Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance, des systèmes vivants.

Pierre BRICAGE
vice-président **AFSCET** http://afscet.asso.fr,
secrétaire général **IASCYS** http://iascys.org
pierre.bricage@univ-pau.fr

résumé

Les systèmes vivants sont des ***systèmes de systèmes*** (Bricage, 2001, 2002, 2003, 2005, 2017) émergeant par un processus itératif d'***emboîtements et juxtapositions de systèmes pré-existants*** [9, 11, 17, 18, 19]. ***Le paradigme d'invariance de jauge*** (Bricage, 1991, 2000, 2001, 2002, 2005, 2007, 2013, 2014) permet de définir l'ensemble des systèmes vivants, quels que soient leur ***niveau d'organisation*** et leur ***degré de complexité*** [7, 9, 11, 20]. Tout système vivant comporte un ***endophysiotope*** (espace-temps interne de fonctionnement) et un ***écoexotope*** (espace-temps externe d'habitation) [7, 8, 9]. L'écoexotope fournit à l'endophysiotope une ***capacité d'accueil***. L'endophysiotope ***optimise sa survie en adaptant sa capacité d'être accueilli à cette capacité d'accueil*** [23, 24]. L'homme n'est pas une exception (Bricage, 2003, 2005, 2007, 2009, 2014, 2017, 2018). Tout nouveau plan d'organisation émerge par la mise en place d'une ***association à avantages et inconvénients réciproques et partagés*** (Bricage, 1998, 2005, 2008). Ce paradigme prédictif [6, 14, 17, 24] permet de construire, sur 62 dimensions de temps et 62x62x62 dimensions d'espace (Bricage, 2009), un ***tableau de classification périodique*** des systèmes vivants. Une loi puissance, d'exposant **+3/2**, ***loi systémique constructale, fractale, invariante d'échelle*** (Bricage, 2001, 2002, 2005, 2007, 2008, 2013, 2014), quel que soit le niveau d'organisation, relie le volume du système à ***l'état adulte*** V_A et le temps de génération t_g [9, 10, 11, 12]. ***Le mouvement Brownien*** est le processus fondamental qui gouverne le fonctionnement de tout système vivant [12, 13, 16, 17], quel que soit son niveau d'organisation (Bricage, 2001, 2008, 2013, 2014, 2017) -Tableau 1-.

En considérant ***le paradigme d'invariance de jauge*** d'un point de vue systémique, l'analyse d'acquis conceptuels et de résultats d'observation et d'expérimentation en physique, chimie, biologie -Tableau 2-, astronomie, cosmologie et sociologie, a permis de construire ***une base de données, pour 45x18 relations allométriques***, des ***mesures des interactions*** au sein de l'endophysiotope sur 18 niveaux d'organisation, ***du quantum de Planck à l'Univers entier***. Cette méta-analyse a permis de mettre en évidence ***l'évolution des processus de régulation*** au cours de l'ascension de la complexité d'organisation: ***interactions constantes***, indépendantes de l'endophysiotope ou de l'écoexotope (loi puissance d'exposant 0), ***processus interactifs hétéro-limitants*** (loi puissance d'exposant +1), ***processus de rétro-action, ago-antagonistes, à produit constant*** (loi puissance d'exposant -1), ***processus d'échanges optimisés*** (loi puissance d'exposant +3/2 ou +2/3). Du niveau d'organisation des monères à celui des écosystèmes on observe un accroissement de l'indépendance de l'endophysiotope vis-à-vis de l'écoexotope. Les acteurs INTRA deviennent à la fois de plus en plus indépendants des acteurs EXTRA et de plus en plus dépendants les uns des autres. Le TOUT est toujours ***à la fois plus et moins que la somme des ses parties***. Les systèmes vivants optimisent leurs flux à ***l'interface d'échange entre endophysiotope et écoexotope***, à la fois d'un point de vue géométrique et d'un point de vue temporel, avec un nombre fini de processus de régulation : ***"ni trop , ni trop peu***". C'est au sein des compartiments internes du système que la diversité des processus de régulation est la plus grande.

Les échelles des systèmes vivants :

- **espace** http://www.afscet.asso.fr/Ande10/pbETAvivant10.pdf
- **temps** http://www.afscet.asso.fr/Ande12/pbAnde2012.pdf
- **espace-temps** http://www.armsada.eu/pb/bernardins/phylotagmotaphologie.pdf

Tableau 1. Références accessibles en ligne. Table 1.-On line references-.

LES LOIS SYSTÉMIQUES de l'ÉVOLUTION du VIVANT

- LOI SYSTÉMIQUE D'INVARIANCE DE JAUGE :
écoexotope et endophysiotope, les 7 caractéristiques fonctionnelles du vivant "vivant".
- LOI SYSTÉMIQUE ERGODIQUE D'ÉMERGENCE CONSTITUTIVE :
niveaux d'organisation et échelles d'emboîtements hiérarchiques,
règles d'émergence, ARMSADA et confinement.
- LOI SYSTÉMIQUE ERGODIQUE D'INDIVIDUATION ET D'ÉLAN VITAL :
hypothèse de linéarité et principe de moindre action, loi puissance $V_A^2=k.t_g^3$, non-linéarité.
- LOI SYSTÉMIQUE CONSTRUCTALE :
global et local, capacité d'accueil et capacité d'être accueilli, action et rétroaction.
- LOI SYSTÉMIQUE ERGODIQUE DE CAUSALITÉ ONTOGÉNIQUE :
tableau de la classification périodique du vivant.

Tableau 2. Table 2. Living systems : qualitative and quantitative laws.

Abstract

The relationship between 2 attributes of a living system (Bricage, 2002, 2003, 2007) is usually described using ***scaling laws also called allometric laws*** [12]. For example the metabolic rate of a lot of species was supposed to be proportional to its mass according to a +3/4 ***exponent power-law*** (Kleiber law) [13]. But it's just plain wrong! According to ***the paradigm of the gauge invariance of living systems*** (Bricage, 1991, 1998, 2000, 2002) an other explanation with a **+3/2** power-law (or +2/3 power-law, ***systemic constructal law***) of the invariant scaling of living systems was proposed from underlying principles embedded in the dynamical and geometrical structure of space-filling, ***fractal-like***, hierarchical branching ***networks*** [7, 8, 9, 11], emerging by embedments and juxtapositions of previous ones (Bricage, 2001, 2002, 2005, 2007, 2008, 2014). Indeed an organism, whatever its level of organisation, effectively functions in 4 dimensions (V_A: ***the Adult system Volume*** and t_g: ***the time of generation***, the duration that is necessary to acquire the capacity of reproduction) (Bricage, 2005, 2013). ***Brownian motion*** is the basic fundamental process that governs the functioning of living systems whatever their level of organisation (Bricage, 2001, 2008, 2013, 2014, 2017). Man is not an exception (Bricage, 2005). Every new living blue-print is always emerging by the merging of previous ones into an Association for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and Disadvantages -**ARMSADA**- (Bricage, 2014, 2017). Considering *the gauge invariance paradigm as a system*, ***from the quantum of Planck to the whole Universe*** (Table 1), *a meta-analysis of a database* of living systems internal (of the ***endophysiotope***) and external (of the ***ecoexotope***) interactions allows to quantify 45x18 allometric relationships. The main point is the evidence of invariant independent processes (power-law exponent = **0**), regulation processes of simultaneous limiting interactions (power-law exponent = **+1**), retro-action processes (power-law exponent = **-1**) and optimal exchanges flow (power-law exponent = **+2/3**). From the Monera to the ecosystem levels the increasing of regulation processes (Table 2) allows more and more independence of the endophysiotope from the ecoexotope dependence. From the point of view of matter and energy flows, ***living systems optimise the input and output exchanges at their interface***. The greater diversity of regulation processes occurs for the throughput flows into the endophysiotope. Whatever the level of organisation living systems optimise their survival by changes of ***the capacity to be hosted of the endophysiotope*** according to the changes of ***the hosting capacity of the ecoexotope*** (figure 16).

Key words: action, adaptation, adult phase **[19]**, ago-antagonism, allometry, Brownian motion **[16]**, clustering, controls **[10]**, convergence, decision, determinism **[6]**, ecoexotope **[7]**, economy, embedment, endophysiotope **[8]**, evolution **[9]**, exaptation, exchange interface, feed-back, gauge invariance, growth **[5]**, hierarchy, homeorhesis, homeostasis, iteration, integration **[11]**, interactions **[22]**, juxtaposition, limiting factors, mass **[3]**, matter and energy flows, metabolism **[13]**, metamorphosis, modelling **[14]**, module, modularity **[18]**, movement **[15]**, networks, nodes, number **[4]**, organisation, organisation levels **[17]**, paradigms **[20]**, percolation, power laws **[12]**, production, reproduction, scaling, society **[23]**, space, stimulus responses **[21]**, symbiosis **[24]**, systems, time, volume.

Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance, des systèmes vivants.

PLAN, FIGURES & TABLEAUX

résumé p. 1
Tableau 1. Références accessibles en ligne. p. 1
Tableau 2. Les lois systémiques de l'évolution du vivant. p. 2
Abstract, key words [méta-références] p. 2
Plan p. 3

introduction : Comment définir un système vivant ? Avec quel paradigme d'émergence ? p. 4
Figure 1. Le Tout, les acteurs, les inter-actions, l'espace-temps-action. p. 5
Figure 2. Le paradigme d'invariance de jauge, interactions entre endophysiotope et écoexotope. p. 5
Figure 3. Approche systémique des interactions fonctionnelles au sein d 'un système vivant. p. 6
Niveaux d'organisation : tout système vivant est un système de systèmes.
ARMSADA : le paradigme d'émergence. [24] p. 7

1. Matériels et méthodes. Questionnement. p. 7
1a. L'objectif : passer du qualitatif au quantitatif.
Figure 4. Niveaux d'organisation et cycle de développement d'un système vivant. p. 8
Figure 5. Loi puissance d'invariance fractale indépendante de l'échelle $V_A=C.t_g^{3/2}$ p. 9
1b. Avec quelle représentation graphique ? p. 10
1c. Une contrainte : la réciprocité des interactions.
1d. **Un choix : une signification biologique et une quantification fractionnaire**.
Figure 6. Loi systémique constructale : paradigme de non-dissociabilité de la cause et de l'effet. p. 11
Figure 7. Mesure des interactions au sein du système vivant : "*quanta*" des valeurs d'exposants. p. 12
1e. Un questionnement : comment valider les résultats à inclure dans la méta-analyse ?

2. Résultats. Quels paramètres avec quel degré de signification ? p. 13
2a. Quelle interaction entre puissance métabolique produite et masse du système producteur ?
Figure 8. Système des interactions d'interactions : itération des interactions de contrôle. p. 14
2b. Qu'en-est-il des échanges, des flux, de matière et d'énergie ? p. 15
2c. 2/3 et 3/2, les deux aspects d'une même interaction bi-fonctionnelle.
2d. Le mouvement Brownien. [16]
Figure 9. Entrainement des flux de matière et d'énergie (INPUT, OUTPUT, THROUGHPUT). p. 16
Figure 10. Every living system new blueprint is an ARMSADA. p. 17
2e. L'homme n'est pas une exception. [23] p. 18

3. Discussion et interprétation des résultats p. 18
3a. Mise en évidence de processus limitants entre facteurs en interactions. p. 18
3b. Mise en évidence de processus invariants.
Figure 11. Mouvement Brownien (The Wiener process). p. 19
Figure 12. Modularité des processus de régulation. p. 20
3c. La montée en complexité d'organisation est une montée en complexité de régulation. p. 21
3d. Régulation des échanges, des flux, de matière et d'énergie.
3e. Interactions entre écoexotope et endophysiotope.
Figure 13. Montée en complexité : indépendance et interdépendance entre acteurs. p. 22

conclusion p. 23
Figure 14. Changements d'état et changements de pente/d'exposant de la loi puissance. p. 24
Figure 15. Percolation et diagramme en chaîne de Markov. p. 24
Figure 16. Interdépendance et interactions bidirectionnelles entre écoexotope et endophysiotope. pp. 24-25
Figure 17. Cyber-Systemics: history by paradigms, concepts and their Authors. p. 26

références pp. 26-38.

SOME RIGHTS RESERVED creative commons

Online references to cite this work [other references: pp. 25-37]

[1] Bricage P. (2018) Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance des systèmes vivants -résumé-. Journées annuelles de l'AFSCET, "La systémique face à la question du déterminisme", Andé, France, 3 p., **CC-License**, http://afscet.asso.fr/Ande18/pbricage_Ande2018_interactions-PowerLaws.pdf

présentation associée :

[2] Bricage P. (2018) Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance des systèmes vivants. -présentation- Journées annuelles de l'AFSCET à Andé, France, 05 mai 2018, 84 p., **CC-License**, http://afscet.asso.fr/Ande18/pbricage_Ande2018_interactions-PowerLaws_presentation.pdf

introduction

Pour Jean Baptiste de Lamarck ***« un être vivant est un corps qui produit sa propre substance à partir de celle qu'il puise dans le milieu »*** (1802). Cette définition s'applique tout autant à un cristal en croissance qu'à l'homme. ***Un cristal est-il vivant ?*** La mobilisation de la matière et d'énergie ne suffit pas pour définir un système vivant ! Comment sont gouvernés les flux trophiques au sein d'un écosystème ? ***Quels sont les processus de régulation qui interviennent dans la compétition pour la survie entre systèmes vivants ?*** Au cours du temps, quelles sont les interactions qui sculptent les formes de vie et leur espace-temps commun de survie ? Peut-on les quantifier ? Comment ?

Comment définir un système vivant ?

Quel que soit son niveau d'organisation, tout ***système*** vivant est défini par un ***espace-temps-action*** interne, son ***endophysiotope*** (tope: espace-temps-action, endo: interne, physio: de fonctionnement), intégré dans un espace-temps-action d'accueil, son ***écoexotope*** de survie (tope : espace-temps-action, exo : externe, éco : d'habitation) qui sont ***en interactions*** (Bricage, 2000, 2002, 2003) [7, 8, 9] : **figure 1**. L'écoexotope fournit à l'endophysiotope une ***capacité d'accueil*** qui permet sa survie si et seulement si l'endophysiotope possède une ***capacité d'être accueilli*** en adéquation avec cette capacité d'accueil (figures 1 et 2).

Tout système vivant est définissable par ***7 caractéristiques fonctionnelles, mutuellement nécessaires et suffisantes*** (Bricage, 1991, 2000) : - la capacité de MOBILISATION DE LA MATIÈRE ET DE L'ÉNERGIE [13], - la capacité de CROISSANCE EN MASSE [3], - la capacité de RÉPONDRE À DES STIMULATIONS [21], - la capacité de mettre en place et de maintenir UNE ORGANISATION INTERNE, son endophysiotope, DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS [8, 18, 19], - la capacité d'INTÉGRATION EXTERNE [11], de *"ne faire qu'un avec"* son écoexotope, - la capacité de MOUVEMENT [15], ces capacités permettent sa survie, et - la capacité de REPRODUCTION, de *"redonner sa forme de vie"*, avec ou sans CROISSANCE EN NOMBRE [1] [4, 5] (**figure 2**). Ce ***paradigme d'invariance de jauge des systèmes vivants*** permet de définir tout ***niveau d'organisation***, quel que soit son degré de complexité (Bricage, 2001) et de bâtir un tableau de classification périodique des systèmes vivant, dans lequel chaque colonne représente un type d'interface, structurale et fonctionnelle, nouveau (Bricage, 2009, 2014). Cette invariance est représentable d'un point de vue systémique par un ***diagramme d'interactions fonctionnelles*** (Bricage, 2002) : **figure 3**. Conséquence de cette définition, ***un atome[2] est tout autant un système vivant, qu'une cellule, un écosystème ou une galaxie.*** La description qualitative de chacune de ces caractéristiques a fait l'objet de nombreux ouvrages (Bricage, 2018) [2]. L'objectif de cette étude est d'en faire l'inventaire, de discuter de leur quantification et de proposer une interprétation éco-physiologique et évolutive des résultats [1, 9].

---

1 ***Pour les organismes à reproduction sexuée il faut habituellement être 2, et différents, pour redonner 1 autre soi-même***. Tout se passe comme si ***l'individu est le couple reproducteur***. ***La reproduction sexuée n'implique pas la croissance en nombre des individus.*** La multiplication végétative, qui elle permet l'accroissement du nombre des individus, n'implique pas l'existence de phénotypes sexuels différents.

2 "***Un caillou n'est pas vivant, mais il y a de la vie dans un caillou.***", mais (Bricage, 2009)
à une autre échelle d'espace-temps que la nôtre et dans d'autres conditions éco-fonctionnelles que celles de notre survie.

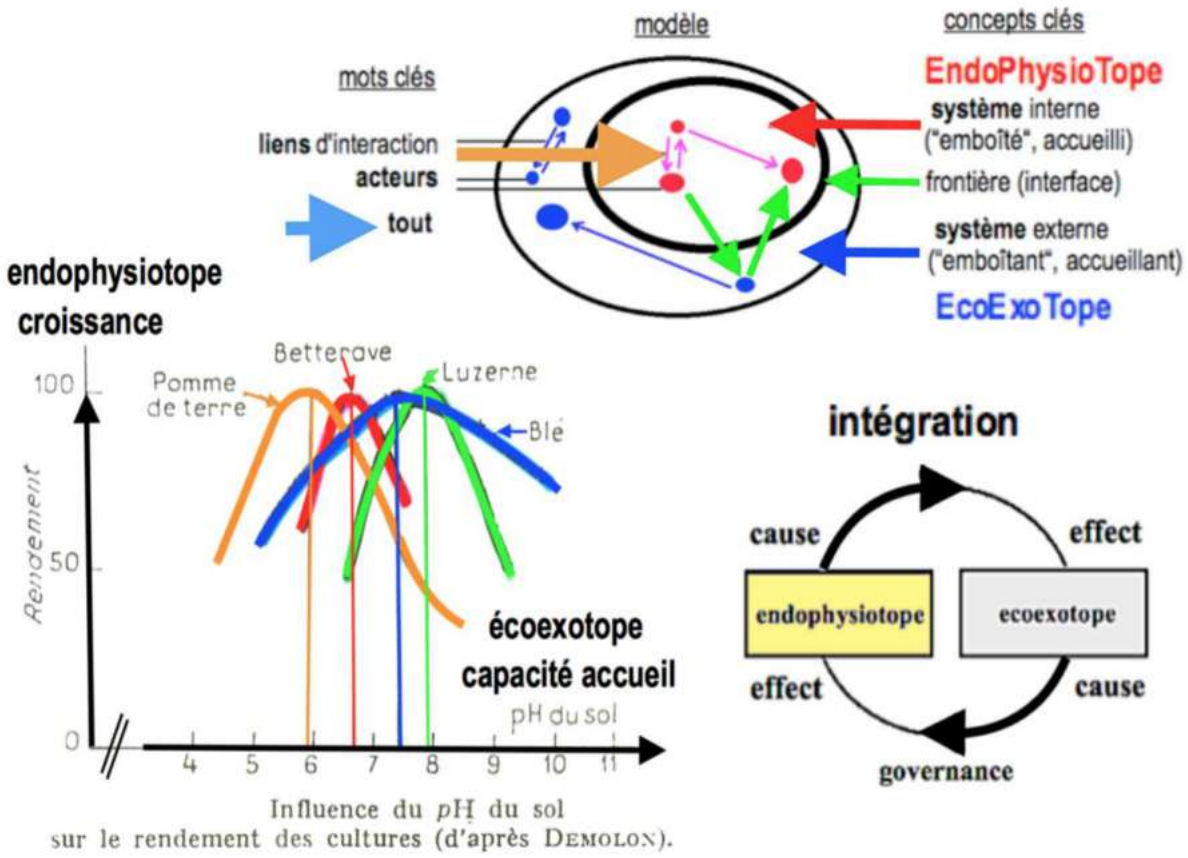


Figure 1. Qu'est-ce qu'un système vivant ? - **Le Tout, les acteurs, les inter-actions, l'espace-temps-action.** Exemple d'**intégration** : influence de la capacité d'accueil de l'écoexotope (pH) sur la croissance (le rendement en % du maximum) de l'endophysiotope d'une plante de grande culture. Mise en évidence d'un optimum de croissance (100%) résultant d'une optimisation de l'interaction entre capacité d'accueil et capacité d'être accueilli [7, 11].

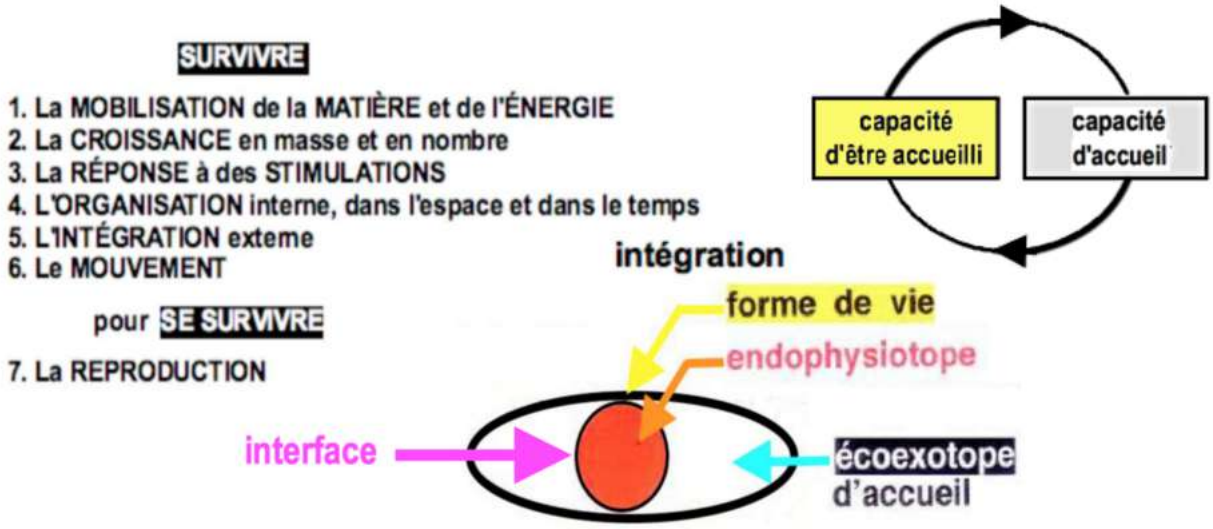


Figure 2. Qu'est-ce qu'un système vivant ?: **invariance de jauge**, interactions entre **endophysiotope et écoexotope**.

