjacents.

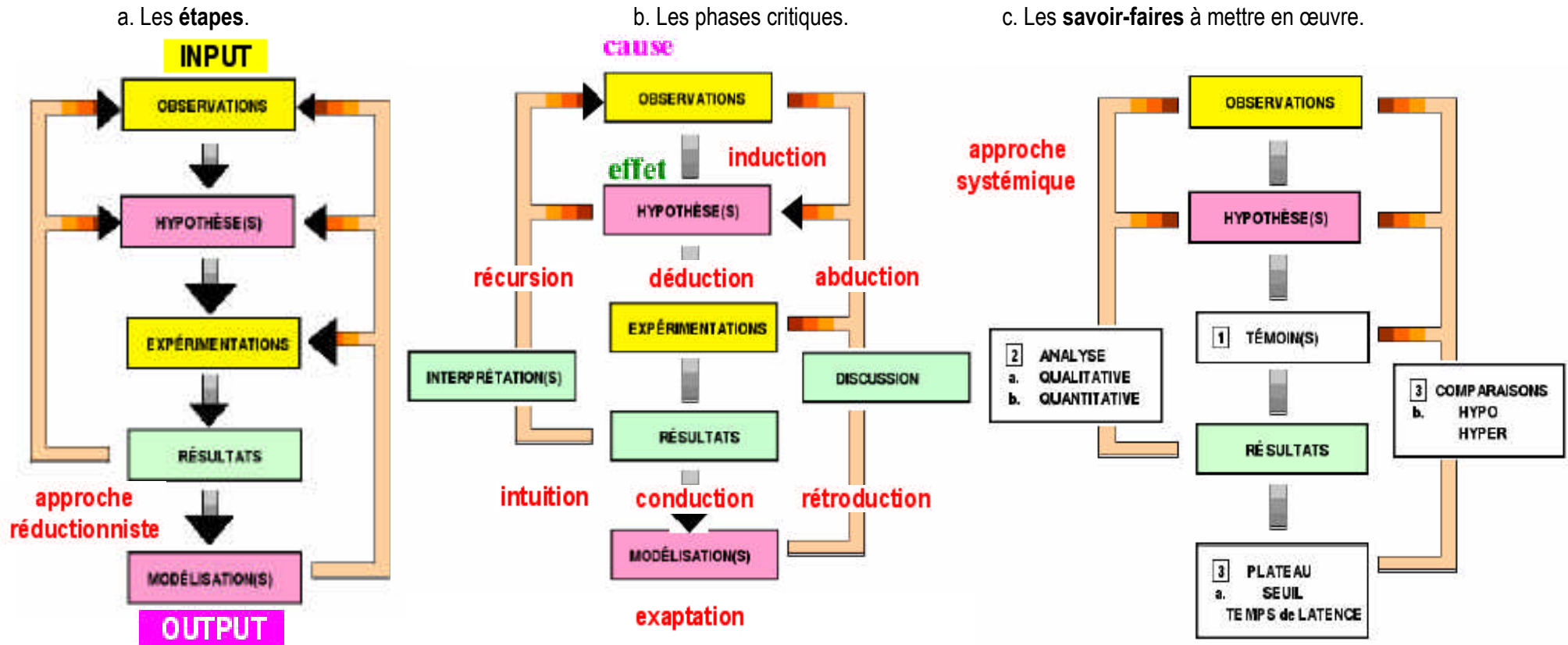
¹⁰¹ Le terme "**fractal**" est au départ un adjectif (relatif aux objets fractals), créé par Benoît Mandelbrot en 1974 à partir de la racine latine fractus : brisé. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fractale>

Défini de façon récursive, un objet fractal est **une structure gigogne en tout point "holo-homo-gigogne"** : c'est un objet dont chaque point est aussi un objet fractal de même nature".

Boulanger P. & A. Cohen (2007) Le Trésor des Paradoxes, Belin, Paris, 542 p.

¹⁰² Veyne P. (1996) Comment on écrit l'histoire. Essai d'épistémologie. Seuil, Paris, 438 p.

Figure 1. La démarche scientifique expérimentale : un langage systémique.



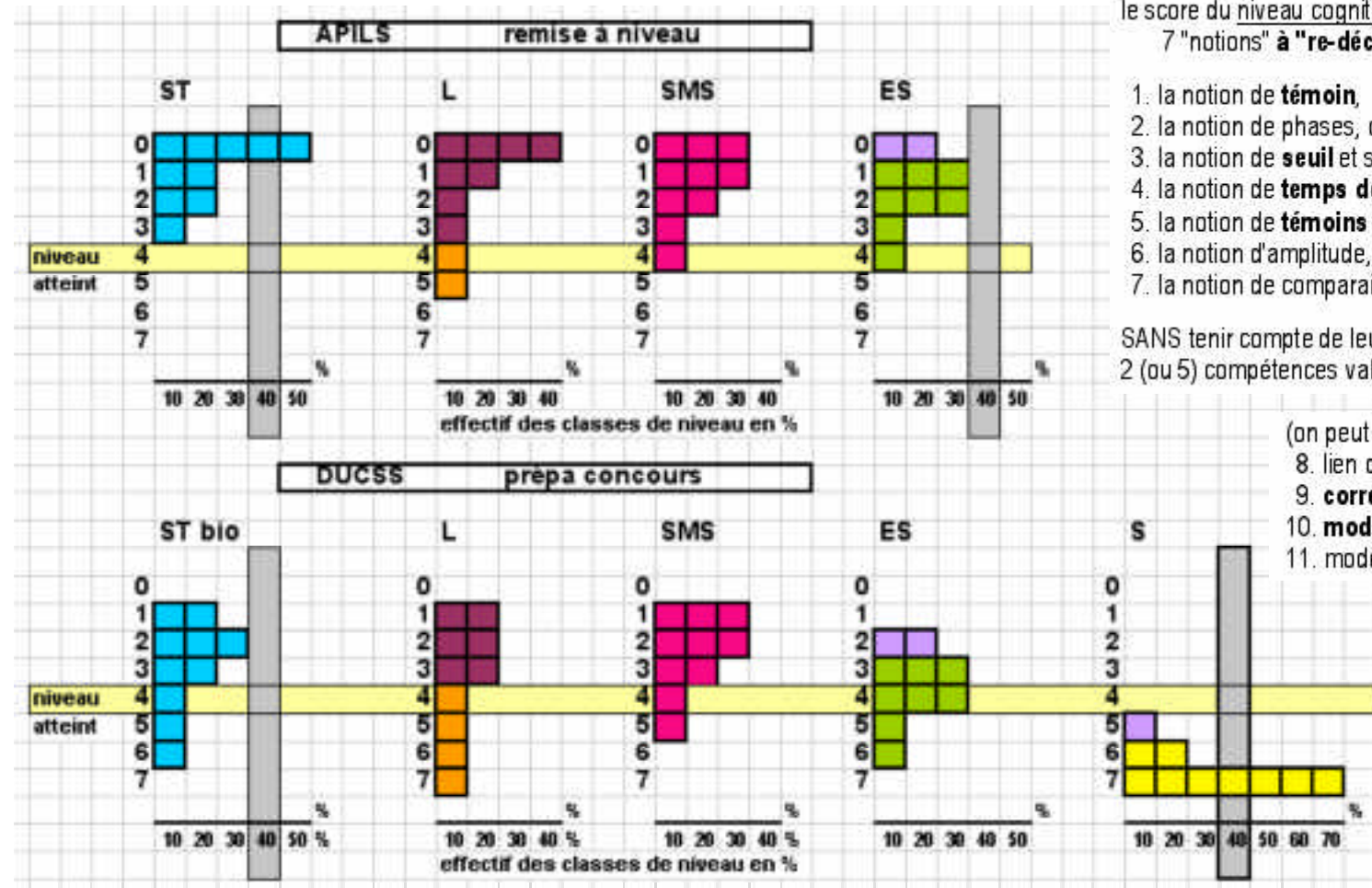
Un système ouvert
à multiples **cycles** de rétro-actions
juxtaposés et emboîtés

