

AFSCET

Res-Systemica

Revue Française de Systémique
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 16, printemps 2017

La représentation face à l'explosion des données

Res-Systemica, volume 16, article 04

Systemes vivants : représentation des connaissances,
connaissance des représentations,
aspects sociétaux et environnementaux

Pierre Bricage

contribution reçue le 02 juin 2017

19 pages



Creative Commons

SYSTÈMES VIVANTS :
REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES,
CONNAISSANCE DES REPRÉSENTATIONS,
aspects sociétaux et environnementaux.

Pierre BRICAGE

<http://www.afscet.asso.fr/pagesperso/Bricage.html>

pierre.bricage@univ-pau.fr

résumé

Comment **représenter, en images** (Parker et al., 1952), **un système** vivant, le **“Tout”** [Figure 1], avec ses acteurs (**les parties**), **les inter-actions** et leurs contributions à la structure fonctionnelle du Tout (Bricage, 1986) ? L'accumulation exponentielle des informations (les *data*), qualitatives et quantitatives, nous impose l'utilisation de logiciels spécialisés de traitement des données. Une démarche méthodologique logicielle, d'analyse et de représentation multifactorielle -logiciel CTRLQUAL (Bricage, 1991a)-, permet de faire le bilan des connaissances quant aux acteurs impliqués et à la représentation de leurs interactions. Des exemples sont présentés (**data-visualisation**) : contrôle de la qualité de produits d'origine biologique -labellisation (Bricage, 1988)-, contrôle de l'efficacité pédagogique d'une formation -accréditation (Bricage, 1998)-, méta-analyse et suivi scientifique -application du principe de précaution (Bricage, 1989b)- d'un domaine controversé de recherche, gestion raisonnée d'un écosystème (Bricage, 1991b) [Figures 2, 3, 4].

Chaque système vivant est un **système-de-systèmes** (Bricage, 2001). Comment mettre en évidence les inter-actions entre acteurs et niveaux d'organisation ? Chaque nouveau Tout émerge par emboîtements et juxtapositions d'espaces et de de temps pré-existants (Bricage, 2010a). Des exemples de représentations multifactorielles des **espaces-temps-actions** sont présentés : durée des cycles de sommeil -équation du temps (Bricage, 1993b)-, régulation de la glycémie (émergence d'un système), cycle sérotoninergique (cybernétique de second ordre), chez l'homme (Bricage, 2017a) [Figures 5, 6, 7, 8].

Quels enseignements tirés de ces **“images graphiques”** (Bertin, 1973) ? La structure fonctionnelle d'un système vivant, émergeant par juxtapositions et emboîtements de systèmes pré-existants, est imprédictible ! La dynamique des états d'équilibre (écosystème forestier), la durée des temps de latence (chronobiologie humaine) sont **imprévisibles mais peuvent être connus** (Bricage, 2014c, 2017a) [Figures 9, 10, 11].

mots clés :

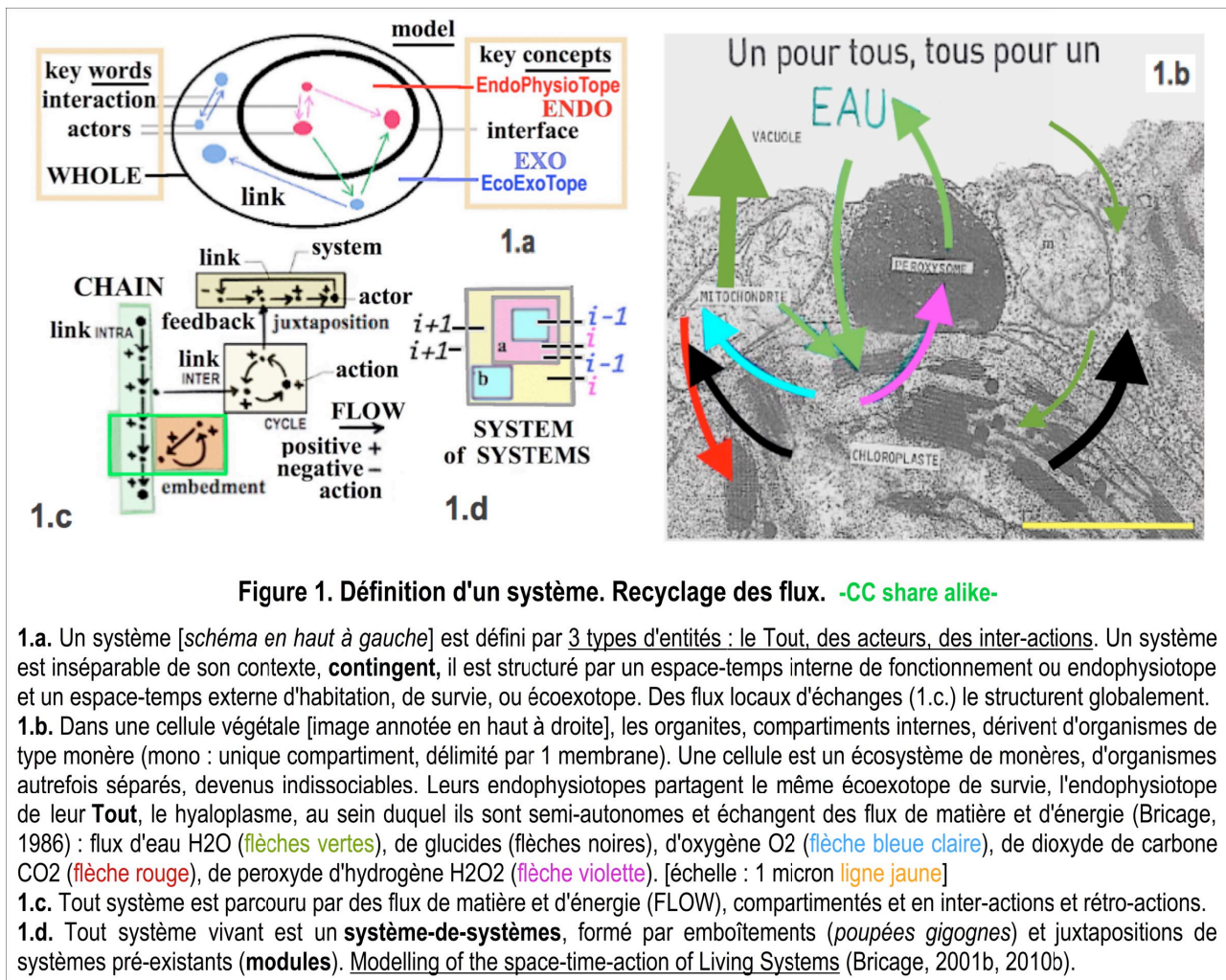
- **concepts** : acteurs [Figure 8], ago-antagonisme [Figure 7], calendrier d'origine endogène, calendrier d'origine exogène, contingence, cybernétique, cybersystémique, cycles, écoexotope, émergence [Figure 10], endophysiotope, entraînement temporel, espace-temps, évolution, inter-actions, invariance d'échelle [Figure 11], loi systémique constructale, niveau d'organisation, ontogénie [Figure 9], synchroniseurs, système-de-systèmes [Figure 1], systémique, variété requise [Figure 4] ;