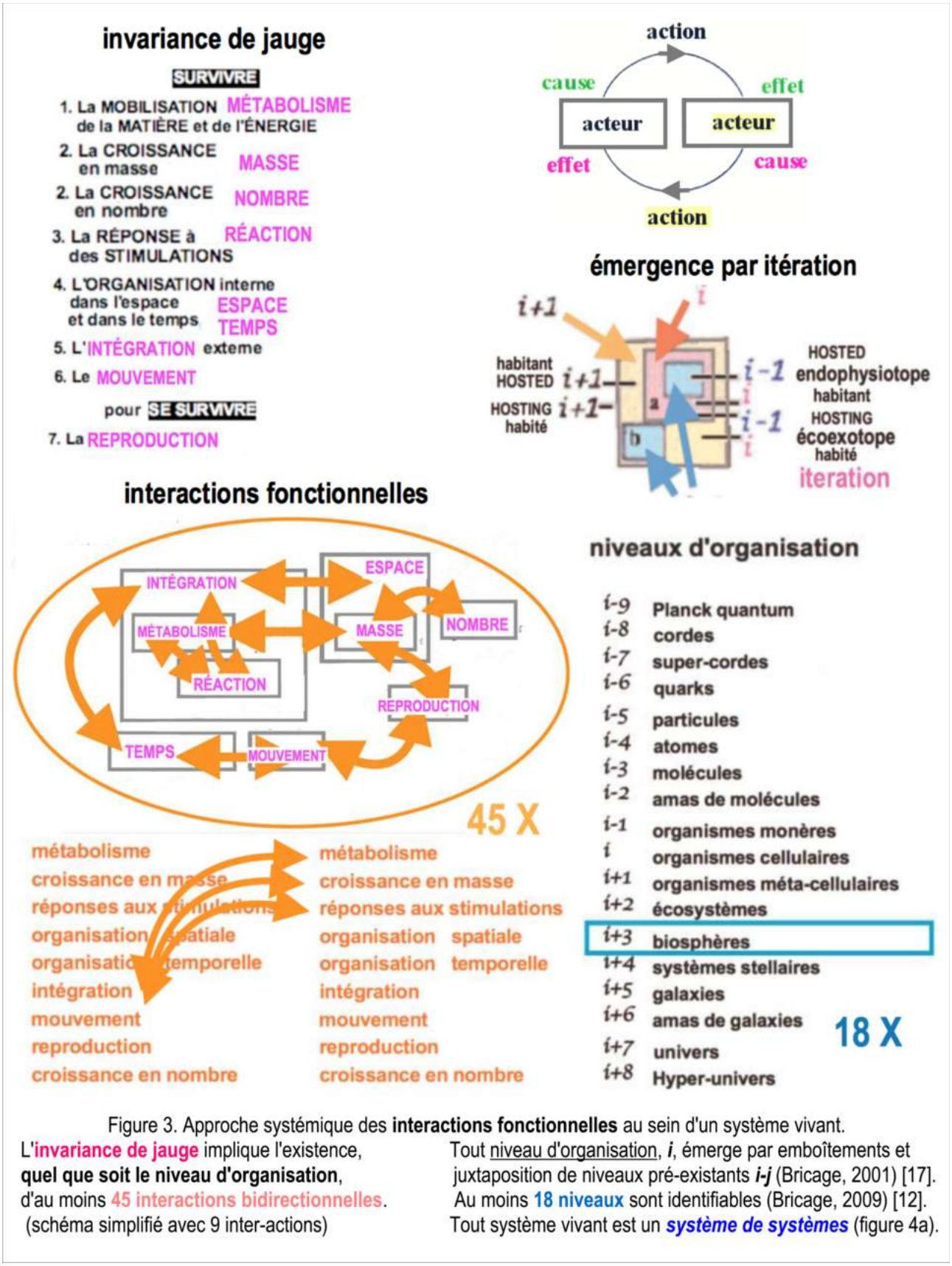


Figure 3. Approche systémique des **interactions fonctionnelles** au sein d'un système vivant.

L'**invariance de jauge** implique l'existence, **quel que soit le niveau d'organisation**, d'au moins 45 interactions bidirectionnelles. (schéma simplifié avec 9 inter-actions)

Tout niveau d'organisation, ***i***, émerge par emboîtements et juxtaposition de niveaux pré-existants ***i-j*** (Bricage, 2001) [17]. Au moins **18 niveaux** sont identifiables (Bricage, 2009) [12]. Tout système vivant est un ***système de systèmes*** (figure 4a).

Tout nouveau plan d'organisation émerge par la mise en place d'une ***association à avantages et inconvénients réciproques et partagés*** (ou **ARMSADA** [3]) entre systèmes pré-existants (Bricage, 1998, 2001, 2017), quels que soient leurs niveaux d'organisation [9, 17, 18, 19].

Qu'est-ce qu'une ARMSADA ? Le paradigme d'émergence.

Un lichen est un organisme qui contient un réseau trophique, c'est ***un écosystème*** tout autant qu'une des cellules de notre corps ou qu'une forêt. C'est ***un réseau d'organismes, qui ne font plus qu'un, plus qu'un Tout unique,*** qui a émergé par la mise en place d'une ARMSADA (Bricage, 1998) entre les espèces libres (partenaire fongique, partenaire algal, et éventuellement partenaire bactérien) ancêtres du lichen.

Au sein de cet écosystème, ***système de systèmes***, l'algue est le partenaire phototrophe, spécialisé dans la production de matière organique et d'énergie, le champignon est le partenaire spécialisé dans l'approvisionnement en eau et substances minérales dissoutes, la bactérie est le partenaire auxo-trophe, voire auto-trophe pour l'azote, spécialisé dans la production de vitamines et d'acides aminés. De la même façon, au sein d'une cellule végétale, comme celle de l'algue du lichen, le chloroplaste est le partenaire spécialisé dans la production de matière organique et d'énergie, la mitochondrie est le partenaire spécialisé dans le recyclage (détoxification productrice d'énergie) de l'oxygène toxique produit par le chloroplaste (Bricage, 1986, 2000).

Au cours de leur évolution, les systèmes vivants ont mis en place, ***de nombreuses fois***, des réseaux d'interactions fonctionnelles par emboîtements et juxtapositions de systèmes pré-existants (Bricage, 2001). Ces anciennes alliances, baptisées symbioses [24], ne sont pas du tout des associations à bénéfices mutuels, du type gagnant-gagnant (Bricage, 2014, 2016, 2017), mais des ***associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés*** -ARMSADA-, dans lesquelles tout ce qui est un avantage pour un partenaire est un inconvénient pour un autre, et réciproquement (Bricage, 1998). Une bactérie, une cellule, un organisme méta-cellulaire, un écosystème, et une biosphère sont des ***écosystèmes-d'écosystèmes*** qui ont émergé par itérations successives (figure 3) en formant un nouveau Tout, plus complexe, de niveau d'organisation supérieur, un nouveau plan d'organisation, à chaque fois imprévisible, ***réseau de réseaux*** qui a émergé par percolation et métamorphoses de systèmes pré-existants (Bricage, 2005). Pour que ce ***nouveau système d'interactions*** survive, et se survive (figure 1), et pour qu'un partenaire survive et se survive, au sein du nouveau Tout (figure 3), il faut que chacun des autres partenaires survive d'abord. Pour que le nouveau Tout survive il faut d'abord que chaque partenaire survive, et réciproquement : ***"For the one to survive, the other one(s) must survive first"*** [6, 23, 24].

1. Matériels et méthodes

Tout système vivant, tout niveau d'organisation (Bricage, 2001), étant toujours défini par 3 types d'entités : des acteurs, un Tout et des interactions, entre acteurs et avec le Tout (figure 1), on peut ***considérer le paradigme d'invariance de jauge comme un système et l'étudier en termes d'interactions.*** [17, 18]

1a. L'objectif : passer du qualitatif (figure 2) au quantitatif (figure 3).

C'est une approche "banale" en science des systèmes et particulièrement en sciences de la vie (Capra & Luisi, 2016). Mais ce n'est pas une mince affaire, car, au sein de l'endophysiotope, il y a 45 types d'interactions binaires potentielles, pour au moins 18 niveaux d'organisations connus (figure 3), soit 810 ***interactions bidirectionnelles "simples"***. Et il faut pouvoir relier ces interactions entre elles, à chaque étape du cycle de développement de l'organisme (**figure 4**) et ce quel que soit le niveau d'organisation (Bricage, 2002, 2014). Ce n'est pas simple car les interactions peuvent elles-mêmes être en interactions avec d'autres interactions pour contribuer à la réalisation d'une fonction. Mais il est possible de le faire, même pour des organismes aujourd'hui disparus (Bricage, 2015) [9].

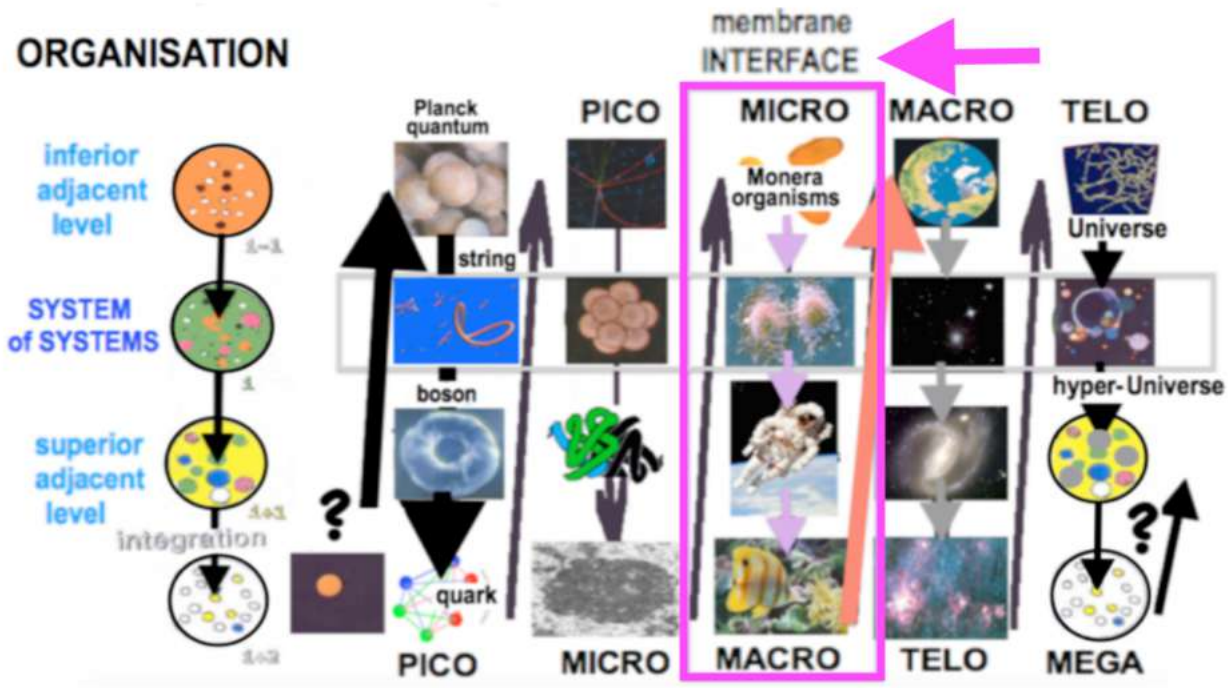
Est-il possible de mettre tout l'Univers en équations à l'aide des informations disponibles en ligne ? [4]

Comment représenter ce réseau et modéliser son évolution ? [9, 14, 22]

Quelles stratégies mettre en oeuvre (Lemoigne, 2005) pour passer *"de la symplexité à la simplexité"* ?

3 The **ARMSADA** paradigm: **A**ssociation for the **R**eciprocal and **M**utual **S**haring of **A**dvantages and **DisA**dvantages [24]

4 Un logiciel de recherche en ligne permet d'accéder directement aux résultats graphiques puis aux publications correspondantes.

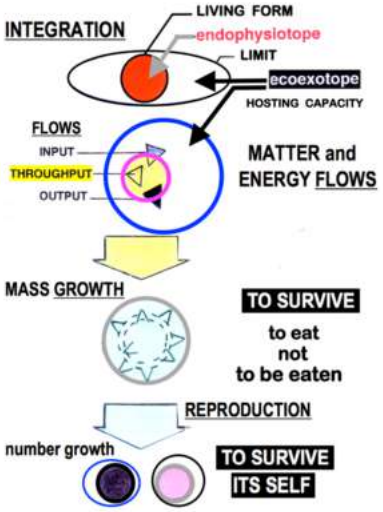


4a. "système de systèmes" par emboîtements et juxtapositions.

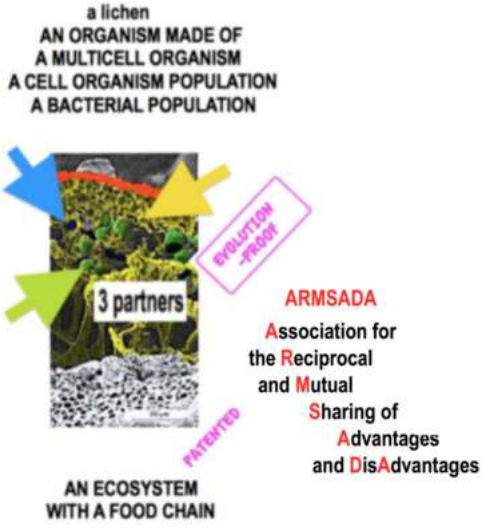
4b. **Tableau de classification périodique des systèmes vivants.** Chaque colonne représente l'émergence d'un nouveau type d'interface.

i-9	Planck quantum
i-8	cordes
i-7	super-cordes
i-6	quarks
i-5	particules
i-4	atomes
i-3	molécules
i-2	amas de molécules
i-1	organismes monères
i	organismes cellulaires
i+1	organismes méta-cellulaires
i+2	écosystèmes
i+3	biosphères
i+4	systèmes stellaires
i+5	galaxies
i+6	amas de galaxies
i+7	univers
i+8	Hyper-univers

4c. **niveaux d'organisation.** (cases du tableau 4b)

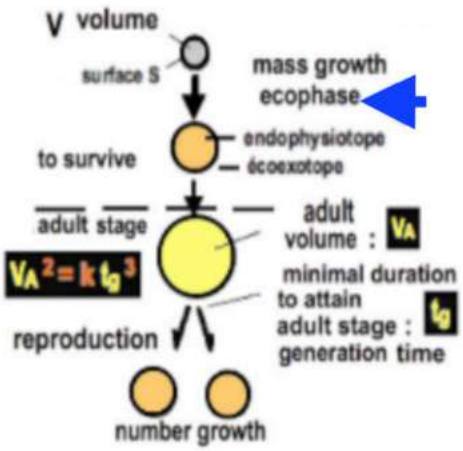


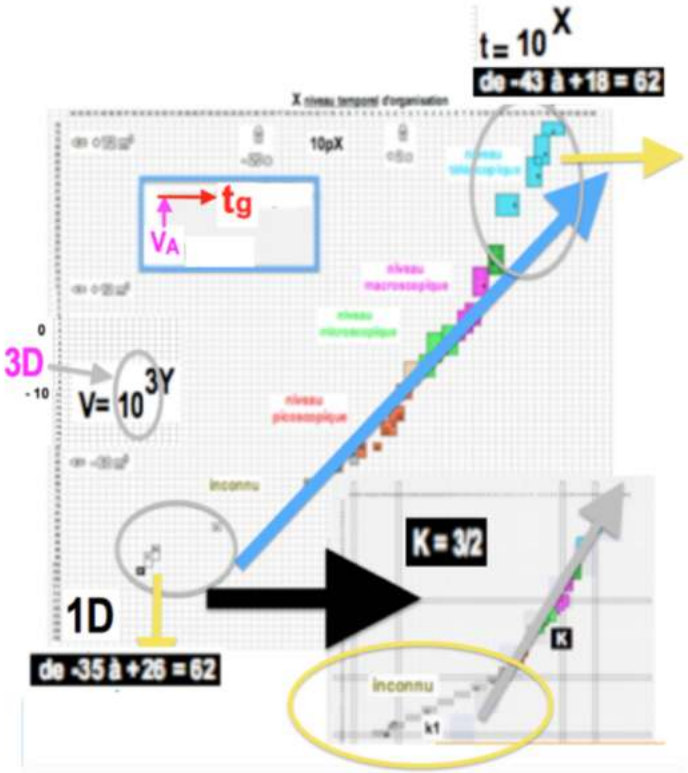
4d. **cycle de développement.** -expression des capacités (figure 2)-



4e. **ARMSADA** (exemple) (Bricage, 1998, 2000) [24]

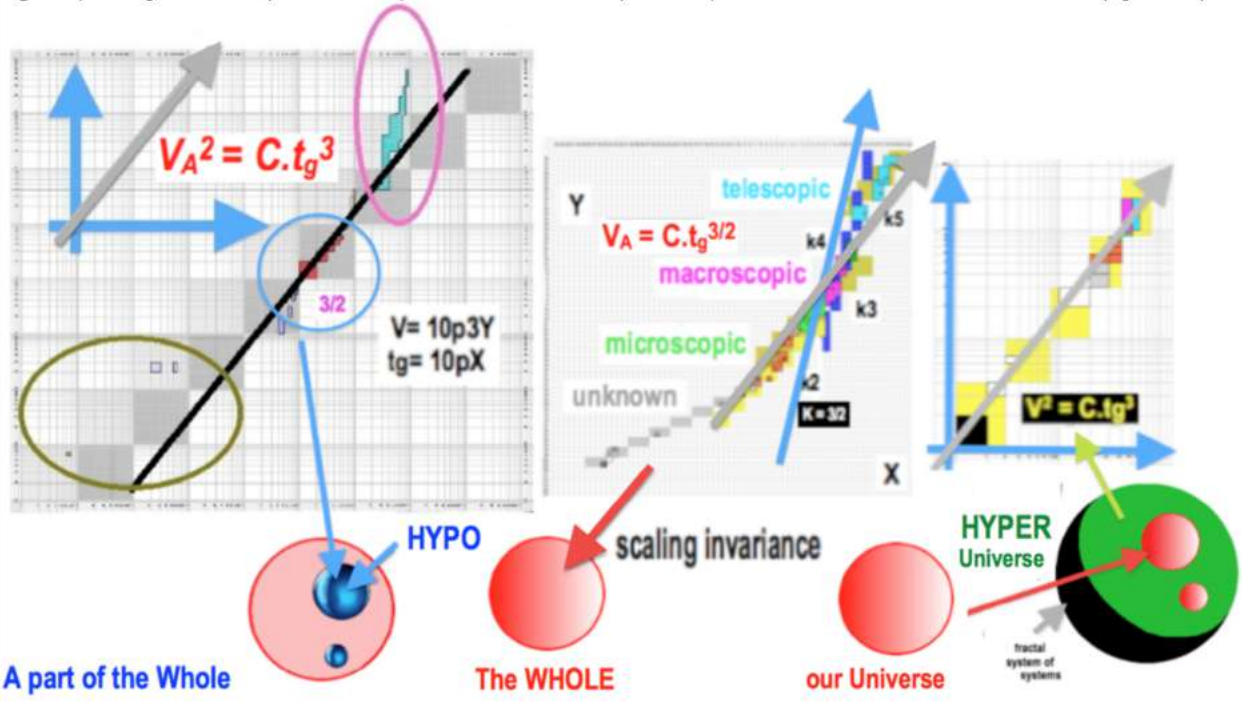
Figure 4. Niveau d'organisation et cycle de développement d'un système vivant. Émergence.
Tout nouveau niveau d'organisation émerge par emboîtements et juxtapositions de niveaux pré-existants (**4a**). Tout système vivant, système de systèmes (figure 3), quel que soit son niveau d'organisation (**4b**, **4c**), exprime les 7 caractéristiques fonctionnelles d'invariance de jauge (figure 2), tôt ou tard, au cours de son cycle de développement (**4d**). C'est par la mise en place d'une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés (**4e**) que s'effectue le saut d'un niveau d'organisation au suivant (Bricage, 2002, 2009) [9, 17, 18].





5a. **VA** volume adulte (en fin de phase de croissance) **tg** temps de génération (durée de la phase de croissance).

5b. **Log**(VA)=**K.Log**(tg), **K=3/2** (r2=95%), du quantum de Planck à l'Univers entier (figure 4c).



5c. La loi (**5b**) est la même pour toute partie (**A part**) de l'Univers (**The WHOLE**), et pour l'**Univers** dans son entier : Log(**Log**(VA))=**C.**Log(**Log**(tg)) , notre Univers appartient donc à un **HYPER-Univers** (Bricage, 2009, 2014).

Figure 5. Loi puissance d'invariance fractale indépendante de l'échelle $V_A=C.t_g^{3/2}$

1b. Avec quelle représentation graphique ?

Chez l'homme, en physiologie et en psychologie par exemple, la mesure des temps de réaction (de réponse à des stimulations) a permis de mettre en évidence ***des lois fonctionnelles*** représentables par des fonctions puissance [12, 21].

Pour représenter une fonction puissance et déterminer expérimentalement son exposant, statistiquement, il est nécessaire d'utiliser une représentation logarithmique log-log. Ce qui permet d'avoir une droite, dont la pente est la valeur de l'exposant (Bricage, 2009). L'intérêt d'une échelle log-log est qu'elle permet de représenter des phénomènes et des structures fonctionnelles incommensurables à l'échelle humaine, comme, par exemple, le lien entre la structure des systèmes stellaires (figure 4b), compte tenu de la masse de leur(s) étoile(s) et de la distance des planètes à cette étoile, en terme de zone d'habitabilité (présence d'eau à l'état liquide). Non seulement l'échelle des espaces (distance, surface et volume) mais aussi l'échelle des temps doivent être représentées en coordonnées logarithmiques (figure 5b).

La difficulté est dans le choix des unités et des situations expérimentales de référence. [5]

Par exemple, si VA est ***le volume d'un système vivant, quel que soit le niveau d'organisation, au moment où il acquiert la capacité reproductrice, l'état adulte*** (autrement dit le stade du développement spécialisé dans la croissance en nombre), ***en m³***, et si tg est ***le temps de génération, le temps nécessaire pour atteindre le seuil de la masse suffisante pour acquérir la capacité de reproduction*** (autrement dit la durée de la phase larvaire spécialisée dans la croissance en masse), ***en s***, alors, pour l'ensemble des systèmes vivants de notre Univers, l'ensemble des résultats ***obéit expérimentalement à une loi puissance d'exposant 3/2***, une droite de pente 3/2, ***avec une probabilité supérieure à 90%***, ce sur 62x62x62 dimensions d'espace et 62 dimensions de temps (Bricage, 2009) : $\mathbf{V_A = C.\ t_g^{3/2}}$ (**figure 5**).