Le "chemin" suivi dépend des phases
d'interprétation et de discussion des résultats, et
le chemin se construit en cheminant.

L'état final est **contingent** à la maîtrise répétée
des concepts de phases et d'amplitudes,
spatiales et temporelles

1, 2 a, b, 3 a, b : les différents types, de concepts et de compétences, indispensables, à mettre en œuvre pour "valider" la démarche scientifique expérimentale, et à partir desquels est évalué le "score cognitif" de l'étudiant : échelle de "niveau" de 0 à 7 (Figures 2 et 3).
(voir le glossaire pour les définitions des **actions cognitives**)

Figure 2. Cursus de formation initiale et niveau atteint dans la mise en œuvre de la démarche scientifique expérimentale.



1. la notion de **témoin**,
2. la notion de phases, d'étapes (**analyse qualitative**)
3. la notion de **seuil** et sa mesure
4. la notion de **temps de latence** et sa mesure
5. la notion de **témoins successifs**
6. la notion d'amplitude, d'écart en % (**analyse quantitative**)
7. la notion de comparaison (**hyper-, hypo-, iso-**fonctionnement)

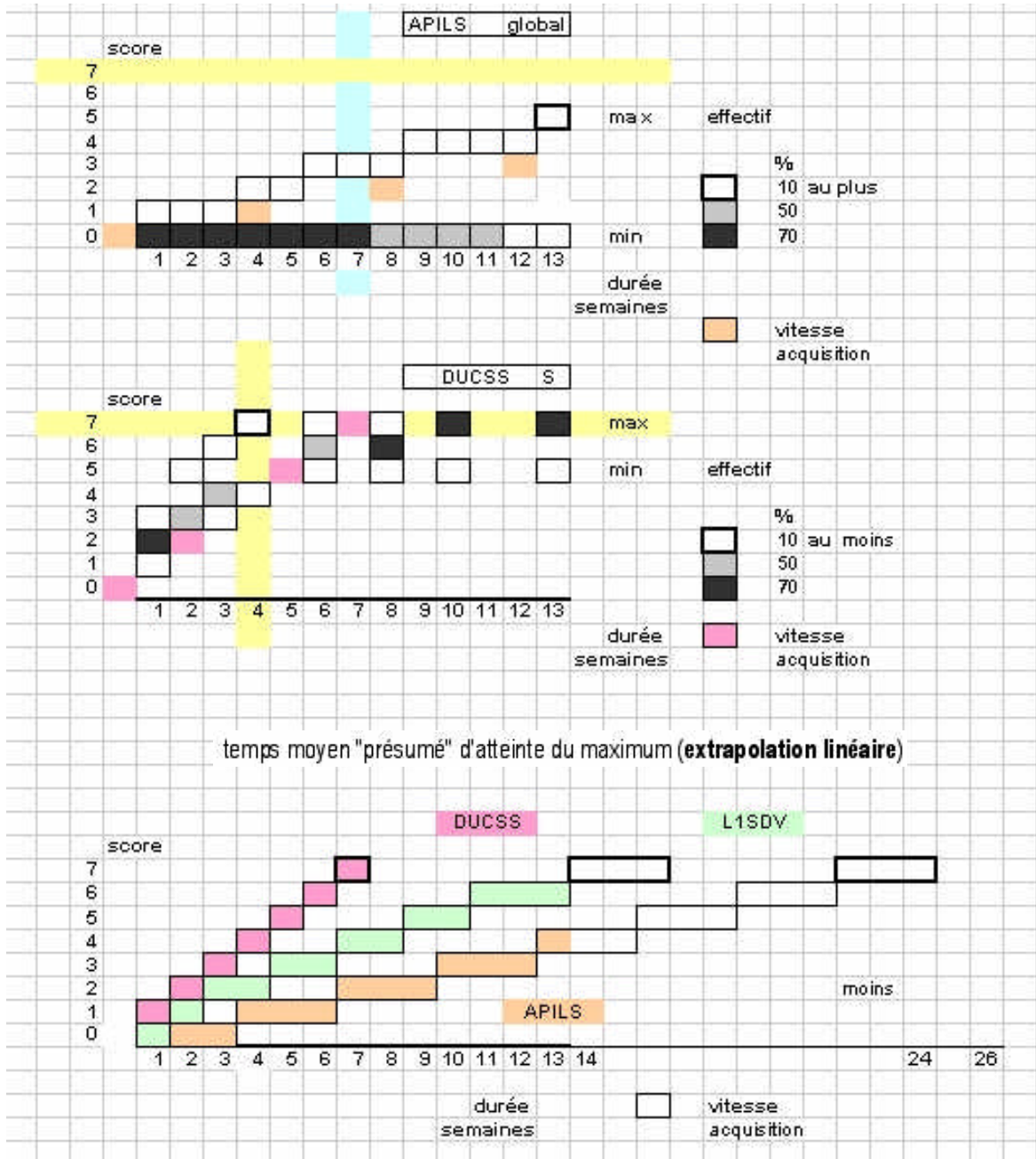
SANS tenir compte de leur ordre pour l'évaluation du score :
2 (ou 5) compétences validées = niveau 2 (ou 5) atteint

- (on peut aller plus loin dans l'échelle d'évaluation :)
8. lien de **cause à effet**
 9. **corrélation** spatiale et temporelle,
 10. **modélisation** qualitative
 11. modélisation quantitative ...)

sections du **baccalauréat** obtenu : L, ES, SMS (actuellement ST2S), ST, STbio, S, APILS (Année Préparatoire à l'Insertion en Licences Scientifiques), DUCSS (Diplôme Universitaire de préparation aux Concours des écoles professionnelles du Sanitaire et du Social), % pourcentage d'étudiants (classes de 10%), ayant atteint un niveau (de 0 à 7) de mise en œuvre de la démarche scientifique expérimentale, toutes les 7 compétences sont mises en œuvre chaque semaine, pendant 13 semaines, à raison d' 1h30 d'exemples décrits en détail (cours) et d' 1h30 d'exercices faits ensuite (TD) et contrôlés

Figure 3. Niveaux atteints et vitesses d'apprentissage.

