

**Aspects génétiques des systèmes vivants :
invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.
(une modélisation scientifique et un modèle éducatif littéraire)**

Pierre BRICAGE

pierre.bricage@univ-pau.fr

四川大学, 成都市, 中华人民共和国

Professor University of Sichuan, **SCU**, Chengdu, P.R. China,

Faculté des Sciences et Techniques, Université de Pau et des Pays de l'Adour **UPPA**, Pau, France

<http://web.univ-pau.fr/~bricage>

Vice-Président Association Française de Science des Systèmes **AFSCET**, Paris, France

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

Ex- Deputy Secretary General of the European Union for Systemics **UES-EUS**, Bruxelles, Belgique,

<http://www.ues-eus.eu>

Directorate World Organisation of Systems and Cybernetics **WOSC**, London, UK

<http://www.wosc.co>

Secretary General International Academy for Systems and Cybernetic Sciences **IASCYS**, Vienna, Austria

<http://iascys.org>

Association **ALBA** & association **PELLEAS**,

9 route de Saint Armou, 64450 Lasclaveries, France, Europe

<http://armsada.eu>

résumé

Observer, décrire, questionner pour avoir des réponses fonctionnelles, c'est modéliser ; toute démarche scientifique, expérimentale ou non, participe de la mise en place d'un modèle, partiellement explicatif de la réalité (inconnaissable en totalité), prévisionnel et réfutable. Penser aboutit tôt ou tard à un modèle. Mais c'est en modélisant en dehors des modèles pré-existants, en dehors des consensus, qu'il est possible de faire émerger de nouveaux paradigmes¹.

Tout système vivant est inséparable d'un **écoexotopie de survie** (tope : espace-temps, exo : externe, éco : d'habitation) avec lequel il ne fait qu'un (**capacité d'intégration**) et qu'il partage avec d'autres formes de vie. Cet écoexotopie présente une organisation spatiale et temporelle qui impacte la mise en place de l'organisation spatiale et temporelle de l'**endophysiotopie** du système vivant (tope : espace-temps, endo ; interne, physio : de fonctionnement). Pour survivre et se survivre (**capacité de reproduction**) l'endophysiotopie possède une **capacité d'être accueilli** qui lui permet d'utiliser la **capacité d'accueil** de son écoexotopie partagé.

Tous les systèmes vivants possèdent des **propriétés d'invariance : invariance de jauge, invariance d'assemblage et d'évolution (ergodicité), invariance d'échelle**. Ces propriétés d'invariance découlent du fait que tout nouveau système vivant est un "système-de-systèmes" parce qu'il émerge par emboîtements et juxtaposition de systèmes pré-existants. Ces **propriétés, qui font que le système est à la fois plus et moins que la somme de ses parties**, peuvent être « modélisées ».

¹ **paradigme** : du grec *paradeigma* "modèle", **système de représentation, "vision du monde" (*Weltanschauung*)**, vient de *paradeiknunai* : "montrer", "comparer", construit sur *deiknumi* "désigner" (dans *Le Timée* de PLATON). Michel FOUCAULT parle d'épistémé. Edgar MORIN (dans *Les idées, tome 4 de La Méthode*) envisage un **paradigme de complexité**, collectif, convergence de pensées. Thomas KUHN (dans *La structure des révolutions scientifiques*) définit un **paradigme scientifique** comme **un ensemble d'observations et de faits avérés, un ensemble de questions avec les indications méthodologiques qui permettent de les poser, d'interpréter les résultats, et de les résoudre** ; une communauté de pensée, de méthodes et d'objectifs, autour de valeurs et d'outils. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/paradigme/57869?q=paradigme#57530>
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradigme>

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

Quel que soit le niveau d'organisation considéré, **un même paradigme de complexité** peut rendre compte de toutes les propriétés des systèmes vivants (Bricage, 1991, 1998, 2000) :

- 1- **survivre c'est manger et ne pas être mangé ;**
- 2- **il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients, et,**
- 3- **plus les avantages sont grands, plus les inconvénients sont grands ;**
- 4- **survivre c'est transformer les inconvénients en avantages et éviter que les avantages deviennent des inconvénients,**
- 5- **seules survivent et se survivent les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés (ARMSADA), et elles sont à l'origine des nouveaux plans d'organisation du vivant.**
- 6- **L'émergence d'une ARMSADA permet une augmentation de la capacité d'être accueilli de l'endophysiotope commun, et entraîne donc une augmentation de la complexité.**
- 7- **Toute ARMSADA émerge par la perte simultanée par chaque partenaire de la capacité de détruire l'autre,**
- 8- **pour que l'un survive (et se survive) il faut d'abord que l'autre survive (et se survive).
Perdurer c'est :**
- 9- **augmenter la capacité d'être accueilli de son endophysiotope, ce qui permet de préserver la biodiversité de son écoexotope, de le rendre plus durable, et**
- 10- **non pas augmenter la capacité d'accueil de son écoexotope.**

Les virus endogènes, "**dangers génétiques contenus**", sont des acteurs moteurs, et régulateurs, de l'évolution des génomes. Des exemples de modèles scientifiques "prévisionnels" et de modèles éducatifs "explicatifs" du fonctionnement des génomes, élaborés à partir des "consensus" actuels relatifs à l'évolution éco-physiologique et génétique des espèces de poissons cichlidés, sont présentés et discutés.

C'est en questionnant, observant et décrivant par une "démarche" scientifique ou non, en modélisant, consciemment ou inconsciemment, que tout "**système-de-systèmes**" vivant oriente et ré-orienté ses actions pour ne pas disparaître. Sa "pensée" **aboutit inéluctablement à un modèle systémique** de son écoexotope, de son endophysiotope et de leurs interactions, pour éventuellement survivre et se survivre.

mots clés : Associations à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés (ARMSADA), biodiversité, **capacité d'accueil, capacité d'être accueilli**, contingence, dangers contenus, degrés de liberté, écoexotope, émergence, endophysiotope, **ergodicité**, espace-temps, finitude, flèche du temps, flux, fortuité, fractalité, génome, hasard, homme, hybridation, imprévisibilité, intégration, invariance, limitations, limites, **méthode hypothético-déductive, modèle ², modélisation ³**, modularité, phylotagmotaphologie, régulation, **rétrogression**, sérendipité, seuil, **supragression**, symbiose, systémique, temps de latence, témoin, Tout et parties, violence, virus.

2 **modèle** : du latin *modulus*, mesure, ce qui est **donné pour servir de référence**, de type et **qui peut être re-produit, copier** ; représentation schématique, d'un processus, d'une démarche raisonnée.

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/modèle/51916>

On parle de **modèle**, en science, chaque fois qu'il y a renvoi d'une réalité concrète à une réalité idéale avec exploitation de leurs analogies descriptives. Analogie ne signifie nullement identité; il existe une différence de nature entre le **modèle** et le réel qu'il représente, le **modèle** ayant une valeur symbolique. C'est une construction abstraite et hypothétique capable de **rendre compte d'un ensemble donné de faits et d'en prévoir de nouveaux**. <http://www.cnrtl.fr/lexicographie/modele>

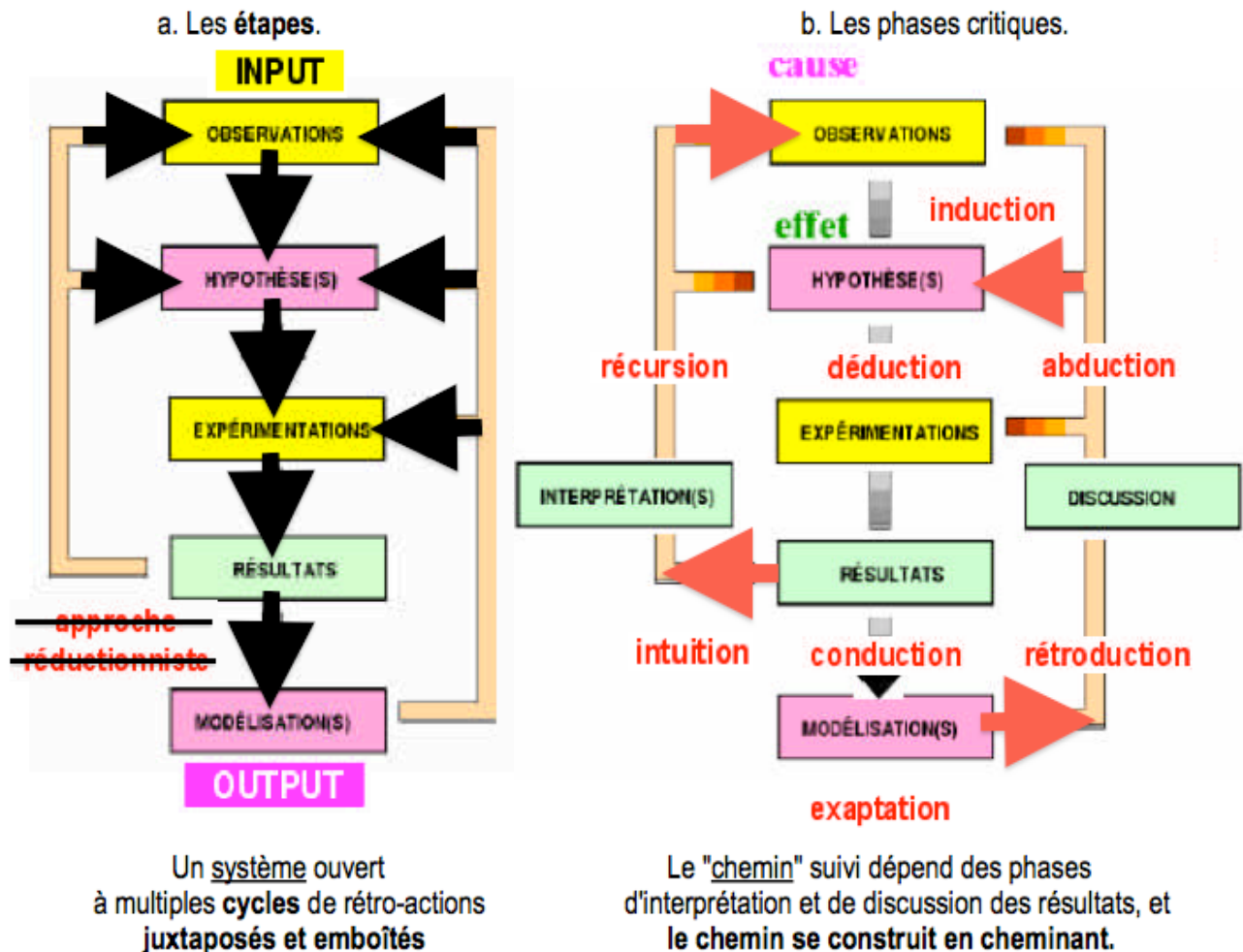
3 **modélisation** : opération par laquelle on établit le modèle d'un système complexe, **système organisé de connaissances construit pour représenter une structure ou un processus**. afin d'étudier plus commodément et de mesurer les effets, sur le système, des variations de tel ou tel de ses éléments composants" (Giraud-Pamart, 1974).

<https://fr.wiktionary.org/wiki/modèle>

Du latin populaire *modellus*, variante de *modulus*, diminutif de *modus* (manière ou mode), Le mot **modèle** serait un emprunt à l'italien *modello*. Au XVI^e siècle il était employé dans le sens d'une représentation miniature (prototype) de ce qui sera construit en grand, il a pris ensuite le sens d'« **objet référent** », puis d'« *idéal à imiter* ».

On en trouve l'emploi chez Paul VALÉRY (1894) dans son *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci*.

Figure 1. Le modèle de la démarche scientifique expérimentale :
une approche analytique, synthétique et holistique, un langage cyber-systémique.
(adapté d'après Bricage, 07.06.2008, **CC-License**)



(démarche dite **OHERIC** : Observations, Hypothèses,
Expérimentation, Résultats, Interprétation, Conclusion)

Introduction

Le modèle d'évolution par sélection présenté par Darwin est un exemple de succès de mise en oeuvre de **la démarche scientifique expérimentale** et de **l'approche systémique** (figure 1), holistique (Bricage, 13.11.2009). Mettre en oeuvre cette démarche, qualitative et quantitative, obéit à des règles, n'est pas inné, et nécessite la mise en oeuvre de comportements à apprendre, et ce dès le plus jeune âge, car **il existe une phase critique pour cet apprentissage** (Bricage, 07.06.2008). **Non seulement il est impossible de penser sans modèle, mais en outre, "Le hasard n'atteint que les esprits préparés" ⁴ (Louis Pasteur)⁵.**

Les sciences de la nature et de la vie sont particulièrement propices pour cela (Bricage, 25.10.2010, 10.03.2011), encore faut-il pouvoir mettre en oeuvre des démarches si possible accessibles au plus grand nombre, **en raisonnant par exemple par analogie** ⁶ (Bricage, 1981).

Tout système vivant est défini par son **invariance de jauge** (Bricage, 04.01.1991), concept résultant de la mise en oeuvre d'une démarche scientifique expérimentale, qui définit la notion de "niveau d'organisation" (Bricage, 04.02.2000) : figure 2. Ce **modèle "cyber-systémique"** (figure 3), **ce paradigme**, est falsifiable (Thomas KUHN, Karl POPPER)⁷ et donne des prédictions testables expérimentalement : figure 4, figure 5.

I. Une modélisation cyber-systémique des systèmes vivants.

Tout système vivant possède 7 caractéristiques fonctionnelles mutuellement nécessaires et suffisantes, (figure 2) indépendamment de son niveau d'organisation et de son mode de vie (figures 3 et 4).

1- définition d'un système vivant : invariance de jauge et invariance d'assemblage.

Tout système comprend 3 entités : des acteurs, **le Tout** (le système) et des interactions, entre les parties, et entre les **parties** et **le Tout (niveau adjacent supérieur)**. Ces interactions peuvent contrôler, et être contrôlées par, des flux de matière et d'énergie (figure 3a). Ces flux sont reliés entre eux par des **interactions**. Tout système vivant est un **réseau, qui émerge par la mise en place d'une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés** [ARMSADA Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages] (Bricage, 04.02.2000, 21.05.2003).

4 **sérendipité** : - capacité, "art" de faire une découverte, scientifique notamment, "en apparence" par hasard..., en fait - c'est l'action de faire une découverte par hasard, et par sagacité, alors que l'on cherchait autre chose.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Sérendipité>

5 **"Dans les champs de l'observation le hasard ne favorise que les esprits préparés."** Louis Pasteur
« In the fields of observation chance favours only the prepared mind. » Conférence, Université de Lille (07.12.1854)
https://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Pasteur

"Je vais vous dire le secret qui a dirigé toute ma vie : ma force ne réside que dans ma ténacité." Louis Pasteur
Louis Pasteur. Oeuvres. -réunies par Pasteur Vallery-Radot- (1854), Paris : Masson (1929-1932), Tome 7, pp. 129-132.
The life of Pasteur (1911), Volume II, p. 228. https://en.wikipedia.org/wiki/Louis_Pasteur

6 **analogie** : ressemblance entre des concepts qui présentent des similitudes, analogie ne signifie nullement identité; **il existe une différence de nature entre le modèle et le réel qu'il représente**, le modèle ayant une valeur symbolique.

Les philosophes Romains, comme les Grecs avant eux, ont par exemple, comparé le fonctionnement du cerveau à celui d'un système d'irrigation et d'évacuation, comme le système circulatoire. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/analogie/3222>

Bricage, P. (2002) Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systémique du vivant. Andé : AFSCET, *Évolution du vivant et du social : Analogies et différences*, 20 p., [web 08.06.2002], CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf>

7 Thomas KUHN https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Kuhn *La structure des révolutions scientifiques*

"concerning the progress of scientific knowledge: scientific fields undergo periodic paradigm shifts rather than solely progressing in a linear and continuous way, and these paradigm shifts open up new approaches to understanding what scientists would never have considered valid before..."

« empirical falsification » de Karl POPPER https://en.wikipedia.org/wiki/Karl_Popper

empirical falsification: **a theory in the empirical sciences can never be proven, but it can be falsified**, meaning that it can and should be scrutinized **by decisive experiments**. (Popper is also known for his opposition to the classical **justificationist** account of knowledge, which he replaced with **critical rationalism**.)

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

Toute ARMSADA naît par juxtapositions et emboitements d'acteurs pré-existants (Bricage, 15.10.2002, 13.11.2009). Tout système est défini par un endophysiotope et un écoexotopie dont il est inséparable (capacité d'intégration -figure 2-). L'**endophysiotopie** [*tope* : espace-temps-action, *endo* : interne, *physio* : de fonctionnement] fournit au système une **capacité d'être accueilli en adéquation** avec la **capacité d'accueil** fournie par l'**écoexotopie** [*tope* : espace-temps-action, *exo* : externe, *éco* : d'habitation] (figure 4b).

Le niveau de complexité d'un système vivant, **système de systèmes**, est donc dépendant de l'itération des emboitements et juxtapositions de systèmes pré-existants en **un nouveau Tout**. Mais, quel que soit le degré d'emboîtement dans des niveaux supérieurs et d'emboîtement de niveaux inférieurs (figure 3b), **tout niveau d'organisation est défini par son invariance de jauge** (figure 2), Du fait de cette **ergodicité** (Bricage, 01.12.2001), par les **rétro-actions** entre acteurs et entre niveaux d'organisation, **"tout effet est une cause potentielle et toute cause peut être un effet"** (**loi systémique constructale**).

Tout système vivant, tout NIVEAU d'ORGANISATION du vivant, possède et exprime 7 caractéristiques fonctionnelles toutes mutuellement nécessaires et suffisantes : **-la capacité de mobiliser de la matière et de l'énergie** (survivre c'est manger !), pour éventuellement croître, **-la capacité de croissance** (en masse); ces capacités ne sont "effectives" que grâce à l'existence de **-la capacité de répondre/réagir à des stimulations**. Ces capacités sont indissociables de la mise en place de **-la capacité d'organisation, spatiale et temporelle** (**capacité de régulation par compartimentation modulaire de l'espace** : "une place pour chacun, chacun à sa place" **et du temps** : "un temps pour chacun, chacun dans son temps", avec auto-construction d'une flèche du temps interne) ! Tout système vivant est un **espace-temps-action** (Bricage, 21.09.2005, 16.05.2015) de fonctionnement (endophysiotopie) indissociable d'un espace-temps-action de survie (écoexotopie) avec lequel il ne fait qu'un (Bricage, 1993) : c'est **-la capacité d'intégration**. L'écoexotopie fournit une "capacité d'accueil" que l'endophysiotopie peut utiliser s'il possède une "capacité d'être accueilli" en adéquation avec cette capacité d'accueil. Tôt ou tard, pour survivre, au cours de son **cycle de développement**, le système exprime **-la capacité de mouvement**. Tôt ou tard, après une phase de croissance en masse de durée variable, le système acquiert **-la capacité de se survivre** : la capacité de re-produire sa forme de vie. Cette capacité de reproduction, sexuée ou non, permet éventuellement la croissance en nombre (la multiplication végétative) de la forme de vie : "la vie naît de la vie".

Ces 7 capacités définissent tout niveau d'organisation. Des livres ont été écrits pour chacune d'elle pour tous les domaines du vivant. L'homme est une forme de vie comme une autre, qui n'échappe pas à cette règle, constitutive de la vie (Bricage, 11.05.2001, 15.10.2002, 21.05.2003).

Un neurone n'est PAS un niveau d'organisation, car il ne possède pas les 7 caractéristiques mutuellement nécessaires et suffisantes. Seules les cellules souches initiales, à l'origine du neurone, les possèdent. C'est une population cellulaire auto-organisée, qui est à la fois plus et moins que la somme de ses parties. Les neurones ont perdu la capacité de reproduction mais acquis de nouvelles propriétés émergentes.