1c. Une contrainte : la réciprocité des interactions. [2]

On connaît d'autres relations fonctionnelles, dites ***allométriques***, qui sont gouvernées par des lois puissance. Par exemple la relation entre la masse d'un système vivant (le poids de l'endophysiotope) et l'étendue de son espace d'accueil (la surface ou le volume de son écoexotope de survie), qui définit une relation quantitative d'interaction entre l'endophysiotope et l'écoexotope, gouvernée par l'interaction entre croissance en masse et croissance en nombre de l'endophysiotope. Mais il n'y a aucune raison de préjuger qu'***a priori*** c'est l'écoexotope (par sa ***capacité d'accueil*** limitée) qui agit sur l'endophysiotope ou que c'est l'endophysiotope (par sa ***capacité d'être accueilli*** limitée) qui agit sur l'endophysiotope. A chaque instant l'endophysiotope et l'écoexotope sont en interactions multi-directionnelles continuelles, ***on ne sait plus ni où est la cause ni où est l'effet, chacun est à la fois cause et effet :*** **loi systémique constructale** (**figure 6**, tableau 2). Dans la relation entre VA et tg selon que l'on considère la croissance en masse comme cause ou comme effet on a une loi puissance d'exposant 2/3 ou d'exposant 3/2 (figure 6e), mais la croissance est ***à la fois cause et effet***, et les deux aspects sont indissociables : l'exposant, 3/2 ou 2/3, correspond à ***la même relation d'interaction fonctionnelle, bi-directionnelle,*** vue symétriquement. Comme l'est, par exemple, l'influence de la croissance en nombre (la densité d'une population de cellules ou d'organismes) sur la croissance en masse (ou en volume) et inversement : **3/2** = 1/(**2/3**) (figure 6e).

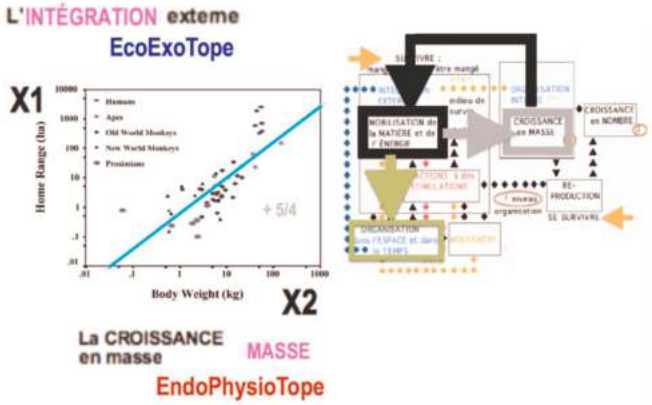
1d. Un choix : une signification biologique et une quantification fractionnaire.

Prenons l'exemple de la loi de Piéron, pour l'audition, on peut considérer que tout se passe comme si l'exposant de cette loi puissance variait par sauts (**figure 7**). Quels sont les exposants possibles ? Quel choix de discontinuité, quelle progression en fraction continuée, peut-on choisir ? Compte tenu de l'éventail des résultats disponibles, **0, 1/2, 2/3** (loi de Kleiber pour les ectothermes), **3/4** (loi de West et al.), **1** (loi de Weber), **4/3**, **3/2, 2,** les 2 suites **n/n+1** et **n+1/n** [6], toutes les deux convergentes vers **1** et qui instaurent une relation de récurrence, ont donc été choisies (figure 7).

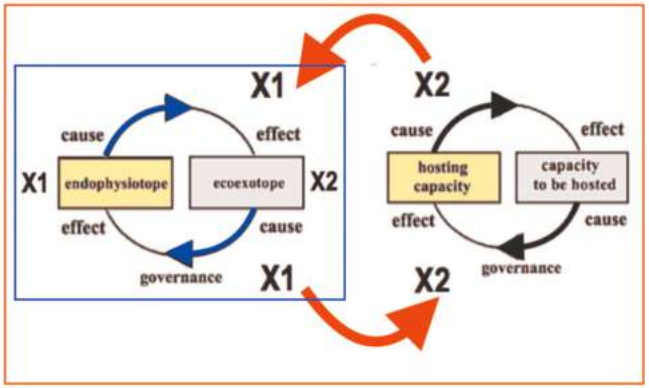
---

5 ***« Toute loi, déduite a posteriori, n'est vraie que dans certaines limites d'oscillation. »*** Jules Gavarret

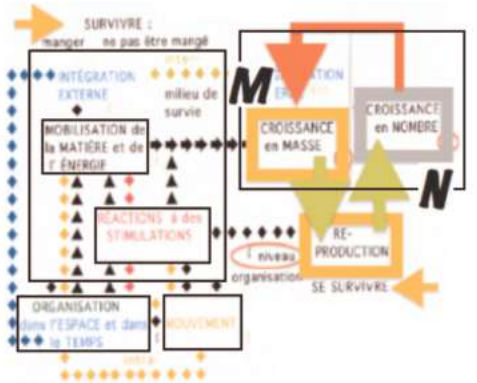
6 **n+1/n** = 1/(**n/n+1**), pour tenir compte de la symétrie des exposants, selon la représentation choisie X1=**K.**X2 ou X2=**1/K**.X1
La somme des fractions dénominateurs est la série dite harmonique.



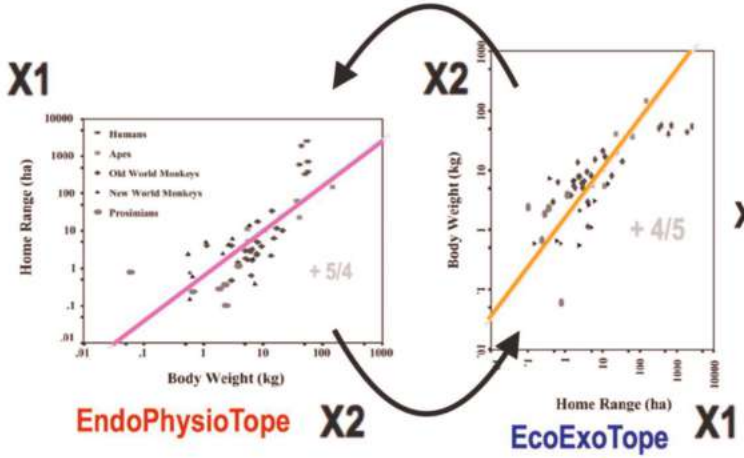
6a. **X1=f(X2)** l'aire d'habitat X1 et la masse X2, liés, sont dépendants de la mobilisation de la matière et de l'énergie

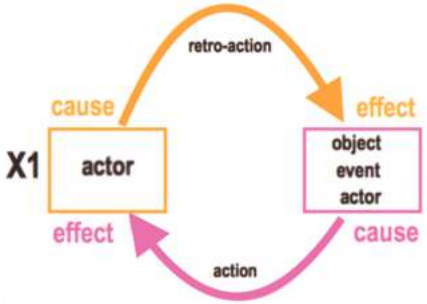


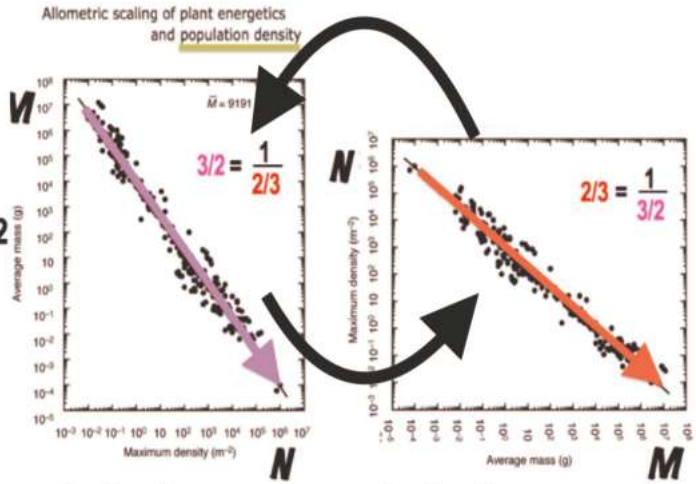
6b. La cause X1 est à l'origine d'un effet X2 qui devient cause, tôt ou tard on ne sait plus où est la cause (X1 ou X2) ou l'effet.



6c. La croissance en masse **M** est le préalable à la croissance en nombre **N**, et ***réciproquement***.



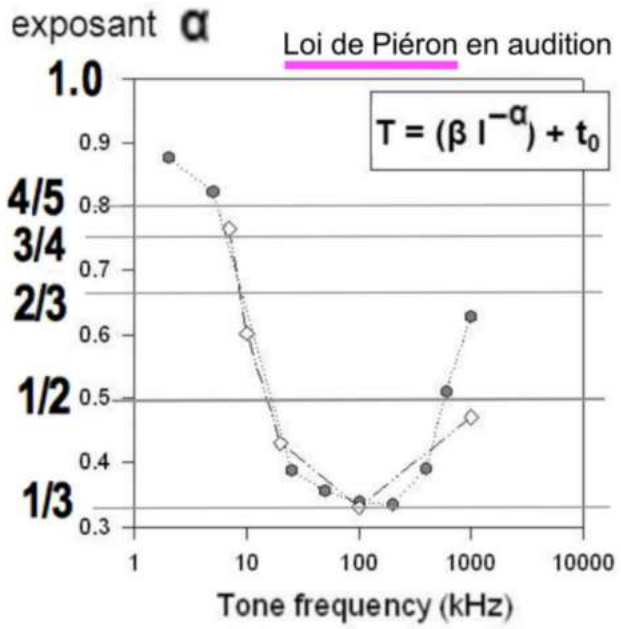




6d. X1 et X2 sont en ***interactions réciproques*** : **X1= K.X2** équivaut à **X2= 1/K X1** , c'est **à la fois l'un et l'autre.**

6e. M croissance en masse **et/ou** N croissance en nombre.

Figure 6. Loi systémique constructale : interactions réciproques, bidirectionnelles, paradigme de non-dissociabilité de la cause et de l'effet.



Le Temps de Réaction Simple diminue selon une fonction de puissance de l'intensité du son.

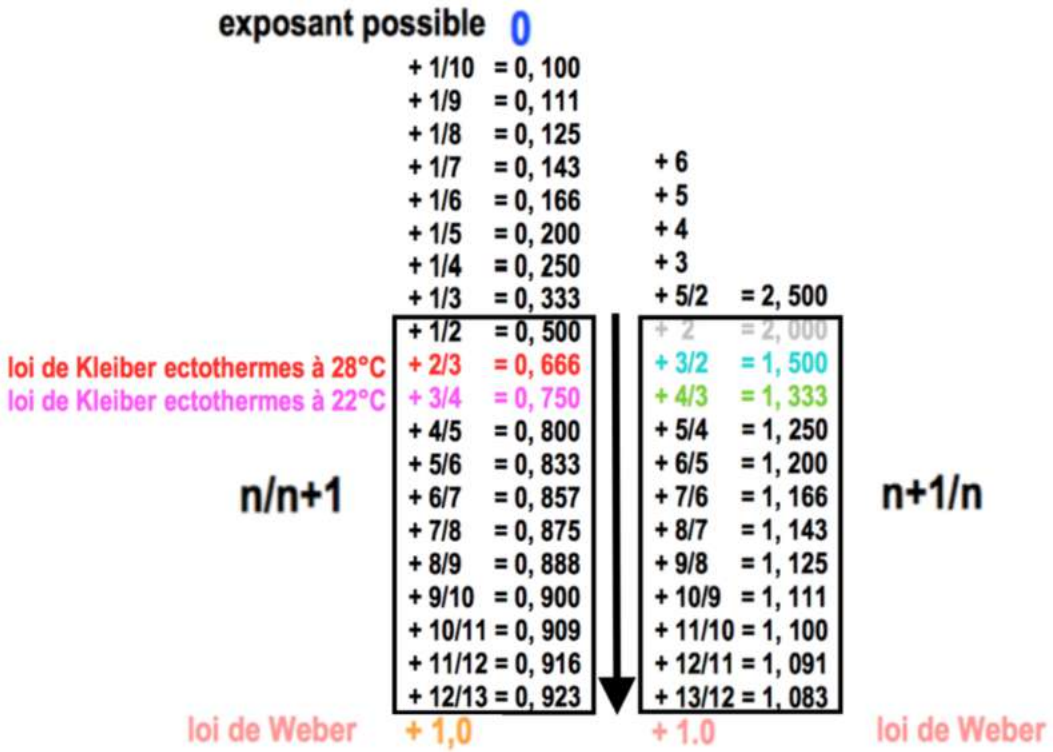
Fonction de Piéron :

$$T = (\beta I^{-\alpha}) + t_0$$

L'exposant de la fonction varie selon la fréquence du son.

La RÉPONSE à des STIMULATIONS

7a. Quelques exposants fractionnaires, "exposants quantiques" de la fonction puissance, adaptés à la loi de Piéron.



7b. Choix d'une distribution en série harmonique, *a priori* cohérente avec les phénomènes connus.

Figure 7. **Mesure des interactions au sein d'un système vivant : "*quanta*" des valeurs des exposants.**
Approche ***"quantique"*** des valeurs des exposants mesurant les interactions au sein d'un système vivant : paradigme des fractions continuées.
Les 2 suites **n/n+1** et **n+1/n** , équivalentes à **K** et **1/K** (figures 6, 11 et 12), tendent vers **1**.

1e. Un questionnement : comment valider les résultats à inclure dans cette méta-analyse ?

Le plus souvent c'est la masse, ou la croissance en masse [3, 4, 5], qui est considérée comme le facteur influençant. Prenons l'exemple d'un ensemble de résultats relatifs aux relations allométriques de l'énergétique musculaire (Moyes & Lemoine, 2005; Weibel & Hoppeler, 2005) [15].

A quoi peuvent être dues les disparités entre résultats ? [8, 15, 21]

Doit-on privilégier la relation statistique la plus significative, par exemple un exposant **-0,10** avec **95%** de confiance statistique[7], ou la relation physiologique la plus significative, même si elle est moins significative statistiquement[8], l'exposant **0,00** avec **92%** de confiance statistique ?

La signification biologique doit prévaloir sur l'outil statistique, il faut toujours accepter un risque à peine plus grand, un résultat moins significatif statistiquement, pour un résultat biologiquement très signifiant. Un exposant de 0,82 même à 95% de confiance[9] n'a pas de sens biologique, alors que l'exposant le plus proche à seulement 93% de confiance 0,75 (c'est-à-dire **3/4**) a lui une signification biologique (figure 7). Dans l'évaluation du risque de se tromper, il faut garder un esprit scientifique critique, la statistique doit rester un outil, il faut rester autonome dans la compréhension des résultats statistiques.[10] [14]

Est-il raisonnable de mélanger des phénomènes se déroulant à des niveaux d'organisation différents ? Avant de prendre en compte les interactions entre niveaux d'organisation (figure 4), il paraît raisonnable d'évaluer d'abord les interactions au sein d'un seul et même niveau d'organisation (Bricage, 2007), interactions qui sont loin d'être simples… (**figure 8**).

Quel système d'unités utilisé pour comparer des phénomènes en interaction à des échelles dimensionnelles différentes ? Quelle situation dimensionnelle doit-on privilégier ? Aucune, et il ne faut jamais privilégier notre point de vue dimensionnel, pas d'anthropomorphisme ! Et pas d'échelle arbitraire ...

2. Résultats

Chez les animaux, de nombreuses études, à différents niveaux d'organisation, ont mis en évidence un lien entre la puissance métabolique produite et la masse du système producteur [13], ***une loi puissance*** d'exposant **3/4** rendrait compte d'un même phénomène, indépendamment du niveau d'organisation. Cette loi de Kleiber serait valable sur 27 dimensions, aussi bien pour les animaux que pour les végétaux. Le métabolisme et la croissance serait dépendants de la masse suivant une loi puissance d'exposant 3/4.

2a. Quelle interaction entre la puissance métabolique produite et la masse du système producteur ?

Au niveau d'un écosystème, comme un lac, on a mesuré la production globale de matière et d'énergie par les organismes autotrophes, capables de photosynthèse et de chimiosynthèse, et la consommation de la matière et de l'énergie produite, mesurée par l'activité respiratoire des organismes hétérotrophes du réseau trophique de cet écosystème. La différence entre production (loi puissance d'exposant 0,966 à 95%, r=0,951 et p-value<0,00001) et consommation (loi puissance d'exposant 0,833 à 95%, r=0,964 et p-value<0,00001) est compatible avec la mise en réserve et la croissance de cet écosystème suivant une loi puissance d'exposant **1/4** de la masse (**1,00 - 0,75** = + 0,25). L'écosystème est viable, capable de survivre et d'investir dans la croissance en masse ou dans la croissance en nombre. La loi d'exposant 3/4 serait valide à ce niveau d'organisation. La loi de Kleiber serait valable tant pour les organismes homéothermes (mammifères dont l'homme, oiseaux) que pour les organismes ectothermes (ou hétérothermes) comme les animaux invertébrés.

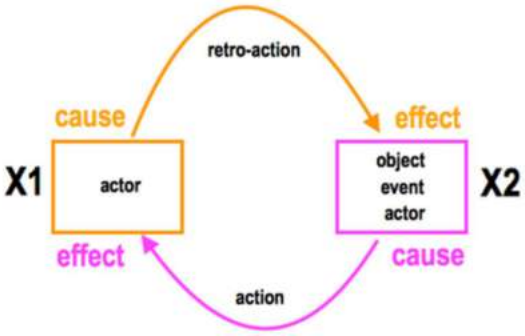
---

7 La représentation log-log permet de calculer une ***régression linéaire simple*** (ajustement par la méthodes des moindres carrés), dont le ***coefficient de détermination*** linéaire r^2 donne ***le pourcentage d'explication de la variance***.

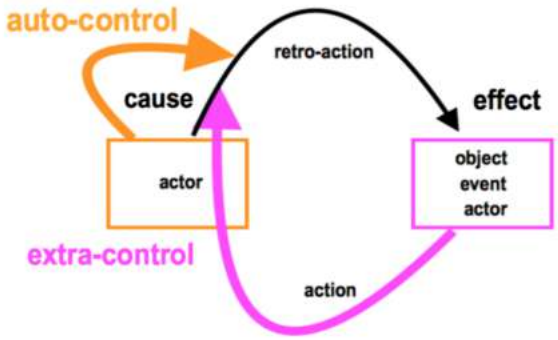
8 Le test du *Khi*^{2} permet ***d'affirmer une différence significative*** avec une fiabilité habituellement choisie à 95%, donc ***d'assumer un risque d'erreur*** de 5%, autrement dit, à 96% de fiabilité ***on risque de se tromper*** 1 fois sur 25, et à 92% 2 fois sur 25.

9 Les intervalles de confiance (si possible le plus souvent à 95% in ***experience-based-medicine***) sont déterminés (calculés) en recourant aux propriétés des lois de distribution normale. Mais, l***es phénomènes biologiques obéissent rarement à des distributions normales***, les processus obéissent le plus souvent à des distributions ou des lois Log-normales.

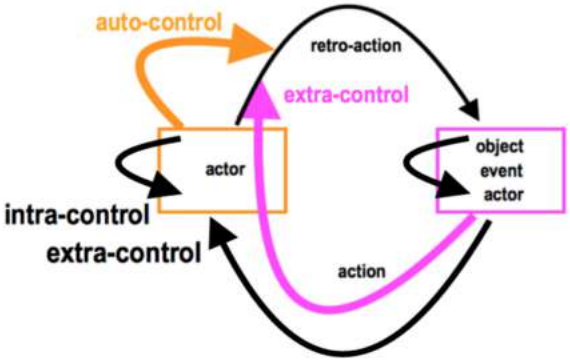
10 « ***Un modèle n'a d'utilité que s'il est prédictif ou/et permet de trouver des causes d'un phénomène.*** », d'où « ***l'importance de bien définir ce que l'on considère comme faits semblables ou comparables que l'on va rassembler.*** » Jules Gavarret (1837) Principes généraux de statistiques médicales. [Boissière, 2016]



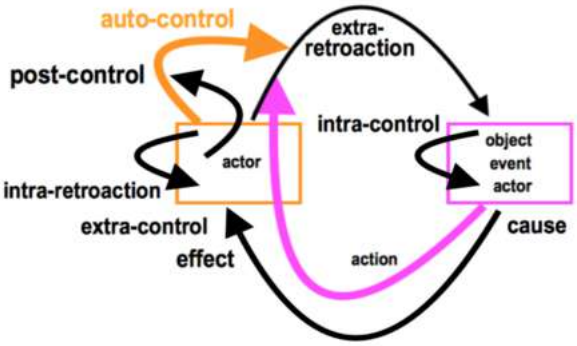
8a. Loi systémique constructale: boucle de rétro-action.
La cause initiale se perd dans les interactions successives.
On ne sait plus où est la cause où est l'effet.



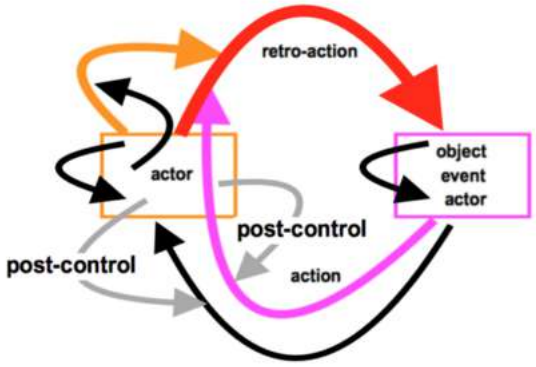
8b . Contrôles ***a posteriori*** d'une action,
au niveau de la cause (ou de l'effet).



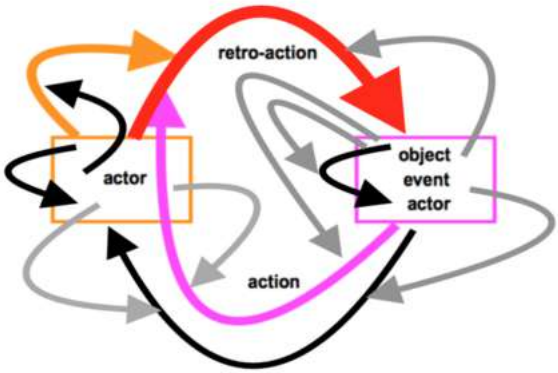
8c. Contrôles : interne (intra), ou auto-contrôle, et
externe (extra) d'un acteur par un autre.



8d. Contrôle d'un contrôle : post-contrôle.



8e. Contrôles a priori et a posteriori :
contrôle d'un contrôle d'un contrôle.



8f. Contrôles des contrôles de contrôles :
itération des contrôles.

Figure 8. Système des interactions d'interactions :
juxtapositions et emboîtements des inter-actions, itération des interactions de contrôle,
émergence par itération (figures 3 et 4).

Quelle(s) relation(s) fonctionnelles(s) (**8a**, **8b**) relie(nt) les acteurs x1 et x2 ? Quelle loi puissance $x_1^p = k.x_2^n$ peut-elle être représentative, en probabilité, de leurs inter-actions ? (figures 9a, 11e, 12, 15 et 16) [12, 20]

Considérons à la fois les insectes solitaires et coloniaux, qui, **statistiquement**, obéissent aux mêmes relations d'interaction entre la masse (de l'individu ou de la colonie) et la production de biomasse ou la consommation de biomasse. Au sein de l'organisme, la production de biomasse obéit à une loi puissance d'exposant 0,74 (avec r2= 0,99) alors que la consommation obéit à une loi puissance d'exposant 0,81 ou 0,82 (avec r2=0,82), ce sur 7 dimensions de masse et 15 dimensions métaboliques. Dans ce cas aucun organisme ne serait viable, la consommation dépasserait la production (0,74 – 0,81 = - 0,07). Et pourtant tous existent ! Mais, d'une expérience à une autre, les unités sont différentes..., la comparaison est donc impossible.