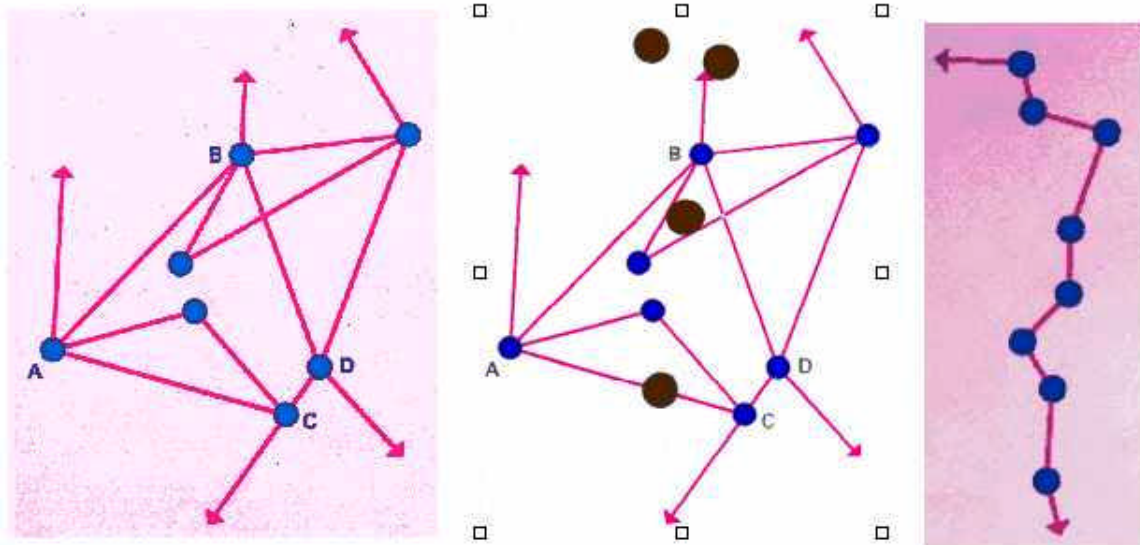
APILS (Année Préparatoire à l'Insertion en Licences Scientifiques) quel que soit le bac obtenu, DUCSS (Diplôme Universitaire de préparation aux Concours des écoles professionnelles du Sanitaire et du Social) tous de bac S, % pourcentage d'étudiants (échelle des classes d'effectif indiquées : de 0 à 10%, de 10 à 50%, et 70 % et plus), L1SDV (première année de Licence de Sciences De la Vie), score niveau atteint (de 0 à 7) de mise en œuvre de la démarche scientifique expérimentale (Figure 2) max, min, maximum et minimum atteints par tout groupe d'étudiants suivi pendant 13 semaines



APILS : le score maximal n'est jamais atteint, quel que soit le bac et quelle que soit l'année, moins de 10% des étudiants atteignent le niveau 5, plus de 70% n'ont pas acquis la notion de témoin, même après 7 répétitions, DUCSS : à la sixième répétition, plus de 50% des étudiants ont atteint le niveau 6, plus de 70% atteignent le score maximal à la dixième répétition, mais ensuite il n'y a plus de changement (atteinte d'un plateau); comme la performance augmente toujours linéairement (la vitesse moyenne d'acquisition, la pente, est constante), on pourrait extrapoler au nombre de répétitions nécessaires pour atteindre le score cognitif maximal en APILS & L1SDV ... s'il n'y avait pas de plateau.

Figure 4. **La percolation neuronale.**

a. LE processus de percolation est un processus d'exaptation.

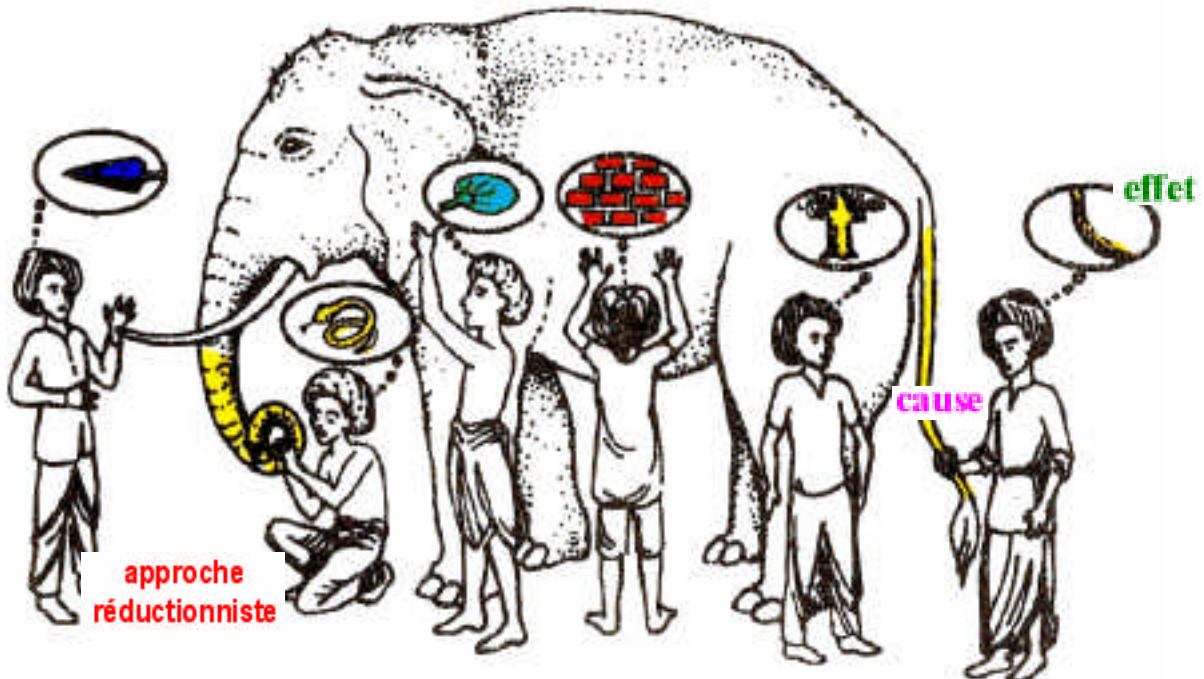


AVANT
a1. au sein d'un réseau d'acteurs en interactions, dont l'activité entretient la structure du réseau,

PENDANT
a2. s'intercalent de nouveaux acteurs dont l'activité change l'activité des acteurs du réseau antérieur, et ...