- **systèmes étudiés** : crise d'asthme [Figure 7], écosystème forestier [Figure 4], glycémie [Figure 6], insulinémie, métabolisme de la sérotonine [Figure 8], sommeil [Figure 5], type vigile ;

- **applications** : action des micro-ondes [Figure 3], contrôle de la qualité [Figure 2] : contrôle de produits d'origine biologique, efficacité pédagogique, préparation à un concours, gestion raisonnée d'un écosystème [Figure 9].

introduction

Par définition un système est un **Tout**, formé d'**acteurs**, indissociables et en **interactions** (Figure 1). Le "Tout", -le système **global**-, est structuré en 2 espace-temps-actions de survie, indissociables : un **endophysiotope** (tote : espace-temps-action, endo : interne, physio : de fonctionnement) et un **écoexotote** (tote : espace-temps-action, exo : externe, éco : d'habitation), ses parties, -chaque acteur **local**-, y sont intégrées (Bricage, 1986). L'endophysiotote possède une **capacité d'être accueilli** dans son écoexotote qui lui fournit une **capacité d'accueil** limitée (Bricage, 2001a). Tout système et tout acteur est un **système de systèmes** dont la **complexité** dépend des processus d'**emboîtements** et **juxtapositions** qui lui ont donné naissance par des itérations successives (Figure 1.d) (Bricage, 2001b, 2014c).



L'endophysiotote de notre organisme (niveau d'organisation supérieur adjacent **i+1**), métazoaire, multi-cellulaire, est l'écoexotote de survie de nos cellules (niveau d'organisation **i**) mais aussi d'organismes de type bactérien (monères, niveau d'organisation inférieur adjacent **i-1**). C'est un écosystème (Fig. 1.b) interne intégré dans un écosystème externe (niveau d'organisation **i+2**) qu'il partage avec d'autres espèces, comme les plantes et animaux domestiques. La structure fonctionnelle de tout système vivant émerge des interactions entre des niveaux d'organisation différents, dont le paramétrage implique un très grand nombre de mesures et de systèmes de mesures, de contrôle et de régulation (Bricage, 2011b).

Un outil logiciel (Bricage, 1991a) permet d'explorer un espace-temps virtuel à n dimensions en en donnant une représentation graphique dans un espace de projection, accessible à notre sens visuel, car à 2 dimensions (voire 3), c'est l'Analyse Factorielle des Correspondances (Bricage, 1984).

I. REPRÉSENTATIONS MULTI-FACTORIELLES DES ESPACES : BILANS DES CONNAISSANCES. **LES ACTEURS ET LEURS INTER-ACTIONS.**

L'Analyse Factorielle en correspondances (AFC) permet de prendre en compte à la fois des variables qualitatives et quantitatives pour faire apparaître dans un plan de projection des groupes d'acteurs ou/et des interactions entre eux (Figure 2).