Un spermatozoïde ou un ovule ne possèdent PAS les 7 capacités caractéristiques du vivant. Cellules incapables de se reproduire, dès leur formation elles sont condamnées à mort, sauf si elles se rencontrent. Leur union donne alors naissance à un nouveau niveau d'organisation, adjacent supérieur, celui d'un organisme méta-cellulaire, qui lui possède les 7 capacités toutes mutuellement nécessaires et suffisantes. Le niveau d'organisation cellulaire, inférieur adjacent, est recréé (**rétrogression**) à chaque fois pour la re-production de l'organisme (**supragression** : émergence d'un nouveau niveau adjacent supérieur).

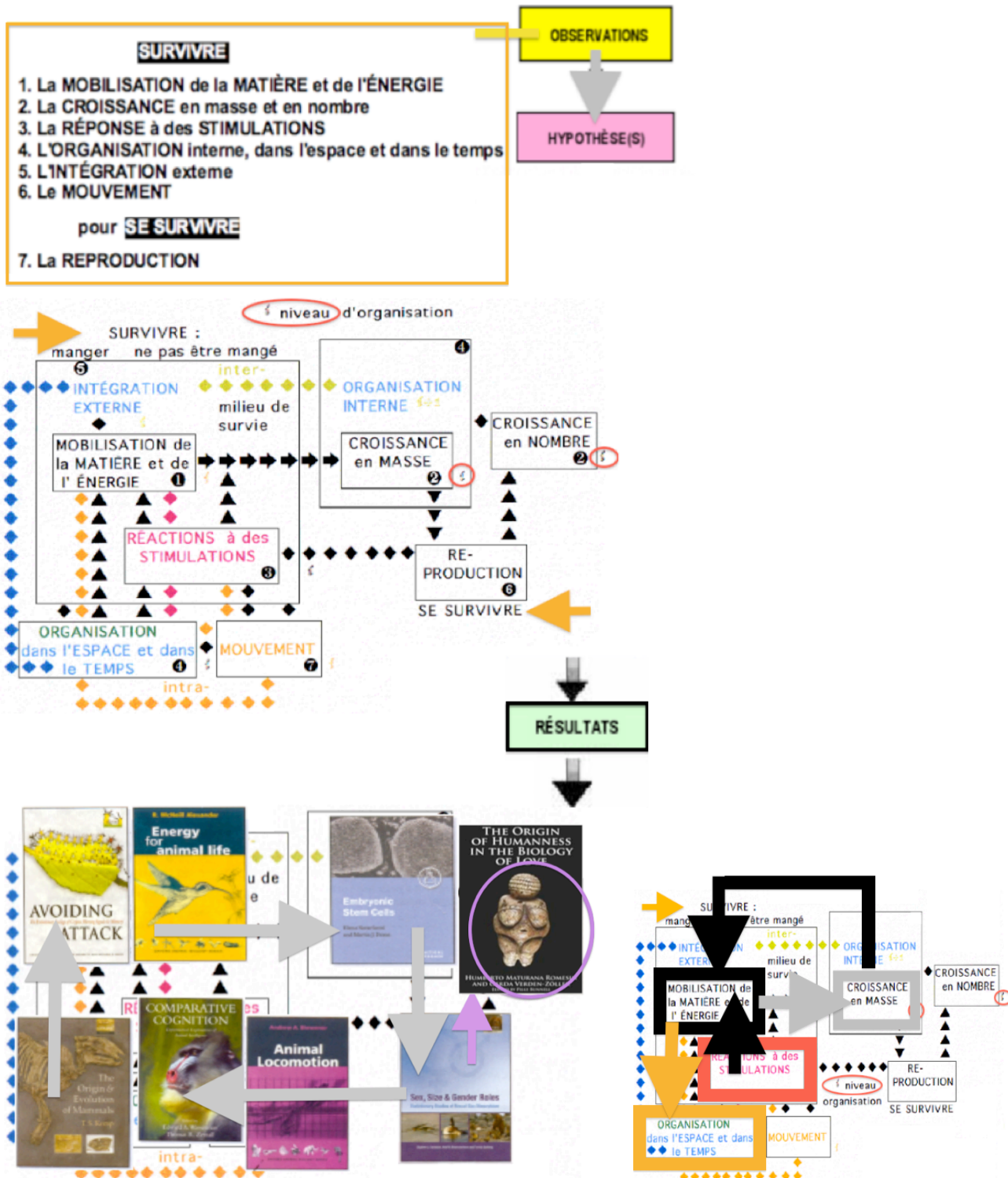
Une abeille ou une fourmi n'est PAS un niveau d'organisation. Le niveau d'organisation, **l'organisme**, l'individu, c'est "la ruche" (**l'essaim** d'abeilles) ou la fourmilière.

Le niveau d'organisation atomique est tout aussi invariant de jauge que le niveau d'organisation galactique. **Un atome ou une galaxie est tout autant un organisme vivant qu'un animal métazoaire terrestre ou une plante uni-cellulaire aquatique**. Leurs espace-temps-actions sont définis et accessibles à **des échelles différentes, des contextes physico-chimiques différents** (Bricage, 13.11.2009), mais tous survivent "en mangeant et en n'étant pas mangé" et se survivent dans une descendance qui leur ressemble.

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 2. L'invariance de jauge des systèmes vivants : 7 degrés de liberté.

7 caractéristiques fonctionnelles, en interactions,
sont **mutuellement nécessaires et suffisantes** pour définir tout niveau d'organisation du vivant.
(adapté d'après Bricage, 04.01.1991, 04.02.2000, **CC-License**)

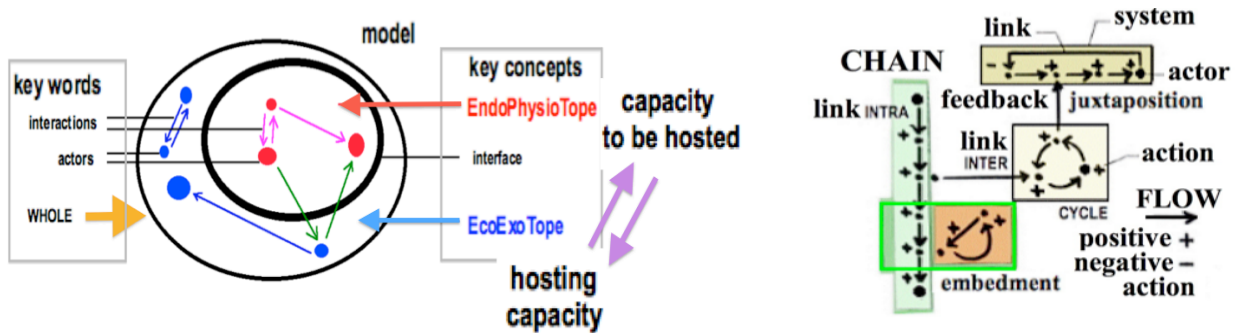


un échantillon de livres écrits pour chacune des caractéristiques,
pour le **niveau des organismes méta-cellulaires animaux**.

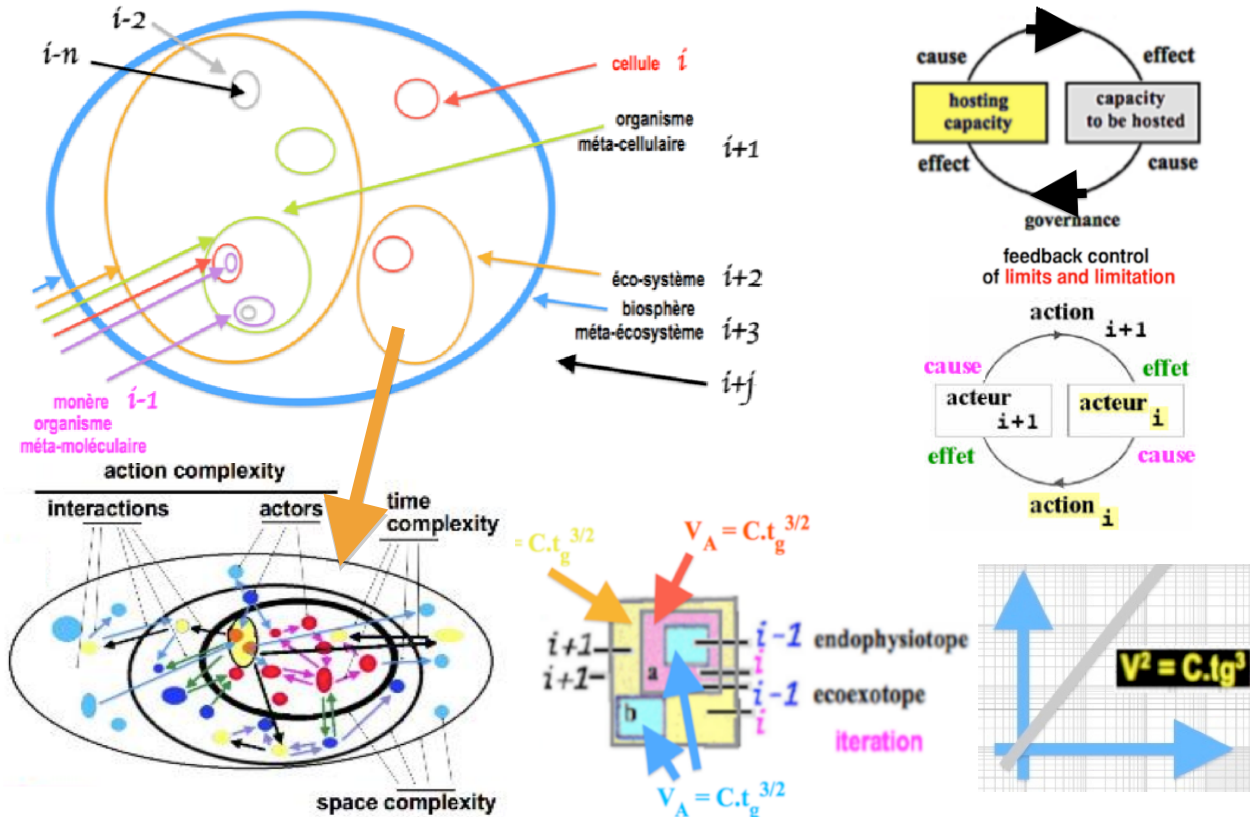
un exemple d'**interactions**
(diagramme de Bricage)

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 3. Un modèle cyber-systémique de la notion de système vivant.
(adapté d'après Bricage, 01.12.2001, 13.11.2009, 19.09.2014, CC-License)



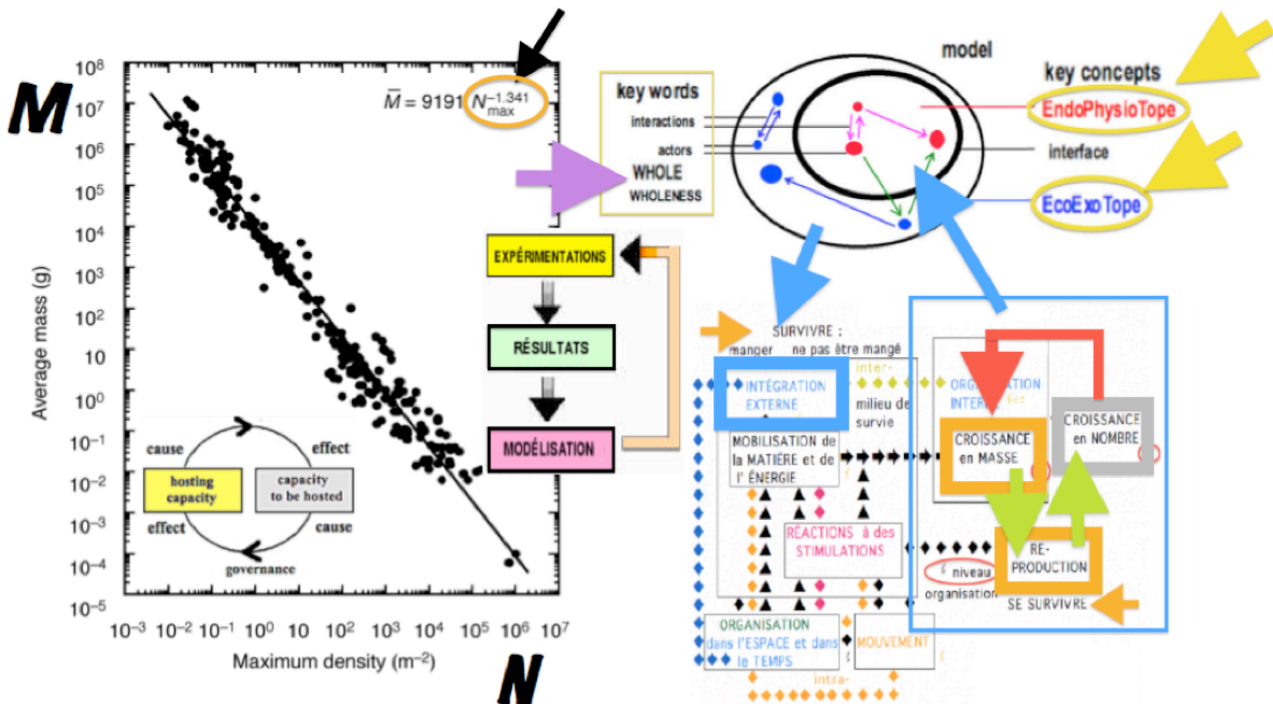
3a. Tout système comprend 3 entités : des acteurs -actors- (**les parties** du Tout), le **Tout** -Whole- (le système) et des interactions, entre parties, et entre **parties (niveau i)** et le **Tout (niveau adjacent supérieur $i+1$)**. Ces interactions peuvent contrôler, et être contrôlées par, des flux de matière et d'énergie -FLOW-. Ces flux sont reliés entre eux par des interactions -link-, internes -INTRA- ou externes -EXTRA-, aux acteurs. Un **réseau**, le système, naît **par emboîtements et juxtapositions** d'acteurs **pré-existants**. L'endophysiotope [tope : espace-temps-action, endo : interne, physio : de fonctionnement] fournit au système une capacité d'être accueilli **en adéquation** avec la capacité d'accueil (*hosting capacity*) fournie par l'écoexotope [tope : espace-temps-action, exo : externe, éco : d'habitation]. Tout système est défini par un endophysiotope et un écoexotope, inséparables : intégration (figure 2).



3b. Tout système est un **système de systèmes**, formé par juxtapositions et emboîtements de modules pré-existants. Tout niveau d'organisation (niveau i , référence arbitraire : la cellule), défini par son invariance de jauge (figure 2), est emboîté dans des niveaux supérieurs (adjacent $i+1$, ..., $i+j$) et emboîte des niveaux inférieurs (adjacent $i-1$, ..., $i-n$). Du fait de cette **ergodicité** (Bricage, 2001), par les rétro-actions (*feedback control*) entre acteurs et entre niveaux d'organisation, **"tout effet est une cause potentielle et toute cause peut être un effet"** (**loi systémique constructale**). On peut définir différents types de complexité selon que l'on considère les interactions, les acteurs, l'espace et le temps du Tout. Cependant, quel que soit le niveau d'organisation, une même loi, invariante d'échelle, unit tous les systèmes vivants. En coordonnées log-log, les valeurs, en puissances de 10, du **volume en fin de phase de croissance en masse, V_A** , et du temps d'atteinte de la phase adulte (durée de la phase juvénile de croissance), **temps de génération, t_g** , obéissent à une même **loi puissance (phénomène d'augmentation de la complexité)** de pente 3/2, quelle que soit l'échelle d'espace-temps-action : **loi d'invariance fractale du développement**.

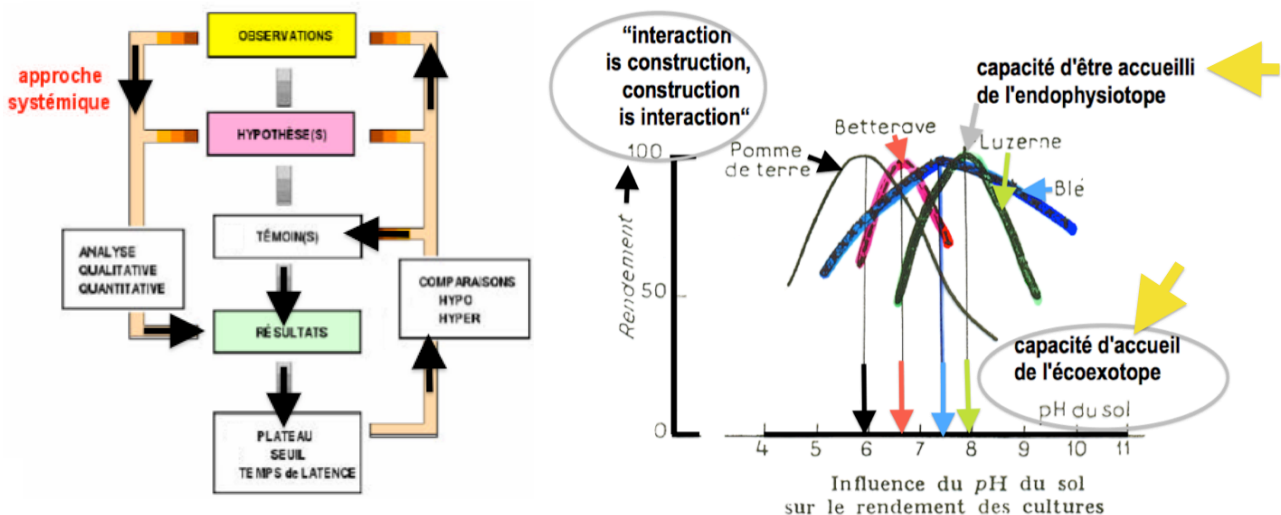
Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 4. L'invariance de jauge des systèmes vivants : exemples de validations d'interactions.
(adapté d'après Bricage, 04.01.1991, 16.05.2015, CC-Licence)



4a. Relation d'interaction entre la croissance en masse et la croissance en nombre : loi puissance $M=kN$.

La croissance en masse M est le préalable à la croissance en nombre N (schéma -diagramme de la figure 2-), la croissance en nombre rétro-agit négativement (schéma) sur la croissance en masse (adapté d'après Enquist et al.). La capacité d'accueil de l'écoexotopie de survie limite la qualité et la quantité de la matière et de l'énergie disponibles, mobilisables, et mobilisées, pour la croissance en masse de l'endophysiotope (figure 3). La capacité d'être accueilli de l'endophysiotope détermine la mobilisation de la matière et de l'énergie et la part qui est utilisable, utilisée pour la survie, et éventuellement investie dans la croissance en masse. La reproduction (avec ou sans croissance en nombre) a un coût, qui est payé par la croissance en masse.