APRES
a3. seuls les actifs perdurent

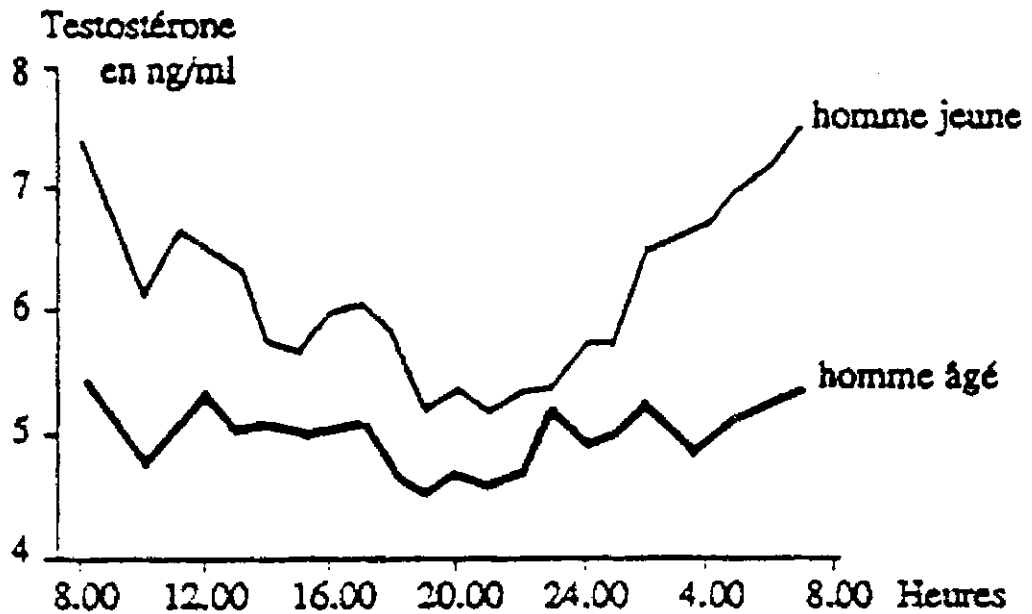
b. "CONNAÎTRE séparément et isolément" les parties... n'est pas connaître le tout : LE tout est à la fois plus et moins que la somme de ses parties, il est "autre", il est émergent.



"adapté" d'un conte indien : "Un jour, des aveugles voulurent savoir ce qu'était un éléphant" (document de l'atelier-blog "Évolution des systèmes" de l'afscet, maintenant fermé)

Transparent 1. Limites temporelles et amplitude de variation d'un phénomène.

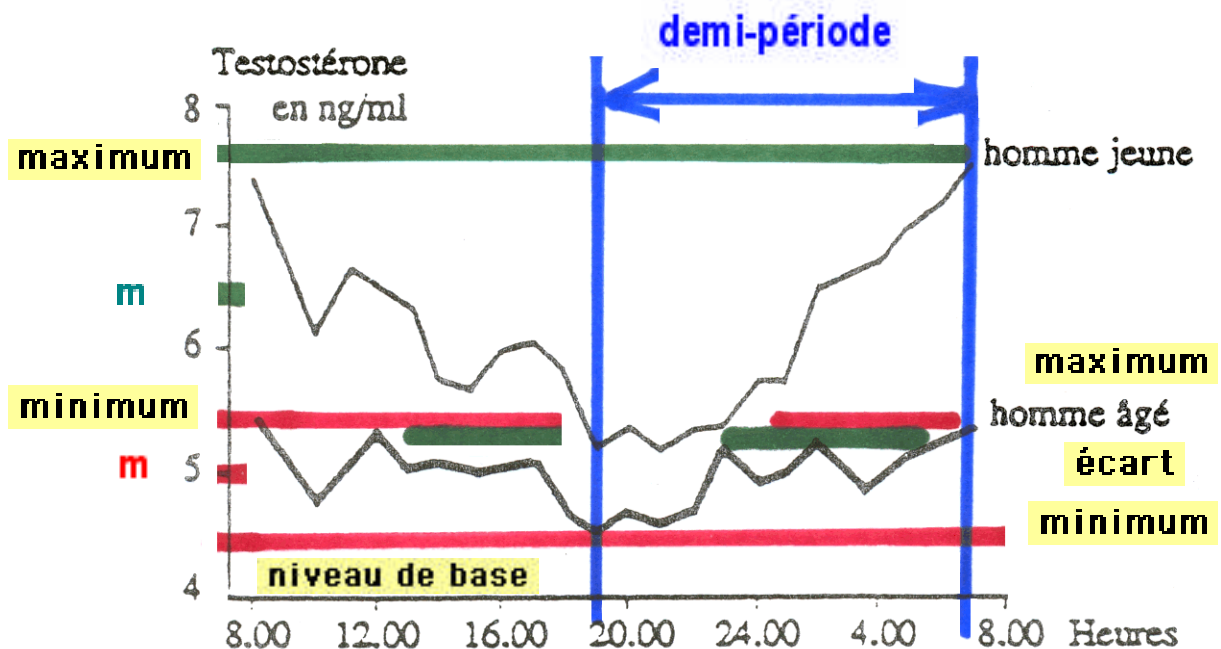
a. Les résultats "observés".



Variation du taux de testostérone chez un homme au cours du nyctémère :
influence de l'âge.