Cette loi de puissance **3/4**, qui est enseignée depuis plus de 50 ans et validée par de nombreuses publications scientifiques, serait-elle fausse ? La réalité correspondrait-elle à une loi de puissance 2/3 ? En termes géométriques et biologiques, **2/3** est la signature d'une interface d'échange sphérique optimisée pour les flux d'échanges (Bricage, 2014). Effectivement la relation $\mathbf{V_A = C.t_g^{3/2}}$ (Bricage, 2009) est équivalente à un flux moyen d'échanges constant à l'interface entre écoexotope et endophysiotope [9, 12, 13]. De fait, si on mesure le métabolisme basal par la consommation d'oxygène (et non plus par la puissance produite, la chaleur dégagée, ou l'entropie thermodynamique) on obtient des lois puissance d'exposant 2/3. Mais il est vrai qu'expérimentalement il est graphiquement difficile de séparer **2/3** (ou **0,66**) et **3/4** (ou **0,75**), et, l'analyse statistique n'aide pas nécessairement dans l'interprétation de la diversité des résultats (exemples : 0,70 ± 0,10 ou 0,70 ± 0,05 ou 0,65 ± 0,03 et tous à 95%). [3, 5, 7, 14]

Avant de regrouper des niveaux d'organisation il faut les analyser séparément. Avant d'étudier des relations inter-spécifiques, une variance INTER, il faut étudier les relations intra-spécifiques, la variance INTRA. Habituellement la variance INTRA est supérieure à la variance INTER.

En individualisant les niveaux d'organisation et en les rapportant à la montée en complexité évolutive des systèmes vivants, faisons une méta-analyse de résultats disponibles en ligne. On observe des résultats répartis **entre 0 et +1** ou **entre 0 et -1** (**figure 9**). Qu'est-ce que cela signifie d'un point de vue fonctionnel ?

2b. Qu'en-est-il des échanges, des flux de matière et d'énergie ? [3, 4, 5, 13]

Aux différents niveaux d'organisation, c'est la variabilité des flux entrants, INPUT, qui est la plus faible. À son interface le système ***contrôle géométriquement ses entrées*** : les flux entrants tendent à être ***optimisés à l'interface d'un volume sphérique (exposant 2/3***). Les flux sortants, OUTPUT, sont soit optimisés de même (exposant 2/3) soit contrôlés par rétroaction, exposant **+1** indiquant une évolution parallèle (les 2 paramètres varient proportionnellement l'un à l'autre), ***les entrées étant proportionnelles aux sorties et réciproquement,*** (ils sont ***auto-limitants l'un de l'autre***), ou exposant **-1**. A quoi correspondent des lois puissance dont les exposants sont négatifs ?

Les flux circulants internes, THROUGHPUT, sont de toute nature et montrent la plus grande diversité (figure 9d). C'est en accord avec les processus itératifs de juxtapositions et d'emboîtements (figure 9a) qui donnent naissance à de nouveaux plans d'organisation, par mise en place d'une nouvelle ARMSADA.

Tout système vivant est un système-de-systèmes, compartimenté (**figure 10**).

2c. **2/3 et 3/2** : les deux aspects d'une même interaction bi-directionnelle.

Que signifie la relation -loi puissance d'exposant 2/3 ou 3/2- entre la croissance en volume VA et la durée tg de la phase de croissance préalable à l'acquisition de l'état adulte ? On peut considérer soit l'aspect temporel, ou métabolique, soit l'aspect géométrique, spatial, ou volumique, ils sont échangeables (figure 9a).

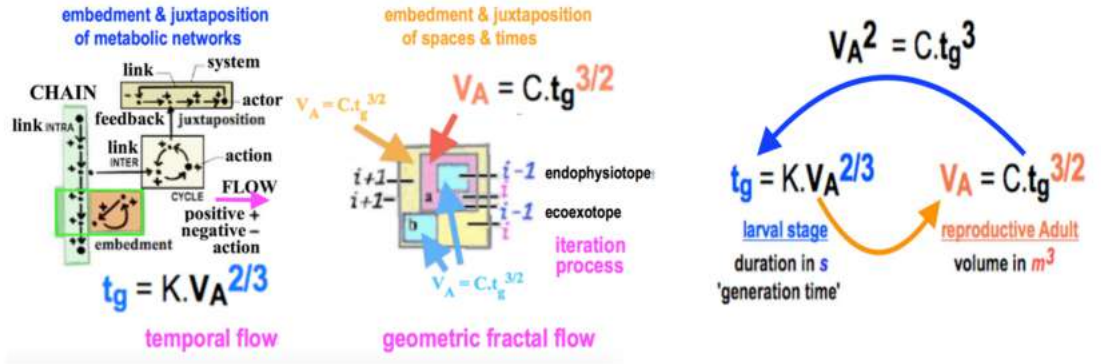
La loi puissance d'exposant 2/3 est indicatrice d'une régulation optimisée, d'une variation minimale des fluctuations d'un phénomène, d'un moindre coût du fonctionnement. [12]

Existe-t-il un processus fondamental qui puisse être à l'origine de l'homothétie fractale, spatiale et temporelle, de cette relation ?

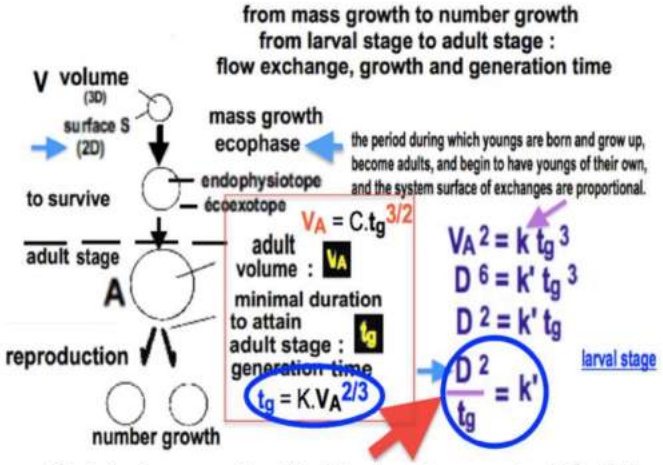
2d. Le mouvement Brownien.

Si on observe au microscope optique une paramécie, qu'elle soit vivante (avec ou sans coloration vitale) ou morte (l'endophysiotope ayant été tué par un colorant non-vital), on constate une agitation permanente, chaotique, des grains microscopiques présents dans la phase liquide de l'écoexotope, et cette agitation n'affecte pas l'endophysiotope de la paramécie.

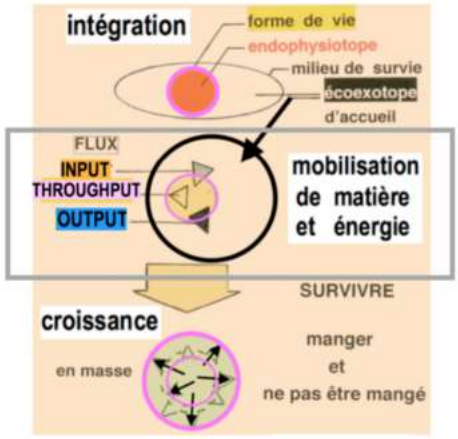
Ce ***processus d'agitation aléatoire*** c'est le mouvement dit Brownien [16].



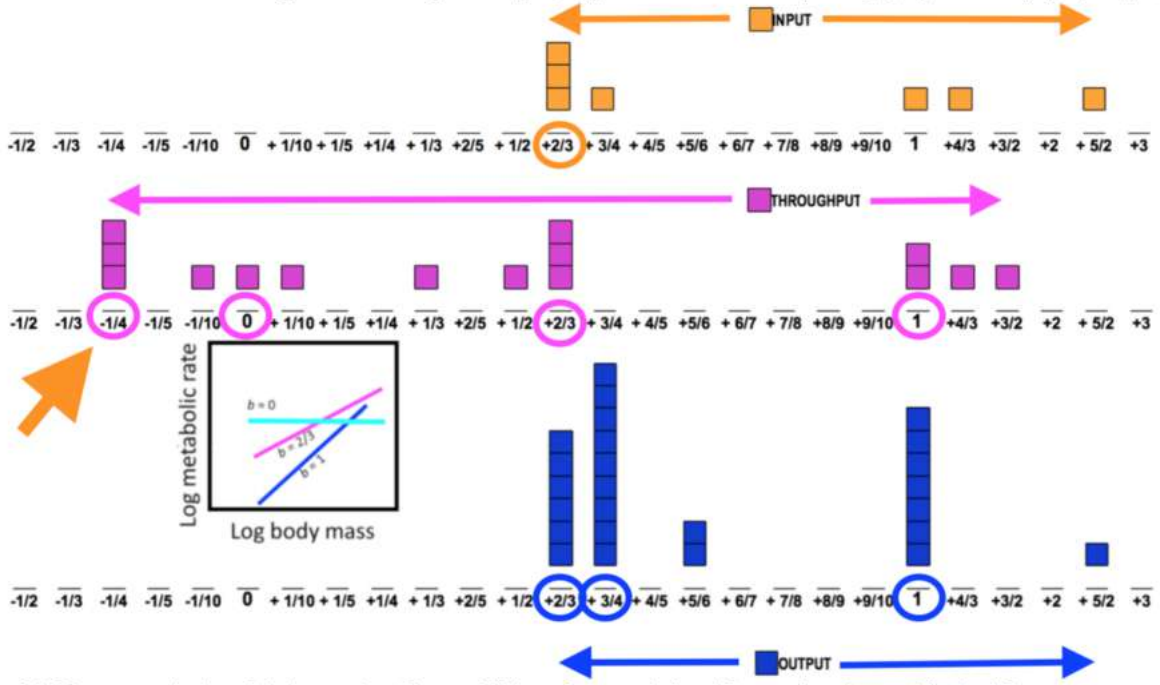
9a. We can consider **either time or space**: the space-time relationship scaling invariance (Bricage, 2009, 2014).



9b. Interface constant **k'** global exchange rate. [13, 17]

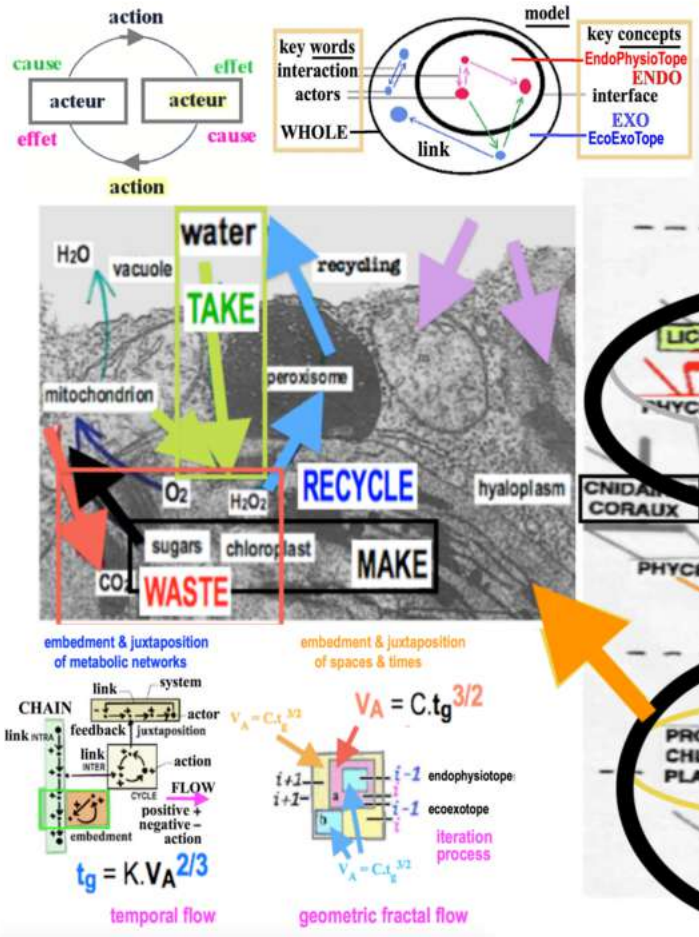


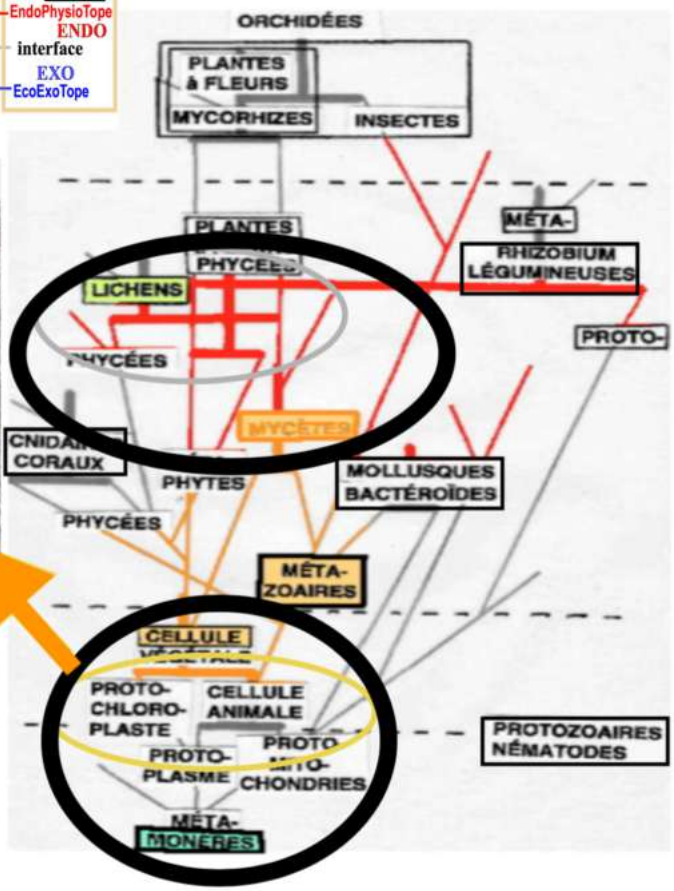
9c. **Flux** intra (throughput) et inter (input, output).



9d. Flows regulation: **0** independent flow, **+2/3** interface optimized flow, **+1** reciprocal limited flows.

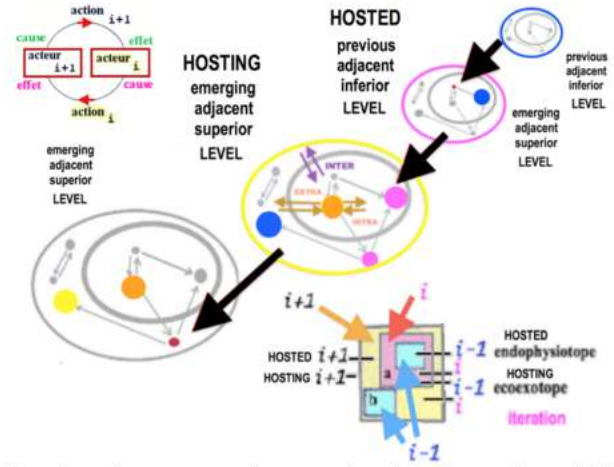
Figure 9. **Entrainement des flux de matière et d'énergie (INPUT, OUTPUT, THROUGHPUT)** par les interactions entre la masse et l'activité métabolique, pour les systèmes membranaires [colonne i-1 à i+2 (figure 4b)] à l'état adulte.

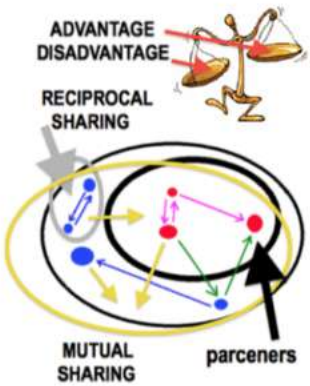




10a. La cellule végétale est un écosystème d'organismes qui recyclent en permanence leurs déchets réciproques.

10b. Elle a émergé par mise en place d'une ARMSADA entre les ancêtres des actuels organites cellulaires





10c. Jumping process: from one level to the next one (**10b**). 10d. Local reciprocal sharing and global mutual sharing.

Figure 10. Every living system new blueprint is an ARMSADA.

Les nouveaux plans d'organisation (figure 4), comme la cellule (**10a**), émergent uniquement par des processus itératifs (**10b**) de juxtapositions et d'emboîtements (**10c**) qui donnent naissance à des associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés (figure 4e) -**ARMSADA**- (**10d**). [6, 9, 11, 20, 24]

Ce processus a été étudié par Albert Einstein et Robert Wiener. Dans l'équation du modèle le temps est présent à la puissance **3/2**, comme dans la relation qui lie la croissance en volume VA et l'organisation temporelle tg du cycle de développement des systèmes vivants (**figure 11**).

Cette relation est vraie quel que soit le niveau d'organisation. Qu'on prenne une sous-partie, quelle qu'elle soit, de l'ensemble des niveaux d'organisation du vivant, ou qu'on prenne le Tout, l'Univers dans son entier, cette même relation invariante gouverne le Tout, les parties, et les parties de parties. C'est l'invariance fractale des systèmes vivants. L'univers lui-même apparaît comme une sous-partie, un sous-système, d'un système qui l'héberge, un hyper-Univers, qui obéit à la même relation d'invariance fractale (figures 1 et 5).

Le mouvement Brownien [16], décrit par une ***loi puissance d'exposant 3/2 du temps***, est lui-même invariant et fractal (Bricage, 2014). Les mouvements dans l'endophysiotope de la paramécie vivante, mouvement de cyclose, mouvements de translation, localement ou globalement, sont orientés, ordonnés. Les mouvements à l'interface avec l'écoexotope le sont aussi, localement et globalement. Et de ces inter-actions entre mouvements et entre espace-temps, naissent des rythmes : ***le déterminisme s'impose au chaos*** [6]. Tout se passe donc comme si au chaos de l'écoexotope de survie, à l'indéterminisme pré-existant, l'endophysiotope imposait un ordre par augmentation de sa complexité spatiale et temporelle. C'est la conception taoïste de l'Univers, ***l'existence d'un système de lois, d'interactions, règle le fonctionnement harmonieux du Tout, quel que soit l'écoexotope de survie et quelle que soit la forme de vie.***

2e. L'homme n'est pas une exception. [2, 23]

L'homme n'est pas une exception physiologique. L'activité à l'état de veille, le jour, et l'activité, à l'état de sommeil, la nuit qui précède, et la nuit qui suit, sont liées par une loi puissance d'exposant 3/2.

L'homme n'est pas une exception économique, ou écologique. Les interactions entre indicateurs socio-économiques sont souvent représentables par une loi puissance d'exposant 3/2. [7, 11, 23]

L'homme n'est pas une exception sociologique. La fréquence des décès associés à la gravité des attentats ou des risques technologiques est représentable par une loi puissance d'exposant 3/2.

3. Discussion et interprétation des résultats

Avec le concept d'horloge moléculaire, on suppose que l'accumulation des mutations au cours de l'évolution suit un processus temporellement linéaire [9]. Ce n'est pas le cas : l'accumulation des changements d'acides aminés dans les séquences protéiques, suit ***une loi puissance d'exposant 2/3***. [9, 12]

3a. Mise en évidence de processus limitants entre facteurs en interactions.

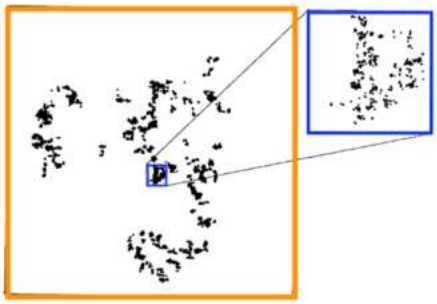
En coordonnées log-log, une pente de **+1** indique que chaque paramètre, X1 ou X2, est proportionnel à l'autre. Ce qui veut dire que chacun des facteurs considérés, x1 et x2, loi puissance d'exposant +1, est un facteur limitant de l'autre, dans un processus de rétro-action bidirectionnelle. Si l'un croit, l'autre croit. Si l'un décroit, l'autre décroit : **figure 12**.

Ainsi, au niveau d'un écosystème, la vitesse métabolique est le facteur limitant de la croissance en masse et inversement la masse est le facteur limitant de la vitesse métabolique [3, 4, 5, 13]. Au niveau cellulaire, l'organisation spatiale du génome est sous la dépendance d'un processus qui fait que le volume d'information disponible et accessible est limité par la taille de cette information et inversement (exposant **+1**). Les processus de régulation de l'accès à l'information changent cette relation, rendant plus accessible (activation ou dé-répression : exposant +5/4 soit 1**+1/4**) ou moins accessible (répression : exposant +3/4 soit 1**-1/4**) l'espace contenant l'information génétique.

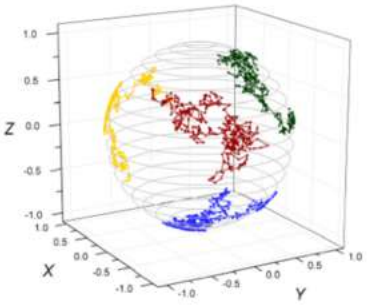
3b. Mise en évidence de processus invariants.

Une pente de **0** indique un invariant, x1 ou x2 = constante, quel que soit x2 ou x1 (figure 12). Par exemple le nombre de battements cardiaques pour la vie entière, chez les mammifères, est indépendant de la taille, quelle que soit la durée de vie. Cultiver des cellules *in vitro* les rend indépendantes des processus de régulation mis en place au sein de l'organisme dont elles faisaient partie. Leur métabolisme devient invariant, indépendant de la masse cellulaire (pente = 0), alors qu'il était négativement dépendant de cette masse *in situ* (pente -1/4) (West et al., 2002).