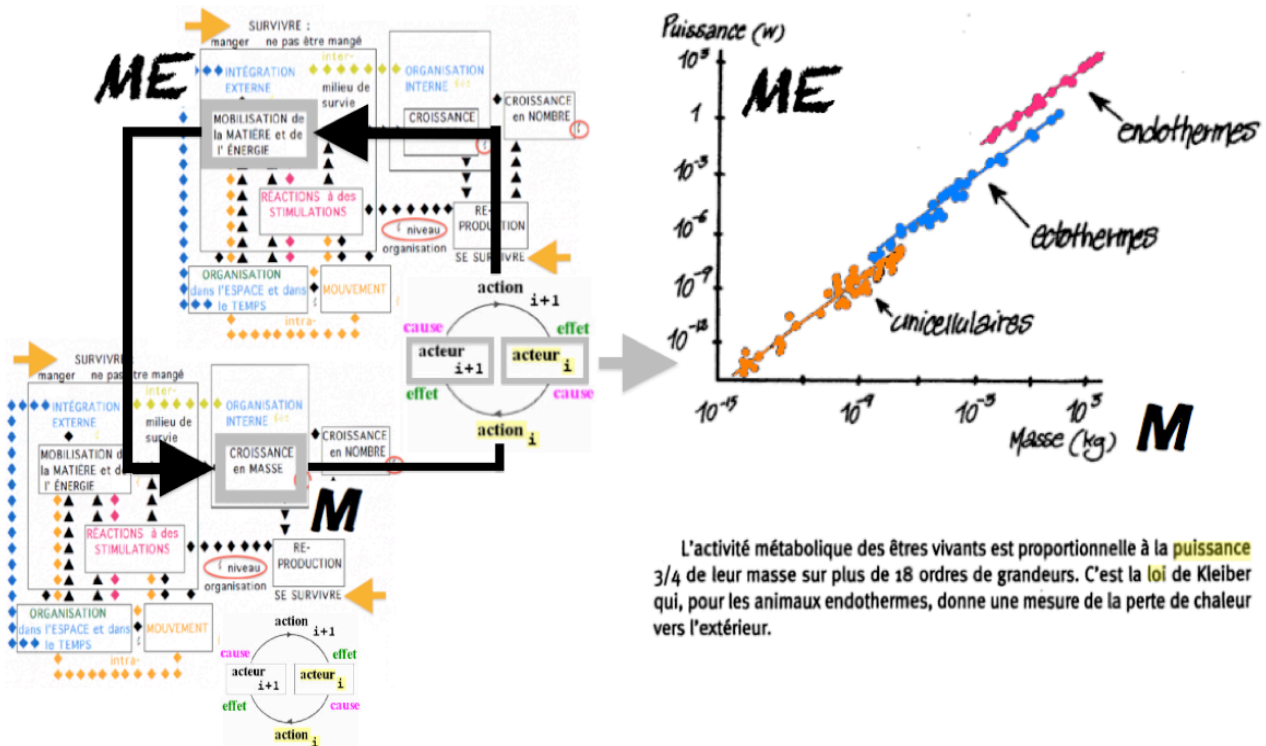


4b. Relation d'interaction entre écoexotopie et endophysiotope : distributions normales.

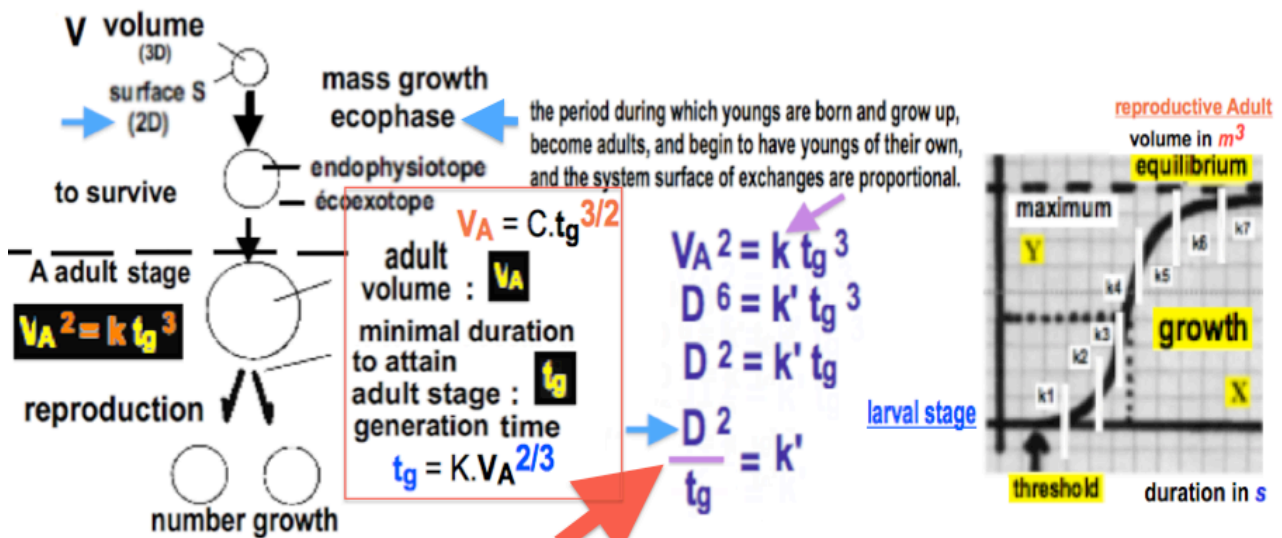
La capacité d'accueil de l'écoexotopie du système est définie par le pH du sol (adapté d'après Demolon). Selon la capacité d'être accueilli de son endophysiotope, chaque organisme (espèces végétales de niveau d'organisation méta-cellulaire) exprime un optimum de pH qui détermine son rendement d'utilisation de la matière et de l'énergie pour la croissance en masse.

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 5. L'invariance fractale du vivant : généralité des interactions obéissant à des lois puissance.
(adapté d'après Bricage, 13.11.2009, 19.09.2014, 16.05.2015, CC-Licence)



- 5a. Relation d'interaction entre la croissance en masse et la mobilisation de la matière et de l'énergie : loi puissance $ME = kM$.
Le métabolisme **ME** (la puissance énergétique potentielle) croît exponentiellement avec la croissance en masse **M** :
Loi de Kleiber (valeurs en puissances de 10). Conséquence des interactions entre niveaux d'organisation (figure 3) ?,
la croissance en masse rétro-agit positivement (schémas emboîtés) sur la mobilisation de la matière et de l'énergie.
L'emboîtement des niveaux d'organisation rend l'endophysiotope de plus en plus indépendant de l'écoexotope initial.



- 5b. Relation d'interaction invariante entre écoexotope et endophysiotope : échanges et croissance en masse.
Durant la phase juvénile de croissance en masse, la vitesse moyenne globale des échanges est constante k' .
C'est par la surface, l'interface entre endophysiotope et écoexotope, que sont contrôlés les flux, indépendamment de la capacité d'accueil et de la capacité d'être accueilli (figure 3a).
La croissance est exponentielle (figure 3b) mais l'augmentation de masse ne peut se produire indéfiniment (courbe sigmoïde).

2- invariances d'assemblage, d'échelle et d'évolution des systèmes vivants.

Quel que soit le niveau d'organisation (Bricage, 04.02.2000) et le degré de complexité (figure 3b), la **croissance en masse**, l'accumulation de matière et d'énergie, est le préalable à la **reproduction** et, éventuellement, à la croissance en nombre (figures 4 et 5). Mais la croissance en nombre **N rétro-agit négativement** sur la croissance en masse **M**, **l'une limitant l'autre et réciproquement** (graphe $M=kN$, avec k négatif, en coordonnées log-log). La capacité d'accueil de l'écoexotopie de survie limite la qualité et la quantité de la matière et de l'énergie disponibles, mobilisables, et mobilisées, pour la croissance en masse de l'endophysiotope (figure 4a). La capacité d'être accueilli de l'endophysiotope détermine la mobilisation de la matière et de l'énergie et la part qui est utilisable, utilisée pour la survie, et éventuellement investie dans la croissance en masse. **Tout système vivant est à la fois plus et moins que la somme de ses parties** (Bricage, 08.06.2002). Toute **loi hyperbolique $MN=k$** (figure 4a) est caractéristique d'un **nouveau Tout qui est le produit de la somme et de la différence entre ses parties** (Bricage, 21.11.2013).

La capacité d'accueil de tout écoexotopie de survie est limitée. Même si, par emboîtements et juxtapositions de systèmes pré-existants, l'endophysiotope peut augmenter sa capacité d'être accueilli, sa **capacité de résilience**, et son indépendance vis-à-vis de son écoexotopie initial, cette capacité d'être accueilli est limitée et limitante. **Les lois hyperboliques sont caractéristiques des mécanismes de limitation.**

La **relation d'interaction** entre la croissance en masse **M** et la mobilisation de la matière et de l'énergie **ME** obéit elle à une **loi puissance $ME=kM$** (en coordonnées log-log) : le métabolisme, la réserve énergétique potentielle, croît "en apparence exponentiellement" avec l'augmentation de la croissance en masse (figure 5a). Conséquence des interactions entre niveaux d'organisation (figure 9), de l'ergodicité (Bricage, 01.12.2001), la croissance en masse **rétro-agit positivement** sur la mobilisation de la matière et de l'énergie. L'emboîtement des niveaux d'organisation rend l'endophysiotope de plus en plus indépendant de l'écoexotopie initial.

La reproduction (avec ou sans croissance en nombre) a un coût, qui est payé par la croissance en masse. Quel que soit le **niveau d'organisation**, une même loi, invariante d'échelle, unit tous les systèmes vivants (Bricage, 13.11.2009). En coordonnées log-log (figure 3b), les valeurs, en puissances de 10, du **volume en fin de phase de croissance en masse, VA**, et du temps d'atteinte de la phase adulte (durée de la phase juvénile de croissance), **temps de génération, tg**, obéissent à une même **loi puissance (phénomène d'augmentation de la complexité)** de pente 3/2 (Bricage, 15.02.2014). Si on représente graphiquement, **en puissances de 10**, les données expérimentales relatives au **volume d'un système vivant à l'état adulte** (c'est-à-dire son volume **en fin de croissance**⁸) et à **son temps de génération** (c'est-à-dire la **durée minimale nécessaire pour que le système acquiert la capacité de reproduction**, donc l'état adulte), depuis l'échelle du quantum de Planck jusqu'à celle de l'Univers tout entier, on obtient une droite de pente 3/2. Ce qui indique une **INVARIANCE SPATIO-TEMPORELLE**. **Globalement** les systèmes vivants obéissent à une loi puissance : le carré du volume (espace **3D**) à l'état adulte **VA**, quel que soit le niveau d'organisation, est proportionnel au cube du temps de génération **tg**, ce sur 62 dimensions d'espace (**1D**) et autant de temps.

L'INVARIANCE FRACTALE DU VIVANT.

Si on reprend **globalement** tous ces résultats (ces puissances de 10) pour le "re-représenter" **sur une nouvelle "sur-échelle" log-log**, on obtient encore une droite de pente 3/2. Si on prend **localement** une sous-partie de ces résultats pour les représenter **sur une "sous-échelle log-log"**, on obtient également une droite de pente 3/2. Ce qui signifie que, globalement, ou/et localement, **tous les niveaux d'organisation** de notre Univers **obéissent à une même loi puissance** d'exposant 3/2. Et que (figure 11), de même que notre Univers (la sphère rouge) est un système de sous-systèmes (sphères bleues), il est lui-même un sous-système d'un sur-système (sphère verte) qui le contient, **qui obéit à la même loi puissance**, et dans lequel d'autres Univers (d'autres sphères rouges) peuvent être contenus. Les systèmes vivants forment, par emboîtements et juxtapositions, des "sous-systèmes" locaux et des "sur-systèmes" globaux, gigognes, qui obéissent aux mêmes principes organisateurs d'émergence, quel que soit le système-de-systèmes (Bricage, 15.02.2014).

8 Quel que soit le niveau d'organisation, et indépendamment de l'échelle, une phase de croissance précède toujours l'acquisition de la **capacité de reproduction**, qui définit l'état adulte.

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

Cette relation d'interaction $VA^2=Ct_g^3$, **invariante d'échelle**, détermine la vitesse globale des **échanges locaux** entre l'écoexotopie et l'endophysiotopie : **tout se passe comme si, à l'issue de la phase juvénile de croissance en masse, la vitesse moyenne globale des échanges avait été constante** (figure 5b). C'est par la surface, **l'interface entre endophysiotopie et écoexotopie**, que sont contrôlés les flux des échanges, indépendamment de la capacité d'accueil et de la capacité d'être accueilli (figure 3a). La croissance des systèmes vivants est souvent "exponentielle", mais toute augmentation de masse ne peut se poursuivre indéfiniment, tôt ou tard elle atteint un plateau (**courbe sigmoïde** -figure 5b-).

La loi puissance, d'exposant 3/2, représentation graphique de $VA=f(tg)$, prend en compte le temps, présent, passé et futur (d'un point de vue évolutif) et les 3 dimensions de l'espace (volume = longueur x largeur x hauteur). **L'invariance fractale du vivant** est indépendante du niveau d'organisation. **Aucune hypothèse thermodynamique n'est nécessaire**, sinon que **"survivre c'est manger et ne pas être mangé"** et que **"tôt ou tard il est impossible de ne pas être mangé"**. Donc notre Univers n'est qu'un Univers parmi d'autres, tous contenus dans un hyper-univers régi par cette même loi puissance.

Le coefficient 3/2 de la loi puissance $VA=f(tg)$ est analogue à la valeur moyenne de tous les coefficients (exposants) de lois puissance connues pour régir le fonctionnement métabolique du vivant aux niveaux cellulaire et moléculaire. Compte tenu de cette loi puissance $VA=f(tg)$, d'exposant **3/2**, tout se passe comme si les flux de matière et d'énergie aux interfaces, les échanges en surface, étaient à flux constants (figure 5b). La croissance de l'Univers obéit globalement, et à tous ses niveaux d'organisation, localement, à une même loi logistique (courbe sigmoïde) (figure 5b).

3- La structure fonctionnelle au niveau du génome (figure 6, figure 7).

On peut classer les gènes en fonction de leur contribution aux 7 capacités fonctionnelles du vivant (figure 6a). Bien que la mobilisation de la matière et de l'énergie soit le facteur limitant de la croissance en masse et en nombre, le pourcentage des gènes impliqués (protéines de structure de récepteurs et de canaux, enzymes, de perméation par exemple) est très réduit : moins de 2% ! Les **2/3 des gènes sont impliqués dans des processus d'intégration**, c'est-à-dire **d'interaction entre endophysiotopie et écoexotopie** : - en contribuant soit à l'expression de propriétés de réponse aux stimulations, soit à **la mise en place de l'espace-temps-action de l'endophysiotopie**, d'une part (20%), et surtout -en permettant la neutralisation des dangers viraux d'anciens écoexotopes (44%). Certains de ces **dangers contenus** sont même devenus indispensables à l'expression de la capacité de reproduction (Dunlap et al., 2006). Des séquences répétées, spécifiques de l'identité d'un génome, contribuent à l'organisation interne du génome. L'étude de l'organisation interne spatiale, qualitative, de l'accessibilité des gènes et de l'expression du génome (par marquage avec des protéines fluorescentes) montre que les gènes sont regroupés en sous-réseaux délimités, impliqués chacun dans une capacité fonctionnelle précise. La **structure fonctionnelle, en réseau**, du génome, indique que la position des gènes au sein du noyau cellulaire (figure 6b), leur **contiguïté**, n'est **pas aléatoire** (Kim, 2003 ; Klymiuk et al., 2003). Cette structure est la conséquence des interactions passées entre écoexotopie et endophysiotopie (figure 7a), entre héritages génétique, épigénétique et environnemental (Bricage, 08.06.2002, 15.10.2002) dont elle est **à la fois l'effet et la cause** (loi systémique constructale -figure 3b-) : figure 7b.

II. L'émergence des ARMSADA.

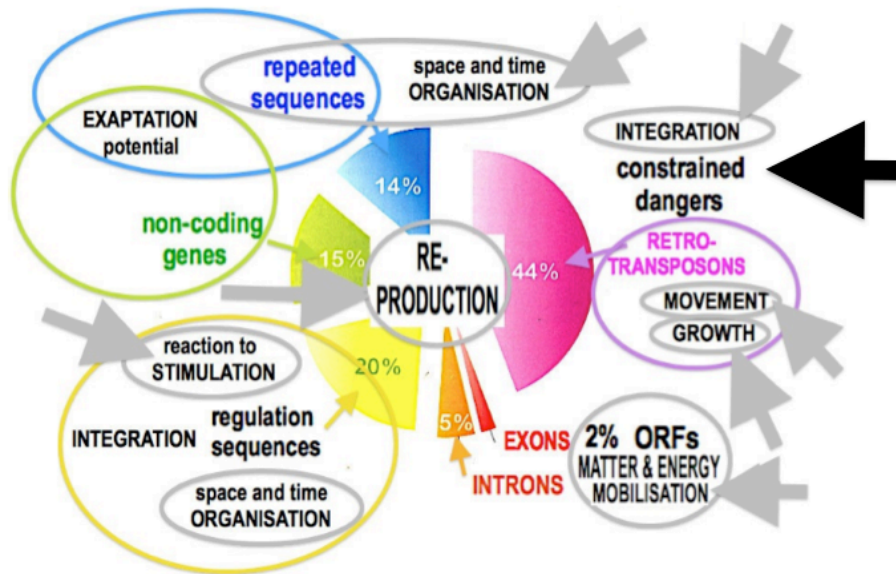
Pourquoi tout système vivant, en terme de plan d'organisation, est-il un **système-de-systèmes**, qui émerge par mise en place d'une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés ?

Sur la banquise du pôle sud les manchots n'ont pas besoin de marcher vite (de fait, ils en sont bien incapables...) car ils n'y ont pas de prédateur ! Et ils en "profitent" pour se reproduire, ils y pondent et couvent leurs oeufs, en toute tranquillité. C'est un **avantage énorme pour leur forme de vie**. MAIS c'est l'endroit le plus froid du monde et il n'y a rien à manger; il faut y survivre longtemps dans le froid et sans manger. C'est un **inconvenient énorme pour chaque individu**.

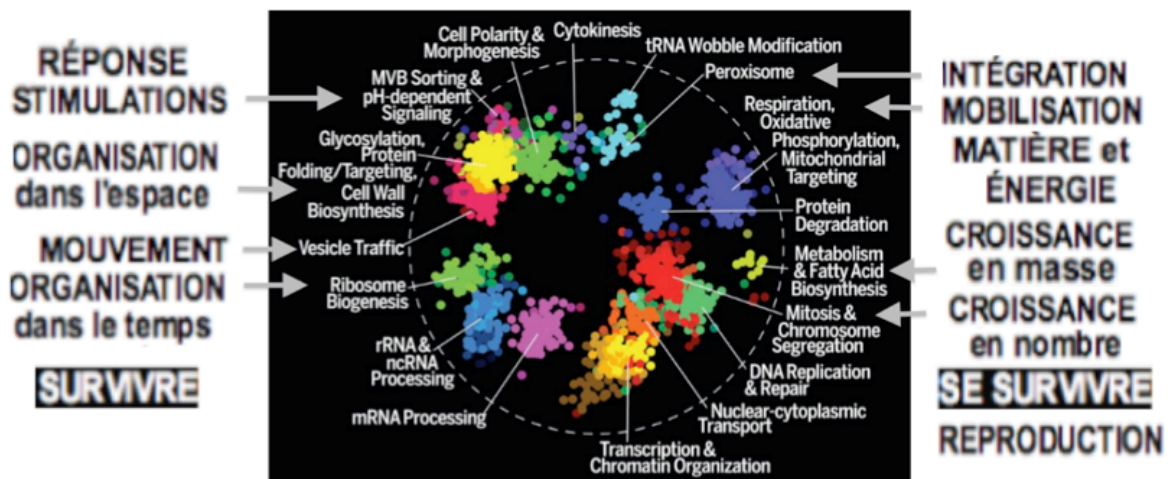
Il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients.

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 6. L'invariance de jauge des systèmes vivants : le niveau moléculaire des génomes.



6a. Répartition **quantitative** des gènes impliqués dans les 7 capacités fonctionnelles du vivant (figure 2) -d'une cellule d'homme-. Bien que la mobilisation de la matière et de l'énergie (figures 4a, 5) soit le facteur limitant de la croissance en masse et en nombre, le pourcentage des gènes impliqués (protéines de structure de récepteurs et de canaux, enzymes) est très réduit : moins de 2%. Les 2/3 des gènes sont impliqués dans **les processus d'intégration**, c'est-à-dire d'interaction entre endophysiotope et écoexotope : en contribuant à l'expression de propriétés de réponse aux stimulations et à la mise en place de l'organisation spatiale et temporelle de l'endophysiotope, d'une part (20%), et surtout à la neutralisation des dangers d'anciens écoexotopes *constrained dangers* (44%). Certains de ces **dangers contenus** sont indispensables à l'expression de la capacité de reproduction. Des séquences répétées *repeated sequences* contribuent à l'organisation interne du génome (14%).