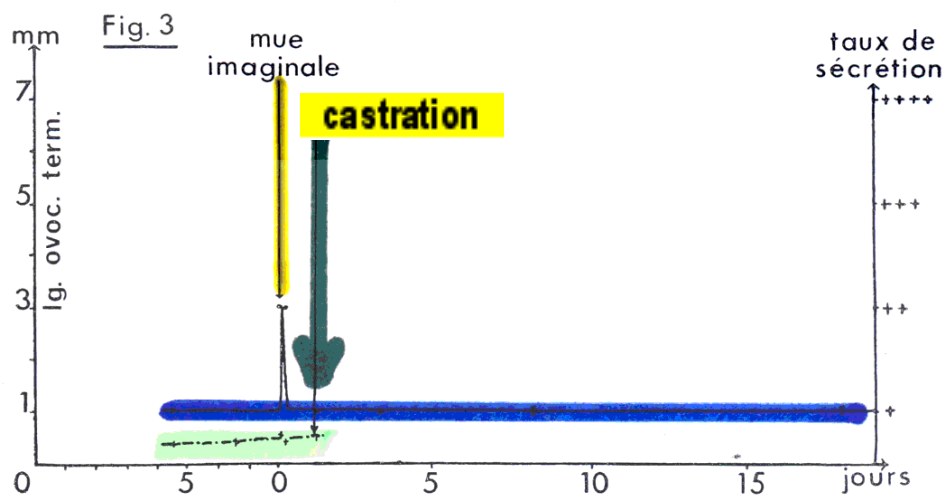
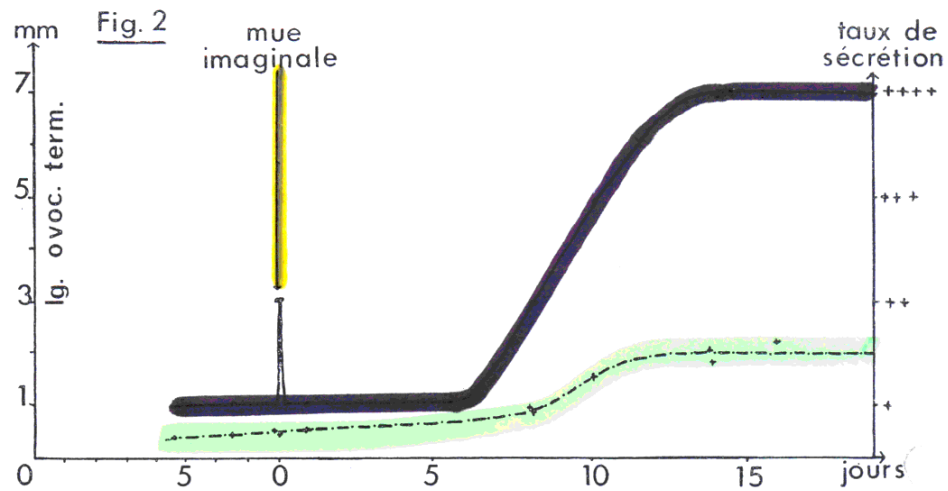
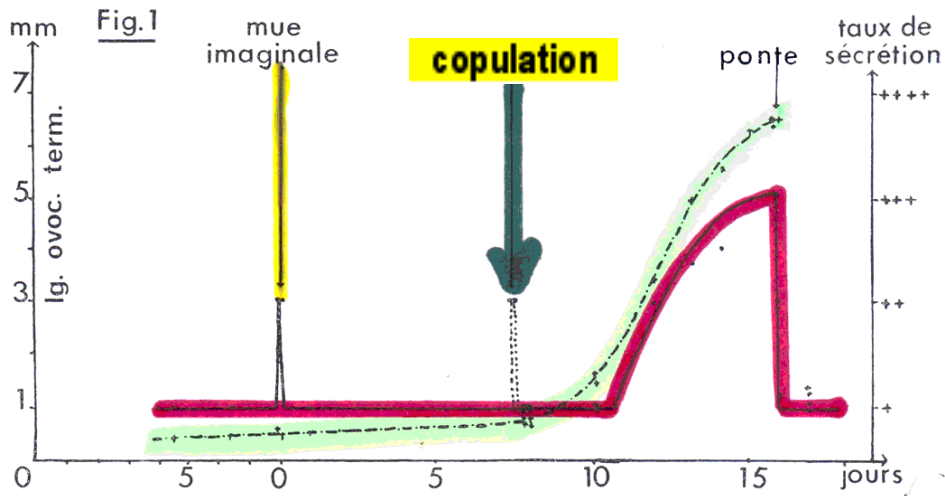
Bremner WJ, MV Vitiello & PN Prinz (1983) Loss of circadian rhythmicity in blood testosterone levels with aging in normal men. J Clin Endocrinol Metab. 56: 1278 -1281.

b. Leur interprétation.



Transparent 2. Notion de TEMOINS SUCCESSIFS.

a. Les résultats expérimentaux.

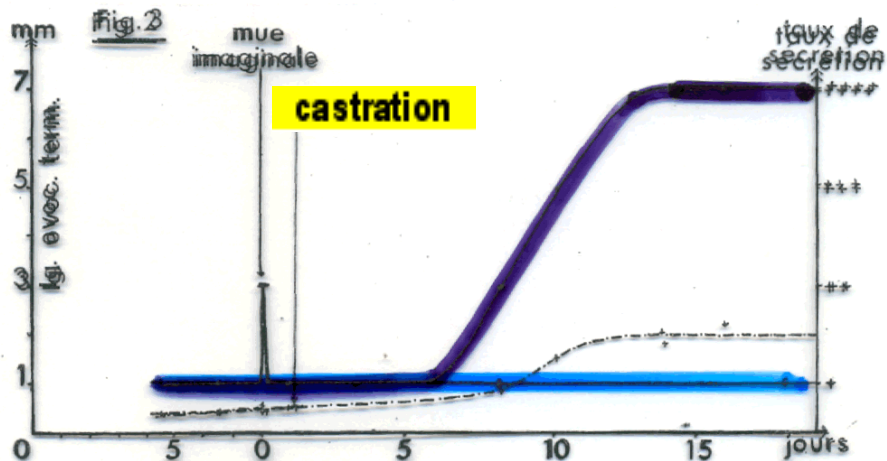


bibliographie

Fréon G. (1964) Recherches histophysiologiques sur la neurosécrétion dans la chaîne nerveuse ventrale du Criquet migrateur, *Locusta migratoria*. C.R. Acad. Sci. Paris, 259 : 1565-1568.

b. Leur interprétation.

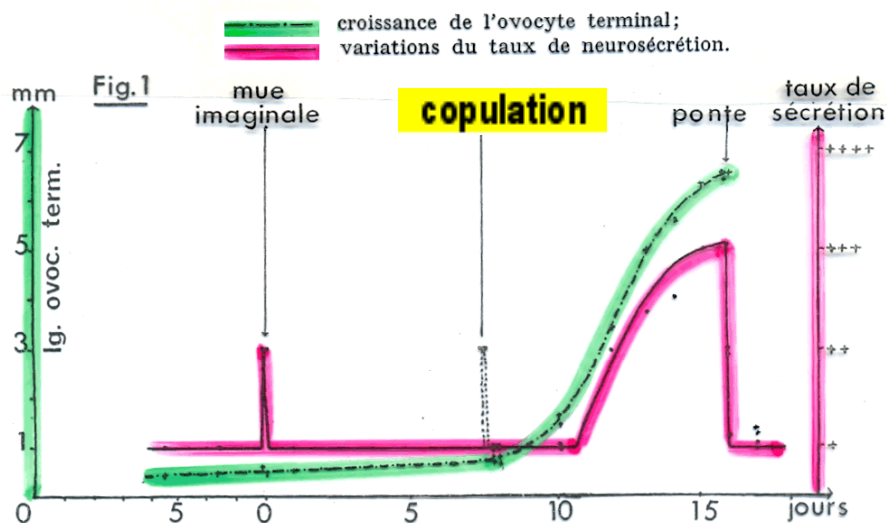
superposition pour comparer au témoin (Fig. 3) en bleu



Évolution de la neurosécrétion dans les deux cellules fuchsinophiles du ganglion sous-œsophagien en relation avec le développement des ovocytes.