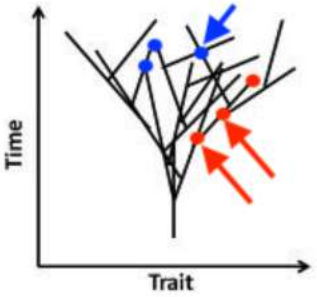
11a. Brownian motion is **a 3/2 power law**, representative of an uncorrelated and unbiased, **3D random process.**



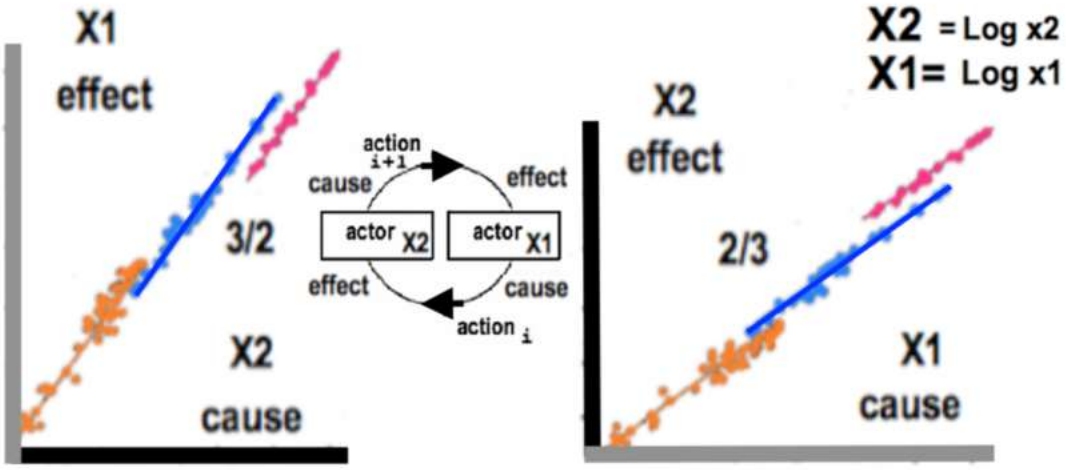
11b. A 2D **fractal** Brownian motion run. An invariant 3/2 power law (Wiener process **self-similarity**).



11c. A **3D** Brownian motion run for different actors (colours).



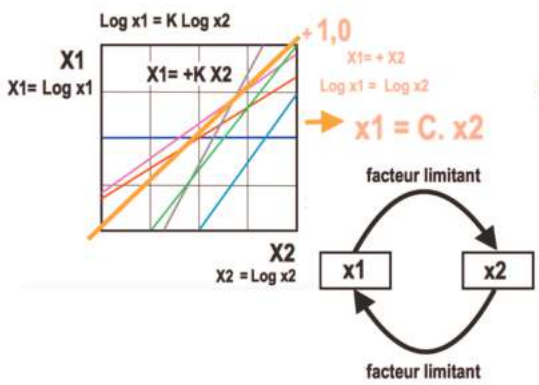
11d. A **4D** evolution tree model: (figure 10b): a stochastic way of **a 3/2 power-law emergence**.



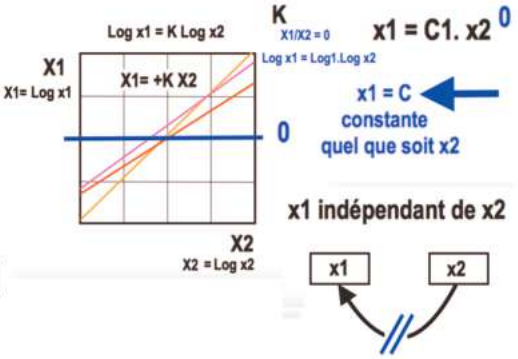
11e. The systemic constructal law: equivalent 3/2 or 2/3 power laws of the same **reciprocal co-relation**.

Figure 11. Mouvement Brownien [6, 16]. -The Wiener process (figure 17)-.

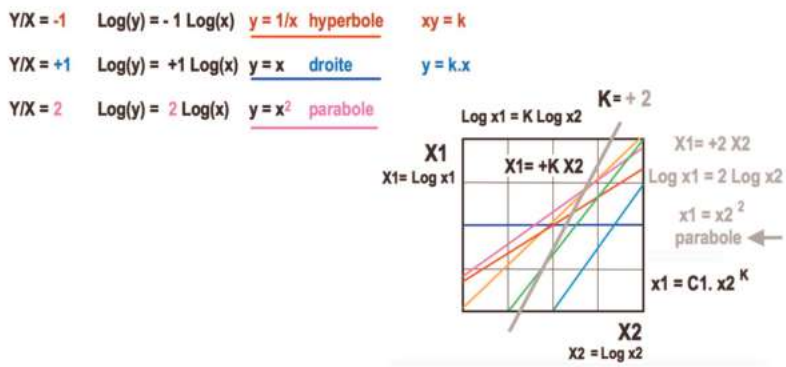
Le mouvement Brownien est un processus stochastique, continu, à accroissements indépendants (**11a**). C'est un modèle approprié pour rendre compte de l'évolution aléatoire de processus fractaux (**11b**), indépendants de l'échelle (**11c**) et du nombre d'acteurs (**11d**). Quand 2 acteurs sont en interactions, selon l'acteur supposé comme cause ou comme effet (**11e**), le même processus apparaît comme une loi de puissance **3/2 ou 2/3** (Bricage, 2014) [5, 7, 9, 12] : figures 6, 8, 12 et 13.



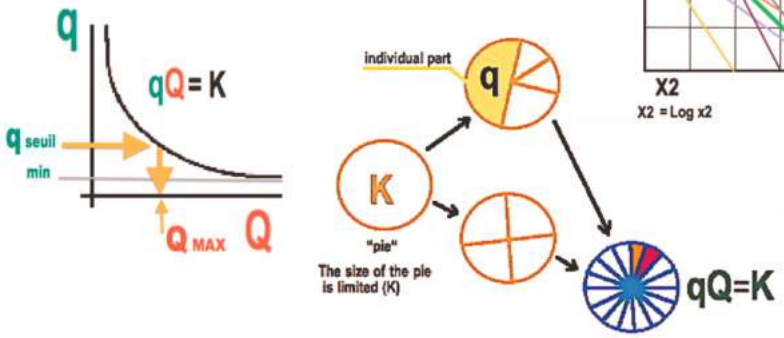
12a. Limitation et entraînement x2 = **k1**.x1 = k1.(**k2**.x2)

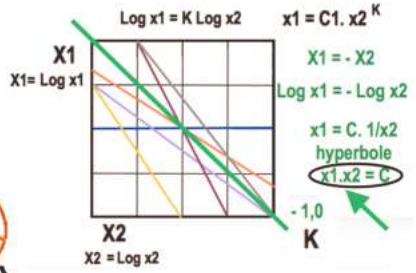


12b. Constance et indépendance x1 = K1

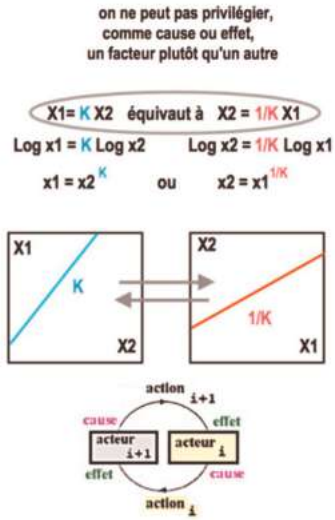


12c. Représentation des processus de régulation par des coniques.

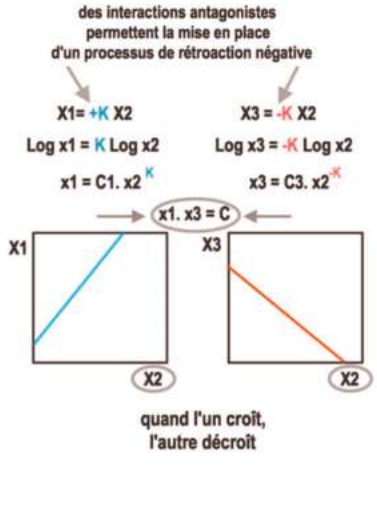




12d. Limitations réciproques à produit constant **x1.x2** = K (figure 16).



12e. Loi systémique constructale.



12f. Régulation par rétroaction négative.

Figure 12. Modularité des processus de régulation.

Mais les cellules restent dépendantes pour leur survie des conditions imposées par l'expérimentateur.

3c. La montée en complexité d'organisation est une montée en complexité de régulation.

Au cours de ***la montée en complexité d'organisation***, structurale et fonctionnelle, spatiale et temporelle, des systèmes vivants, d'un niveau d'organisation au suivant, on passe, par sauts (Bricage, 2002) [5, 6, 9, 10], d'une situation d'indépendance des acteurs -exposant **0**- (au niveau des monères, par exemple) à une situation de dépendance totale -exposant **+1** (au niveau d'un écosystème) ou **-1** (figure 12)-. Les acteurs de l'endophysiotope deviennent de plus en plus dépendants les uns des autres en même temps que l'endophysiotope devient moins dépendant de l'écoexotope de survie (**figure 13**).

3d. Régulation des échanges, des flux, de matière et d'énergie.

Quand les ports d'entrée et de sortie sont différents, ***les limitations réciproques (exposant +1) permettent la compensation*** des entrées par des sorties, et inversement, ce qui permet de maintenir un volume constant, ***un état de maintenance stationnaire***.

A quoi correspondent des lois puissance dont les exposants sont négatifs (figure 12) ?

Si K= -1 cela signifie que les 2 paramètres varient inversement proportionnellement l'un à l'autre, la courbe représentative de leur variation conjointe est une hyperbole, ***leur produit est constant***. Le Tout est le produit des parties (Bricage, 2006, 2007, 2011, 2013). Ceci indique une ***limitation réciproque des échanges en entrées et sorties***, quand les entrées augment les sorties diminuent et inversement. Aux différents niveaux d'organisation, le fait que les entrées excluent les sorties et inversement (exposant -1) est associé à l'unicité des ports et aux interactions au sein d'un même port, et entre ports au niveau de l'interface.

C'est aussi le cas de la relation entre ***croissance en masse et croissance en nombre***, de cellules au sein d'un organisme, ou d'organismes au sein d'un écosystème, ***elles s'excluent l'une, l'autre***.

L'existence d'une situation intermédiaire, exposant +3/4 ou +4/3, peut résulter d'une interaction entre interactions 3/4 = **3/2** x 1/2 ou 4/3 = **2/3** x 2 rendant compte du biais observé avec la loi de Kleiber (figure 12).

3e. Interactions entre écoexotope et endophysiotope.

La variation de l'inter-relation, le changement de pente de la loi puissance, peut indiquer un état pathologique ou une dérégulation. La fréquence (x1) et l'accélération (x2) du rythme cardiaque sont liées par une ***relation régulatrice du type produit constant*** x1x2=k (***exposant -1***). À la suite d'une greffe de cœur la relation change (exposant **-2**) indiquant un autre type de relation, de non-contrôle ou d'un autre contrôle ?, entre le greffon hébergé et l'organisme hébergeant [2]. Un changement physiologique ou un changement de stade de développement, comme le passage du stade larvaire au stade adulte, avec l'acquisition de la capacité de reproduction, peut être associé à une rupture de pente (**figure 14**). ***La capacité de reproduction à un coût***, structural et fonctionnel, ***qui est payé par*** le flux de matière et d'énergie qui n'est plus investi dans ***la croissance***. Avant tout traitement statistique, quantitatif, il importe donc, ***d'abord, de faire une analyse éco-physiologique, qualitative, des résultats***.

L'influence de la température (paramètre de l'écoexotope), qui a été très étudiée chez les plantes en culture industrielle, comme les graminées (orge, blé, maïs[11]), est différente pendant la phase de croissance, pendant la phase de maintenance et pendant la phase de reproduction. L'exposant de la loi puissance indiquant l'effet de la température change, il ne suffit donc pas de connaître les cartes des sommes de température[12] pour prévoir la date de la récolte. ***Ce n'est pas le meilleur ajustement statistique qui doit servir de guide mais le meilleur ajustement physiologique*** [7, 8, 9, 10, 11].

11 La date de récolte du maïs est déterminée par la teneur en matière sèche du grain, qui est elle-même déterminée par la somme des degrés de température accumulés chaque jour, **en-dessous d'un plateau** thermique (30°C) et **au-dessus d'un seuil** thermique (base 6°C), ***"ni trop, ni trop peu***", ce depuis la date du semis. [2]

12 Les cartes des cumuls des températures sont mises à jour chaque jour, il en existe pour le maïs, le colza, le tournesol...
Pour toutes les graminées, pas seulement les céréales, l'accumulation de matière organique (la croissance en masse) est thermo-dépendante, avec un optimum thermique qui dépend de l'espèce. [3, 7]

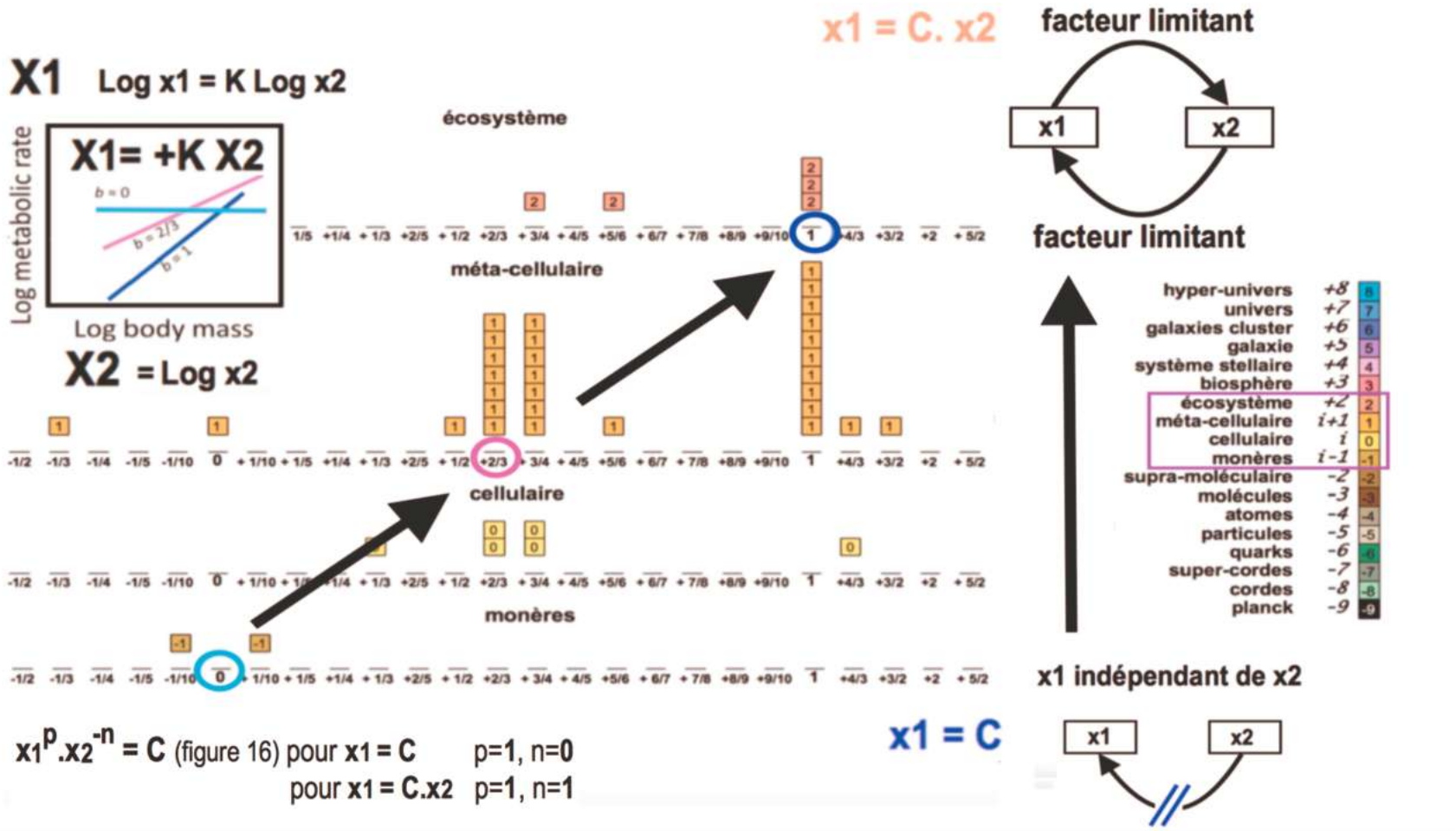


Figure 13. Montée en complexité de la structure fonctionnelle des niveaux d'organisation du vivant:
augmentation à la fois de l'indépendance vis-à-vis de l'écoexotope et de l'inter-dépendance entre les acteurs de l'endophysiotope.

conclusion

À partir de mesures expérimentales, sur 18 niveaux d'organisation des systèmes vivants (figure 3), 45 types d'interactions pour chaque endophysiotope (figure 4) par niveau d'organisation, et au moins 5 types de paramètres, - la température, le pH, le champ de radiation, la concentration en nutriments, la concentration en effecteurs, qui, ensemble, définissent la capacité d'accueil de l'écoexotope, et qui restent à analyser-, il devient possible d'avoir une image complète du fonctionnement local et global des systèmes vivants. C'est ***un déterminisme en probabilités, qui s'applique à des populations, à des grands nombres, pas à des individus*** et dans certaines limites, biologiques et statistiques [6, 12, 14]. Mais il est possible de faire des simulations, descriptives d'un état structurel ou/et fonctionnel actuel, et prédictives d'un état futur émergent, ***état dont la structure est inconnaissable mais dont les interactions qualitatives entre acteurs sont connaissables***. Car ces interactions, ***a priori inconnaissables*** quantitativement, ***obéiront aux mêmes lois d'interactions, passées et à venir.*** Et ce déterminisme est très prégnant puisqu'il permet aux êtres vivants de modeler leur écoexotope commun de survie, dans certaines limites, ***"ni trop, ni trop peu"*** (Bricage, 2011, 2012) [8, 10, 18, 19]. Ainsi les larves de crevettes sont si nombreuses et si actives qu'elles peuvent avoir autant d'influence sur le brassage des masses océaniques qu'en ont les vents et la houle [2, 7, 10, 11].

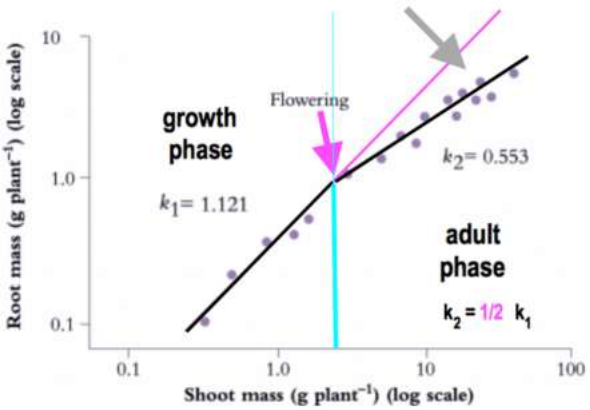
Pour chaque système vivant, à chaque niveau d'organisation [17, 18, 19], le système des interactions (figure 3) peut être représenté, une fois les interactions connues et quantifiées, par une chaîne de Markov, un graphe dont les sommets sont les capacités fonctionnelles et les arcs orientés les probabilités (**figure 15**).[13] Un processus de Markov se caractérise par ***"une absence de mémoire"***, la distribution conditionnelle de probabilité des états futurs ne dépend que de l'état présent et pas des états passés, elle est ***"contingente au contexte actuel"***. Avec un intervalle de temps égal au temps de génération, au fil des générations, ***tôt ou tard, on aboutit à un état stationnaire***, une distribution limite, ***qui ne dépend pas de la situation initiale*** (Bair, 2016), si les conditions d'interaction entre l'écoexotope et l'endophysiotope restent inchangées [21, 22].

L'émergence d'un nouveau système, d'un nouvel endophysiotope, associé à un nouvel écoexotope ou à un écoexotope ancien libéré, est donc ***imprévisible, à la fois, qualitativement*** dans sa structure possible, *et quantitativement* quant à son temps de latence d'apparition et sa durée de survie ultérieure [18, 19].

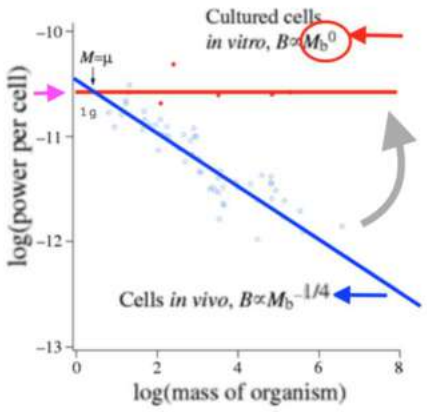
Les interactions entre endophysiotope et écoexotope sculptent la Nature et l'évolution des formes de vie qui partagent un même écoexotope de survie. Quels sont les facteurs de l'écoexotope qui modulent les lois puissances représentatives des interactions au sein de l'endophysiotope ? L'augmentation de la croissance en volume, en nombre de générations nécessaires, est 2 à 8 fois plus rapide en milieux aquatiques qu'en milieux terrestres. La réduction de croissance elle est 10 fois plus rapide en milieux terrestres. Le gigantisme s'installe plus vite en milieu marin. Le nanisme est typique des espaces insulaires. C'est en accord avec le fait que la variance INTRA-niveau est toujours supérieure à la variance INTER-niveaux (figure 9). C'est ***la montée en complexité des contrôles des interactions*** (figures 8 et 12)***, pour faire face aux changements*** [21, 22], qui permet à la fois la montée en complexité des niveaux d'organisation et une augmentation de la résilience des systèmes vivants, qui deviennent paradoxalement ***à la fois plus robustes et plus fragiles*** [10], plus robustes quand ils augmentent la capacité d'être accueilli de leur endophysiotope et plus fragiles s'ils augmentent trop la capacité d'accueil de leur écoexotope de survie : **figure 16**. Il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients. Pour survivre et se survivre toute forme de vie doit être intégrée au sein d'une ARMSADA (Bricage, 2011, 2016), -système de systèmes ***synallagmatique*** où tous les partenaires sont unis pour le meilleur et pour le pire [24], dans lequel pour qu'un partenaire survive il faut d'abord que tous les autres survivent [24], -réseau de réseaux où les rétro-actions ago-antagonistes, à produit constant, entre la capacité d'accueil (HOSTING) de l'écoexotope et la capacité d'être accueilli (to be HOSTED) de l'endophysiotope, permettent l'émergence par percolation, puis la maintenance du nouveau système, quels que soient les nouveaux acteurs (figure 15a).

L'homme n'est pas une exception [23].

13 Une Chaîne de Markov est définie par une matrice dont les lignes et les colonnes se réfèrent aux types d'interaction, les éléments de chaque ligne indiquant leurs probabilités (Bair, 2016).