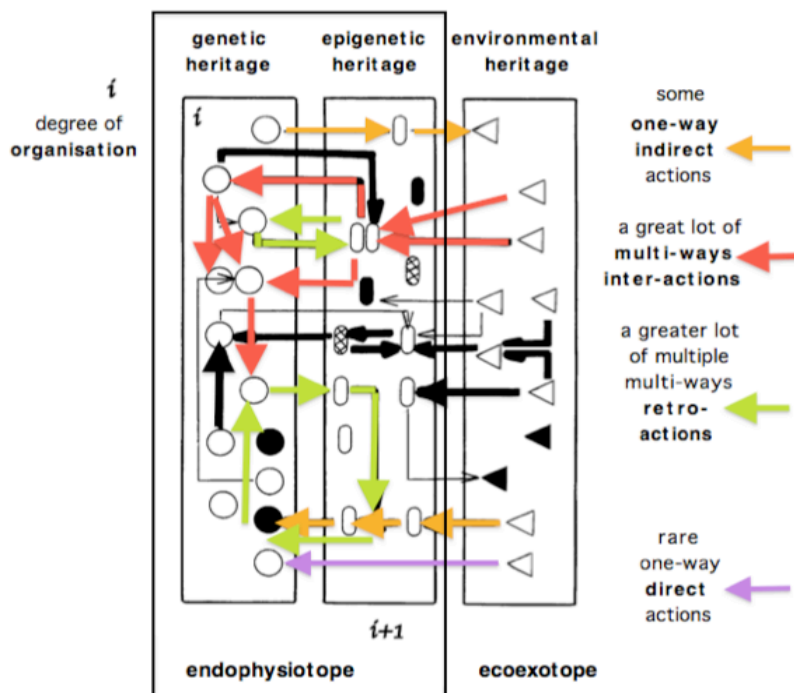


6b. Organisation interne spatiale, qualitative, de l'accessibilité des gènes et de l'expression du génome.

Chaque couleur correspond à un ensemble de gènes, cluster, impliqué dans une capacité fonctionnelle. La structure fonctionnelle, en réseau du génome, la position des gènes au sein du noyau cellulaire, n'est pas aléatoire.

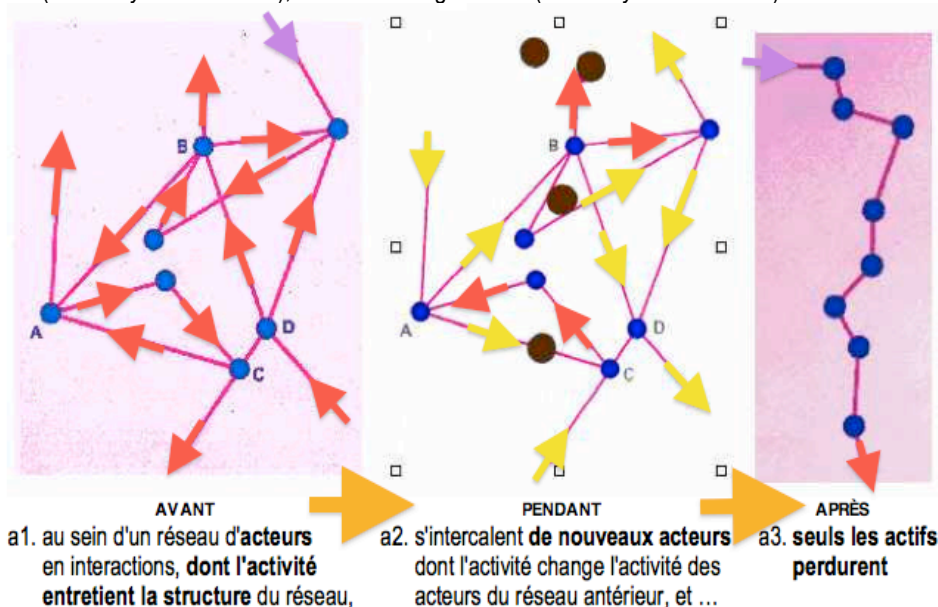
Adapté d'après : Costanzo et al. (2016), Dai et al. (2016), Dekker, Marti-Renom & Mirny (2013), Phillips-Cremins et al. (2013), Risca & Greenleaf (2015), Sexton et al. (2012), Tjong et al. (2012), Yardimci & Noble (2015).

Figure 7. Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : interactions entre endophysiotope et écoexotope (adapté d'après Bricage, 15.10.2002, CC-License).



7a. Structure fonctionnelle des interactions entre écoexotope et endophysiotope.

états de régulation des acteurs (les gènes ou groupes de gènes) : **en noir** "off"/extinction (absence, inactivation constitutive ou répression), **en blanc** "on"/allumage (présence et activation constitutive ou induction), **en hachuré** instabilité génétique ;
réseau des interactions : **flèches noires étroites** réseau de base, génome minimal, indispensable à la survie, **flèches noires épaisses** réseau activé spécifiquement pour la mise en place et le maintien d'un stade de différenciation ;
nature des interactions entre héritages (génétique : *genetic heritage*, environnemental : *environmental heritage*, épigénétique : *epigenetic heritage*), coloured : interactions uniques, directes (*one-way direct*) ou indirectes (*one-way indirect*), pléiotropie : interactions multiples (*multi-ways inter-actions*), interactions régulatrices (*multi-ways retro-actions*).



7b. Le processus de percolation : une métamorphose du réseau des interactions par intégration d'un nouvel acteur.

métamorphose : intégration de nouveaux partenaires, disparition d'anciens, remaniements des partenaires et interactions conservés,
émergence et exaptation : mise en place d'un espace-temps action nouveau, doté de propriétés nouvelles, imprévisibles.

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

Plus les avantages sont grands, plus les inconvénients sont grands

Dans l'eau de l'océan (et la température de l'eau est bien plus accueillante que celle du blizzard terrestre...), les manchots ont besoin de nager très vite (de fait, ils sont "taillés" pour la nage de compétition...) car **survivre c'est manger** et leurs proies sont là, présentes en abondance, encore leur faut-il les attraper ! C'est un avantage énorme pour le manchot. Mais **il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients**. Dans l'eau rodent les baleines tueuses de manchots. C'est un inconvénient énorme.

Plus les avantages sont grands, plus les inconvénients sont grands.

Pour l'orque comme pour les manchots, **survivre c'est manger et ne pas être mangé(s)**. Et, pour les manchots comme pour les poissons (et comme pour l'orque), **tôt ou tard il est impossible de ne pas être mangé(s)**. **Toute forme de vie appartient à une chaîne alimentaire**. Tout "système vivant" fait partie d'un "réseau trophique". **L'homme n'est PAS une exception...** (Vignieri, 07.10.2016), **il mange et il est mangé** : - par des virus comme celui du SIDA, et, - en cas de cancer (Bricage, 31.12.2008), par lui-même.

1. Une réponse, émergente, à l'escalade des violences des interactions prédateurs-proie.

La mise en place d'une ARMSADA est un processus évolutif de **convergence**, inéluctable car il rend les partenaires **toujours plus indépendants des anciens dangers externes et internes** -de leur écoexotopie commun, partagé **et** de leurs endophysiotoxes individuels-, mais **toujours plus dépendants les uns des autres** : **"pour le meilleur et pour le pire"** ! (figures 8 et 9) (Bricage, 20.09.2005)

1-a. INTÉGRATION, RÉSILIENCE, RÉTROGRESSION au niveau des monères :

l'exemple des bactériophages dits tempérés et de la lysogénie (figure 8a).

Habituellement un virus bactériophage (phage : qui mange, bacterio : des bactéries) l'emporte dans la lutte avec une bactérie (probabilité de gagner voisine de 100%) et la bactérie est mangée. L'endophysiotope de la bactérie est l'écoexotopie de survie du phage. Mais, la disparition totale de la proie (la bactérie) entraîne celle du prédateur (le virus). Pour que le virus survive à long terme il faut que la bactérie survive à court terme. C'est **un jeu à "qui perd gagne"** ! Survivre c'est manger... encore faut-il avoir toujours de quoi manger. **Rarement** (probabilité voisine de 1 fois sur 1000), **mais tôt ou tard**, certains phages deviennent défectifs et ne lysent plus les bactéries (Les trous n'apparaissent plus dans le tapis bactérien des boîtes de culture). Mais le virus défectif n'a pas forcément disparu, et si son génome s'est intégré au génome bactérien, il lui ajoute de nouvelles fonctions, comme **la résistance aux virus non-défectifs apparentés**, ou l'apport de nouveaux gènes, de résistance aux antibiotiques par exemple, et d'autres fonctions favorables à une meilleure survie du **nouveau Tout** (la bactérie modifiée et son ou ses virus intégrés), en augmentant la capacité d'être accueilli de son endophysiotope (Kim et al., 2003) dans des écoexotopes plus difficiles ou nouveaux (exaptation).

La meilleure défense contre le danger, l'étranger, n'est pas l'attaque, c'est l'intégration.

Elle n'est possible que par les pertes simultanées par chacun de la capacité de détruire l'autre.

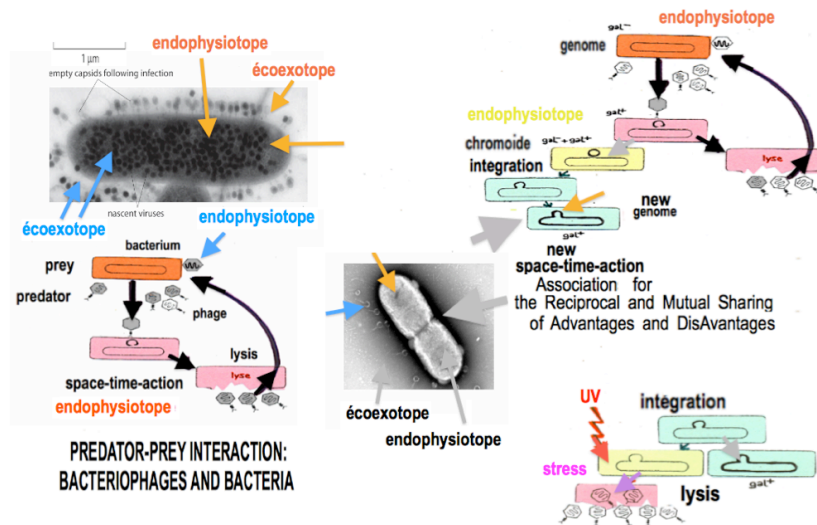
Elle est à l'origine de tous les nouveaux plans d'organisation du vivant (Bricage, 19.05.2001).

Le génome du virus intégré a changé d'espace-temps. Au lieu d'être, le plus souvent dormant (parfois pendant des années) quand il est à l'état libre, en l'attente d'une bactérie favorable à sa multiplication, pour y accomplir 1 cycle de lyse en 20 minutes, il est maintenant actif à l'échelle d'espace-temps de la bactérie. En conditions optimales de survie, une bactérie comme *Escherichia coli* peut croître, et se diviser toutes les 20 minutes, pendant des jours (1 jour = 24h = 72x 20 mn), des mois (1 mois = 2.160x 20 mn), des années (1 an = 26.280x 20 mn). L'endophysiotope du phage ne fait plus qu'un avec l'endophysiotope de la bactérie (**suprression**). **Tout se passe comme si le virus "internalisé" était devenu "éternel" !**

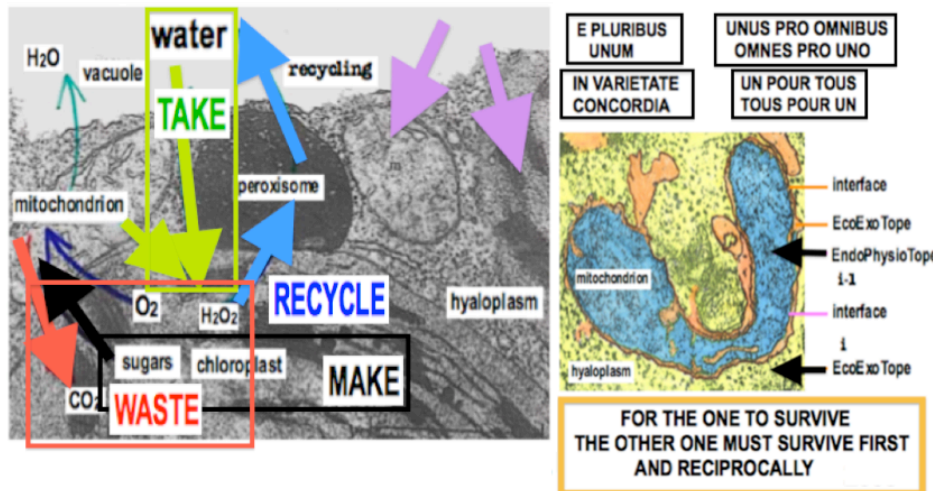
Mais, en cas de danger, interne ou externe, comme une mutation du génome bactérien ou une irradiation de la bactérie, le virus intégré, le **danger contenu**, peut reprendre sa liberté pour survivre à la mort de la bactérie. Au niveau du Tout, et pour chaque partenaire, il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients. La lyse permet au virus de retrouver son ancien écoexotopie de survie quand la survie de l'endophysiotope bactérien n'est plus possible. Ce **retour au niveau d'organisation inférieur** adjacent est un **processus de résilience, par rétrogression** (Bricage, 20.09.2005).

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

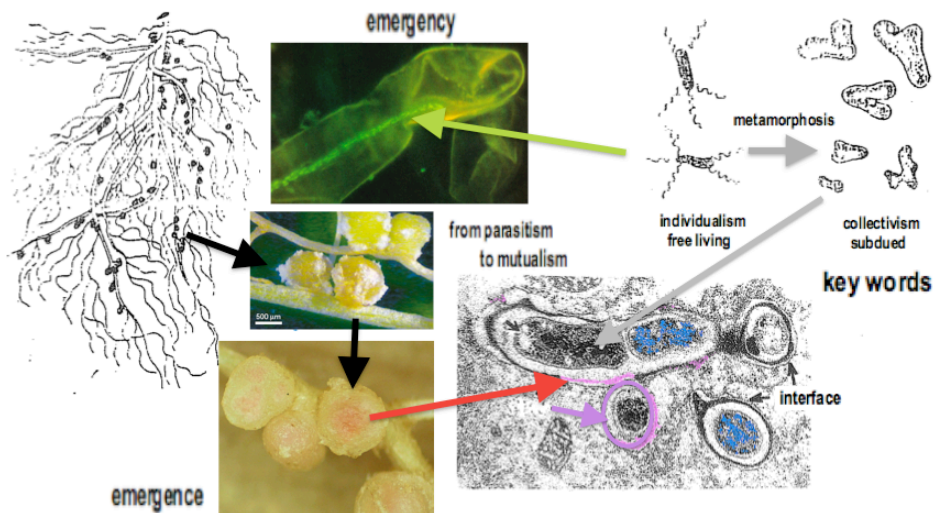
Figure 8. INTERACTIONS, INTÉGRATION, RÉSILIENCE, SUPRAGRESSION et RÉTROGRESSION.
(adapté d'après Bricage, 31.07.2010, 20.10.2011, 15.02.2014, **CC-License**)



8a. Cycle de développement d'un virus bactériophage : intégration, résilience, **endophysiotope** et **écoexotope** de survie.



8b. Structure fonctionnelle des **flux** de matière et d'énergie entre partenaires au sein de leur Tout, la cellule hôte.



8c. Domestication du Rhizobium, prédateur envahisseur : **séquestration et métamorphose**.

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

1-b. INTÉGRATION, RÉSILIENCE, RÉTROGRESSION au niveau cellulaire : l'origine de la cellule, apoptose et cancérogénie.

Une bactérie, ou **monère** (mono : un), est un **niveau d'organisation** caractérisé par un **unique compartiment** délimité par une membrane. Une cellule est le niveau d'organisation "supérieur" adjacent qui comporte des compartiments internes, de type monère, juxtaposés et emboîtés, et reliés par un réseau interne de membranes de type monère (reticulum endoplasmique, appareil de Golgi). Ce réseau est apparu, par percolation (figure 7b), lorsque des bactéries libres d'une population de monères "nues" (de type protoplaste), dépourvues de paroi doublant la membrane, ont fusionné. C'est **un grand désavantage** pour une bactérie d'être dépourvue de paroi protectrice : **survivre c'est ne pas être mangé**. C'est **un grand désavantage** pour une bactérie d'être "coincée" au sein d'un amas d'autres bactéries qui par leur présence restreignent l'accès aux ressources alimentaires des individus bactériens au centre de l'amas. **Survivre c'est manger**. En fusionnant ces bactéries **transforment des inconvénients énormes en un avantage énorme** avec la mise en place d'un nouveau plan d'organisation qui crée un nouveau compartiment spécialisé, le noyau, et un nouveau réseau d'échanges, le reticulum, qui intériorise l'accès alimentaire à tous les compartiments.

L'origine des membranes endo-cellulaires de la cellule eucaryote ne peut PAS s'expliquer par un phénomène d'invagination de surface, comme habituellement supposé. La mise en place d'une ASSOCIATION À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS, par fusion membranaire d'un amas de monères par un virus, explique à la fois l'apparition du noyau, l'apparition du reticulum endo-plasmique et la présence du centrosome (**principe du rasoir d'Ockham et principe des cause actuelles**) (Bricage, 19.09.2005). **Survivre c'est transformer les inconvénients en avantages.**

C'est "faire d'une pierre plusieurs coups", en changeant d'espace-temps-action.

Nos cellules peuvent fusionner sous l'effet agglutinant de certains virus. Les hémagglutinines, protéines portées par l'enveloppe protectrice du virus de la grippe, provoquent l'agglutination des membranes de nos globules rouges. De fait on trouve dans toute cellule animale la trace fossilisée d'une structure de type virale (d'un virus primitif à ARN) : les 2 centrioles du centrosome, **reliques du virus, aujourd'hui disparu, qui est à l'origine** de la fusion entre monères, de leur **union créatrice** qui a donné naissance à un nouveau plan d'organisation dans l'espace (Bricage, 01.12.2001, 15.10.2002) et dans le temps (Bricage, 21.09.2005), la cellule. Cette union est la conséquence d'**une crise "systémique" qui a cumulé plusieurs dangers externes** : - l'absence de paroi protectrice, délétère pour la survie face aux agresseurs, - la carence d'aliments due à la compétition entre monères au sein d'une population de plus en plus dense, - l'agression par un prédateur viral dont les monères étaient les proies (Bricage, 19.09.2005).

L'intériorisation des dangers en un nouveau TOUT a permis la survie de TOUS.

Tous, agresseur et agressé, prédateur et proie, **créèrent ensemble à la fois** un nouveau plan d'organisation (un nouvel **endophysiotope**) et une nouvelle niche écologique d'accueil (un nouvel **écoexotope**) pour une nouvelle forme de vie (un nouveau système-de-systèmes). Le niveau d'organisation cellulaire est le **niveau supérieur adjacent** à celui des monères, il est **formé par juxtapositions et emboîtements de niveaux d'organisation inférieurs (en complexité) et pré-existants (apparus avant)**.

Une nouvelle **crise systémique**, avec l'apparition d'un nouveau danger, un prédateur de la cellule nouvellement apparue, est à l'origine de **l'intégration de l'ancêtre bactérien de la mitochondrie par l'ancêtre de la cellule**. Qu'importe qui a été le prédateur ou la proie, les 2 n'ont pu survivre qu'ensemble alors que leurs ancêtres libres ont disparu. Pour que l'un survive il faut d'abord que l'autre survive et réciproquement, au sein du nouveau Tout, et avec ce nouveau Tout. Aujourd'hui, cette interdépendance "scellée" au sein de l'organisation cellulaire est révélée par le phénomène d'apoptose. Si l'un des acteurs est menacé par un danger, son altération met en péril la survie du Tout et de tous. **Pour que le Tout survive durablement il faut que la survie du Tout soit soutenable et soutenue par tous les partenaires du Tout.**

Une cellule est **un écosystème qui a émergé par la mise en place d'une Association à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés** entre partenaires bactériens, **autrefois libres, mais maintenant indissociables au sein d'une nouvelle entité, un nouveau niveau d'organisation**, une cellule (figure 8b).