- Fig. 1 : Chez les femelles en élevage normal.
 Fig. 2 : Chez les femelles élevées en absence de mâles.
 Fig. 3 : Chez les femelles castrées.

LÉGENDES DES FIGURES.



Témoin 1 (Fig. 3) : chez les femelles castrées, après la mue imaginaire (qui précède l'acquisition de la maturité sexuelle), les cellules ne présentent jamais de neurosécrétion.

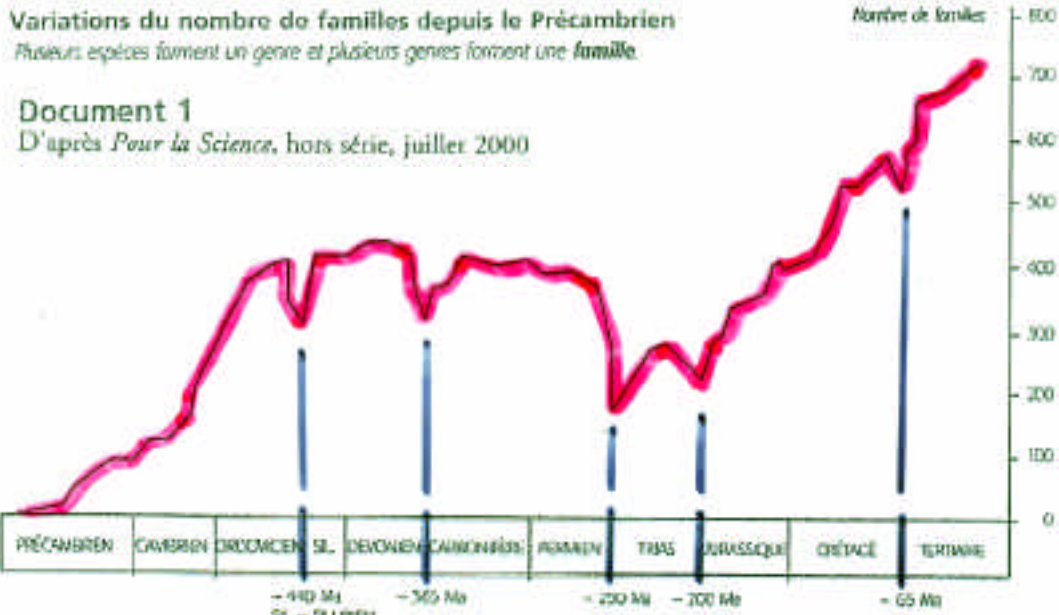
Fig. 2 : par rapport au témoin précédent (Fig. 3), après la mue imaginaire, chez les femelles normales élevées en l'absence de mâles, on observe, dans ces mêmes cellules, une accumulation de neurosécrétion associée à la croissance ovulaire.

Fig. 1 : par rapport à ce nouveau témoin (Fig. 2), chez les femelles normales élevées en présence de mâles, on observe, dans ces mêmes cellules, une **cinétique** différente de l'accumulation des neurosécrétions associées à la croissance ovulaire. L'**amplitude** de la croissance ovulaire est **plus de 3X supérieure** et la **durée** de neurosécrétion est **2X plus courte**, avec atteinte d'un **plateau d'intensité** plus faible (**3X le niveau de base au lieu de 4X**). Après la copulation, les ovules arrivent à maturité et la ponte ovulaire a lieu.

Transparent 3. **La mise en relation d'événements** : seuil d'action et effet proportionnel

3a. Les documents fournis (extrait d'un sujet de baccalauréat S)

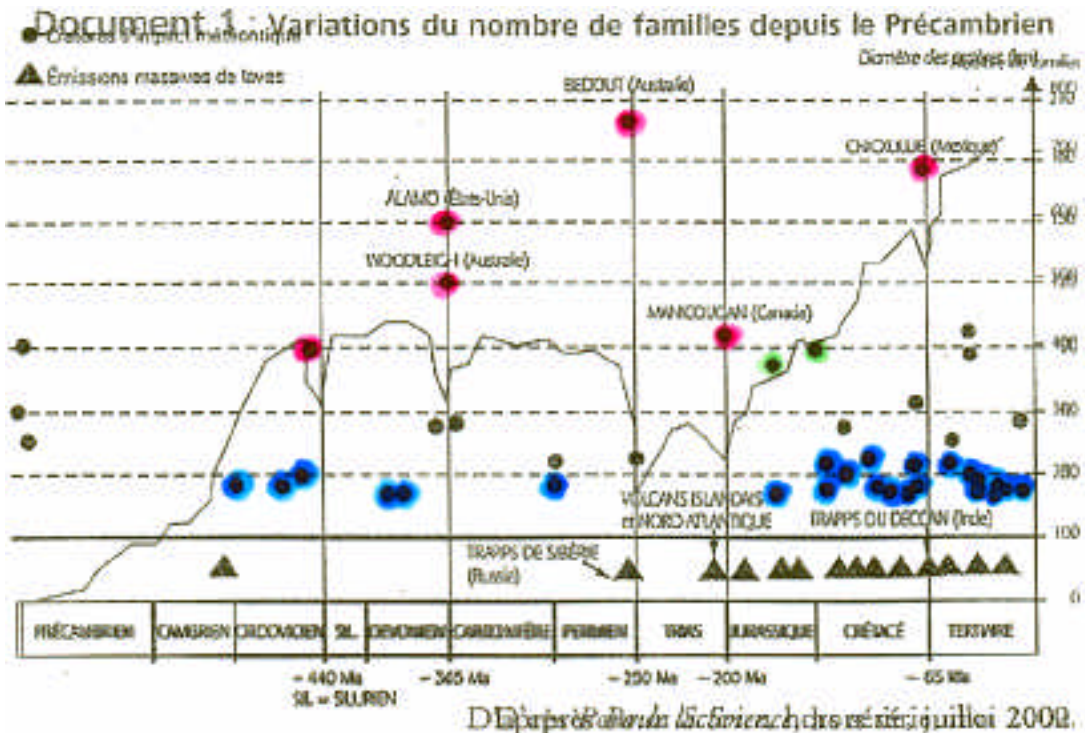
Document 1. Les "limites" des ères géologiques sont "marquées" par des extinctions.



Document 2. Des événements planétaires (émissions massives de laves, cratères d'impacts météoritiques) "accompagnent" ces variations de la diversité biologique.