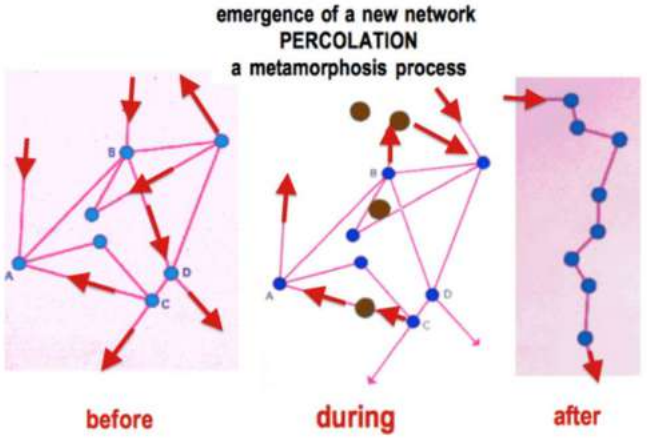


14a. Rupture indicatrice d'un changement phénotypique. (adapté d'après West et al., 1999; Poorter et al., 2015)

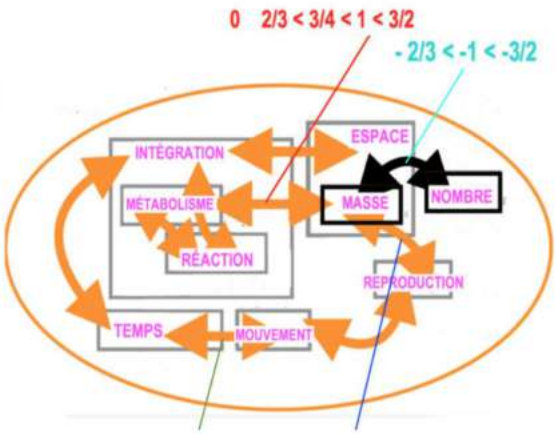


14b. Changement indicateur d'un état nouveau. (adapté d'après West et al., 2002)

Figure 14. Changements physiologiques et changement de pente/d'exposant de la loi puissance.



15a. Percolation : a 4D interaction process.



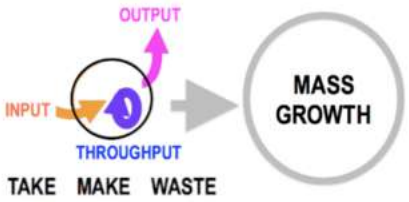
15b. A chaque **interaction bidirectionnelle** peut être affectée une **loi puissance** dont l'**exposant** dépend du niveau d'organisation et du type d'intégration.

Figure 15. Processus de percolation et diagramme quantifié en chaîne de Markov.

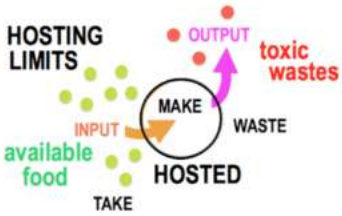
Figure 16. Inter-dépendance et inter-actions bidirectionnelles entre écoexotope et endophysiotope.
The power-law of inter-actions between the ecoexotope LIMITS and the endophysiotope LIMITATIONS.
From chance to choice?

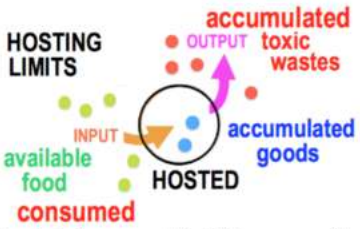
To survive every living organism is **a TAKE-MAKE-WASTE but RECYCLE system** (figure 10a) which mass growth (figure 4d) is **limited by the limitation of matter and energy flows** (figure 9d). The survival duration is limited by continual changes of **the HOSTING LIMITS (the hosting capacity of the ecoexotope)**: **a minimum** (**min**) of food availability is needed for the survival and toxic wastes accumulation must not increase over a killing **maximum** (**MAX**). The **quality q** and **quantity Q** of the available food obeys an hyperbolic **law qQ=K**. Only a compromise between quality and quantity, ***"meden agan"***, through the reciprocal interactions between the **LIMITED HOSTING** CAPACITY of the ecoexotope and the CAPACITY TO BE **HOSTED LIMITATIONS** of the endophysiotope allows to attain, by chance, the adult state, and to get the reproduction capacity.

$$\mathbf{HOSTED^{p} \times HOSTING^{-n} = k}$$

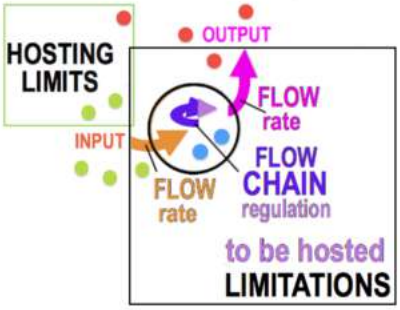


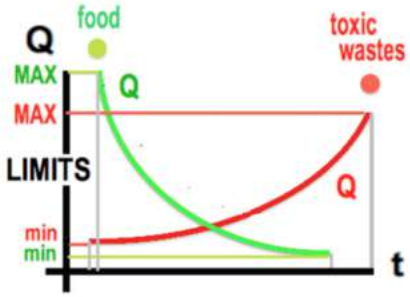
16a. Croissance en masse : flux d'échanges.



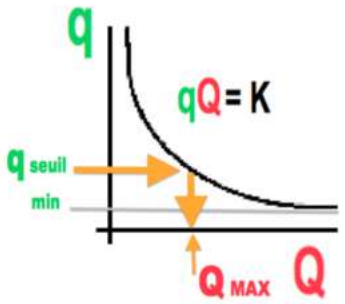


16b. LIMITES de la capacité d'accueil et de la capacité d'être accueilli.

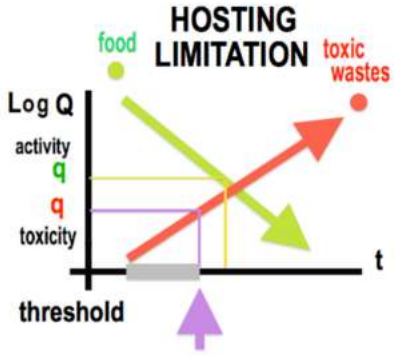


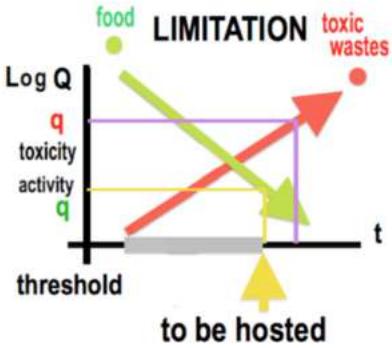


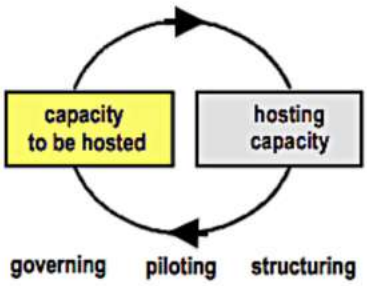
16c. Interactions entre **capacité d'accueil et capacité d'être accueilli**.



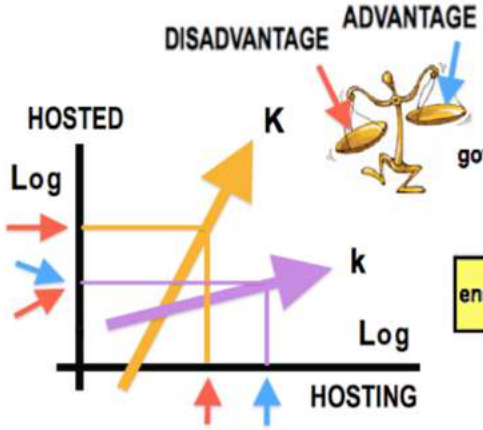
16d. Régulation à produit constant.

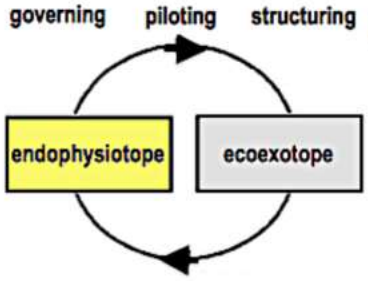


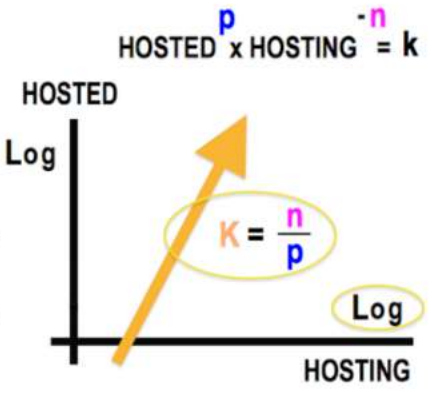




16e. LIMITATIONS : **seuils de toxicité** de l'écoexotope (capacité d'accueil limitée) **et d'activité** de l'endophysiotope.







16f.Interactions réciproques (**k = 1/K**) entre endophysiotope et écoexotope. 16g. Loi puissance de leur interaction.

Figure 16. Inter-dépendance et inter-actions bidirectionnelles entre écoexotope et endophysiotope.
La croissance en masse (**16a**) est dépendante de la consommation de matière et d'énergie (TAKE) et de la production de déchets (WASTE). Les limites de l'écoexotope d'accueil (HOSTING) imposent une limitation des inter-actions entre capacité d'accueil et capacité d'être accueilli (**16c**). Une régulation à produit constant (**16d**, **16g**) est déterminée par les interactions entre l'inné (HOSTED : temps de latence et seuil d'activité) et l'acquis (aliments et toxiques) (**16e**, **16f**).

CYBERSYSTEMICS

How to capture the comprehensive nature of complex systems and processes as a whole?

CyberSystemics abounds of celebrities ...

If you know these authors or these words, you have practiced already cybersystemics without knowing it!

R. ASHBY (**requisite variety**), Gregory BATESON (**inter-personal communication**), Henri BERGSON (**creative changing & evolution**), Claude BERNARD (**homeostasis**), Elie BERNARD-WEIL (**agoantagonism, paradoxical strategies**), BERTIN (diagrams, networks, maps: **graphic semiology**), BOLTZMANN (**behavior statistical laws**), BOOLE (**algebra**), BOULDING (**economic typology of systems**), BUNGE (**general typology of systems**), CANNON, Noam CHOMSKY (**language syntax**), L. COUFFIGNAL, Michel CROZIER (**multiple agents decision making systems**), Joël DE ROSNAY (*the macro-scope*), DE SAUSSURE (**linguistic structuralism**), Gérard DONNADIEU & Michel KARSKY (**systemic approach**), J.W. FORRESTER (**systems dynamics**), Michel FOUCAULT (**analogy**), Arthur KOESTLER (**wholeness**), LAVOISIER (**isomorphism**), Jean-Louis LE MOIGNE, LEIBNITZ, J. LESOURNE (**fate systems**), Claude LEVY-STRAUSS (**anthropologic structuralism**), Edward LORENZ (**butterfly effect**), James LOVELOCK (**Gaïa system**), MAC CULLOCH (**biomimicry**), Benoît MANDELBROT (**fractals, systems scaling invariance**, **theory of catastrophes**), Edgar MORIN (*the method*), Blaise PASCAL (**the Whole and the parts**), Louis PASTEUR, Jean PIAGET (**psychological structuralism**), PRIGOGINE (**autonomy & auto-organization, dissipation structures**), PYTHAGORE, Michel SERRES (**communication interference**), Claude SHANNON (**communication, quantitative theory of information**), SKINNER (**behavior**), Herbert SPENCER (**progress**), TARSKY (**theory of models**), Pierre TEILHARD DE CHARDIN (**man cosmic system**), Paul VALERY (**models & modeling**), Ludwig VON BERTALANFFY (**general system theory**), VON FOERSTER, (**information**), VON NEUMANN & MORGENSTERN (**games theory**), Norbert WIENER (**cybernetics**).

Figure 17. Cybernetics & Systems Sciences: history by paradigms, concepts and their Authors.

références

[3] CROISSANCE EN MASSE ou/et EN VOLUME et MÉTABOLISME

Bricage P. (2000) *Systèmes biologiques : **le "jeu" de la croissance et de la survie.** Quelles règles ? Quelles décisions ? Quels bilans ?* "La décision systémique" Atelier AFSCET, Institut International d'Administration Publique, Paris, France, 6 p., **CC-License**, http://www.afscet.asso.fr/JdVie1.pdf

Brown M.F., T.P. Gratton & J.A. Stuart (2007) ***Metabolic rate does not scale with body mass** in cultured mammalian cells.* Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 292: R2115-R2121.

Cybenko G. (1989) *Approximation by superpositions of **a sigmoidal function**.* Math. Control Signals Syst., 2: 303-314.

Gougouli M., K. Kalantzi, E. Beletsiotis & K. Koutsoumanis (2011) *Development and application of **predictive models for fungal growth** as tools to improve quality control in yogurt production.* Food Microbiology, 28(8): 1453-1462.

Hou C., M. Kaspari, H.B. Vander Zanden & J.F. Gillooly (2010) ***Energetic basis of colonial living** in social insects.* Proc. Natl Acad. Sci. USA, 107(8): 3634-3638.

Kempes C.P., S. Dutkiewicz & M.J. Follows (2012) ***Growth, metabolic partitioning, and the size** of microorganisms.* Proc. Natl Acad. Sci. USA, 109(2): 495-500.

Marowa P., A. Ding & Y.Z. Kong (2016) *Expansins: roles in **plant growth** and potential applications in crop improvement*. Plant Cell Rep., 35: 949-965.

Marschall M. & M.C.F. Proctor (2004) *Are Bryophytes Shade Plants? **Photosynthetic Light Responses** and Proportions of Chlorophyll a, Chlorophyll b and Total Carotenoids.* Annals of Botany, 94: 593-603, 2004.

Wang Y.G. & M.R. Thomas (1995) *Accounting for **individual variability in the von Bertalanffy growth model**.* Can. J. Fish Aquat. Sci., 52: 1368-1375.

[4] CROISSANCE EN NOMBRE et ORGANISATION SPATIALE, MOUVEMENT

Bricage P. (1991) ***Évaluation des interactions entre les densité et diversité** des chenilles de Lépidoptères et les diversité et degré de défoliation des feuillus d'un bois. Mesure de la polyphagie et prédiction des pullulations potentielles.* Acta Entomologica Vasconae, 2: 5-21.

Bricage P. (2006) *Danger des représentations non-systémiques et pouvoir de prédiction des représentations systémiques en Sciences de la Vie*. ***Approche Systémique***. Journées AFSCET, Andé, France, 39 p. **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/pbAnde06txt.pdf

Good M.C., M.D. Vahey, A. Skandarajah, D.A. Fletcher & R. Heald (2013) ***Cytoplasmic Volume Modulates Spindle Size During Embryogenesis***. Science, 342(6160): 856-860.

White E.P., S.K.M. Ernest, A.J. Kerkhoff & B.J. Enquist (2007) ***Relationships between body size and abundance*** *in ecology*. Trends Ecol. Evol., 22: 323-330.

White J. & J.L. Harper (1970) ***Correlated changes in plant size and number*** *in plant populations*. J. Ecol., 58: 467-485.

Zeide B. & P. Pfeifer (1991) *A method for estimation of* ***fractal dimension*** *of tree crowns*. Forest Sci., 37: 1253-1265.

[5] CROISSANCE EN NOMBRE et ORGANISATION TEMPORELLE

Allstadt A.J., J.A. Newman, J.A. Walter, G. Korniss & T. Caraco (2016) ***Spatial Competition****: Roughening of an Experimental Interface.* Scientific Reports, 6(29908): 10 p.

Arata Y., Takagi H., Sako Y. & H. Sawa (2015) *Power law relationship between* ***cell cycle duration and cell volume*** *in the early embryonic development of Caenorhabditis elegans.* Frontiers in Physiology, 5: 529.

Bricage P. (1985) ***Mise en évidence d'une rétroaction*** *entre activités peroxydasiques et acidité titrable impliquant la fixation membranaire d'un* ***complexe multi-isozymique intracellulaire***. Bull. G.E.R.B. Paris, 17: 21-22.

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.* World Conference on Complex Systems, Agadir (Morocco), http://www.wccs14.org/keynotes.html

Lindstedt S.L. & W.A. Calder (1981) ***Body size, physiological time, and longevity*** *of homeothermic animals.* Quart. Rev. Biol., 56: 1-16.

Yamamura K. (2000) ***Colony expansion*** *model for describing the* ***spatial distribution of populations***. Popul. Ecol., 42: 161-169.

[6] DÉTERMINISME

Ago-antagonism: 'interaction is construction, construction is interaction'.

Boubakar L., J. Falk, H. Ducuing, K. Thoinet, F. Reynaud, E. Derrington & V. Castellani (2017) ***Molecular Memory of Morphologies*** *by Septins during Neuron Generation Allows Early* ***Polarity Inheritance***. Neuron, 95(4): 834-851.

Bricage P. (1998) ***La Survie des Systèmes Vivants.*** Atelier MCX20 "Prendre soin de l'homme", Centre Hospitalier Général de Pau, 19 octobre 1998, 3 p. . **CC-License**, http://web.univ-*pau*.fr/~bricage/VivantPauMCX20.pdf

Bricage P. (2000) ***La Survie des Organismes Vivants***. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Fac. Médecine St Pères, Paris, 4 février 2000, 44 p. . **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/SURVIVRE.pdf

Bricage P. (2000) *La nature de la violence dans la nature :* ***déterminismes écophysiologique et génétique de l'adaptation aux changements*** *dans les écosystèmes végétaux.* La Violence. Colloque AFSCET Andé, 18 mars 2000, 7 p. **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/ViolencePB.html

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

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

[7] ÉCOLOGIE *et* ÉCONOMIE, ÉCOEXOTOPE

'to survive that is to eat and not to be eaten, sooner or later every living being will be eaten'

Bricage P. (1976) *Un aspect de la flore et de la faune de la côte sableuse et rocheuse des mamelles. Quelques* ***aspects des rapports entre les êtres vivants et leur milieu de vie : exemples d'actions des facteurs du milieu sur les êtres vivants.*** Bull. AASNS Dakar, Sénégal, 55: 17-41.

Bricage P. (1980) *Étude des phénotypes pigmentaires du bissap, Hibiscus sabdariffa L., Malvacées. II.* ***Résistance aux agressions climatiques et biologiques.*** Bull. IFAN A, 42-4: 679-701.

Bricage P. (1984) *Étude des phénotypes pigmentaires du bissap, Hibiscus sabdariffa L., Malvacées. IV.* ***Influence des phénotypes parentaux et des conditions stationnelles sur la germination et le développement des individus : compétition entre individus***. Bull. IFAN A, 46-1/2: 140-166.

Bricage P. (2014) ***Living Networks of Networks****: The Societal and Environmental Responsibility of Humanity in the Fight between Humans and the Wild*. In Social Responsibility Beyond Neoliberalism and Charity. (Mulej M. & R.G. Dick editors). Volume 4: Social Responsibility - Methods, Dilemmas and Hopes., Chapter 13, pp. 252-272. (Bentham Science Publishers, Oak Park, USA)

Chowell G., L.M.A. Bettencourt, N. Johnson, W.J. Alonso & C. Viboud (2008) *The 1918–1919 influenza pandemic in England and Wales: spatial patterns in transmissibility and mortality impact.* Proc. R. Soc. B, 275: 501-509.

Döring T. F. (2015) *Grain Legume* ***Cropping Systems*** *in Temperate Climates*. In Grain Legumes. Handbook of Plant Breeding, A. M. De Ron Editor, New York, Springer Science-Business Media, pp. 401–434.

Ducklow H.W., O. Schofield, M. Vernet, S. Stammerjohn & M. Erickson (2012) ***Multiscale control of*** *bacterial* ***production*** *by phytoplankton* ***dynamics*** *and sea ice along the western Antarctic Peninsula: A regional and decadal investigation.* J. Marine Systems, 98-99: 26-39.

Hatton I.A. et al. (2015) ***The predator–prey power law****: biomass scaling across terrestrial and aquatic biomes.* Science, 349: 1070-1070.

Lynch M. & G.K. Marinov (2015) *The* ***bioenergetic costs of a gene***. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 112(51): 15690-15695.

Podobnik B., B.E. Baaquie, S. Bishop, D. Njavro & B. Li (2013) ***Growth Versus Government Management*** Improvement During Economic *Downturn.* Scientific Reports, 3(1612): 1-7.

Slater G.J., J.A. Goldbogen & N.D. Pyenson (2017) ***Independent evolution of baleen whale gigantism*** *linked to Plio-Pleistocene ocean dynamics*. Proc. R. Soc. B, 284: 20170546, 8 p.

Woodcock S. et al. (2007) *Neutral* ***assembly of bacterial communities***. FEMS Microbiology Ecology, 62(2):171-180.

[8] ENDOPHYSIOTOPE : ORGANISATION FONCTIONNELLE, FONCTIONS, FONCTIONNEMENTS

'There are never advantages without disadvantages.
Greater the advantages, greater the disadvantages.'

Banavar J.R., T.J. Cooke, A. Rinaldo & A. Maritan (2014) ***Form, function, and evolution*** *of living organisms.* Proc. Natl Acad. Sci. USA, 111(9): 3332-3337.

Barthélémy D. & Y. Caraglio (2007) *Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to* ***plant form, structure and ontogeny***. Annals of Botany, 99: 375-407.

Becker S.A., N.D. Price & B.Ø. Palsson (2006) *Metabolite coupling in* ***genome-scale metabolic networks****.* BMC Bioinformatics, 7(111): 14 p.

Bricage P. (1982) *Pigmentation and soluble peroxidase* ***isozyme patterns*** *of leaves of Pedilanthus tithymaloides L. variegatus as a result of daily temperature differences*. Plant Physiology, 69: 668-671.

Bricage P. (2005) ***The Metamorphoses of the Living Systems*** *: The Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages*. European Systems Science Congress, Paris, France, Res-Systemica, 5: 12 p. **CC-License**, http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Paris05/bricage.pdf

Capra F. & P.L. Luisi (2016) ***The Systems View of Life: A Unifying Vision***. Reprint Edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 510 p.

Mei J. & J.F. Gui (2015) *Genetic basis and biotechnological manipulation of* ***sexual dimorphism and sex determination*** *in fish.* Sci. China Life Sci., 58(2): 124-136.

Moses M., G. Bezerra, B. Edwards, J. Brown & S. Forrest (2016) *Energy and time determine* ***scaling in biological and computer designs***. Phil. Trans. R. Soc. B, 371: 1-11.

Reich P.B., J. Oleksyn, I.J. Wright, K. J. Niklas, L. Hedin & J.J. Elser (2010) ***Evidence of a general 2/3-power law of scaling*** *leaf nitrogen to phosphorus among major plant groups and biomes*. Proc. R. Soc. B, 277: 877-883.

Roussel D., K. Salin, A. Dumet, C. Romestaing, B. Rey & Y. Voituron (2015) *Oxidative phosphorylation efficiency, proton conductance and reactive oxygen species production of liver* ***mitochondria correlates with body mass*** *in frogs*. J. Exp. Biol., 218: 3222-3228.

West G., J. Brown & B. Enquist (1999) *A general model for the* ***structure and allometry of plant vascular systems***. Nature, 400: 664-667.

[9] ÉVOLUTION, ADAPTATION, EXAPTATION

'To survive that is to turn disadvantages into advantages and to avoid advantages turn to disadvantages.'