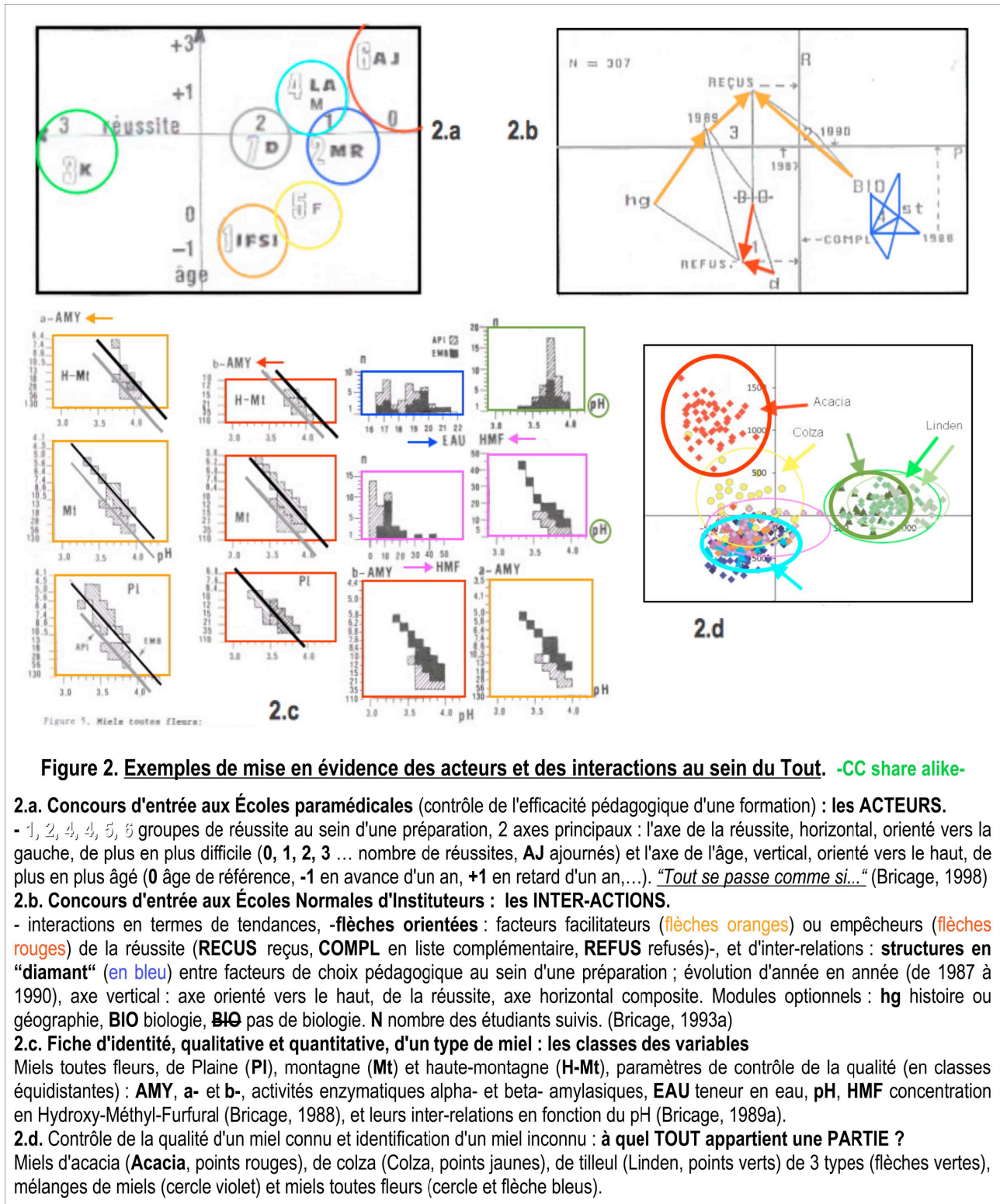


Figure 2. Exemples de mise en évidence des acteurs et des interactions au sein du Tout. -CC share alike-

1. L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES **un outil pour le contrôle de la qualité**

En classes préparatoires à un concours d'entrée dans une grande école (Bricage, 1998), il importe, tant pour les enseignants que pour les élèves (Bricage, 1993a), de connaître les critères de réussite *a priori* et d'évaluer leur mise en oeuvre *a posteriori*. D'année en année, l'AFC donne **un "tableau de bord"**, complété chaque année, pour le pilotage du système (Bricage, 2011a).

1.a. Efficience de la pédagogie scientifique d'un système éducatif ? (Figure 2a)

Plus les étudiants sont jeunes plus leur réussite est élevée aux concours d'entrée des Écoles paramédicales. Les étudiantes privilégient les Instituts de Formation en Soins Infirmiers (IFSI), les étudiants privilégient les Écoles de Formation en Manipulateurs d'Électro-Radiologie (MR) (Bricage, 1991, 1993a, 1998).

1.b. Préparation et sélection professionnelle des acteurs. (Figure 2b)

La réussite aux concours d'entrée des Écoles Normales d'Instituteurs (avant qu'elles ne deviennent des IUFM) dépendaient d'abord du choix assumé de modules optionnels (Bricage, 1993a, 2011a).

1.c. Un système de contrôle écologique et économique de la qualité (Figure 2c).

Les produits d'origine biologique, comme les miels, sont soumis à des contrôles de qualité qui impliquent la constitution de bases de données de référence de leur typologie, type de miel par type de miel, pour pouvoir les décrire de la façon la plus univoque possible, les comparer et les identifier sans ambiguïté, qualitativement et quantitativement. L'AFC permet d'identifier en probabilité un miel inconnu ou/et de labelliser un miel identifié (Bricage, 1988, 1989a).

2. L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES **outil pour la prévention des risques**

L'empreinte écologique de l'espèce humaine sur la planète est si délétère pour toutes les formes de vie que sans une prise de conscience, et une mise en œuvre, de sa Responsabilité Sociétale et Environnementale l'espèce humaine est condamnée (Bricage, 2011b, 2011c). Encore faut-il connaître les risques encourus : "quand ?, comment ?, pourquoi ?, pour qui ? (Bricage, 2014a).