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

Une bactérie n'est PAS une cellule (figure 9a) ! Pour que la cellule survive, pour que le Tout survive, il faut que chacun de ses compartiments (mitochondries, chloroplastes dans le cas d'une cellule végétale, peroxyosomes, noyau) survive d'abord : **“un pour tous, tous pour un”** (UNUS PRO OMNIBUS, OMNES PRO UNO), et **“tous pour le Tout et le Tout pour tous”, en ne faisant qu'un** (E PLURIBUS UNUM et IN VARIETATE CONCORDIA) (Bricage, 31.07.2010) -figure 8b-. Le cancer résulte d'une brisure induite de l'ASSOCIATION À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS au niveau cellulaire (Bricage, 31.12.2008), - quel que soit le compartiment génétique en cause, noyau ou mitochondries-, avec mise en place d'une ASSOCIATION À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS pathologique, cancéreuse (entre partenaires qui auraient dû mourir). D'autres mécanismes, sains -qui aident à la survie de l'organisme-, comme l'apoptose (Bricage, 15.10.2002), ou pathologiques -qui entravent la survie de l'organisme-, comme la maladie de Parkinson (Pickrell & Youle, 21.01.2015), procèdent d'une brisure de symétrie au sein de l'ARMSADA cellulaire.

Dans l'écosystème cellulaire, **tout ce qui est un avantage pour chacun des partenaires est un inconvénient pour un autre et réciproquement**. Les mitochondries et chloroplastes produisent un déchet hautement toxique, l'eau oxygénée, destructrice pour les membranes de tous les compartiments, mais le peroxyosome la détoxifie en eau, eau qui est la matière première, l'aliment, du chloroplaste. La mitochondrie produit aussi comme déchets de l'eau et du gaz carbonique, aliments du chloroplaste. Le chloroplaste produit de l'oxygène, toxique, à l'origine de l'eau oxygénée. Cet oxygène est un aliment de la mitochondrie. Dans l'écosystème cellulaire existe **un réseau d'échanges trophiques dans lequel les déchets des uns sont les aliments des autres et réciproquement : “Take-Make-Wake but Recycle !”** (Bricage, 31.07.2010). Les cycles de l'eau, de l'oxygène et du gaz carbonique y fonctionnent au bénéfice du TOUT, la cellule (figure 8b).

“Pour que l'un survive il faut d'abord que l'autre survive”, et que sa survie soit soutenable, et soutenue, “par chacun et par le Tout” ET “pour tous et pour le Tout”.

Le réseau métabolique cellulaire **des avantages et inconvénients réciproques et partagés**, entre compartiments (réseau inter), et à l'intérieur des compartiments (réseaux intra), est contrôlé par des enzymes à hème (telles les peroxydases et les cytochrome-oxydases), protéines libres ou fixées sur les membranes. D'autres hème-protéines (myoglobine, hémoglobine) interviennent dans la survie de l'organisme. Leurs gènes partagent **un ancêtre commun, un gène d'une monère**, dont la réussite évolutive a été considérable dans la biosphère terrestre, aussi bien dans le règne animal que végétal.

1-c. INTÉGRATION, RÉSILIENCE, RÉTROGRESSION au niveau écosystémique :

l'exemple des lichens et des légumineuses, “la symbiose”.

Les lichens, extrêmement diversifiés (Milius, 26.07.2014), occupent tous les écoexotopes terrestres disponibles. Ce sont des végétaux pionniers dont l'endophysiotope possède une capacité d'être accueilli qui les rend capables de s'installer en l'absence de toute forme de vie pré-existante, là où la capacité d'accueil de l'écoexotope est telle que la survie est impossible pour toute autre forme de vie. Pourquoi ? Le corps du lichen (son thalle) est celui d'un champignon pluri-cellulaire, primitif, qui forme une boîte protectrice qui héberge une population d'une algue uni-cellulaire capable de photosynthèse. C'est un avantage énorme pour l'algue, dont l'endophysiotope, emboîté au sein de l'endophysiotope du champignon, peut survivre à la sécheresse et aux carences en sels minéraux, auxquelles **elle ne survivrait pas libre**. Elle est en plus protégée des radiations dangereuses et de ses prédateurs habituels, qui doivent franchir la barrière du corps du champignon. Cet avantage énorme pour l'algue est un inconvénient énorme pour le champignon. Pour permettre la survie de l'algue il détourne une partie de la matière et de l'énergie qui serait utiles à sa croissance en masse et à sa survie en nombre. Tout se passe comme si “indirectement” l'algue se nourrissait du champignon, dont le fonctionnement est d'abord orienté pour la survie de l'algue. Mais, tôt ou tard, des filaments du champignon “empoignent” des cellules de l'algue et les mangent. **Tôt ou tard il est impossible de ne pas être mangé**. Maintenant c'est un inconvénient énorme pour l'algue et un avantage énorme pour le champignon.

“Tout ce qui est avantage pour l'un des partenaires est inconvénient pour l'autre et réciproquement.” (Bricage, 19.10.1998, 04.02.2000)

Un lichen n'est PAS une association à bénéfices mutuels ! C'est une Association à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés, dans laquelle **il n'y a de bénéfice(s) que pour LE Tout**, LE lichen. Un lichen n'est ni une algue, ni un champignon, c'est un nouvel organisme, et un écosystème, qui émerge de l'intériorisation, avec d'autres partenaires (Rikkinen, 14.03.2015 ; Spribille et al., 29.07.2016), d'une chaîne alimentaire (Bricage, 1981, 1991, 1998), à la suite d'un processus d'exaptation par percolation (figure 7b).

Tout écosystème est construit sur des interrelations symbiotiques, uniques et inter-spécifiques, qui assurent sa durabilité (Bricage, 01.04.2016). Elles définissent, **au sein de l'écoexotopie partagée** (celui du lichen), la niche écologique et la "profession biologique" de chaque acteur (le champignon, l'algue, le Tout)⁹. La **capacité d'accueil** de cet écoexotopie soutient le développement durable de chaque espèce, tant qu'elle y exprime la **capacité d'être accueilli**. Pour que l'un survive il faut d'abord que l'autre survive. Chaque profil d'inter-relation est unique. Mais on peut observer des convergences pour des espèces appartenant à une même lignée (un même clade) ou colonisant des écoexotopies où la survie impose des capacités d'être accueilli proches. Il n'y a **pas de différence systémique fonctionnelle** entre une forêt (une forêt arctique de conifères, ou un bois de feuillus de climat tempéré) et un lichen ou une cellule, ce sont des ARMSADAs (Bricage, 01.04.2016). Leur développement, comme leur croissance, n'est durable **que parce qu'il est soutenable pour et soutenu par chacune des espèces, "qui appartiennent à l'écosystème et à qui l'écosystème appartient"**.¹⁰ Les différences, sont des différences, qualitatives et quantitatives, de complexité, liée à l'histoire de leur émergence : le nombre et les types d'acteurs, le nombre et les types d'interactions, entre acteurs, entre écoexotopie et endophysiotope (figures 3, 9a et 11).

Dans le cas de l'association Rhizobium-légumineuse, des capacités pré-existantes, des partenaires à l'état libre, séparés, sont perdues (comme l'existence des flagelles pour la locomotion des bactéries) et d'autres sont acquises au sein de l'association, comme la capacité émergente de fixer l'azote atmosphérique (par les bactéries Rhizobium symbiotes de certaines cellules racinaires). On passe d'une situation initiale prédateur-proie, facultative, d'invasion, à une situation finale de mutualisme obligatoire et de réciprocité, comme pour le lichen. Et le fonctionnement global du Tout est contrôlé par des interactions locales (Lie & Timmermans, 1983) entre les génomes (Lie, 1984) des acteurs. Ces interactions peuvent être contrôlées par des génomes viraux (Tu & Ford, 1984), intégrés ou non, ou sous leur dépendance.

Le TOUT est à la fois plus et moins que la somme de ses parties.

2. Tout nouveau plan d'organisation émerge de la mise en place d'une ARMSADA.

La représentation graphique du simplex (Bricage, 20.10.2011) permet d'explicitier les relations entre un prédateur et une proie. **Habituellement** le prédateur (le virus, le parasite, ou le ravageur) l'emporte et la proie (la bactérie, la cellule ou la plante) est mangée. Mais, la disparition totale de la proie (chute de biodiversité -1) entraîne celle du prédateur (chute de biodiversité -2). C'est un jeu à **"qui perd gagne"** ! Survivre c'est manger... encore faut-il avoir toujours de quoi manger. **Rarement, mais tôt ou tard** cela arrive inéluctablement, la proie peut gagner et gagne. Le prédateur est détruit, la proie survit (mais la biodiversité chute aussi -1). Seule la mise en place d'un équilibre cyclique prédateur-proie, avec des hauts et des bas pour chaque espèce, permet le maintien de la biodiversité globale. C'est un équilibre méta-stable, mais c'est cette **diversité qui, tôt ou tard, même si c'est très rare, permet l'émergence** d'un nouveau plan d'organisation, par la mise en place d'une ARMSADA, ce qui permet une augmentation de la biodiversité (+1).

2-a. POURQUOI ?

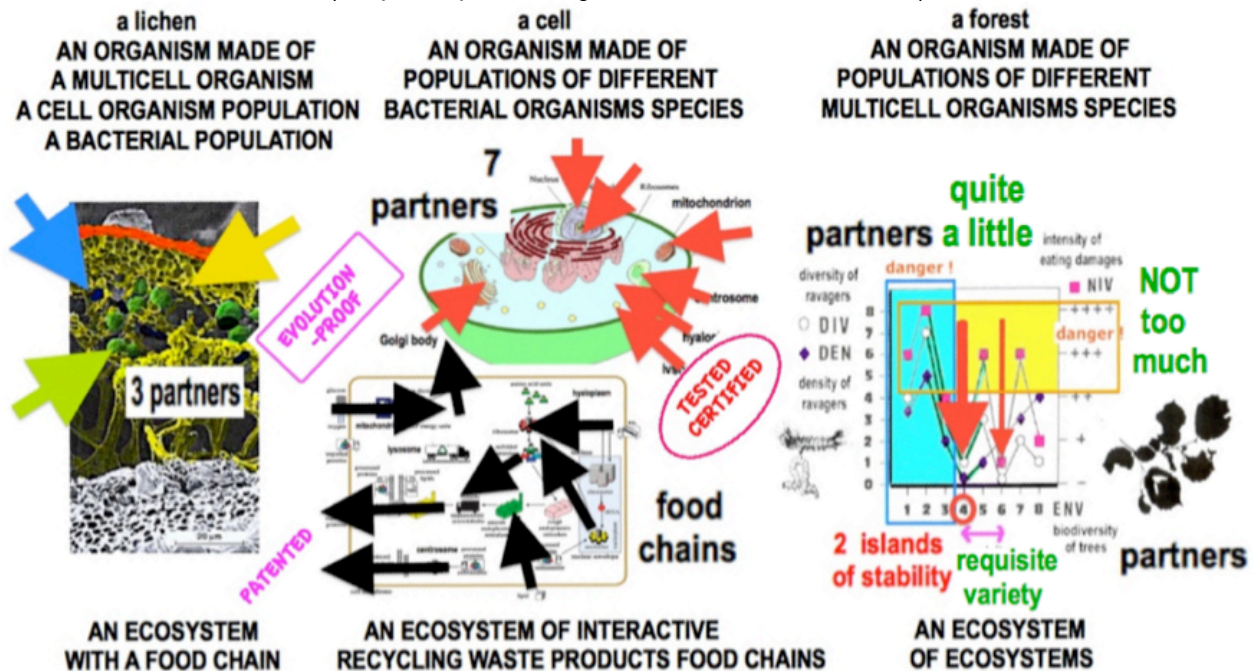
Pourquoi certaines bactéries ou cellules ont-elles "domestiqué" certains virus et pas d'autres (Klymiuk et al., 2003)? Pourquoi certaines cellules ont-elles domestiqué certains organites plutôt que d'autres ?

9 Certains lichens contiennent des acteurs "supplémentaires" (Milius, 07.11.2009, 26.07.2014) : - un acteur de type monère, **une cyanobactérie** (Rikkinen, 14.03.2015), qui apporte (en plus de la capacité de photosynthèse de l'algue verte) la capacité de fixer l'azote atmosphérique, comme une légumineuse, et - un acteur de type uni-cellulaire (comme l'algue), **une levure** (un autre champignon), qui apporte des capacités génomiques d'exaptation (Spribille et al., 29.07.2016).

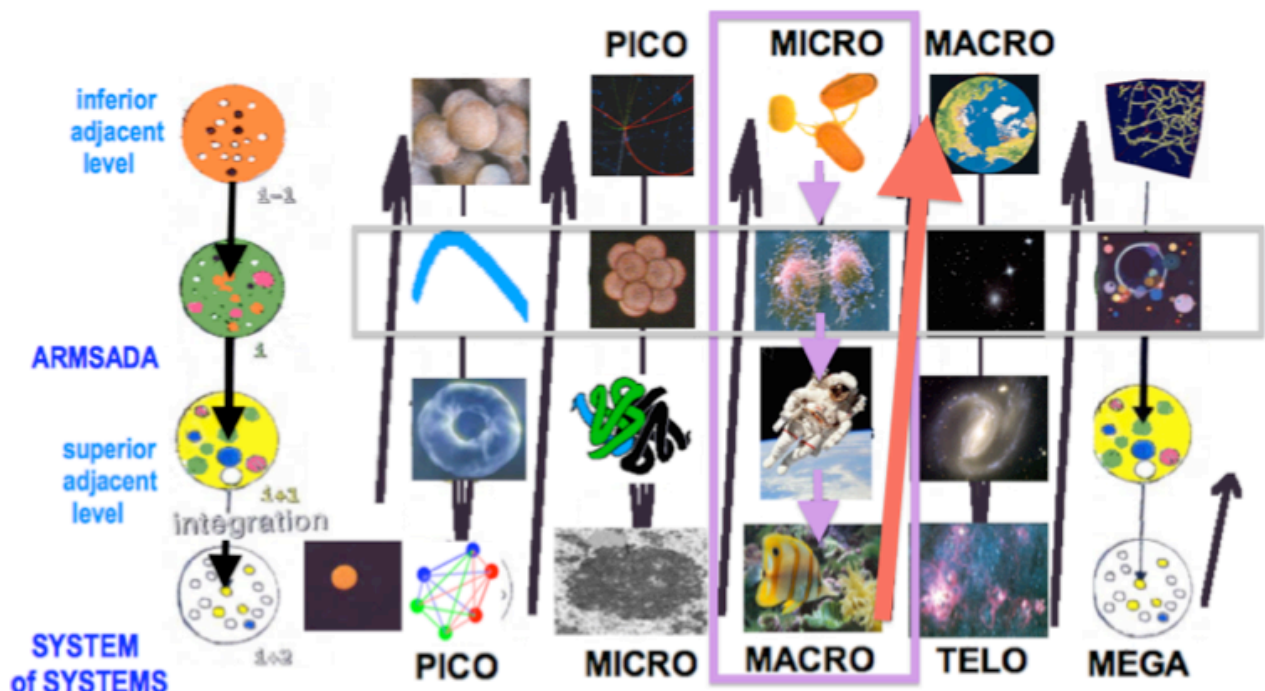
10 L'homme appartient à la terre, la terre n'appartient pas à l'homme (Bricage, 01.04.2016).

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 9. Les système-de-systèmes du vivant.
(adapté d'après Bricage, 07.06.2008, CC-Licence)



9a. Les Associations à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés (ARMSADA) : lichen, cellule, écosystème forestier.

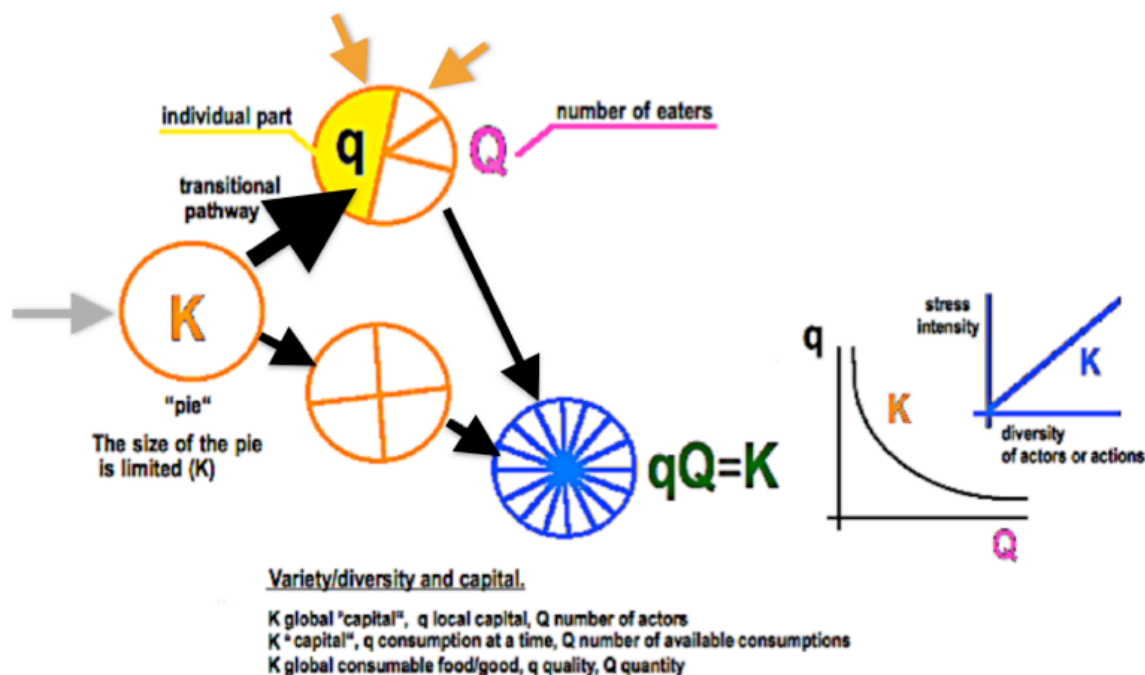


9b. Le tableau de classification "périodique" des niveaux d'organisation des systèmes vivants.

Figure 10. Limites et limitations :
interactions entre la capacité d'accueil de l'écoexotopie et la capacité d'être accueilli de l'endophysiotope.
(adapté d'après Bricage, 25.10.2010, 20.10.2011, 22.10.2011, CC-Licence)

LA TERRE N'APPARTIENT PAS A L'HOMME, C'EST L'HOMME QUI APPARTIENT A LA TERRE :
"the 10 rules of the message of Ecology" (adapted from KREBS).