Aiewsakun P. & A. Katzourakis (2016) ***Marine origin of retroviruses*** *in the early Palaeozoic Era*. Nature Communications, 8: 13954, 12 p.

Bonchev D. & D.H. Rouvray Eds (2005) ***Complexity*** *in Chemistry, Biology and Ecology*. Springer, New York, 344 p.

Bricage P. (2000) *La nature de la violence dans la nature :* ***déterminismes écophysiologique et génétique de l'adaptation aux changements dans les écosystèmes végétaux.***, "La Violence.", Colloque AFSCET Andé, France, 7 p., **CC-License**, http://www.afscet.asso.fr/violencePB.html [web, 18 mars 2000]

Bricage P. (2002) *Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme,* ***le transformisme, une systémique du vivant***. Évolution du vivant et du social : Analogies et différences. Colloque AFSCET Andé, 20 p., **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf [web, 8 juin 2002]

Bricage P. (2002) ***The Evolutionary "Shuttle" of the Living Systems***. European Systems Science Congress, Hersonissos, Creta, Res-Systemica, 2: 6 p., **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/Bricage.pdf [web, 16 octobre 2002]

Bricage P. (2014) ***Local versus global and individual versus whole competition between and within*** *living systems. ARMSADA emergence and breaking*. Acta Europeana Systemica, 4(2): 1-15. **CC-License.**

Cavalier-Smith T. (2005) *Economy, Speed and Size Matter:* ***Evolutionary Forces Driving Nuclear Genome*** *Miniaturization and Expansion.* Annals of Botany, 95: 147-175.

De Long J.P., J.G. Okie, M.E. Moses, R.M. Sibly & J.H. Brown (2010) *Shifts in metabolic scaling, production, and efficiency across major* ***evolutionary transitions of life***. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 107: 12941-12945.

Dupont C.L., S. Yang, B. Palenik & P.E. Bourne (2006) *Modern proteomes contain* ***putative imprints of ancient shifts*** *in trace metal geochemistry.* Proc. Natl Acad. Sci. USA, 103(47): 17822-17827.

Koonin E.V. (2012) ***The Logic of Chance.*** *The Nature and Origin of Biological Evolution*. Pearson Education, New Jersey, USA, 515 p.

Maynard Smith J. (1978) ***Optimization theory in evolution***. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., 9: 31–56.

Ramsey G. & C.H. Pence (2016) ***Chance in Evolution***. UCP, Chicago, USA, 358 p.

Sella G. & A.E. Hirsh (2005) *The* ***application of statistical physics to evolutionary biology***. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 102(27): 9541-9546.

Southwood T.R.E., R.M. May & G. Sugihara (2006) *Observations on related* ***ecological exponents***. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 103(18): 6931-6933.

Speakman J.R. & E. Krol (2010) *Maximal* ***heat dissipation capacity and hyperthermia risk****: neglected key factors in the ecology of endotherms.* Journal of Animal Ecology, 79: 726-746.

Weiss K.M. & A.V. Buchanan (2011) ***Is Life Law-Like?*** Genetics, 188: 761-771.

Wiser M.J., N. Ribeck & R.E. Lenski (2013) ***Long-Term Dynamics of Adaptation*** *in Asexual Populations.* Science, 342: 1364-1367.

[10] HOMÉOSTASIE et HOMÉORHÉSIE, INTERACTIONS et RÉGULATIONS FONCTIONNELLES

Atanasov A.T. (2005) *The linear allometric* ***relationship between total metabolic energy*** *per life span and* ***body mass*** *of poikilothermic animals.* Biosystems, 82: 137-142.

Bigger J.T., R.C. Steinman, L.M. Rolnitzky, J.L. Fleiss, P. Albrecht & R.J. Cohen (1996) ***Power Law*** *Behavior of RR-Interval* ***Variability*** *in Healthy Middle-Aged Persons, Patients With Recent Acute Myocardial Infarction, and Patients With Heart Transplants.* Circulation, 93(12): 2142-2151.

Bricage P. (2010) *ARMSADA,* ***The way to be resilient and self-sustainable the living systems are running through.*** In Governance for a Resilient Planet. ISSS 54th International Congress, Waterloo, Canada, 12 p. (ISBN 978-1-906740-04-07) http://journals.isss.org/index.php/proceedings54th/article/view/1491 [web, 19 July 2010].

Bricage P. (2018) ***Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance des systèmes vivants***. ***-présentation-*** Journées annuelles de l'AFSCET à Andé, France, 05 mai 2018, 84 p. **CC-License**, [web, 07 mai 2018] http://afscet.asso.fr/Ande18/pbricage_Ande2018_interactions-PowerLaws_presentation.pdf

Wang C., B. Qi, C. Zhang & J. Cheng (2017) ***Identification of key genes*** *influenced by fixation stability in early fracture hematoma and elucidation of their roles in fracture healing*. Experimental and Therapeutic Medicine, 14: 4633-4638.

[11] INTÉGRATION

Alvarez-Sieiro P., M. Montalbán-López , D. Mu & O. P. Kuipers (2016) ***Bacteriocins*** *of lactic acid bacteria: extending the family.* Appl. Microbiol. Biotechnol., 100: 2939-2951.

Bricage P. (1988) *The isoperoxidase pattern changes and the pigment changes of Pedilanthus tithymaloides L. variegatus calli* ***as a result*** *of sucrose concentration and* ***phytoregulator content*** *of the culture medium and* ***daily temperature differences.*** Plant Science, 55: 169-173.

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

Bricage P. (2011) Balancing between individualism & collectivism, between union & breaking: ***for the one to survive, all the other ones must survive first.*** In Crises et réponses systémiques, Acta Europeana Systemica, 1: 18 p. (ISSN 2225-9635), **CC-License,** http://www.armsada.eu/files/pbARMSADA.pdf [web, 21 October 2011]

Deng J., J. Ran, Z. Wang, Z. Fan, G. Wang, M. Ji, J. Liu, Y. Wang, J. Liu & J.H. Brown (2012) *Models and tests of* ***optimal density and maximal yield*** *for crop plants*. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 109(39): 15823-15828.

Eloy C., M. Fournier, A. Lacointe & B. Moulia (2017) ***Wind loads and competition for light*** sculpt trees into ***self-similar structures***. Nature Communications, 8(1014): 12 p.

Fierer N., M. Breitbart, J. Nulton, P. Salamon, C. Lozupone, R. Jones, M. Robeson, R.A. Edwards, B. Felts, S. Rayhawk, R. Knight, F. Rohwer & R.B. Jackson (2007) Metagenomic and Small-Subunit rRNA Analyses Reveal the ***Genetic Diversity of Bacteria, Archaea, Fungi, and Viruses in Soil***. Appl. Environment. Microbiology, 73(21): 7059-7066.

Hall R.O., B.W. Taylor & A.S. Flecker (2011) *Detritivorous fish indirectly reduce insect secondary* ***production in a tropical river.*** Ecosphere, 2/12/135: 1-14.

Hamilton M.J., O. Burger, J.P. DeLong, R.S. Walker, M.E. Moses & J.H. Brown (2009) ***Population stability, cooperation****, and the invasibility of the human species*. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 106(30): 12255-12260.

Hu J., S. Iyer-Biswas, S.C. Sealfon, J. Wetmur, C. Jayaprakash & F. Hayot (2009) *Power-Laws in Interferon-B mRNA Distribution in* ***Virus-Infected Dendritic Cells***. Biophysical Journal, 97: 1984-1989.

Lynch M. & G.K. Marinov (2017) ***Membranes, energetics****, and evolution across the prokaryote-eukaryote divide.* ELIFE, 6(e20437): 29 p.

Van Nimwegen E. (2003) *Genome Analysis.* ***Scaling laws in the functional content of genomes***. Trends in Genetics, 19(9): 479-484.

Von Uexküll J. (1909) ***Umwelt und Innenwelt*** *der Tiere.* Springer Verlag, Berlin, 261 p.

Wearmouth V.J., M.J. McHugh, N.E. Humphries, A. Naegelen, M.Z. Ahmed, E.J. Southall, A.M. Reynold & D.W. Sims (2014) ***Scaling laws*** *of ambush predator 'waiting' behaviour are tuned to a common ecology*. Proc. R. Soc. B, 281: 1-9.

[12] LOIS PUISSANCE (ALLOMETRIC SCALING) 2/3 vs 3/2, 3/4, 1/4, 1/2, 1, 0

Albert A., J. Bair & D. Justens (2016) *La saga des* ***courbes médicales***. Tangente, HS58: 25-26.

Benzekry S. (2016) ***Les lois de la croissance*** *tumorale*. Tangente, HS58: 108-113.

Boulanger P. (2011) La surprenante divergence lente de ***la série harmonique***. Tangente, HS41: 92-94.

Brown J.E. (2010) *Spherical cows help to dump metabolism law:* ***3/4-power law is actually 2/3****.* http://reptilis.net/2011/04/07/metabolism-part-ii-msmr-and-the-myth-of-the-quarter-power-law

Brown, J.H., G.B. West & B.J. Enquist (2005). *Yes, West, Brown and Enquist's* ***Model of Allometric Scaling is both Mathematically Correct and Biologically Relevant.*** Funct. Eco., 19: 735-738.

Bricage P. (2009) *L'évolution créatrice: métamorphoses et* ***phylotagmotaphologie*** *du vivant.* In Lire l'évolution. Association Amis Teilhard de Chardin, Paris, France, 109 p. **CC-License,** http://tinyurl.com/phylotagmotaphologie [web, 13 novembre 2009] -Tableau 1-. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00423730/document

Criton M. (2011) ***Les fractions continues***. In ***Suites et séries***. Tangente, HS41: 68-71.

Dodds P.S., D.H. Rothman, J.S. Weitz (2001) ***Re-Examination of the "3/4-Law" of Metabolism***. J. Theor. Biol., 209: 9-27.

Hauchecorne B. (2011) ***Une série étonnante: l'exponentielle***. Tangente, HS41: 136-138.

Lavallou F. (2011) Les suites de Farey. Tangente, HS41: 48-51.

Reich P.B., J. Oleksyn, I.J. Wright, K.J. Niklas, L. Hedin & J.J. Elser (2010) ***Evidence of a general 2/3-power law of scaling*** *leaf nitrogen to phosphorus among major plant groups and biomes.* Proc. R. Soc. B, 277: 877-883.

[13] MÉTABOLISME, MOBILISATION de la MATIÉRE ET de l'ÉNERGIE, ÉCHANGES

"Survivre c'est manger et ne pas être mangé. Tôt ou tard il est impossible de ne pas être mangé."

Brett C.L., M. Donowitz & R. Rao (2005) Evolutionary origins of eukaryotic sodium/proton ***exchangers***. Am. J. Physiol. Cell Physiol., 288: C223–C239.

Bricage P. (1984) *Caractéristiques fonctionnelles des activités peroxydasiques des feuilles et cals d'une plante à* ***métabolisme acide crassulacéen****, Pedilanthus tithymaloides L. variegatus.* Can. J. Biochem. Cell Biol., 62: 901-907.

Bricage P. (1986) *Isoperoxidases, markers of surrounding and physiological changes, in situ in leaves and in vitro in calli of Pedilanthus tithymaloides L. variegatus: cell compartmentation and* ***polyfunctionality, control of activity*** *by phenols, specific roles.* In Molecular & Physiological Aspects of Plant Peroxidases, Univ. Genève, Suisse, pp. 261-265.

Bricage P. (2013) ***Mobilisation de la matière et de l'énergie****, et croissance, aux différents niveaux d'organisation des systèmes vivants : les principes organisateurs d'émergence des systèmes vivants.* 63 p. Thermodynamique du changement-Aspects systémiques, Journées annuelles AFSCET, Andé, [web, 2 juin 2013], **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/Ande13/pbAnde2013.pdf

Castellini M.A., G.L. Kooyman, P.J. Ponganis (1992) ***Metabolic Rates*** of Freely Diving Weddell Seals: ***Correlations*** with Oxygen Stores, Swim Velocity and Diving Duration. J. Exp. Biol., 165: 181-194.

Else P.L., M.D. Brand, N. Turner & A.J. Hulbert (2004) ***Respiration rate*** of hepatocytes ***varies with body mass*** in birds. J. Exp. Biol., 207: 2305-2311.

Gillooly J.F., A.P. Allen, J.H. Brown, J.J. Elser, C. Martinez del Rio, V.M. Savage, G.B. West, W.H. Woodruff & H.A. Woods (2005) ***The metabolic basis of whole-organism RNA*** and phosphorus content. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 102(33): 11923-11927.

Glazier D.S. (2005) Beyond ***the '3/4-power law': variation in the intra- and interspecific scaling*** of metabolic rate in animals. Biol. Rev. 80: 611-662.

Glazier D.S. (2014) ***Metabolic Scaling*** in Complex Living Systems. Systems, 2: 451-540.

Hemmingsen A.M. (1960) ***Energy Metabolism as Related to Body Size and Respiratory Surfaces***, and its Evolution. Rep. Steno Memorial Hosp. Nordisk Insulinlab., 9: 1-110.

Heusner A.A. (1991) ***Size and Power in Mammals***. J. Exp. Biol., 160(1): 25-54.

Kleiber M. (1932) ***Body Size and Metabolism***. Hilgardia, 6: 315-353.

Liu G., Z.K. Wang, D.B. Yang, Z.P. Liu & L. Wang (2016) ***Mitochondrial permeability transition*** and its regulatory components are implicated in apoptosis of primary cultures of rat proximal tubular cells exposed to lead. Arch. Toxicol., 90: 1193-1209.

Moyes C.D. & C.M.R. Lemoine (2005) Control of muscle bioenergetic gene expression: implications for ***allometric scaling relationships of glycolytic and oxidative enzymes***. J. Exp. Biol., 208: 1601-1610.

Nagy K.A. (2005) ***Field metabolic rate and body size***. J. Exp. Biol., 208: 1621-1625.

Poorter H. et al. (2015) ***How does biomass distribution change with size and differ among species?*** An analysis for 1200 plant species from five continents. New Phytol. 208 : 736-749 .

Savage V.M., A.P. Allen, J.H. Brown, J.F. Gillooly, A.B. Herman, W.H. Woodruff & G.B. West (2007) ***Scaling of number, size, and metabolic rate of cells with body size in mammals.*** Proc. Natl Acad. Sci. USA, 104(11): 4718-4723.

Suarez R.K. & C.A. Darveau (2005) ***Multi-level regulation and metabolic scaling.*** J. Exp. Biol., 208: 1627-1634.

Weibel E.R. & H. Hoppeler (2005) Exercise-induced ***maximal metabolic rate scales*** with muscle aerobic capacity. J. Exp. Biol., 208: 1635-1644.

West G.B. & J.H. Brown (2005) ***The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization.*** J. Exp. Biol., 208: 1575-1592.

Wheatley D.N. (2007) ***Convergence of metabolic rate*** of cultured cells from animals of different sizes. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 292: R2113–R2114.

White C.R. & R.S. Seymour (2005) ***Allometric scaling of mammalian metabolism.*** J. Exp. Biol., 208: 1611-1619.

Wirtz K.W. (2013) How fast can plankton feed? ***Maximum*** ingestion ***rate scales*** with digestive surface area. J. Plankton Res., 35(1): 33-48.

[14] MODÈLES, MODÉLISATION et SIMULATIONS, STATISTIQUES et LOIS PUISSANCE

Achlioptas D., A. Clauset, D. Kempe & C. Moore (2009) On the Bias of Traceroute Sampling: or, ***Power-Law Degree Distributions*** in Regular Graphs. Journal of the ACM, 56/4/21: 1-28.

Adams M.L. et al. (2018) Assessing the ***Reliability of Complex Models. Mathematical and Statistical Foundations of Verification, Validation and Uncertainty Quantification***. The National Academic Press, USA, 144 p.

Agutter P.S. & J.A. Tuszynski (2011) ***Analytic theories of allometric scaling.*** J. Exp. Biol., 214: 1055-1062.

Alper J. & A. Geller, Rapporteurs (2016) *How **Modeling** Can Inform Strategies to Improve Population Health.* The National Academies of Sciences, ***Engineering***, Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 120 p. http://nap.edu/21807

Axelrod R. (1987) ***Laws of Life.*** The Sciences, 27(2): 44-51.

Bair J. (2016) ***Markov*** *: les chaînes de l'espoir.* Tangente, HS58: 76-79.

Beleza Yamagishi M.E. (2017) ***Mathematical Grammar of Biology***. Springer, SBMAC, Switzerland, 81 p.

Boissière M. (2016) *Les débuts difficiles de la **statistique médicale***. Tangente, HS58: 14-17.

Bressan A., G.Q.-G. Chen, M. Lewicka & D. Wang (2013) ***Nonlinear Conservation Laws*** and Applications. Springer Science, New York, 491 p.

Bricage P. (1993) *Are the lunar, radiative and position, cycles responsible for the entrainment of the periodic awakenings of the man night sleep?* In **Biological Rhythms: from cell to man**. Polytechnica, Paris, pp. 183-190.

Bricage P. (2011) *About man Interventions in the living networks: **modelling with a qualitative animated semiological holistic point of view**, a systemic approach, an holistic way of education.* IASCYS workshop, UES-EUS, Bruxelles, Belgium, Acta Europeana Systemica, 1(3u): 1-25, http://aes.ues-eus.eu/aes2011/iascysWS_Bricage_text.pdf

Bricage P. (2013) ***Mobilisation de la matière et de l'énergie, et croissance,*** *aux différents niveaux d'organisation des systèmes vivants.* Thermodynamique du Changement. AFSCET, Andé, France, 63 p. **CC-License,** https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00830425 [web, 5 juin 2013]

Bricage P. (2013) *Time management by living systems: **time modularity, rhythms and conics running calendars.** Methodology, theory and applications.* System Research & Behavioral Science, 30(6): 677-692.

Criton M. (2011) ***Les fractions continues***. In Suites et séries. Tangente, HS41: 68-71.

Deng J., J. Ran, Z. Wang, Z. Fan, G. Wang, M. Ji, J. Liu, Y. Wang, J. Liu & J. H. Brown (2012) ***Models and tests*** *of optimal density and maximal yield for crop plants.* Proc. Natl Acad. Sci. USA, 109(39): 15823-15828.

Duke C.B. et al. -***Engineering and Physical Sciences National Research Council***- (2005) Network Science. The National Academies of Sciences, Engineering, Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 124 p. http://nap.edu/11516

Galas D.J. et al. -***Board on Life Sciences Division on Earth and Life Studies***- (2008) The Role of Theory in Advancing 21st-Century Biology. The National Academies of Sciences, Engineering, Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 208 p. http://nap.edu/12026

Gorochowski T.E. (2018) ***Agent-based modelling*** *in synthetic biology.* Essays in Biochemistry, 60/4/325: 1-20.

Huikuri H.V., T.H. Makikallio, K.E. Juhani Airaksinen, T. Seppanen, P. Puukka, I.J. Raiha & L.B. Sourander (1998) ***Power-Law Relationship of*** Heart Rate ***Variability as a Predictor*** of Mortality in the Elderly. Circulation, 97: 2031-2036.

Justens D. (2016) *Médicament versus placebo*. **Les Maths au service de la médecine.** Tangente, HS58: 88-90.

Kastner M.A. et al. -***Research Committee on Physics and Astronomy, Life Sciences, Chemical Sciences and Technology***- (2008) Research at the Intersection of the Physical and Life Sciences. The National Academies of Sciences, Engineering, Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 122 p. http://nap.edu/12809

Katz J.S. (2005). ***Scale Independent Bibliometric Indicators***. Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives, 3(1): 24-28.

Katz J.S. (2006) Indicators for ***complex innovation systems***. Res. Policy, 35:893-909.

Leshner A.I. et al. (2017) -***Committee on Behavioral and Social Sciences and Education***- The Value of Social, Behavioral, and Economic Sciences to National Priorities: A Report for the National Science Foundation. The National Academies of Sciences, Engineering, Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 52 p. http://nap.edu/24790

Liu M. & C. Bai (2016) Analysis of ***a stochastic tri-trophic food-chain model*** with harvesting. J. Math. Biol., 73: 597-625.

Liu M. & M. Fan (2017) Permanence of ***Stochastic Lotka–Volterra Systems***. J. Nonlinear Sci., 27: 425–452.

Morris W.F. & D.F. Doak (2002) ***Quantitative*** Conservation Biology. Sinauer Inc, Massachusetts, USA, 480 p.

Newman M.E.J. (2006) ***Power laws***, Pareto distributions and Zipf's law. arXiv:cond-mat/0412004v3, 28 p.

Olson M.V. et al. -***Committee on Mathematical Sciences Research***- (2005) Mathematics and 21st Century Biology. The National Academies of Sciences, Engineering & Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 162 p. http://nap.edu/11315

Schroeder M. (2012) ***Fractals, Chaos, Power Laws***. Minutes from an Infinite Paradise. Dover Publications, New York, USA, 429 p.

Sella G. & A.E. Hirsh (2005) The ***application of statistical physic***s to evolutionary biology. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 102(27): 9541-9546.

West G.B. & J.H. Brown (2005) ***The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization.*** J. Exp. Biol., 208: 1575-1592.

Wong W.C., H.K. Ng, E. Tantoso, R. Soong & F. Eisenhaber (2018) ***Finite-size effects*** in transcript sequencing count distribution: its ***power-law correction*** necessarily precedes downstream normalization and comparative analysis. Biology Direct, 13(2): 1-26.

Wooley J.C. & H.S. Lin, Editors -***Committee on Frontiers at the Interface of Computing and Biology***- (2005) Catalyzing Inquiry at the Interface of Computing and Biology. The National Academies of Sciences, Engineering, Medicine, NAP, Washington D.C., USA, 468 p. http://nap.edu/11480

[15] MOUVEMENT

'Whatever the organisation level, motions governance is Brownian motion governance!'

Bejan A. & J. Marden (2006) ***Locomotion : une même loi***. Pour La Science 346 : 68-73.

Bricage P. (2014) *Agoantagonisme,* ***rétrocession et émergence : organisation des systèmes vivants****, éducation à la systémique, santé et sociétalité*. Atelier AFSCET-AEIS, CNAM, Paris, Res-Systemica, 10(11): 1-19. **CC-License**.

Garland T. (1983) The ***relation between maximal running speed and body mass***s in terrestrial mammals. J. Zool., Lond., 199: 157-170.

Katz, J.S. & L. Katz (1999) ***Power Laws and Athletic Performance***. Journal of Sports Science, 17: 467-476.

Noujaim S.F., O. Berenfeld, J. Kalifa, M. Cerrone, K. Nanthakumar, F. Atienza, J.S. Mironov & J. Jalif (2007) ***Universal scaling law*** of electrical turbulence in the mammalian heart. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 104(52): 20985-20989.

Noujaim S.F., E. Lucca, V. Muñoz, D. Persaud, O. Berenfeld, F.L. Meijler & J. Jalife (2004) From Mouse to Whale: ***A Universal Scaling Relation*** for the PR Interval of the Electrocardiogram of Mammals. Circulation, 110: 2802-2808.