(D'après *Pour la Science*, hors série mai 2002)

3b. Utilisation de l'information



Superposer les documents et mettre des couleurs permet d'identifier un seuil d'action des impacts météoritiques associés aux extinctions, mais ne suffit pas. Ce qu'il faut mesurer c'est la surface représentative de la baisse de la diversité observée par rapport à la situation témoin "si rien n'avait eu lieu" (: plateau, du silurien au permien, et, droite croissante, du trias au tertiaire). Elle est représentative du pourcentage d'extinction. Elle augmente linéairement, proportionnellement au diamètre du cratère. Ce qui permet de déterminer graphiquement, par extrapolation linéaire, la valeur du seuil, et de montrer que le volcanisme n'intervient pas.

Transparent 4. La démarche scientifique expérimentale : analyse qualitative & quantitative.

4a. La consigne : représentation graphique et analyse de cette représentation.

chez un Chien quelques heures avant et après l'ablation du pancréas. Les mesures ont été réalisées toutes les heures.

Ablation du pancréas

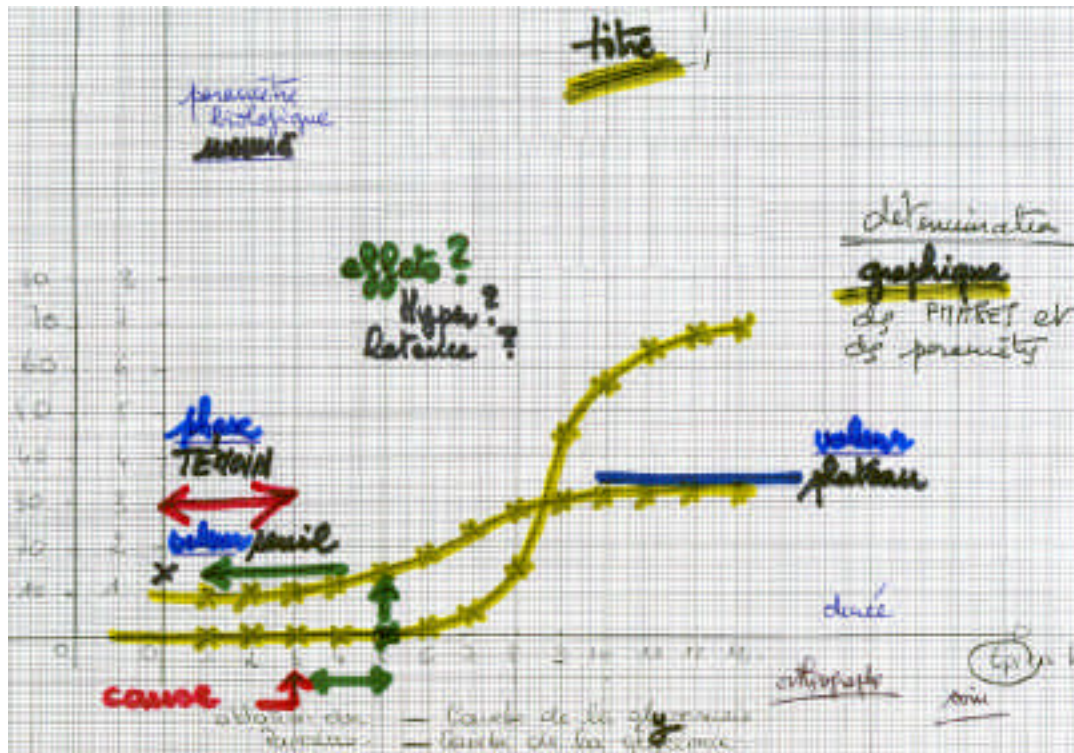
Glycémie (glucose en g/l).....	1	1	1	1,2	1,5	1,8	2,4	2,8	3,0	3,2	3,2	3,3	3,4
Glycorusie (glucose en g/l).....	0	0	0	0	0	0,5	5,0	15	45	56	64	67	68

Représenter sur un même graphique ces résultats en indiquant en abscisses le temps en heures et en ordonnées la teneur en glucose

Quels renseignements ces deux courbes vous permettent-elles de dégager concernant la teneur en glucose du sang et de l'urine chez l'animal normal ?

Quelle est la conséquence de l'ablation ?

4b. La réponse attendue : délimitation de phases, mesures de valeurs remarquables.