1. Good and Poor **Places (EcoExoTopes)** Exist for Every Form of Living Systems (**EndoPhysioTopes**).
De nombreuses **capacités d'accueil**, dans des **écoexotopes** variés, sont possibles, **des pires aux meilleures**.
 2. Distribution of Species, or "Systems of Species", is **Limited** by Barriers and Unfavorable Ecoexotopes.
La **capacité d'être accueilli** (de l'**endophysiotope**) est limitée, dans les **limitations imposées** par la capacité d'accueil.
 3. **No Population**, "Whatever is the Level of Organization", Increases **Without Limit**.
La **croissance** est limitée par les **interactions** entre la capacité d'accueil et la capacité d'être accueilli.
 4. **Overexploited Populations**, **Whatever the Level is of Organization**, Can Collapse.
L'augmentation de la capacité d'accueil, **par l'homme seul et pour l'homme seul**, entraîne l'extinction de la biodiversité.
 5. Communities Can Rebound from **Limited Disturbances**. ("Meden Agan")
Tout endophysiotope peut survivre à des **agressions** entre **2 limites fonctionnelles (excès, carences)** de son écoexotopie.
 6. Communities can Exist in **Several Stable Configurations**.
Diverses situations d'**interaction** entre capacité d'accueil et capacité d'être accueilli permettent un **équilibre stable**.
Le même équilibre stable peut être atteint par divers **chemins** (convergence).
 7. **Keystone Species** May Be Essential to a Community. ("E Pluribus Unum")
La **durabilité** d'un système dépend d'**espèces clé-de-voûte**. L'homme est une espèce clé-de-voûte pour ses agrosystèmes.
 8. Natural Systems (Cells, Organisms, EcoSystems...) **Recycle** Essential Materials.
La matière et l'énergie, limitées, sont **réutilisables**. La **durabilité** résulte d'un recyclage continu de la matière et de l'énergie.
 9. **Climates Change, EcoExoTopes Change, Communities Change, Endophysiotoxes Change**.
Les changements en qualité ou quantité de la capacité d'accueil, et de son recyclage, modifient la croissance et imposent des changements d'organisation spatiale, temporelle et fonctionnelle de la capacité d'être accueilli, se répercutant sur le développement.
 10. Natural Systems Are Products of Evolution.
Des **changements locaux** de la capacité d'accueil peuvent induire des **réponses globales** de la capacité d'être accueilli.
Le développement global n'est **durable que s'il est soutenable, et soutenu**, localement, par les acteurs du système.
- 10a. Les contraintes imposées par l'écoexotopie : de la responsabilité sociétale et environnementale de l'espèce humaine.

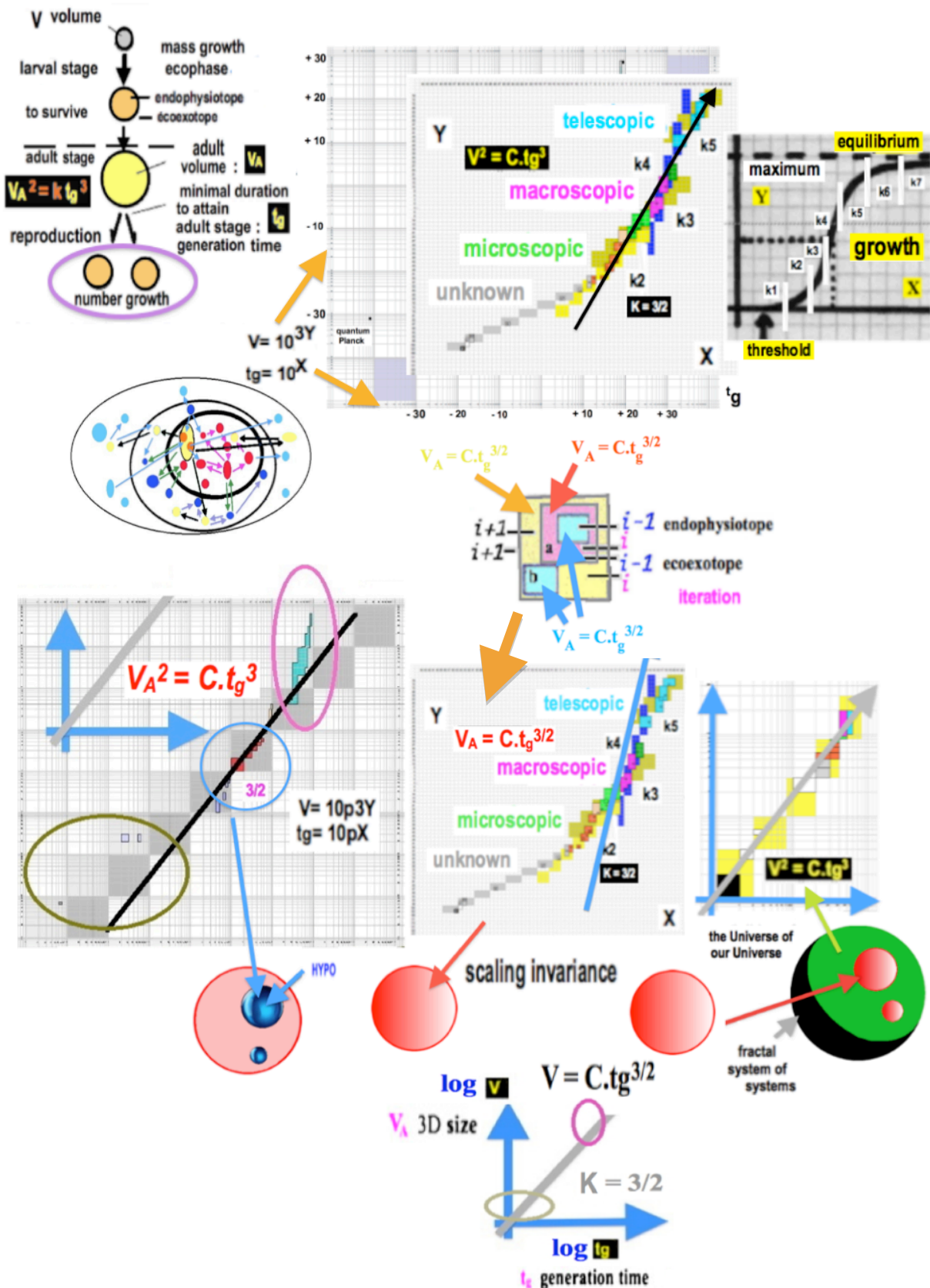


10b. De l'obligation de partager une capacité d'accueil limitée dans un écoexotopie limitant.

Toute loi hyperbolique $qQ=K$ est une loi de puissance $q=KQ^{-1}$

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 11. Tout système vivant est trop complexe pour résulter du seul hasard.
(adapté d'après Bricage, 13.11.2009, 19.09.2014, CC-License)



fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

Pourquoi l'homme a-t-il **domestiqué (intégré dans sa demeure)** certaines plantes et certains animaux plutôt que d'autres (Bricage, 21.05.2003) ?

Tous les animaux domestiqués par l'homme **étaient “domestiquables” parce qu'ils étaient moins aptes à la survie, défectifs, par rapport aux animaux sauvages non-domestiqués**. Le chien par rapport au loup, le cochon par rapport au sanglier, et même l'homme par rapport au chimpanzé, tous présentent “le même syndrome de domestication” qui résulte d'une déficience de nombre et de migration, lors de la formation de l'embryon, des cellules souches de la crête neurale. Pour se survivre ils ont mis en place des interactions nouvelles (par percolation) qui, pour toujours, les ont à la fois liés ensemble et séparés (exaptation) du reste du vivant (Bricage, 22.10.2011, 09.03.2012).

La mise en place d'un nouveau réseau d'interactions est, toujours, une **métamorphose** (Bricage, 13.11.2009), **par percolation** (figure 7b). Lorsqu'un acteur nouveau “se présente”, si sa présence ne perturbe pas, n'est pas un danger pour, le réseau pré-existant, il est le plus souvent rejeté. S'il est un danger, soit il détruit le réseau, soit il y est intégré. L'intégration est une métamorphose, comprenant toujours 3 types d'événements : -des acteurs anciens, des interactions et des structures antérieures disparaissent, -des acteurs nouveaux et des interactions et des structures émergentes apparaissent, et, -des acteurs anciens, des interactions et des structures fonctionnelles passées sont remaniées en un nouveau Tout. Toute structure fonctionnelle nouvelle ne peut émerger qu'à partir de structures fonctionnelles pré-existantes, remaniées et ré-affectées (Bricage, 15.10.2002, 13.11.2009).

2-b. QUELS SONT LES NIVEAUX D'ORGANISATION DU VIVANT ?

Un atome est autant un système vivant qu'une bactérie, une cellule ou une forêt. **TOUS** sont des système-de-systèmes possédant les 7 capacités, de façon indissociable, mais **à une échelle d'espace-temps qui n'est pas la nôtre**. “Un caillou n'est pas vivant, mais il y a de la vie dans un caillou.”

Quel que soit son niveau d'organisation, tout système vivant est modulaire. Une cellule végétale (**niveau i**) est un **“module” contenant emboîtés et juxtaposés des “sous-modules”**, ses compartiments (**niveau i-1**, des monères), comme les “grains d'amidon”. Cette cellule est un sous-module de l'organisme (**niveau i+1**) dont elle est partie. Les grains d'amidon sont eux-mêmes formés par emboîtement de couches moléculaires (**niveau i-2**), comme des poupées gigognes. Ces couches moléculaires sont elles-mêmes formées par emboîtements et juxtapositions de modules du niveau atomique (**niveau i-3**).

Un **tableau PÉRIODIQUE de la classification de tous les systèmes vivants** (figure 9b) peut être construit en tenant compte à la fois de la **MODULARITÉ**, structurale et fonctionnelle (présente à tous les niveaux d'organisation), du PARADIGME d'**INVARIANCE DE JAUGE** (définissant tout niveau d'organisation) et du PARADIGME d'**émergence** de tout nouveau niveau d'organisation par mise en place d'**ASSOCIATIONS À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS**, depuis le quantum de Planck jusqu'à l'Univers dans son ensemble (Bricage, 13.11.2009, 20.10.2011, 15.02.2014).

2-c. LOI SYSTÉMIQUE CONSTRUCTALE ET MOUVEMENT BROWNIEN

Tout système vivant est un système-de-systèmes d'acteurs qui, par le jeu des **interactions réciproques**, sont à la fois **causes d'effets et effets de causes** : **loi systémique constructale**, “**Interaction is construction. Construction is interaction.**” Ce qui signifie qu'il n'y a aucune raison, dans un espace-temps, de privilégier le temps ou l'espace. La loi puissance **$VA=f(tg)$ d'exposant $3/2$** (figure 3b), équivaut à la loi puissance **$tg=g(VA)$ d'exposant $2/3$** . L'exposant $3/2$ (la pente de la droite représentative du phénomène en coordonnées log-log) est aussi le coefficient représentatif de la relation entre le volume et la surface d'une sphère. Le volume (3D) augmente au cube pendant que la surface (2D) n'augmente qu'au carré (figure 5b). Or **la sphère est le volume pour lequel la surface d'échange est maximale**. Survivre c'est manger ! L'exposant $2/3$ (ou $3/2$) est aussi celui que l'on utilise pour modéliser **le mouvement brownien**. Et la simulation des structures connues de l'Univers, quel que soit le niveau d'organisation, est possible grâce au seul mouvement brownien (Bricage, 15.08.2014, 19.09.2014, 20.12.2014).

3. L'évolution des système-de-systèmes génétiques.

La libération des dangers contenus en cas de trop grands dangers, exogènes ou endogènes, s'effectue de la même façon au niveau d'organisation cellulaire. **Habituellement** un virus l'emporte (probabilité 1, = 100%) et la cellule est mangée. Mais, la disparition totale de la proie entraîne celle du prédateur. C'est un jeu à **"qui perd gagne"** ! Pour que le virus survive à court terme il faut que la cellule survive à long terme. Survivre c'est manger... encore faut-il avoir toujours de quoi manger. **Très rarement** (probabilité -6, = 1 fois sur 1 million), **mais tôt ou tard**, certains virus deviennent défectifs et ne lysent plus les cellules. L'intégration du virus, dans un génome cellulaire, considérablement plus complexe qu'un génome bactérien (1.000x à 1.000.000 de fois plus d'informations), aboutit le plus souvent à une cellule cancéreuse (Bricage, 31.12.2008). La cellule (niveau i), qui aurait dû mourir, et le virus, survivent et se survivent, ensemble, dans un nouveau Tout (Kobinger et al., 2006), accueilli par un nouvel écoexotopie (Clever et al., 2016), tant que l'organisme (niveau $i+1$) qui héberge les cellules cancéreuses survit. **Même si la probabilité est très très faible** (probabilité -12, = 1 fois sur mille milliards), **tôt ou tard**, un virus s'intégrera sans dommage pour la cellule. L'intégration du danger externe rendra la cellule résistante au virus. Ce principe d'intégration des dangers externes explique la résistance naturelle, spontanée, de certains individus au SIDA (pas si rares..., nous sommes moins de dix milliards d'êtres humains) et qui est à la base de la méthodologie de sélection de cellules souches résistantes au virus de l'immunodéficience humaine (VIH), **une thérapie génique du VIH par le VIH** permettant une vaccination curative individualisée (Bricage, 20.09.2005).

L'intégration d'un virus externe rend la cellule résistante au virus. Mais le virus, maintenant **endogène** ("**contenu**"), peut néanmoins être **libéré** ("**dé-contenu**") et lyser la cellule hôte et les autres cellules, filles ou soeurs de cette cellule-hôte (Bricage, 15.10.2002). Même si l'événement est rare il l'est moins qu'un événement d'intégration et il peut être amplifié par tous les événements, physiques, chimiques ou biologiques, qui peuvent altérer l'intégrité d'une cellule. La cellule cancéreuse, transformée par un virus, possède une identité nouvelle, modifiée par rapport à la cellule saine d'origine. Des virus exogènes peuvent la reconnaître et l'envahir sans envahir les cellules saines initiales. C'est ce principe de libération induite de virus internes (qui explique la rémission naturelle, spontanée, chez certains individus, de certains cancers) et d'utilisation simultanément de virus oncolytiques exogènes, qui est à la base de la méthodologie d'une méthodologie de vaccination curative anti-cancer (Bricage, 31.12.2008, 25.04.2014)

Le cancer résulte d'une brisure de l'ARMSADA cellulaire, - quel que soit le compartiment génétique en cause, noyau ou mitochondries-, avec mise en place d'une cellule cancéreuse, qui peut être brisée à son tour. De fait, des virus modifiés, oncolytiques, ont été utilisés avec succès dès 2010, la méthodologie ayant été brevetée par l'entreprise JENNEREX en 2011.

Tous les dangers qui ont pu être contenus au cours de l'histoire cellulaire sont toujours présents dans le génome. 44% de l'information génétique présente dans nos cellules est celle de **rétrovirus endogènes**, des virus comme celui responsable du SIDA, dangers qui ont été **intégrés au cours de l'évolution du vivant terrestre**. D'autres séquences d'origine virale sont présentes dans les séquences répétées (Klevytska et al., 2001), les introns et les gènes non-codants qui parsèment plus de 50% du génome restant. Seuls 2% du génome, les exons, correspondent aux gènes qui codent notre identité et sont responsables de l'ontogénie de notre forme de vie. 98% de notre génome représentent **l'accumulation d'un fardeau génétique, trace de tous les dangers que notre forme de vie a surmonté avant qu'elle n'apparaisse.**

Sans eux nous n'existerions pas, sans nous ils n'existeraient plus.

La présence de ces dangers est un inconvénient qui n'est pas sans avantages et un avantage qui n'est pas sans inconvénients (Bricage, 19.05.2001, 31.12.2008, 31.07.2010, 01.06.2014).

III. De la connaissance scientifique à la modélisation pédagogique.

Comment représenter un système-de-systèmes, d'acteurs en réseaux tri-dimensionnels, invariant dans ses fonctionnalités, structuré par percolation, et fonctionnant par contigüité (de proche en proche) ?

1. Un modèle pédagogique "littéraire"¹¹

Dès la mise en évidence de la colinéarité gène-protéine¹², un modèle "littéraire", textuel, avec des mots de 3 lettres, et des phrases explicatives variables, et dépendantes de la langue (anglais, français,...), a été proposé pour expliquer les altérations du texte à la suite de certains changements héréditaires ou mutations (figure 12a). Tout gène (**formé d'éléments juxtaposés**) débute par un codon d'initiation, équivalent du premier mot d'une phrase dont la première lettre est toujours une majuscule, et se termine par un codon stop, équivalent du point qui clôt la phrase. Un changement d'une lettre quelconque d'un quelconque codon aboutit à un changement du sens de la phrase, **ce qui peut être un inconvénient**. La mutation m vers t (ou M vers T), simple mutation (en bleu), conserve un sens à la phrase, mais il est autre, c'est une mutation ponctuelle dite faux-sens, mais pas non-sens. Les mutations ponctuelles peuvent s'accumuler (double mutation). Et la phrase change de proche en proche, acquérant une signification différente, **ce qui peut être un avantage** (processus d'**exaptation**). Cela peut être aussi une mutation non-sens, si le changement de la lettre aboutit à un mot qui rend la phrase incompréhensible (pas d'exemple donné ici). Le plus souvent une mutation (à effet) non-sens résulte soit d'une perte (délétion) ou de l'ajout (insertion) d'une lettre (en rouge), ce qui entraîne un décalage (texte en violet) du cadre de lecture (Open Reading Frame ORF en anglais).

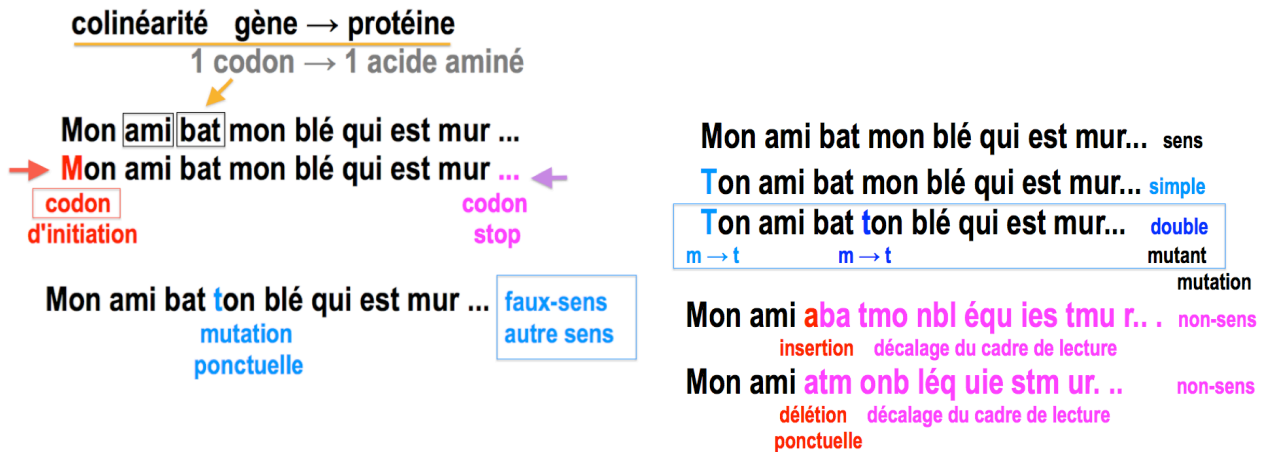
Les gènes sont assemblés en groupes de liaison, les chromosomes (les livres des recettes), formant une "bibliothèque" (Gürsoy, Xu & Liang, 2014), le génome (figure 12b). Une protéine peut résulter de la lecture d'informations réparties à des endroits différents d'un gène, et il faut "sauter", sans erreur, de l'un à l'autre, ou/et de la lecture de gènes différents, parfois portés par d'autres chromosomes. La proximité spatiale de ces informations, leur contigüité, est nécessaire à une lecture continue (figure 12b1). La structure spatiale du génome (Yardımcı & Noble, 2015), bien documenté chez la drosophile (Sexton et al., 01.02.2012) et la levure (Tjong et al., 2012), confirme la nécessité de cette **contigüité tri-dimensionnelle** (Dekker, Marti-Renom & Mirny, 2013) : dans une cellule cancéreuse (cancer cell), l'assemblage tridimensionnel du génome est différent de celui d'une cellule normale (normal cell), même si les gènes normaux sont les mêmes (B, E, L, M, O, P, R, T, U), ils ne sont pas présents au même endroit, ni disposés de la même façon, ni accessibles de la même façon, dans l'espace du génome (Costanzo et al., 2016). Et la contigüité est changée. Et c'est cette contigüité spatiale qui détermine la lecture d'un gène ou d'une séquence de gènes (figure 12b) : POULE ou/et LOUER ou/et TEMPO pour un type cellulaire, OMBRE, LOBER, BOLET pour un autre type, **différencié autrement** (figure 7a), **de phénotype différent, mais de même génotype**, et PLOMB, LOUPE, PROMU pour une cellule cancéreuse. S'il s'agit d'une séquence génétique complexe, multigénique, certains gènes peuvent être des gènes de régulation (en rouge). La façon dont ils sont accessibles, dans l'espace et dans le temps, détermine leur place dans la séquence (par exemple, O est en bonne place, la même, dans POULE, LOUER, LOUPE, LOBER, BOLET), et leur utilité ou non. Ce qui peut être à l'origine de dysfonctionnements (O, dans OMBRE, détermine un phénotype pathologique cancéreux).