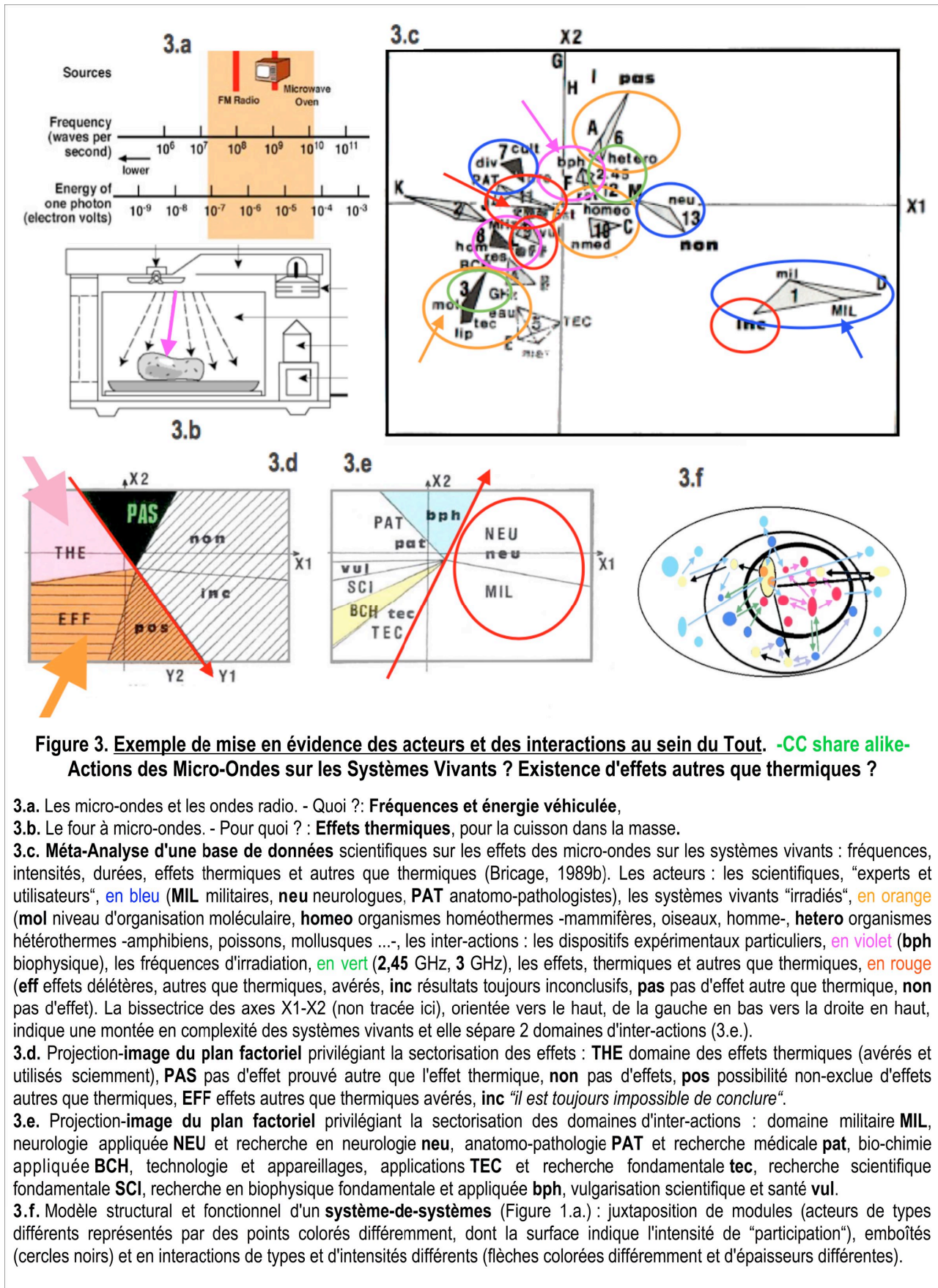
2.a. Contrôle de la qualité de la vie : l'utilisation des micro-ondes (Figure 3).

Nous "*baignons*" dans un flot d'ondes, ondes radio FM, micro-ondes des radars ou des appareils électroniques, dont la longueur d'onde est voisine de notre dimension biologique (Figure 3.a). Leur intensité est faible mais leur présence est constante. Quel est l'effet des micro-ondes sur les systèmes vivants ? Utilisées pour leurs effets thermiques, en cuisine (Figure 3.b) et dans les fours industriels, ont-elles des effets, électriques, électroniques, chimiques, autres que thermiques ? La question se pose en termes économiques, sociaux et scientifiques (Bricage, 1989b). L'Analyse Factorielle des Correspondances d'une base de données permet de répondre à des questions, qualitatives et quantitatives, en probabilités (von Eye, 1990a, 1990b) à partir d'une méta-analyse de publications scientifiques et un suivi documentaire technique expérimental (Bricage, 1991a) : quels domaines d'utilisation ?, quelles méthodologies expérimentales ?, quels types d'effets ?, quels risques à quels niveaux d'organisation du vivant ? Plusieurs images peuvent être projetées dans des plans distincts (Figures 3.c, 3.d, 3.e) donnant des aspects différents de l'observation de la même base de données (Figure 4.a).

2.b. La gestion raisonnée d'un domaine forestier (Figure 4).

Au sein d'une forêt de feuillus, arbres à feuilles décidues, au printemps quand les bourgeons foliaires débourent pour donner de nouvelles jeunes feuilles, des chenilles de lépidoptères d'espèces différentes (surtout des géométridés) sont en compétition entre espèces (compétition INTER) et entre individus de la même espèce (compétition INTRA) pour manger les feuilles (Bricage et al., 1990). **Survivre c'est manger !** La poly-phagie est un avantage pour la survie des ravageurs (Figure 4.d) mais c'est un inconvénient pour la survie des proies, soumises à une pluri-attaque (Figure 4.e). **Survivre c'est ne pas être trop mangé !** Mais si les arbres (les proies) meurent, les chenilles (les ravageurs) mourront aussi. Pour que les prédateurs survivent il faut d'abord que leurs proies survivent ! Ce qui persiste c'est le Tout ! Comment la survie des uns et des autres (les acteurs locaux) est-elle possible, ensemble, globalement ?

Quelles inter-actions permettent la mise en place d'un équilibre durable (Figure 4.f) ? (Bricage, 1991b)