Schaal S. & D. Sternad (2001) Origins and violations of ***the 2/3 power law in rhythmic three-dimensional arm movements***. Exp. Brain Res., 136(1) : 60-72.

[16] MOUVEMENT BROWNIEN, BROWNIAN MOTION PROCESSES

Bricage P. (2014) *Loi puissance d'invariance spatiotemporelle des* ***systèmes vivants***. Revista Internacional de Sistemas, 19: 5-33. **CC-License**.

Burnecki K., E. Kepten, J. Janczura, I. Bronshtein, Y. Garini, & A. Weron (2012) *Universal Algorithm for* ***Identification of Fractional Brownian Motion.*** *A Case of Telomere Subdiffusion.* Biophysical Journal, 103: 1839-1847.

Comegna A., A. Coppola, V. Comegna, A. Sommella & C.D. Vitale (2013) *Use of* ***a fractional brownian motion model*** *to mimic spatial horizontal variation of soil physical and hydraulic properties displaying a* ***power-law*** *variogram.* Procedia Environmental Sciences, 19: 416-425.

Di Rienzo C., V. Piazza, E. Gratton, F. Beltram & F. Cardarelli (2014) *Probing short-range protein* ***Brownian motion*** *in the cytoplasm of living cells*. Nature Communications, 5(5891): 1-8.

Estrade A. & M. Pontier (2011) *Aider à la détection de l'ostéoporose*. ***Le champ Brownien fractionnaire.*** Tangente, HS41: 54-58.

Hunter G.L., K.V. Edmond, M.T. Elsesser & E.R. Weeks (2011) *Tracking rotational* ***diffusion of colloidal clusters***. Optics Express, 19(18): 17189-17202.

O'Malley D., J.H. Cushman & G. Johnson (2011) ***Scaling laws for fractional Brownian motion with power-law clock.*** Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 1: 9 p. [Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Faculty Publications, Paper 136]

Perrin F. (1928) Étude mathématique du ***mouvement Brownien de rotation***. Ann. Sci. Ec. Normale Super., 3(45): 1-51.

Taillefumier T. & M.O. Magnasco (2013) *A phase transition in the first passage of a* ***Brownian process*** *through a fluctuating boundary with implications for neural coding*. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 110(16): E1438-E1443.

Volobuev A.N., P.I. Romanchuk & V.K. Malishev (2013) *About one form of writing of the Hardy-Weinberg* ***law***. Natural Science, 5(6): 724-728.

[17] NIVEAUX D'ORGANISATION

Azevedo R.B.R. & A.M. Leroi (2001) ***A power law for cell***s. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 98(10): 5699-5704.

Bricage P. (2001) *Pour survivre et se survivre, la vie est* ***un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie***. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Institut International Administration Publique, Paris, 11 p. **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*. Évolution du vivant & du social, Colloque Afscet (Andé, France), 28 p. **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/heritage.pdf

Brown M.F., T.P. Gratton & J.A. Stuart (2007) *Metabolic rate does not scale with body mass in* ***cultured mammalian cells***. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 292: R2115–R2121.

Cael B.B., M. C.G. Carlson, C.L. Follett & M.J. Follows (2018) *Marine* ***Virus-Like Particles*** *and Microbes: A Linear Interpretation*. Front. Microbiol., 9(358): 4 p.

Caetano-Anollés G., B.F. Minhas, F. Aziz, F. Mughal, K. Shahzad, G. Tal, J.E. Mittenthal, D. Caetano-Anollés, I. Koç, A. Nasir, K. Caetano-Anollés & K.M. Kim (2017) *The Compressed* ***Vocabulary of the Proteins of Archaea***. In Biocommunication of Archaea, Springer International Publisher, New York, pp.147-174.

De Grandi S., S. Ettori, M. Longhetti & S. Molendi (2004) *On the iron content in rich nearby* ***clusters of galaxies.*** Astronomy & Astrophysics 419: 7-18.

Gieles M., S.S. Larsen, N. Bastian & I.T. Stein (2006) *The luminosity function of young* ***star clusters****: implications for the maximum mass and luminosity of clusters.* Astronomy & Astrophysics, 450: 129-145.

Marquet P.A., R.A. Quiñones, S. Abades, F. Labra, M. Tognelli, M. Arim & M. Rivadeneira (2005) *Scaling and power-laws in* ***ecological systems***. J. Exp. Biol., 208: 1749-1769.

McKenzie D. & M.C. Kennedy (2012) *Power laws reveal* ***phase transitions in landscape controls*** *of re regimes*. Nature Communications, 3(726): 6 p.

Rambo R.P. & J.A. Tainer (2013) ***Accurate assessment of mass, models and resolution*** *by small-angle scattering.* Nature, 496: 477-481.

[18] ORGANISATION SPATIALE : ESPACE-TEMPS, MODULARITÉ, RÉSEAUX, NETWORKS

Albert R. (2005) ***Scale-free networks*** *in cell biology*. Journal of Cell Science, 118(21): 4947-4957.

Barabasi A.L., (2016) ***Network*** Science. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 475 p.

Barabasi A.L., E. Ravasz & T. Vicsek (2001) ***Deterministic Scale-Free Networks***. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 299(3-4): 559-564.

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

Bricage P. (2007) *Comment les systèmes biologiques mettent-ils en place (team building) des* ***organisations, juxtaposées et imbriquées en réseaux (networks), "groupwares" robustes et durables*** *? Quels sont les facteurs limitants de ces processus ?* Journées annuelles AFSCET, Intelligence des systèmes & action collective, Andé, France, 42 p. **CC-License**, http://www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf

Dobson G.P. & U. Himmelreich (2002) *Heart design: free ADP* ***scales*** *with absolute* ***mitochondrial*** *and myofibrillar* ***volumes*** *from mouse to human.* Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics, 1553(3): 261-267.

Komjathy J. & K. Simon (2011) *Generating* ***Hierarchical Scale Free Graphs*** *From* ***Fractals****. Solitons & Fractals*, arXiv:1104.1024v1, 30 p.

Lima-Mendez G. & J. van Helden (2009) *The powerful law of the power law and other myths in* ***network biology.*** Mol. BioSyst., 5: 1482-1493.

Ravasz E. & A.L. Barabasi (2002) ***Hierarchical organization in complex networks***. arXiv:cond-mat/0206130v2, 7 p.

Van Doorslaer K., V. Ruoppolo, A. Schmidt, A. Lescroe, D. Jongsomjit, M. Elrod, S. Kraberger, D. Stainton, K. M. Dugger, G. Ballard, D.G. Ainley & A. Varsani (2017) ***Unique genome organization*** *of non-mammalian papillomaviruses provides insights into the evolution of viral early proteins.* Virus Evolution, 3(2): 1-12.

Vivante A., E. Brozgol, I. Bronshtein & Y. Garini (2017) ***Genome organization in the nucleus****: From dynamic measurements to a functional model.* Methods, 123: 128-137.

Wang Z., A. Szolnoki & M. Perc (2012) *If players are sparse social dilemmas are too: Importance of* ***percolation*** *for evolution of cooperation.* Scientific Reports, 2(369): 11 p.

Yan Z., P. Li, Y. Chen, W. Han & J. Fang (2015) *Nutrient allocation strategies of woody plants: an approach from the* ***scaling*** *of nitrogen and phosphorus* ***between twig stems and leaves.*** Scientific Reports, 6(20099): 9 p.

Zhang K. & T.J. Sejnowski (2000) *A* ***universal scaling law*** *between gray matter and white matter of cerebral cortex.* Proc. Natl Acad. Sci. USA, 97(10): 5621-5626.

[19] ORGANISATION TEMPORELLE

Aiewsakun P. & A. Katzourakis (2015) ***Time dependency*** *of foamy virus evolutionary rate estimates*. BMC Evolutionary Biology, 15(119): 15 p.

Bricage P. (1985) ***Chronobiology*** *of the multiple molecular steps and pathways of in situ anthocyanin biosynthesis of Lathyrus macrorhizus Wimm leaves.* Bull. G.E.R.B., 17: 16.

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

Bricage P. (2013) Time Management by Living Systems: ***Time Modularity, Rhythms*** and Conics Running Calendars. Methodology, Theory and Applications. Systems Research and Behavioral Science, 30: 677-692.

Gillooly J.F., E.L. Charnov, G.B. West, V.M. Savage & J.H. Brown (2002) ***Effects of size and temperature on developmental time***. Nature, 417: 70-73.

Martin A.P. & S.R. Palumbi (1993) ***Body size, metabolic rate, generation time, and the molecular clock***. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 90: 4087-4091.

Robert L. & J. Bernard (1994) ***Le Vieillissement*** : de l'homme à la cellule. CNRS, Belin, Paris, 199 p.

Speakman J.R. (2005) ***Body size, energy metabolism and lifespan***. J. Exp. Biol., 208: 1717-1730.

Vallée R. (1991) Perception, memorisation and ***multidimensional tim***e. Kybernetes, 20(6): 14-27.

Xiang H., Y.L. Tang & H.F. Huo (2017) ***A Viral Model*** with Intracellular ***Delay*** and Humoral Immunity. Bull. Malays. Math. Sci. Soc., 40: 1011-1023.

[20] PARADIGMES

"Il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients. Survivre c'est transformer les inconvénients en avantages et éviter que les avantages deviennent des inconvénients. Seules perdurent les Associations à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés (ARMSADA), rendant les partenaires plus indépendants de leur écoexotope commun de survie, et plus dépendants les uns des autres."

Bricage P. (1991) ***Les caractéristiques des organismes vivants***. APIDS, UPPA, UFR sciences, Pau, 42 p.

Bricage P. (1998) ***La Survie des Systèmes Vivants.*** Atelier MCX20 "Prendre soin de l'homme", CHG Pau, 19 octobre 1998, 3 p. **CC-License**, http://web.univ-pau.fr/~bricage/VivantPauMCX20.pdf

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

Bricage P. (2000) *La nature de la violence dans la nature :* ***déterminismes écophysiologique et génétique de l'adaptation aux changements*** *dans les écosystèmes végétaux*. La Violence. Colloque AFSCET Andé, 18-19 mars 2000, 7 p. **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/ViolencePB.html

Bricage P. (2001) ***A new evolutionary paradigm****: the Associations for the Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages*. In The Creation of a Sustainable Society Depends on Innovative Systems Thinking. 100th Anniversary of Karl Ludwig von Bertalanffy's International Conference on Systems Thinking 'Unity through Diversity', Vienna, Austria, 1 p. **CC-License.**

Bricage P. (2008) *Cancer is a* ***breaking of the cell's ARMSADA through an aggression*** *that results in a lack of non-autonomy.* UES-EUS Congress, APOCOSIS, Lisboa, Portugal, Res-Systemica, 6: 1-8 p. & 26 p., **CC-License**.

Bricage P. (2014) ***Agoantagonisme, rétrocession et émergence*** *: organisation des systèmes vivants, éducation à la systémique, santé et sociétalité*. Res-Systemica, 10(11): 19 p. **CC-License.**

Brown J.H., C.A.S. Hall & R.M. Sibly (2018) ***Equal fitness paradigm*** *explained by a trade-off between generation time and energy production rate.* Nature Ecology & Evolution, 2 : 262-268.

Capra F. (1975) *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism*. Shambala Publications, Boulder, Colorado, USA, 356 p.

Capra F. (1997) *The Web of Life*. Anchor Academic Publishing, Knopf Doubleday Publishing Group, New York, USA, 368 p.

Clegg B. (2012) *The Universe Inside You. The Extreme Science of the Human Body* ***from Quantum Theory to*** *the Mysteries of the Brain*. Icon Books, London, 224 p.

Frigg R. (2016) ***Chance and Determinism***. In Hájek A. & C. Hitchcock (eds): The Oxford Handbook of Probability and Philosophy. Oxford, OUP, pp. 460-474.

Lemoigne J.L. (2005) ***Complexity needs strategy first*** *rather than simplification. Why I am a satisficing and unrepentant Simonian.* In J. Finch & M. Orillard (eds): Complexity and the Economy, Implication for Economic policy, pp. 54-76.

Lyon A. (2011) *Deterministic probability:* ***neither chance nor credence***. Synthese, 182: 413-432.

Weaver W. (1948) *Science and* ***Complexity***, American Scientist, 36: 536-544.

[21] RÉACTIONS AUX STIMULATIONS

Bricage P. (1984) *Lathyrus macrorhizus :* ***influence des facteurs stationnels sur la floraison*** *in situ*. Can. J. Bot., 62: 241-245.

Bricage P. (2007) *Comment les systèmes biologiques mettent-ils en place (****team building****) des organisations, juxtaposées et imbriquées en réseaux (networks),* ***"groupwares"*** *robustes et durables ? Quels sont les* ***facteurs limitants*** *de ces processus ?* Journées annuelles AFSCET, Intelligence des systèmes & action collective, Andé, France, 42 p. **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf

Drew P.J. & L.F. Abbott (2006) *Models and Properties of* ***Power-Law Adaptation in Neural Systems***. J. Neurophysiol., 96: 826–833.

Klaus A., S. Yu & D. Plenz (2011) *Statistical Analyses Support Power Law Distributions Found in* ***Neuronal Avalanches***. PLoS ONE, 6(5): e19779, 1-12.

Liu K.X., L.L. Wu, J.H. Lü & H.H. Zhu (2016) **Finite-time adaptive consensus** of a class of multi-agent systems. Sci. China Tech. Sci., 59: 22-32.

Medina J.M., J.A. Díaz & K.H. Norwich (2014) *A theory of* ***power laws in human reaction times****: insights from an information-processing approach.* Frontiers in Human Neuroscience, 8(621): 1-4.

Mi L.V., C. Wang, G. Ren, J. Ma & X.L. Song (2016) Model of **electrical activity** in a neuron **under magnetic flow effect**. Nonlinear Dyn., 85: 1479-1490.

Vallée R. (1994) ***Perception, decision and action***. Biological Systems, 2: 43-53.

[22] RÉTRO-ACTIONS et INTERACTIONS, RÉSEAUX (NETWORKS)

'interaction is construction, construction is interaction'

Barabasi A.L. (2014) ***Linked****. How Everything Is Connected to Everything Else. What It Means for Business, Science and Everyday Life*. Basic Books, New York, 304 p.

Bricage P. (2005) *Le langage du vivant :* ***plurilinguisme, transfrontaliérité et associativité***. Congrès national ANLEA, UPPA, Pau, France. 9 p. **CC-License,** http://www.abbayeslaiques.asso.fr/BIOsystemique/ANLEA05PauPB.pdf

Bricage P. (2007) *Comment les systèmes biologiques mettent-ils en place (****team building****) des organisations, juxtaposées et imbriquées en réseaux (****networks****) ,* ***"groupwares"*** *robustes et durables ? Quels sont les facteurs limitants de ces processus ?* Journées annuelles AFSCET, Intelligence des systèmes & action collective, Andé, 2 juin 2007, 42 p. **CC-License,** http://www.afscet.asso.fr/Ande07pb.pdf

Bricage P. (2007) ***Les boucles "constructales"*** en sciences de la vie : l'intelligence est-elle dans les boucles ? Journées annuelles AFSCET, Intelligence des systèmes & action collective, table ronde : l'intelligence des boucles, Andé, 3 juin 2007, 6 p. **CC-License**, http://afscet.asso.fr/halfsetkafe/textes-2007/Bricage-boucles-19juin07.pdf

Capra F. (2002) ***The Hidden Connections***. Doubleday, New York, USA, 320 p.

Qian J., N.M. Luscombe & M. Gerstein (2001) *Protein family and fold occurrence in* ***genomes: power-law behaviour*** *and evolutionary model*. J. Mol. Biol., 313(4): 673-681.

Rybski D., S.V. Buldyrev, S. Havlin, F. Liljeros & H.A. Makse (2012) Communication activity in a ***social network: relation between long-term correlations and inter-event clustering***. Scientific Reports, 2(560): 1-7.

Sanchez C., C. Lachaize, F. Janody, B. Bellon,L. Röder, J. Euzenat, F. Rechenmann & Jacq B. (1999) Grasping at ***molecular interactions and genetic networks*** in Drosophila melanogaster using FlyNets, an Internet database. Nucleic Acids Res., 27(1): 89-94.

Smith J.E.T., N.Y. Masse, C.A. Zhan & E.P. Cook (2012) ***Linking*** Neural ***Activity to*** Visual ***Perception***: Separating Sensory and Attentional Contributions. *In* Visual Cortex – Current Status and Perspectives. InTech, Chap. 7, pp. 161-184.

West G.B., W.H. Woodruff & J.H. Brown (2002) ***Allometric scaling of metabolic rate*** from molecules and mitochondria to cells and mammals. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 99(1): 2473-2478.

[23] SOCIÉTÉS HUMAINES : STRUCTURES FONCTIONNELLES

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***. Presses de l'Université des Sciences Sociales, Toulouse, France, pp. 111-117.

Bricage P. (2011) ***The Social and Environmental Responsibility of Mankind***. In Social Responsibility, Acta Europeana Systemica, 1: 25 p. (ISSN 2225-9635), **CC-License,** http://www.armsada.eu/files/pbManSERqash.pdf [web, 21 October 2011].

Bricage P. (2015) *Living and banking systems comparison. Prisoners' dilemma* ***"win-win" is not the solution.*** Advances in Systems Science and Applications, 15(2): 150-165.

Bricage P. (2017) *Man next challenge for survival.* ***Las Asociaciones con Ventajas e Inconvenientes Recíprocos y Partidos***. In Los Valores del Quijote, Giménez Chornet V, Colomer Viadel A, eds. Universitat Politècnica de València, Spain, pp. 263-273. **CC-License.**

Buchanan A., D.W. Brock, N. Daniels & D. Wikler (2001) ***From Chance to Choice***. Genetics and Justice. Cambridge University Press, 414 p.

Capra F. (1988) ***The Turning Point: Science, Society***, and the Rising Culture. Non Basic Stock Line Publisher, Open Library, Internet Archive, 464 p.

Chen X., L. Zhang & W. Li (2014) A ***Network Evolution Model*** for Chinese Traditional Acquaintance Networks. IEEE Intelligent Systems, 05(29): 5-13.

Hamilton M.J., O. Burger, J.P. DeLong, R.S. Walker, M.E. Moses & J.H. Brown (2009) ***Population stability, cooperation***, and the ***invasibility of the human species***. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 106(30): 12255-12260.

Muchnik L., S. Pei, L.C. Parra, S.D.S. Reis, J.S. Andrade, S. Havlin & H.A. Makse (2015) Origins of ***power-law degree distribution in the heterogeneity of human activity*** in social networks. Scientific Reports, 3: 1783, 1-7.

Ortman S.G., A.H.F. Cabaniss, J.O. Sturm & L.M.A. Bettencourt (2015) ***Settlement scaling*** and increasing returns in an ancient society. Sci. Adv., 20015/1/e1400066: 1-8.

Shi P., J. Zhang, B. Yang & J. Luo (2014) ***Hierarchicality of Trade Flow Networks*** Reveals Complexity of Products. PLoS ONE, 9(6): e98247, 1-10.

Stephen A.T. & O. Toubia (2009) Explaining the ***power-law degree distribution in a social commerce network***. Social Networks, 31(4): 262-270.

Stroh D.P. (2015) ***Systems Thinking For Social Change***: A Practical Guide to Solving Complex Problems, Avoiding Unintended Consequences, and Achieving Lasting Results. Chelsea Green Publishing, Chelsea, UK, 264 p.

Zyga L. (2012) Serial killing follows ***predictable pattern*** based on brain activity. arXiv:1201.2458v1, Phys.org, 3 p. https://phys.org/news/2012-01-serial-pattern-based-brain.html [Simkin M.V. & V.P. Roychowdhury (2011) Stochastic modeling of a serial killer., physics.soc-ph, 5 p.]

[24] SYMBIOSES

'For the one to survive the other one must survive first!'

Armstrong R.A. (2011) *The biology of the crustose lichen Rhizocarpon geographicum*. ***Symbiosis***, 55(2): 53-67.

Bricage P. (2005) *The cell originated through successive outbreaks of networking and homing into* ***Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages****, between the partners, with a benefit only for their wholeness.* UES-EUS Congress, Paris, France, Res-Systemica, 5: 1-11. **CC-License**.

Bricage P. (2007) ***Les systèmes agoantagonistes*** *: l'origine endosyncénotique de la cellule*. In La Gouvernance dans les Systèmes. (AFSCET, UES-EUS, Paris). Polimetrica, Milan, Italy, pp. 67-72, **CC-License**, http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Paris05/bricage.pdf

Bricage P. (2009) ***L'évolution créatrice*** *: métamorphoses et phylotagmotaphologie du vivant*. Teilhard : Lire L'Évolution. Centre de Sèvres, Paris, France, 109 p. **CC-License**, http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00423730/fr

Bricage P. (2011) *La semi-autonomie du vivant :* ***pour que l'un survive, il faut d'abord que l'autre survive, et réciproquement.*** In Crises et Réponses Systémiques, UES-EUS Congress, Bruxelles, Belgique, Acta Europeana Systemica, 1(2b): 1-28. **CC-License**, http://www.armsada.eu/files/pbARMSADA.pdf

Bricage P. (2016) ***Win-win not a solution.*** *What next?* In Avant Garde. Blachfellner S. & T.M. Werner (eds), BCSSS, Vienna, Austria, pp. 21-24. **CC-License.**

Gilbert S.F., J. Sapp & A.I. Tauber (2012) *"**A Symbiotic View of Life**: We Have Never Been Individuals."* The Quarterly Review of Biology, 87(4): 325-341.

Margulis L. (1981) ***Symbiosis*** *in Cell Evolution*. Freeman W H & Co Ltd, Macmillan Publishers, London, UK, 419 p.

Okie J.G., V.H. Smith & M. Martin-Cereceda (2016) *Major evolutionary transitions of life, metabolic scaling and* ***the number and size of mitochondria and chloroplasts***. Proc. R. Soc. B, 283: 1-8.

Woehle C., T. Dagan, G. Landan, A. Vardi & S. Rosenwasser (2017) *Expansion of the redox-sensitive proteome coincides with the* ***plastid endosymbiosis***. Nat. Plants, 3(17066): 18 p.

Zhang J., Q. Gao, Q. Zhang, T. Wang, H. Yue, L. Wu, J. Shi, Z. Qin, J. Zhou, J. Zuo & Y. Yang (2017) ***Bacteriophage–prokaryote dynamics and interaction*** *within anaerobic digestion processes across time and space.* Microbiome, 5(57): 10 p.

To cite this work please use:

[25] Bricage P. (2018) ***Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance des systèmes vivants***. Journées annuelles AFSCET, "La systémique face à la question du déterminisme", Andé, France, 38 p., **CC-License**, http://afscet.asso.fr/Ande18/pbricage-Ande2018-powerLaws-texte.pdf