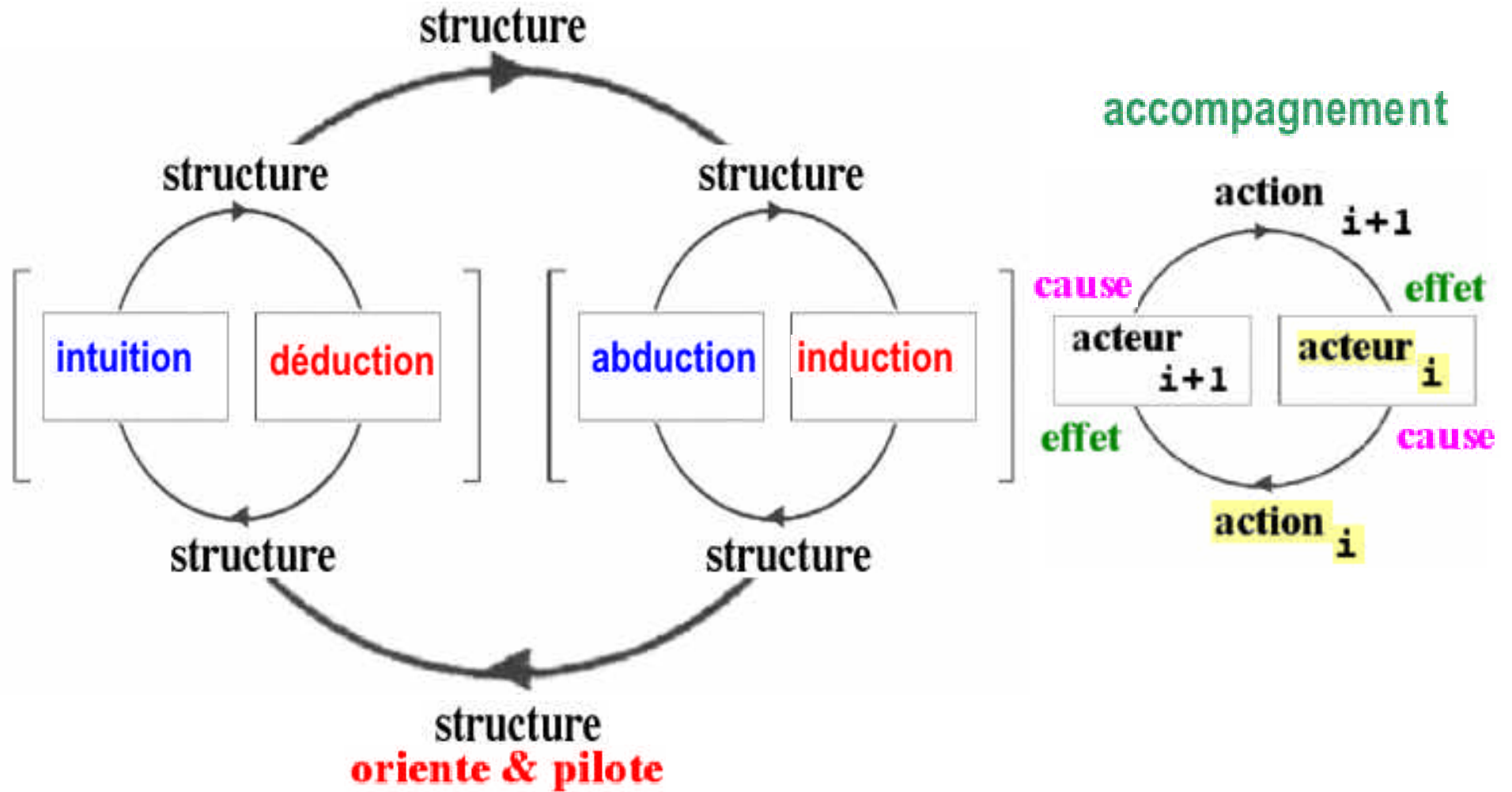


témoin non identifié, aucune délimitation de phase (analyse qualitative), notions non définies de seuil et de plateau, valeurs du seuil et du plateau non mesurées, pas de notion de temps de latence, pas de notion d'amplitude, d'écart en % (analyse quantitative), pas de comparaison (hyper-, hypo-, iso-fonctionnement) le score du niveau cognitif est 0

(d'autant que dans la suite de l'énoncé de telles courbes étaient données avec une partie de leur interprétation)

Transparent 5. **La démarche scientifique expérimentale**

obéit à la Loi systémique constructale



Débats entre les participants & réponses aux questions posées

La "percolation" (figure 4) exprime le fait que la sélection par l'expérience (épigénétique) se superpose à la sélection développementale (génétique): "*Neurons that fire together wire together.*"¹

Toute perception consciente résulte donc d'une "coalition" de neurones.²

Par exemple, selon le type de langage utilisé, alphabétique ou non, **les aires cérébrales impliquées dans l'identification sont différentes.**³ Quand on se concentre sur une difficulté (de langage ou non), on a tendance à tirer la langue ! C'est dû à l'interférence d'activités qui font intervenir la même région du cerveau. Le blocage de la langue libère des régions étendues du cerveau qui peuvent être consacrées à d'autres tâches.⁴

C'est donc bien la mise en œuvre avant une date limite et pendant une durée minimale (variables selon les individus), ou la non-mise en œuvre avant cette date limite, qui "sculpte(nt)" le potentiel cognitif exprimé et exprimable (le phénotype⁵). "*Toute cire un jour durcit et s'écaille, toute pâte lève, tout ciment se fige. La plasticité n'a qu'un temps.*"⁶

La science actuelle, marquée par l'opérativité technique, est interventionniste, productive et créatrice. *Si vous savez quel effet suit quelle cause, alors vous pouvez agir sur cette cause.* Elle progresse à force d'expérimentations, qui transforment non seulement notre écoexotopie de survie, mais aussi notre endophysiotopie. Lorsque la technologie est efficace, les applications s'enchaînent et envahissent la réalité sociale, économique et politique.⁷

Mais **1 cause peut avoir plusieurs conséquences**, et **des avantages aussi bien que des inconvénients.** Ainsi les œufs sont ovoïdes. Cette forme permet à la poule de les amasser de façon compacte dans le nid ce qui permet de réduire les pertes de chaleur. La sphère est une forme plus résistante, mais les œufs ovoïdes roulent en tournant et restent à proximité du nid. La forme ovoïde résulte du processus de formation de l'œuf et elle rend plus facile la ponte.⁸

Le citoyen doit donc, le plus tôt possible, apprendre à mettre en œuvre la démarche scientifique expérimentale, pour comprendre que si une invention est réalisable et a quelque efficacité elle risque de causer des dommages. *« Il n'y a pas d'avantages sans inconvénients. »* Et il en va de même d'une théorie, si elle a un tant soit peu prise sur quelque aspect de la réalité qu'elle dévoile.

D'où l'importance des notions de témoin, d'échelle et d'expérimentation.⁹

Pourquoi les bananes noircissent-elles au froid ? Les bananes sont des fruits tropicaux. Leurs cellules endommagées par le froid libèrent des amines phénoliques, qui, en présence d'enzymes d'oxydation et de l'oxygène de l'air, forment un polymère brun "défensif". Une fois déclenché, ce brunissement est favorisé par la chaleur. **Si vous voulez le vérifier**, mettez une peau de banane au réfrigérateur quelques jours, elle reste jaune. PUIS, laissez la une nuit à l'air libre, elle noircit. Une peau de banane **témoin** laissée à température ambiante reste jaune. Pourquoi, le bourdon qui ne devrait pas voler, selon **les lois** de la physique, vole-t-il ? L'équation fondamentale de l'aéronautique qui donne l'énergie nécessaire au vol, en fonction de la masse et de la surface des ailes, **ne concerne pas** le vol battu du bourdon ! La bière versée dans un verre sec mousse, mais pas dans un verre humide. Pourquoi ? Les bulles se forment autour des aspérités de surface du verre qui peuvent être masquées par un film d'eau. Prenez un verre enduit d'huile, versez-y de la limonade, il n'y a pratiquement pas de bulles. Ajoutez des millions d'aspérités, en versant une cuillère de sucre en poudre, l'effervescence sera volcanique !

¹ Edelman G. (2008) "**L'expérience sculpte la conscience**". *Les dossiers de La Recherche* n° 30 *La Conscience*, p. 8-12. (En informatique, il existe un dispositif de communication firewire ou wifi.)

² Crick F. & C. Koch (2008) Comment les neurones fabriquent la cohérence. *Les dossiers de La Recherche* n° 30 *La Conscience*, p. 14-20.

³ Siok W.T. & al. (2008) A structural-functional basis for dyslexia in the cortex of Chinese readers. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol. 105, p. 5561-5566.

⁴ Witkowsky N. (2007) Pourquoi les manchots n'ont pas froid aux pieds ? Seuil, Science Ouverte, Paris, 200 p.

⁵ Bricage P. (2002) **Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental** : de la bactérie à l'homme, le transformisme, *une systémique du vivant*. <http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf>

⁶ Robert J.M. (1982) **Comprendre notre cerveau**. Éditions du Seuil, Paris, Collection Points Sciences, 270 p.

⁷ Hottois G. (2007) « Le risque universel est une vue de l'esprit. » *Les Dossiers de La Recherche* 26: 6-7.

⁸ *Ibid* Witkowsky N. (2007) <http://www.newscientist.com/lastword.ns>

⁹ *Ibid* Witkowsky N. (2007) <http://www.newscientist.com/lastword.ns>