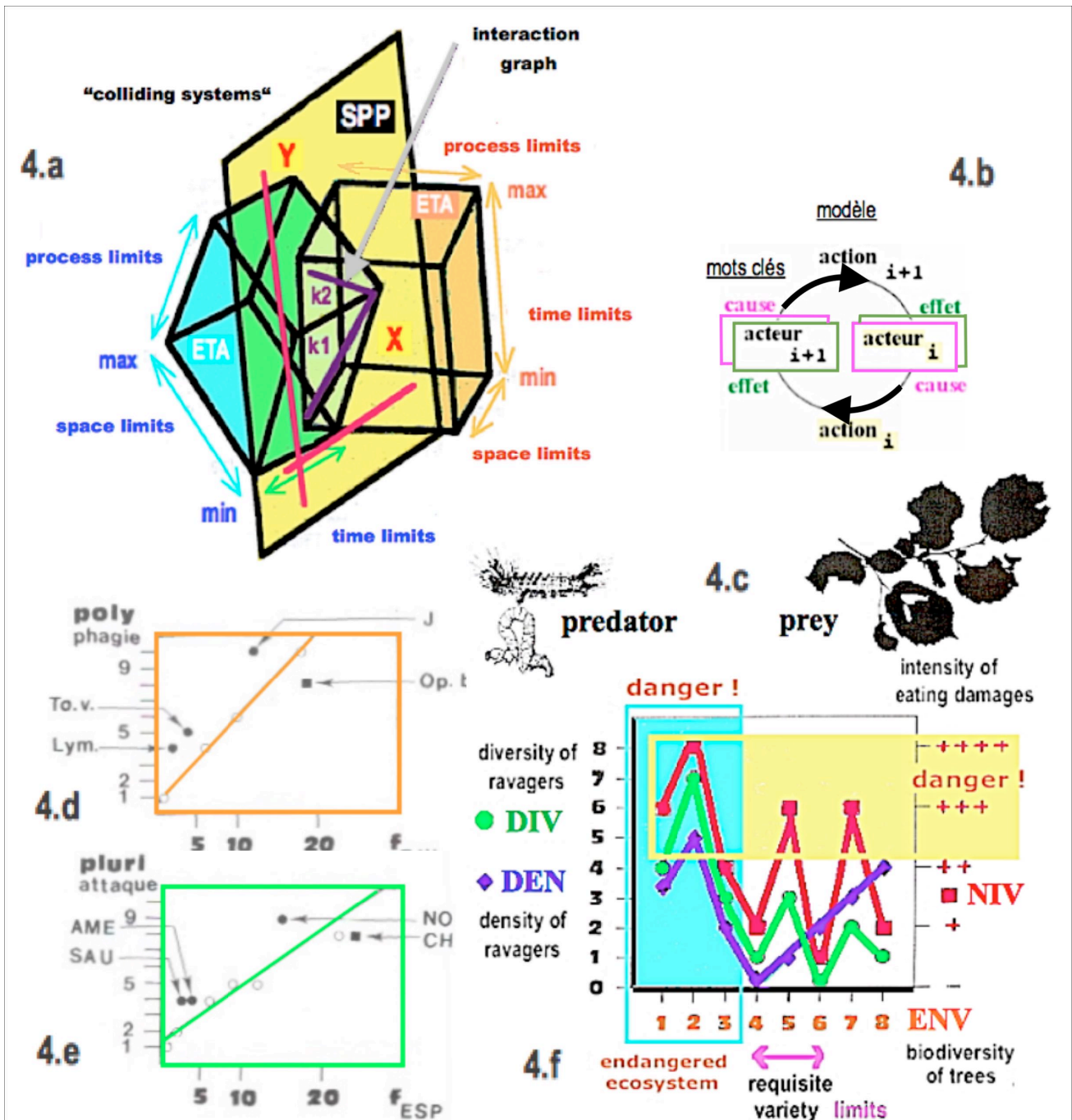


Figure 4. Exemple de mise en évidence des acteurs et des interactions au sein du Tout. -CC share alike-
Gestion d'un domaine forestier : inter-actions prédateurs-proies au sein d'un écosystème.

4.a. "Tout se passe comme si..." On recherche le plan de projection (SPP) dans lequel l'intersection des espaces-temps-actions (ETA), à n dimensions, des systèmes en inter-action ("colliding systems") donne l'image la plus probable (Bricage, 2012).

4.b. Loi systémique constructale. Tout effet à une cause, dont il est la réponse. Mais tout effet peut être une cause pour d'autres effets. Si bien que tôt ou tard on ne sait plus où est la cause initiale : "interaction is construction, construction is interaction".

4.c. Les acteurs. Les arbres feuillus sont les proies (prey) de chenilles de papillons (predator) qui mangent leurs feuilles

4.d. Poly-phagie d'un ravageur. Une même espèce de chenilles (flèche) peut consommer plusieurs espèces de feuillus.

4.e. Pluri-attaque d'une proie. Une même espèce de feuillus (flèche) peut être consommée par plusieurs espèces de chenilles.

4.f. La dynamique de l'écosystème. L'intensité d'attaque des feuilles NIV est déterminée localement par les inter-interactions entre la densité DEN, la diversité DIV des espèces de ravageurs et la diversité des espèces de feuillus ENV. "Ni trop, ni trop peu" : La survie du Tout présente au moins 2 états d'équilibre, "creux" méta-stables, émergents, globalement imprévisibles (Bricage, 1991b).

L'AFC permet de mettre en évidence des **états d'équilibre méta-stables imprévisibles** (Figure 4.f). Ces connaissances nouvelles, émergentes, valident des **stratégies paradoxales** de gestion raisonnée de la santé de l'écosystème forestier. L'appauvrissement de la biodiversité peut être à la fois la pire des actions, quand la forêt devient un champ, mono-spécifique (ENV=1), ou la meilleure (ENV de 5 à 4, ou de 7 à 6). De même, l'enrichissement en biodiversité peut être à la fois la meilleure ou la pire des actions (ENV de 4 à 5, ou de 6 à 7). Pour mettre en œuvre **une solution systémique à un problème systémique** il faut connaître la structure fonctionnelle du système-de-systèmes (Figures 4.f, 5.g).

II. REPRÉSENTATIONS MULTIFACTORIELLES DES ESPACES TEMPS INTER-ACTIONS et GOUVERNANCE FONCTIONNELLE : CONNAISSANCES ISSUES DES BILANS. LES INTERACTIONS ENTRE ACTEURS ET ENTRE NIVEAUX D'ORGANISATION.

Chaque organisme vivant, chacun d'entre nous, est contrôlé par des horloges internes (Winfrey, 1994) qui imposent le déroulement du temps (Bricage, 2005) :

“un temps pour chaque chose et chaque chose en son temps” (Bricage, 2013).

L'AFC permet de déterminer les espaces d'action (Figures 2.a et 3.c) et d'inter-actions (Figure 4.f) :

“une place pour chaque chose et chaque chose à sa place” (Bricage, 2001a, 2001b).

Permet-elle de déterminer les calendriers internes d'un système-de-systèmes ?