¹¹ La démarche de modélisation est une mise en œuvre de la rationalité cartésienne et de la méthode scientifique, il s'agit à la fois de se simplifier le travail -en éliminant les détails difficiles à reproduire-, et d'obtenir un résultat le plus proche possible de la réalité -en se concentrant sur les traits jugés les plus importants-. Le modèle représente une réalité possible, simplifiée, mais il ne constitue pas la réalité : « **la carte n'est pas le territoire !** ». On veut obtenir **une ressemblance suffisante, qui dépend de l'utilisation souhaitée**. La qualité d'un modèle dépend des connaissances et des techniques disponibles. Son comportement correspond dans une certaine mesure, et **dans une certaine plage de validité**, au comportement observé, attendu, de la réalité. La ressemblance est d'abord qualitative, puis, dans quelques cas quantifiables, elle permet des prévisions fiables Malka et al., 05.10.2016).

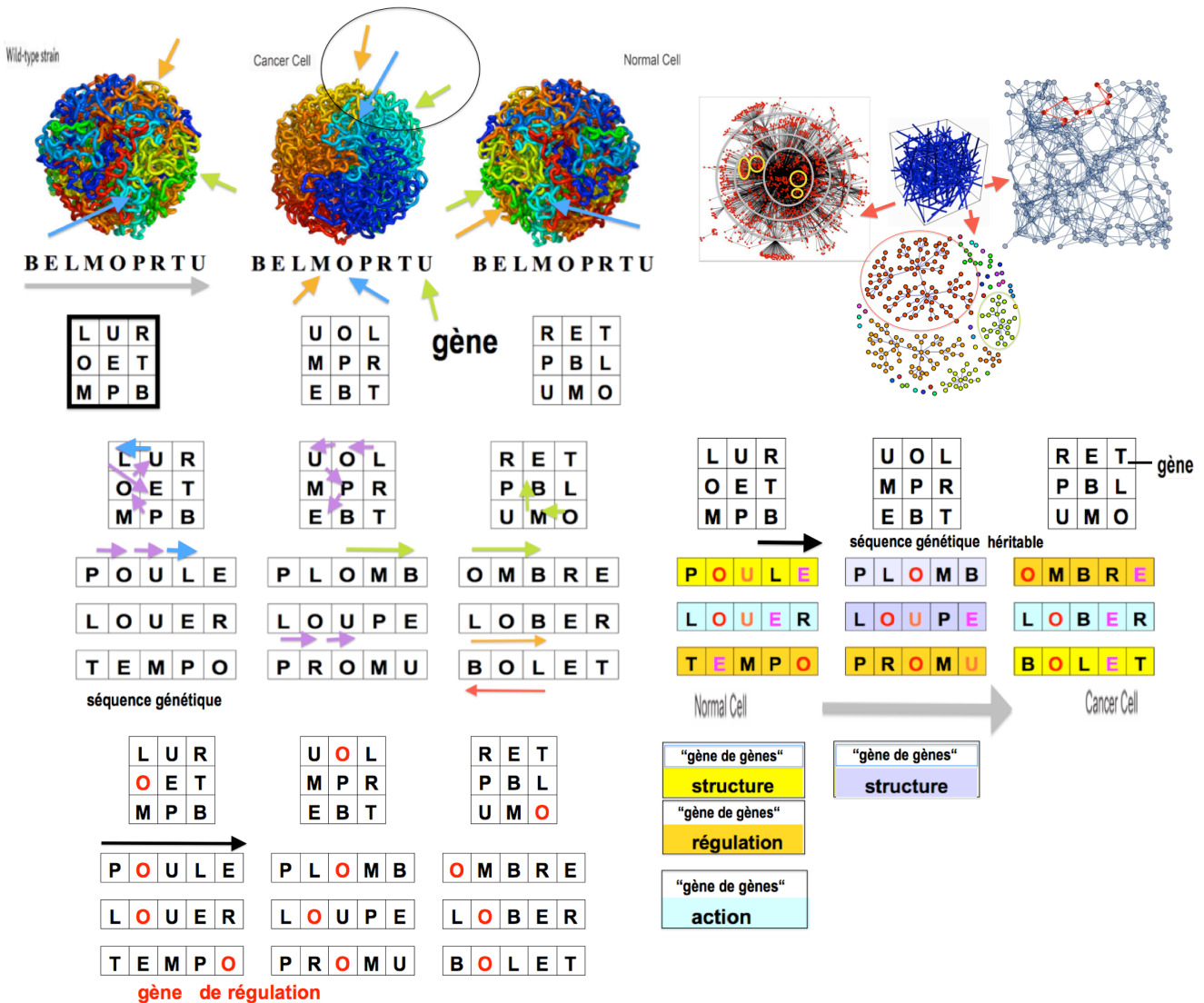
¹² Un gène est une séquence d'information (une recette) codée, dont le texte est constitué d'éléments codants (les mots ou codons), eux-mêmes constitués d'unités nucléotidiques (les lettres, au nombre de 4). Chaque mot étant constitué de 3 lettres, 64 mots sont possibles pour écrire une phrase. A chacun des 64 mots, quel que soit le gène, correspond 1 acide aminé dans une séquence protéique, quelle qu'elle soit. **La correspondance entre codons et acides aminés est le code génétique**. L'ordre des acides aminés dans la protéine est celui des codons dans le gène, c'est la colinéarité gène-protéine (figure 12a).

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.

Figure 12. Approche analytique et systémique d'un modèle littéraire explicatif du fonctionnement du génome.



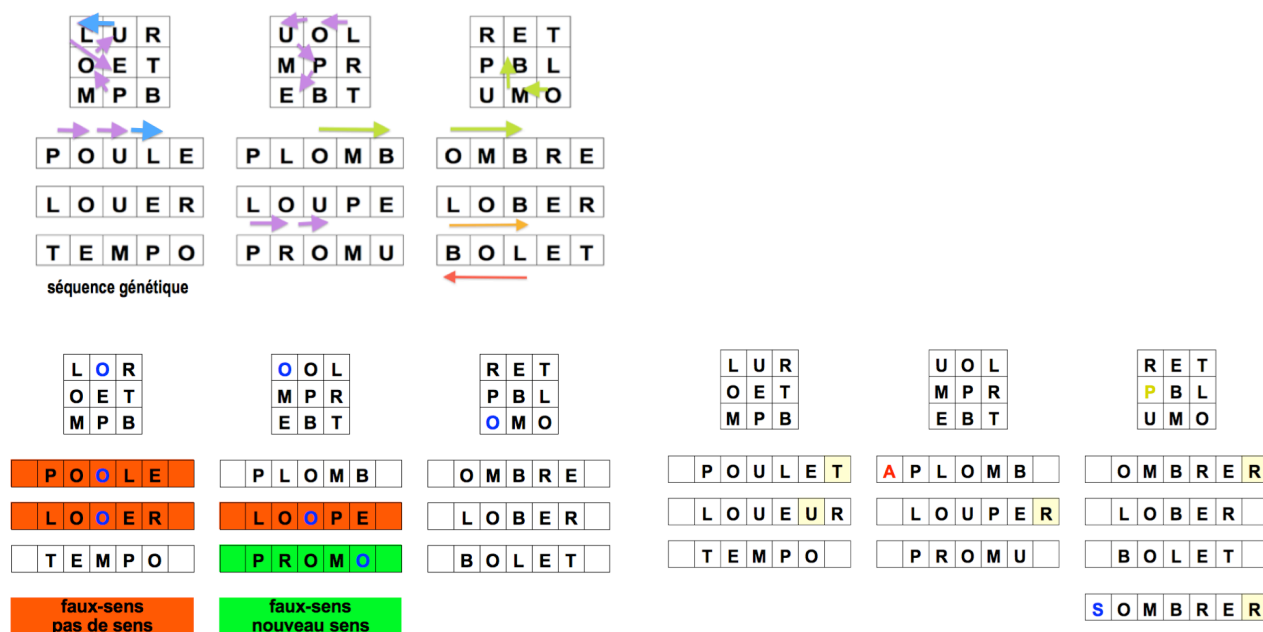
12a. Modèle textuel "habituel" (1D) rendant compte de la correspondance entre modifications génétiques et structures protéiques.



12b. Modèle textuel tri-dimensionnel (3D) de l'expression génomique.

12b1. Lecture par contiguïté dans l'espace.

Aspects génétiques des systèmes vivants : invariances et émergence, limites, limitations et imprévisibilité.



12b2. Exaptation : émergence de nouvelles informations.

Une séquence de gènes (comme dans un opéron), un super-gène (ou gène de gènes), héritable génétiquement (inné), peut coder pour des protéines de structure (encadré jaune), comme des récepteurs à des hormones, ou d'action (encadré bleu), comme les enzymes d'une chaîne métabolique, ou de régulation (encadré orange), comme des répresseurs (Bricage, 31.12.2008) (figure 12b2).

La façon dont une séquence de gènes est accessible, la topologie du génome (Cavalli & Misteli, 2013), peut être héritable génétiquement (innée), ou épi-génétiquement (acquise pour une durée plus ou moins longue, en nombre de générations cellulaires). Dans le réseau spatial et temporel, hiérarchique, des interactions (*web genome*) une séquence peut changer de rôle, suivant la place d'un gène de régulation (lettres en couleur) ou d'un gène de structure (lettres en noir) (figure 12b1). Comme les gènes qui la constituent, la séquence peut devenir, par mutation d'un gène (12a), une séquence faux-sens ou non-sens (encadrés en rouge) (figure 12b2). Un nouveau sens peut aussi émerger (encadré en vert). Par addition d'un gène, en début ou en fin de séquence, par insertions ou délétions d'un ou plusieurs gènes, la séquence peut changer de nature et de rôle. Ce qui peut avoir des conséquences pour l'évolution d'une population de cellules à l'intérieur d'un organisme ou d'une population d'organismes à l'intérieur d'un écosystème (Dai et al., 2016).

Les processus de duplication de gènes (Jaillon et al., 21.10.2004) et d'évolution par mutations aboutissant à des processus d'exaptation (figure 7b) sont bien documentés chez les Cichlidés africains (Mayer, 02.04.2016). Toute modification d'une séquence génique qui modifie une ou des séquences protéiques ou/et un ou des mécanismes d'interactions entre protéines ou entre protéines et génome, retentit, directement ou indirectement, sur la structure et l'expression du génome (Phillips-Cremins et al., 2013). On ne sait plus ni où est la cause ni où est l'effet (loi systémique constructale) et on peut se tromper dans l'interprétation d'un phénomène de rétro-action (Risca & Greenleaf, 2015).

Conclusion

Chaque théoricien pense avec des mots qui lui sont propres. La culture de son pays d'origine, sa langue maternelle, son éducation, ses expériences professionnelles et sociétales, ont façonné sa vision du monde et structuré sa pensée (Gardner & Foster, 2008).

Son bagage scientifique, culturel et linguistique est unique mais limité (Bricage, 1981).

En biologie comme en physique, les théories valides s'appuient sur les mathématiques. L'universalité (et l'esthétique) de ce langage universel évite toutes confusions inhérentes aux différentes cultures et mode d'expression. Le vocabulaire de la langue parlée est trop pauvre et inadapté pour rendre compte des phénomènes non-linéaires qui régissent les interactions (figure 3) et les échanges (figure 5). Le codage, graphique (figures 3 et 4) et mathématique (figure 5), est indispensable pour aller au-delà des mots, pour que la logique prévale, afin de décrypter notre monde physique qui obéit à des lois. La méthode hypothético-déductive et les notions qualitative de témoin et de seuil (figure 1), le raisonnement par analogie (figure 12), plus que la quantification (figure 11), sont des clés de voûte de la compréhension des phénomènes vivants.

L'INVARIANCE DE JAUGE (figure 2) prend en compte, le mouvement, la mobilisation de la matière et de l'énergie et tous les phénomènes vitaux **sans qu'il soit nécessaire d'invoquer de loi quantitative, chimique ou physique**, comme le mouvement Brownien.

LES ASSOCIATIONS À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS :

UN PARADIGME "TESTABLE" ET FRUCTUEUX...

La cancérisation résulte d'une rupture de l'ASSOCIATION À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS au niveau cellulaire, qui entraîne la libération des dangers viraux contenus. Une cellule qui aurait dû mourir à la suite d'une agression, d'origine externe ou interne, ayant entraîné la lyse ou l'altération grave d'un compartiment cellulaire (mitochondrie ou noyau), ne meurt pas et survit à l'état cancéreux. Ce qui, tôt ou tard, entraînera la mort de l'organisme. Cette cancérisation peut résulter d'une anomalie qui affecte la structure du centrosome, c'est-à-dire d'une altération du génome du virus initial à l'origine de la cellule, génome qui est toujours "contenu" dans le génome cellulaire. Elle peut aussi résulter de la libération d'un autre virus endogène "dé-contenu" (Bricage, 15.10.2002, 31.12.2008).

- UN VACCIN CURATIF DU SIDA

Une méthodologie de réalisation d'un vaccin curatif du SIDA, utilisant le virus du SIDA comme agent transformant, et qui repose sur l'intégration du virus au sein du génome cellulaire, a été proposée (Bricage, 20.09.2005). En 2008, deux malades allemands atteints du SIDA étaient déclarés guéris. En 2014, le phénomène vient d'être redécouvert. C'est bien le mécanisme "naturel" de protection correspondant à la mise en place d'une ASSOCIATION À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS "intégrant" le virus du SIDA, comme proposé en 2005.

- UN VACCIN CURATIF DU CANCER

Une méthodologie de réalisation d'un vaccin curatif du cancer, utilisant, pour lyser la cellule cancéreuse, la libération des dangers viraux contenus au sein du génome cellulaire, ou des dangers viraux externes, a été proposée (Bricage, 31.12.2008). La méthodologie a été "re-découverte" en 2010, puis brevetée par une entreprise américaine de biotechnologies (JENNEREX).

PRINCIPES ORGANISATEURS D'ÉMERGENCE DES SYSTÈMES VIVANTS

5 principes permettent de rendre compte de l'évolution orientée du vivant (Bricage, 13.11.2009) :

- un principe d'obligation organique : **"survivre c'est manger et ne pas être mangé"**, mais, **"tôt ou tard, il est impossible de ne pas être mangé"**,
- un principe d'invariance fonctionnelle **"l'invariance de jauge"**, définissant tout niveau d'organisation,
- un principe d'organisation, de structuration par emboîtements (poupées gigognes) et juxtapositions de structures fonctionnelles pré-existantes (jeu de lego) : **"la modularité"**,
- un principe de phylogénie, d'escalade de la complexité, **"seules survivent et se survivent les ASSOCIATIONS À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS"**,

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

et “elles seules permettent l'apparition de nouveaux plans/niveaux d'organisation”,

- un principe d'ontogénie, “une loi d'invariance d'échelle et d'**homothétie fractale**, une loi puissance¹³, **gouverne localement et globalement, l'espace (3D) et le temps**”.

L'UNIVERS est UN ORGANISME VIVANT.

LA MISE EN PLACE D' ASSOCIATIONS

À AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES ET PARTAGÉS EST LE MOTEUR DE SON ÉVOLUTION ORIENTÉE.

Toute forme de vie, dans quelque système qu'elle soit (figure 9b), nanoscopique ou téloscopique (Rahm et al., 2016), obéit, ou obéira, aux mêmes règles (figures 2, 3, 5b, 7b, 10 et 11).

L'homme (l'espèce humaine, système macroscopique) n'est pas une exception (Bricage, 31.07.2014). L'apprentissage, au bon moment (Bricage, 07.06.2008), de la démarche de modélisation scientifique ne suffit pas. Cet apprentissage doit être intégré dans un processus d'éducation à l'approche systémique (Bricage, 1981), holistique (Bricage, 25.10.2010, 10.03.2011), à mettre en oeuvre à tous les niveaux éducatifs (Bricage, 2007a), aussi bien en formation initiale qu'en formation continue (Bricage, 2007b). Aussi bien l'enseignement que la recherche doivent être orientés vers une approche trans-disciplinaire (Bricage, 25.10.2010, 06.06.2015), sanitaire (Bricage, 10.03.2011), économique (Bricage, 05.02.2015) et écologique (Bricage, 13.04.2015), pour permettre une meilleure survie sociétale (Foster & Xavier, 2007) et environnementale (Bricage, 22.10.2011) de l'humanité.

L'espèce humaine est aujourd'hui une espèce en danger car non seulement son écoexotopie de survie se dégrade mais surtout elle fait tout pour en augmenter la capacité d'accueil au lieu d'augmenter sa propre capacité d'y être accueillie (Bricage, 19.05.2001, 01.04.2016).

bibliographie

- Bricage, P. (1981). *Guide pour l'Enseignement de la Biologie dans les Écoles Africaines (Système anglophone)*. Paris : UNESCO, Author n° 206925.
- Bricage, P. (1991). *Les Caractéristiques des Organismes Vivants*. Pau : UPPA, Fac. Sciences, APIDS, DEUG EGRN, 44 p., [publication **04.01.1991**], **CC-License**
- Bricage, P. (1993). Are the lunar, radiative and position, cycles responsible for the entrainment of the periodic awakenings of the man night sleep ? , *Biological Rhythms : from Cell to Man*. Paris : Polytechnica, pp. 183-190.
- Bricage, P. (1998). *La Survie des Systèmes Vivants* [publication **19.10.1998**]. Pau : CHG, MCX20 "Ingénierie des Systèmes Sanitaires et Sociaux", 3 p., **CC-License**, <http://bricage.perso.univ-pau.fr/EcoSymbiose.pdf> in English, 1 p., [web **11.05.2001**], **CC-License**, <http://bricage.perso.univ-pau.fr/VivantWhy.pdf>
- Bricage, P. (2000). *La survie des organismes vivants*. Atelier AFSCET Systémique & Biologie, Paris : Fac. Médecine des Saints Pères, 44 p., [web **04.02.2000**], **CC-License**, <http://www.afscet.asso.fr/SURVIVRE.pdf> https://www.researchgate.net/publication/266409694_La_SURVIE_des_ORGANISMES_VIVANTS
- Bricage, P. (2001). *La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques: production, consommation, croissance et survie* [publication **19.05.2001**]. Andé: AFSCET, **CC-License**, <http://www.afscet.asso.fr/Decision.pdf>
- 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*. Paris : Institut International d'Administration Publique, Atelier AFSCET Systémique & Biologie, 11 p., [web **01.12.2001**], **CC-License**, <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. Andé : AFSCET, *Évolution du vivant et du social : Analogies et différences*, 20 p., [web **08.06.2002**], **CC-License**, <http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf>

13 La distribution d'éléments indépendants suit une **loi de Gauss (distribution normale, courbe en cloche)**, mais qui est, pour les phénomènes biologiques, le plus souvent **log-normale**.

La distribution d'éléments liés, en réseaux, inter-connectés, suit une loi puissance (László-Barabási & Réka, 1999).

Tout système vivant étant un système-de-systèmes, les lois puissance y sont très fréquentes.