1. ACTEURS SYNCHRONISEURS EXOGÈNES ET CALENDRIERS D'ENTRAÎNEMENT : DES CALENDRIERS ENDOGÈNES ENTRAÎNÉS PAR L'ÉCOEXOTOPE.

Chacun d'entre nous possède un calendrier interne, déterminé génétiquement, qui gouverne son type vigile, sa manière personnelle de bien dormir, et d'être éveillé ou pas. La qualité du sommeil nocturne ne dépend pas de la quantité du sommeil mais de la fenêtre temporelle du repos nocturne. Certains individus sont du matin (phénotype couche-tôt et lève-tôt), d'autres sont du soir (phénotype couche-tard et lève-tard). Ce type vigile peut être déterminé en construisant l'image de son agenda du sommeil (Bricage, 2003).

1.a. - Durée des cycles du sommeil et **équation du temps** : *l'analemme lunaire*.

On peut étudier la structure de notre sommeil nocturne en mesurant la durée de chaque cycle de sommeil, pour chaque nuit, de nuit en nuit, pour le même individu : suivi chrono-biologique longitudinal (Priestley, 1982 ; Rovine & von Eye, 1991). Certains individus montrent une rythmicité endogène relativement à la durée de ces cycles de sommeil. Habituellement le premier cycle est le plus long, le dernier est le plus court. La rythmicité observée (Figure 5.b) se calque sur un calendrier lunaire (Figure 5). Le fonctionnement de notre endophysiotope (Figure 1) est gouverné par notre écoexotope de survie : notre calendrier interne de sommeil est entraîné par un calendrier externe fonctionnel (Bricage, 1993b).

On connaît 3 calendriers lunaires : celui de la luminosité lunaire (alternance pleine lune-nouvelle lune), le plus long, celui du mouvement apparent de la lune sur l'horizon (passage d'ascendance en descendance puis de descendance en ascendance), le plus court, et celui de position (passage en apogée -point le plus éloigné de la distance entre terre et lune-, passage en périgée -point le plus proche-) de durée intermédiaire.

L'AFC de bases de données longitudinales individuelles met en évidence pour certains individus un calendrier lunaire d'ascendance en descendance et un calendrier lunaire de passage en apogée-périgée qui entraînent la durée des cycles de sommeils suivant une analemme (Figure 5). (Bricage, 1993b, 2017b)

Tout se passe comme si notre organisme était un point fixe terrestre qui regarde fixement la lune pendant que la terre tourne, sur elle-même et autour du soleil.

1.b. - Durée des cycles du sommeil : **le phototactisme lunaire humain**.

La lune est comme un phare (un miroir tournant qui reflète la lumière solaire), ou une chandelle qui s'allume et qui s'éteint, les temps d'allumage et d'extinction, très longs, structurent le cycle de luminosité.

L'AFC met en évidence, pour certains individus -de phénotype sensible- un calendrier lunaire de luminosité qui entraîne la durée des cycles de sommeils suivant une spirale d'Archimède (Figure 5) (Bricage, 1993b). Ce mouvement temporel d'attirance pour la lumière est de même nature, mais à une autre échelle de temps et d'espace, que le mouvement spatial d'un papillon de nuit, ou de tout autre insecte, attiré par une lumière la nuit : il s'en approche quand la lumière s'allume et s'en éloigne quand elle s'éteint.

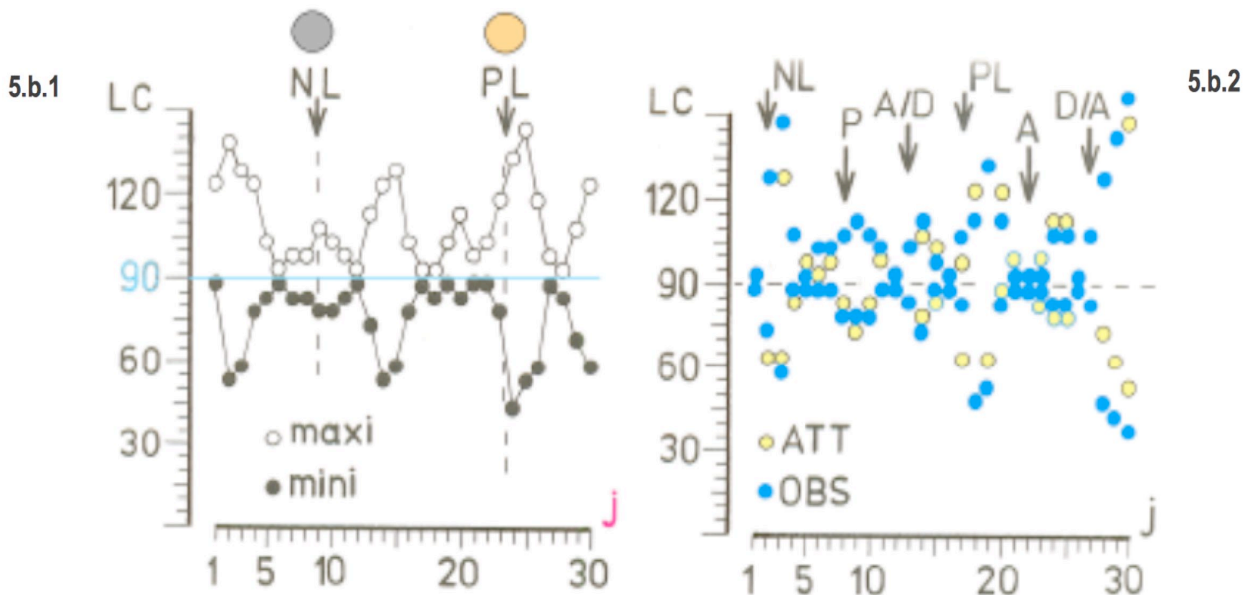
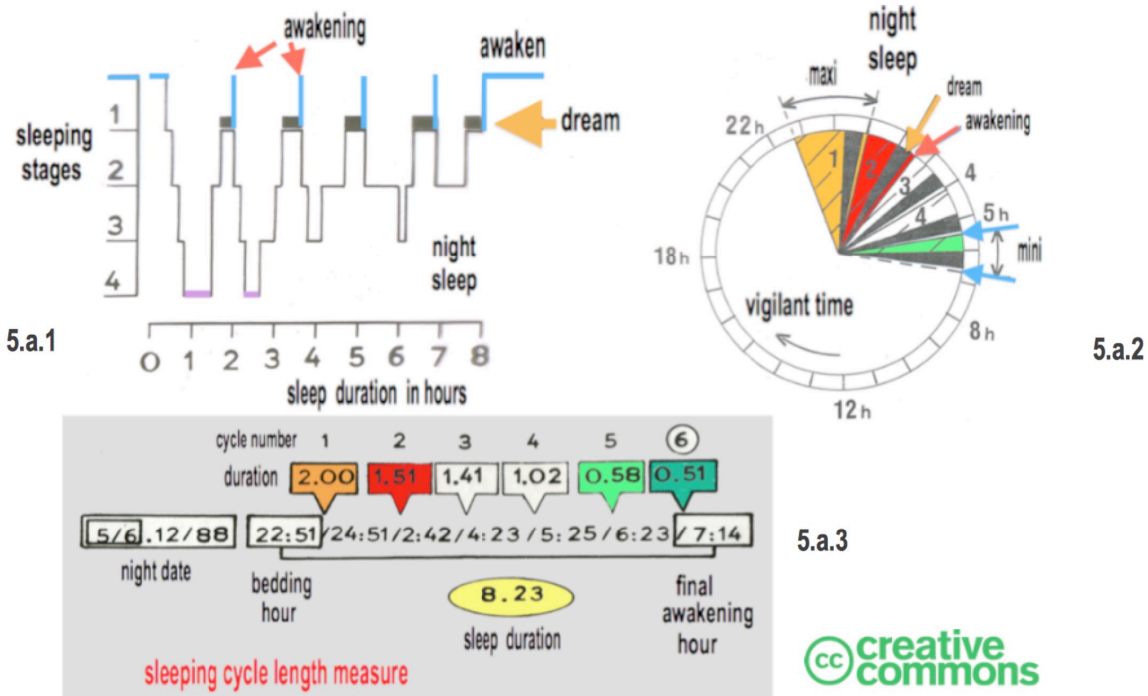
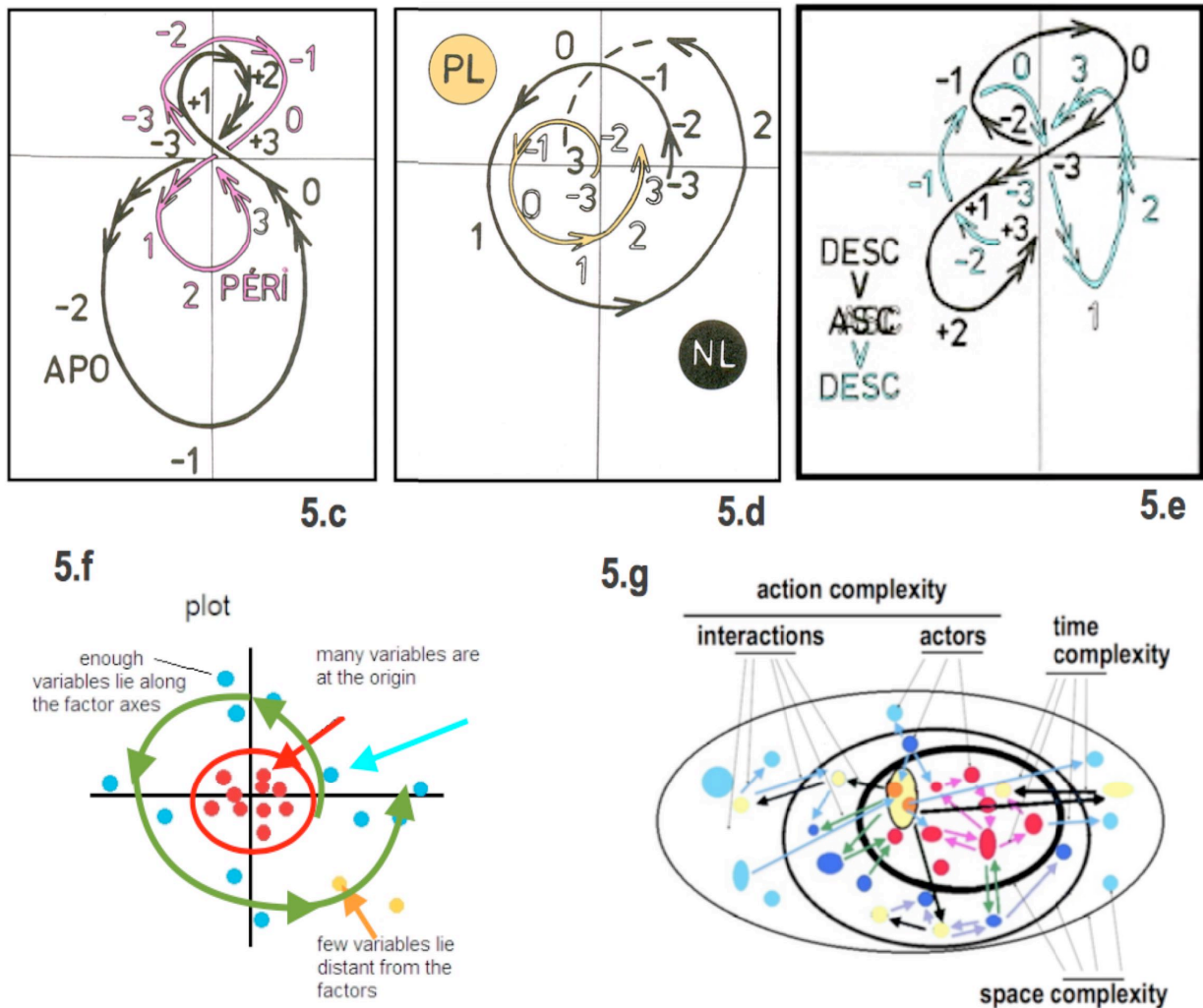


Figure 5. Calendriers des cycles de sommeil (éveilométrie). -CC share alike-

Gouvernance fonctionnelle de l'endophysiotope : inter-actions entre endophysiotope et écoexotope.