Le fait d'utiliser une distribution de Gauss lorsqu'une loi puissance s'applique conduit donc à minimiser la probabilité des événements rares ou extrêmes. Ces événements, dont la nature et l'arrivée sont imprévisibles (phénomène d'émergence), sont donc extraordinairement plus probables que ne l'exprime la majorité des modèles.

Tout peut arriver, **tôt ou tard...**, même si nous ne savons ni quand, ni où, ni comment, ni pour quoi...

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

- Bricage, P. (2002). The Evolutionary Shuttle of the Living Systems. *Res. Systemica*, Vol. 2, 6 p. [publication 15.10.2002], CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/Bricage.pdf>
- Bricage, P. (2005). La durabilité contractuelle du vivant. Seules perdurent les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés. *Anthropo-politique et gouvernance des systèmes complexes territoriaux.*, Toulouse : Presses de l'Université des Sciences Sociales, pp. 111-117. [web 21.05.2003], CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/PBtlseMCX33.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. *Res. Systemica*, Vol. 5, 11 p., [web 19.09.2005], CC-License. <http://tinyurl.com/pbcellorigin>
- Bricage, P. (2005). Les Métamorphoses du Vivant : Les Associations à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés. *Res. Systemica*, Vol. 5, 11 p., [web 20.09.2005], CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Paris05/bricage.pdf>
- Bricage, P. (2005). The modelling of the time modularity of the living systems: the time delay, the time duration, the time lag, and the rhythms., Paris : European Systems Science Congress, "Health Systems Workshop", *Res-Systemica*, Vol. 5, 10 p., [publication 21.09.2005], CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Paris05/bricage2.pdf>
- Bricage, P. (2007a). Quel enseignement supérieur et quel accompagnement pour quelles formations en sciences et technologies ? *Bull. AE ENS*, Vol. 2007, No. 1, pp. 78–91.
- Bricage, P. (2007b). Un accompagnement pour une formation tout au long de la vie : le réseau des formations de l'enseignement supérieur. *Bull. AE ENS*, Vol. 2007, No. 2, pp. 59–91.
- Bricage, P. (2008). La démarche scientifique expérimentale, un langage "systémique" : mise en évidence d'une phase critique d'apprentissage. "Systémique et langage." Andé : Journées annuelles AFSCET, 30 p. [web 07.06.2008], CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/Ande08/pbAnde08ExpSci.pdf>
- Bricage, P. (2008). Cancer is a breaking of the cell's Association for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages Through an Aggression that Results in a Lack of Non-Autonomy. Lisboa : UES-EUS, *Res. Systemica*, Vol. 6, 22 p. [web 31.12.2008], CC-License, <http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/Lisboa08/bricageCuration.pdf>
- Bricage, P. (2009). L'évolution "créatrice" : métamorphoses et "phylogénomotaphologie" du vivant. L'évolution du Vivant a une direction. Comment est-elle orientée ? Paris : <http://www.teilhard.org> 150 ans après Darwin, 70 ans après Teilhard : Lire l'évolution. 109 p., [web 13.11.2009], CC-License, <http://www.armsada.eu/pb/bernardins/phylogénomotaphologie.pdf>
- Bricage, P. (2010). *The way to be resilient and self-sustainable the living systems are running through*. Waterloo (Canada) : ISSS, 12 p. [web 31.07.2010], CC-License, <http://journals.issss.org/index.php/proceedings54th/article/viewFile/1491/533>
- Bricage, P. (2010). *Thinking and Teaching Systemics: Bio-Systemics in Higher Education* [publication 25.10.2010]. Chengdu (Sichuan) : IASCYS Proceedings, CC-License, <http://www.armsada.eu/files/pbricageChengdu2010txt.pdf>,
- Bricage, P. (2011). *Engineering Health and Social Sciences Curriculum: Governance of the Pedagogy, Pedagogy of the Governance. Towards a Holistic Behaviour of Teachers and Learners* [publication 10.03.2011]. Maribor : IRDO, CC-License, https://www.researchgate.net/publication/13632169_Preparation_for_the_entrance_examinations_for_schools_for_paramedics
- Bricage, P. (2011). Les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés : acteurs clés-de-voûte de l'évolution du vivant [publication 20.10.2011]., Bruxelles : UES-EUS, CC-License, <http://www.armsada.eu/files/pbEvolution.pdf>
- Bricage, P. (2011). *The Social and Environmental Responsibility of Mankind. About Man Interventions in the Living Networks* [publication 22.10.2011]., Bruxelles : UES-EUS, CC-License, <http://www.armsada.eu/files/pbManSERqash.pdf>
- Bricage, P. (2012). Societal and Environmental Responsibility of Mankind. 2. About Man Interventions in the Living Networks: Only will survive the Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages (ARMSADA)., Maribor : IRDO [publication 09.03.2012], CC-License, <http://www.irdo.si/skupni-cd/cdji/cd-irdo-2012/referati/a-bricage.pdf>
- Bricage, P. (2013). Time Management by Living Systems: Time Modularity, Rhythms and Conics Running Calendars. Methodology. Theory and Applications [publication 21.11.2013]., *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 30, No. 6, pp. 677-692. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.2237/abstract>
- Bricage, P. (2014). Agoantagonisme, rétrocession et émergence : organisation des systèmes vivants, éducation à la systémique, santé et sociétalité. *Hommage à Emmanuel Nunez, Clinicien, Homme de Science, Systémicien.*, Paris : CNAM, *Res-Systemica*, Vol. 10, 19 p., [web 15.02.2014], CC-License, <http://web.univ-pau.fr/~bricage/ResSystemica2014nunez.pdf>
- Bricage, P. (2014). Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages ARMSADA. A Fruitful Predictive Paradigm. *Systema*, Vol. 2, No. 2, pp. 43–60. [publication 25.04.2014], CC-License, <http://www.systema-journal.org/article/view/356/297>
- Bricage, P. (2014). Ago-antagonisme et dilemme itéré des prisonniers : équilibre de NASH, optimum de Pareto, modèle de Lotka-Volterra, méthode du simplexe [publication 01.06.2014]., Andé : AFSCET, CC-License, <http://www.afscet.asso.fr/Ande14/pbEBWafscet2014.pdf>
- Bricage, P. (2014). An Approach of Organizations and Management: Systemic Ethics, Democracy and Sustainability. Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages. *Internat. J. Public Private Management*, Vol. 1, No. 1, pp. 90–113. [publication 12.11.2011, web 31.07.2014], CC-License, <http://web.univ-pau.fr/~bricage/pbSystemicEthics.pdf>
- Bricage, P. (2014). *Local versus global & individual versus whole competition between & within living systems. ARMSADA emergence and breaking*. Valencia : UES-EUS, [publication 15.08.2014], CC-License, http://web.univ-pau.fr/~bricage/files/bricage_s02-5c-paper.pdf

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

- Bricage, P. (2014). Loi puissance d'invariance spatiotemporelle des systèmes vivants., Emergence, diversity and scale invariance of Living systems: a local versus global and individual versus whole power law. *Revista Internac. de Sistemas*, 19: 5-33, [web **19.09.2014**], **CC-License**, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01065974>
- Bricage, P. (2014). *Survival Management by Living Systems. A General System Theory of the Space-Time Modularity and Evolution of Living Systems: Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages ARMSADA*. Agadir: IASCYS workshop, World Conference on Complex Systems, [web **20.12.2014**], **CC-License**, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01065974>
- Bricage, P. (2015). Living and Banking Systems Comparison. Prisoners' Dilemma "win-win" is not the Solution [publication **05.02.2015**], *Adv. Systems Sci. & Applications*, Vol. 15, No. 2, pp. 392–407, **CC-License**, <http://bricage.perso.univ-pau.fr/pb2014-ASSA-15-2-392.pdf>
- Bricage, P. (2015). Living Networks of Networks: The Societal and Environmental Responsibility of Humanity in the Fight between Humans and the Wild., Social Responsibility Beyond Neoliberalism and Charity. (M. Mulej & R.G. Dick editors). Vol. 4: *Social Responsibility - Methods, Dilemmas and Hopes*., Chapter 13, pp. 252-272., Oak Park : Bentham Science Publishers [publication **13.04.2015**].
- Bricage, P. (2015). L'organisation spatiotemporelle des systèmes vivants: atemporalité, temporalité et intemporalité. Andé : Journées annuelles AFSCET, *Temps et Systèmes*, 25 p., [web **16.05.2015**], **CC-License**, <http://www.afscet.asso.fr/Ande15/pbTimesAnde2015.pdf>
- Bricage, P. (2015). Approche systémique transdisciplinaire de l'agoantagonisme et du dilemme des prisonniers à partir d'un corpus de bandes dessinées. *Rev. Recherches en L.M.M. (Québec, Canada)*, Vol. 2, 31 p. [publication **06.06.2015**], http://www.litmedmod.ca/sites/default/files/r2lmm/r2-lmm_vol2_bricage.pdf
- Bricage, P. (2015). A better Healthcare for a Better Welfare? Chronobiology and Lithotherapy: Sustainable Systemic Solutions. 19 p. [web **06.10.2015**], **CC-License**, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01211365>
- Bricage, P. (2016). "WIN-WIN" is not the solution but the problem! What next? [publication **01.04.2016**], Vienna : EMCSR, **CC-License**, http://bricage.perso.univ-pau.fr/pb_win-win.pdf
- Cavalli, G. & Misteli, T. (2013). Functional implications of genome topology. *Nature Structural & Molecular Biology*, Vol. 20, pp. 290-299.
- Clever, D. et al. (2016). Oxygen Sensing by T Cells Establishes an Immunologically Tolerant Metastatic Niche. *Cell*, Vol. 166, No. 5, pp. 1117–1131.
- Costanzo, M. et al. (2016). A global genetic interaction network maps a wiring diagram of cellular function [**23.09.2016**]. *Science*, Vol. 353, no 6306, p. 1381.
- Dai, C. & al. (2016). Mining 3D genome structure populations identifies major factors governing the stability of regulatory communities. [**31.05.2016**] *Nature comm.*, Vol. 7, no 11549, 11p.
- Dekker J., Marti-Renom, M.A. & Mirny, L.A. (2013). Exploring the three-dimensional organization of genomes: interpreting chromatin interaction data. *Nature Review Genetics*, Vol. 14, pp. 390-403.
- Dunlap, K.A. et al. (2006). Endogenous retroviruses regulate periimplantation placental growth and differentiation. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, Vol. 103, pp. 14390-14395.
- Enquist, B.J., Brown, J.H. & West, G.B. (1998). Allometric scaling of plant energetics and population density [**10.09.1998**]. *Nature*, Vol. 395, pp. 163-165.
- Foster, K.R. & Xavier, J.B. (2007). Cooperation: Bridging ecology and sociobiology. *Current Biology*, Vol. 17R, pp. 319–321.
- Gardner, A. & Foster, K.R. (2008). The evolution and ecology of cooperation: history and concepts. *Ecology of Social Evolution*., Korb, J. & Heinz, J. eds., pp. 1–36. New York: Springer.
- Gürsoy, G., Xu, Y. & Liang, J. (2014). Computational Predictions of Structures of Multichromosomes of Budding Yeast. *Conf Proc. IEEE Eng Med Biol Soc.*, Vol. 2014, pp. 3945-3948.
- Jaillon O. et al. (2004). Genome duplication in the teleost fish *Tetraodon nigroviridis* reveals the early vertebrate proto-karyotype [**21.10.2004**]. *Nature*, Vol. 431, pp. 946-957
- Kim, A.I. et al. (2003). Mycobacteriophage Bxb1 integrates into the *Mycobacterium smegmatis* groEL1 gene. *Molecular Microbiology*, Vol. 50, No. 2, pp. 463-473.
- Klevytska, A.M. et al. (2001). Identification and characterization of variable-number tandem repeats in the *Yersinia pestis* genome. *J. Clin. Microbiol.*, Vol. 39, pp. 3179-3185.
- Klymiuk, N. et al. (2003). Characterization of endogenous retroviruses in sheep. *J. Virol.*, Vol. 77, No. 20, pp. 11268-11273.
- Kobinger, G.P. et al. (2006). Chimpanzee adenovirus vaccine protects against Zaire Ebola virus. *Virology*, Vol. 346, No. 2, pp. 394-401.
- László-Barabási, A. & Réka, A. (1999). Emergence of scaling in random networks [**15.10.1999**]., *Science*, Vol. 286, No. 5439, pp. 509-512., <http://science.sciencemag.org/content/286/5439/509>
- Lie, T.A. (1984). Host genes in *Pisum sativum* L. conferring resistance to European Rhizobium leguminosarum strains. *Plant and Soil*, Vol. 82, pp. 415-425.
- Lie, T.A. & Timmermans, P.C. (1983). Host-genetic control of nitrogen fixation in the legume-Rhizobium symbiosis: complication in the genetic analysis due to maternal effects. *Plant and Soil*, Vol. 75, pp. 449-453.

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

- Malka R., Nathan D.M. & Higgins J.M. (2016). Mechanistic modeling of hemoglobin glycation and red blood cell kinetics enables personalized diabetes monitoring [05.10.2016]. *Science Translational Medicine*, Vol. 8, No. 359, pp. 359Ra130.
- Mayer, A. (2016). Cichlidés, les clés d'une spectaculaire évolution. *Pour La Science*, no 463 [02.04.2016], pp. 44-50.
- Milius, S. (2009). A partnership apart [07.11.2009]. *Science News*, Vol. 176, p. 16.
<https://www.sciencenews.org/article/partnership-apart>
- Milius, S. (2014). One lichen is actually 126 species and counting [26.07.2014]. *Science News*, Vol. 186, p. 20.
<https://www.sciencenews.org/article/one-lichen-actually-126-species-and-counting>
- Phillips-Cremins, J.E. et al. (2013). Architectural Protein Subclasses Shape 3D Organization of Genomes during Lineage Commitment [01.06.2013]. *Cell*, Vol. 153, No. 6, pp. 1281-1295.
- Pickrell, A.M. & Youle, R.J. (2015). The roles of PINK1, parkin, and mitochondrial fidelity in Parkinson's disease [21.01.2015]., *Neuron*, Vol. 85, No. 2, pp. 257-273. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25611507>
- Rahm, M. et al. (2016). Polymorphism and electronic structure of polyimine and its potential significance for prebiotic chemistry on Titan. *Proc. Natl Acad. Sci.*, Vol. 113, pp. 8121-8126.
- Rikkinen, J. (2015). Cyanolichens. *Biodiversity and Conservation*, Vol. 24, No. 4, pp. 973-993. (14.03.2015),
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10531-015-0906-8>
- Risca, V.I. & Greenleaf, W.J. (2015). Unraveling the 3D genome: genomic tools for multiscale exploration. *Trends in Genetics*, Vol. 31, No. 7, pp. 357-372.
- Sexton, T. et al. (2012). Three-Dimensional Folding and Functional Organization Principles of the Drosophila Genome [01.02.2012]. *Cell*, Vol. 148, No. 3, pp. 458-472.
- Spribille, T. et al. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens., *Science*, Vol. 353, No. 6298, pp. 488-492. [web 29.07.2016], <http://science.sciencemag.org/content/353/6298/488>
- Tjong, H. et al. (2012) Physical tethering and volume exclusion determine higher-order genome organization in budding yeast [web 22.05.2012]. *Genome Research*, Vol. 22, No. 7, pp. 1295-1305.
- Tu, J.C. & Ford R.E. (1984). Plant virus interaction in nitrogen-fixing nodules. *J. Plant Diseases & Protection*, Vol. 91, pp. 200-212.
- Vignieri, S. (2016). The problem with our predators [07.10.2016]. *Science*, Vol. 354, No. 6308, pp. 78-79.
- Yardımcı, G.G. & Noble, W.S. (2015). Predictive model of 3D domain formation via CTCF-mediated extrusion., *PNAS*, 24.11.2015 , Vol. 112, No. 47, pp. 14404-14405.

fonctionnement du génome : modélisation scientifique et modèle éducatif littéraire

réponses aux questions

L'arbre évolutif du vivant connu est formé de réunifications, de ré-associations, non-aléatoires, d'organismes qui créent de nouveaux organismes par mise en place d'une ARMSADA, par juxtapositions et emboîtements. **Ce n'est pas un arbre mais un corail !** Ce modèle *itératif* (*ergodicité, percolation et exaptation*), est applicable au modèle de l'inconnu quantique.

Dans le tableau de la classification périodique des systèmes vivants, les colonnes correspondent à un *mode de confinement*, par exemple la *série* « monère, cellule, organisme méta-cellulaire, écosystème ». Avant cette série, existait une autre série, celle qui part de l'atome pour aller aux amas supra-moléculaires. Dans cette série, la membrane n'existait pas. L'apparition de la membrane, avec les monères, a inauguré une nouvelle série de systèmes vivants. Au niveau de la biosphère puis des galaxies et des amas de galaxies un autre mode de confinement s'est mis en place. D'une série à l'autre, chaque ligne correspond à des systèmes de niveau d'évolution équivalent. C'est à dire que les monères ou la biosphère terrestre ou l'Univers sont équivalents, homothétiques.

Si nous représentons graphiquement *la relation* entre le temps génération d'un système (c'est-à-dire le temps qui lui est nécessaire pour atteindre l'état adulte, pour acquérir la capacité de se survivre), $X = tg$, et le volume de ce système à l'état adulte, V , c'est-à-dire habituellement en fin de croissance (puisque la phase de croissance précède toujours la phase d'acquisition de la capacité de reproduction), en utilisant des coordonnées en puissance de 10 (10 puissance X pour le temps tg et 10 puissance $3Y$ pour le volume, Y étant la dimension de l'échelle 1D), on obtient deux éléments de droite, avec une droite qui est caractéristique de ce qui nous est connu, plus ou moins accessible (les niveaux nano-scopique, micro-scopique, macro-scopique, télo-scopique) et, avec une rupture de pente, une autre droite pour les niveaux d'organisation qui nous sont inconnus (du quantum de Planck jusqu'aux quarks). La pente de la droite du connu (en coordonnées log-log) est égale à $3/2$ ce qui veut dire que le carré du volume est proportionnel au cube du temps. Cette relation évoque la troisième loi de Kepler qui *relie un espace et un temps*. Mais si nous regardons dans le détail chaque niveau d'organisation, en terme d'échelle, chaque niveau est en fait, caractérisé par sa propre pente et lorsque l'on passe d'un niveau au suivant, il y a une rupture de pente ou un décalage dans l'espace et dans le temps si la pente reste la même. L'ensemble des résultats (expérimentaux) s'ajuste sur une courbe non linéaire qui est une sigmoïde, une courbe logistique, *caractéristique d'un phénomène de croissance*. En faisant à nouveau un changement d'échelle, à nouveau en coordonnées log-log, en prenant les valeurs du graphe précédent, on obtient à nouveau une droite qui a aussi une pente $3/2$. Ce qui veut dire que la croissance de l'Univers et la croissance locale de tous ses niveaux d'organisation, globalement, obéissent à une loi *analogue* à une double exponentielle, une loi puissance de puissance, dont l'exposant serait $3/2 \times 3/2$. On a donc pour l'Univers une structure fonctionnelle fractale avec une dimension, D , égale à $3/2 \times 3/2$ c'est-à-dire 2,25. Tout se passe comme si l'Univers était de dimension supérieure à celle d'une feuille, surface ($D=2$), et de dimension inférieure à celle d'une sphère, volume ($D=3$), un *système(-de-systèmes(-de-systèmes(...)))* de dimension "intermédiaire", comme celles de *la ramure d'un arbre ou la structure d'une éponge*.

Où se trouve l'homme, dans cette ascension vers la complexité, dans l'expansion universelle qui affecte tous les systèmes vivants ? L'homme se trouve au point d'inflexion de la courbe sigmoïde de croissance en volume (et en masse). Est-ce par hasard, ou par ce qu'il en est un observateur, ou/et parce qu'il est une étape clé (acteur clé-de-voûte) du cycle de développement de l'organisme Univers ?