5.a. Structure d'une nuit de sommeil : **5.a.1.** [en haut à gauche] chaque cycle de sommeil nocturne se termine par un rêve (**dream**) et un éveil (**awakening**) dont on n'a habituellement pas conscience -on peut apprendre à devenir conscient de ces instants d'éveil- **5.a.2.** [en haut à droite] habituellement, le cycle le plus long (**maxi**) vient en premier, et le plus court vient en dernier (**mini**) (Bricage, 1993b), **5.a.3.** Éveilométrie (**sleeping cycle length measure**) [au milieu] : structure horaire d'une nuit (suivi longitudinal individuel) : exemple d'une nuit "banale" avec 6 cycles de sommeil-éveil.

5.b. Suivi longitudinal individuel de la durée des cycles de sommeil : **5.b.1.** [en bas à gauche] **LC** durée d'un cycle, **maxi** le plus long (points blancs), **mini** le plus court (points noirs) ; alternance nouvelle lune **NL/PL** pleine lune (cycle ON/OFF) ; **5.b.2.** [en bas à droite] modélisation d'un entraînement par les cycles lunaires : **NL** et **PL** (cycle de luminosité,) **A/D** et **D/A** cycle de passage en ascendance/descendance et inversement, passages en apogée **A** et périgée **P** (cycle de révolution,) **OBS** résultats observés (points bleus), **ATT** résultats attendus -modélisation sinusoïdale (rythmes de type cosinor)- : points en jaune, quand ils sont différents des points observés (Bricage, 1993b, 1997).



**Figure 5. Calendriers des cycles de sommeil (éveilométrie). -CC share alike-
Gouvernance fonctionnelle de l'endophysiotope : calendriers d'entraînement par l'écoexotope.**

5.c. Calendrier d'entraînement par le cycle lunaire de position : 0 jour du passage en apogée (APO) ou en périgée (PÉRI), -3, -2, -1 ordre des jours avant le passage, +1, +2, +3 ordre des jours après le passage, les flèches (de > à >>>>) indiquent la flèche du temps avec l'ordre des phases. Tout se passe comme si presque tous les jours sont regroupés au point d'intersection des axes -et des 2 analemmes- (5.f).

5.d. Calendrier d'entraînement par le cycle lunaire de luminosité : 0 jour du passage en pleine lune (PL) ou en nouvelle lune (NL), -3, -2, -1 jours avant le passage, +1, +2, +3 jours après le passage, la flèche (>) indique la flèche du temps. Tout se passe comme si presque tous les jours sont regroupés au point d'intersection des axes (point d'arrivée et de départ des spirales).

5.e. Calendrier d'entraînement par le cycle lunaire d'ascendance-descendance : 0 jour du passage d'ascendance en descendance (ASC>DESC) ou de descendance en ascendance (DESC>ASC), -3, -2, -1 jours avant le passage, +1, +2, +3 jours après le passage, les flèches (de > à >>) indiquent la flèche du temps avec l'ordre des phases. Tout se passe comme si presque tous les jours sont regroupés au point d'intersection des axes (et des analemmes) [5.d.]

5.f. Dans tous les cas, tout se passe comme si presque tous les jours sont regroupés au point d'intersection des axes, sauf ceux des temps d'inter-action, qui s'en écartent (Bricage, 1993b).

5.g. L'analyse factorielle permet de révéler les différents types et niveaux de complexité : le nombre d'acteurs et leurs interactions (**action complexity**), les espaces occupés (**space complexity**), les calendriers fonctionnels (**time complexity**) (Bricage, 2013, 2014c, 2017a).

La gouvernance de l'endophysiotope (ses calendriers internes) peut être entraînée par des calendriers externes : émergence d'une synchronisation (Bricage, 2013 ; Sehgal, 2013).

2. LES INTER-ACTIONS SYNCHRONISATRICES DANS L'ENDOPHYSIOTOPE.

La gouvernance de l'endophysiotope peut être assujettie à des calendriers internes.

2.a - ÉMERGENCE D'UN CALENDRIER ENDOGÈNE : *régulation de la glycémie.*

“le Tout est à la fois plus et moins que la somme de ses parties”.

Les changements de la glycémie, associés à la prise d'aliments glucidiques, sont corrélés à des changements de concentrations hormonales en insuline (la seule hormone hypoglycémisante chez l'homme) et en glucagon (une des hormones hyperglycémisantes). D'un point de vue cybernétique c'est une **régulation de type ago-antagoniste**, une cybernétique en première approximation du premier ordre (Figure 6.b).

Avec une approche systémique analytique il est possible de représenter, indépendamment du temps local, l'**inter-dépendance globale** des changements hormonaux en fonction de la glycémie (Figure 6.d). Cette approche est en accord avec les représentations précédentes, mais on ne sait pas quoi est la cause ou quoi est l'effet (Figure 6.f). La même structure (pancréas par exemple) est très souvent à la fois effectrice et sensible. La glycémie est à la fois cause et effet (Figure 6.e) ! On peut éliminer le facteur contrôlé, la glycémie, et ne s'intéresser qu'à la relation entre les facteurs contrôlant, l'insulinémie et la glucagonémie. Cela permet de faire émerger un calendrier interne inattendu et imprévisible : une ellipse de corrélation (cybernétique de second ordre) (Figure 6.g) (Bricage, 2013).

Cette **approche cybersystémique, holistique**, est celle qui permet de mettre en évidence les inter-relations entre les sous-systèmes du système-de-systèmes (Figures 7, 8) qu'est notre organisme. Les systèmes vivants obéissent rarement à des cybernétiques du premier ordre, linéaires (Figures 7.b, 8.f), et les cybernétiques non-linéaires peuvent être mises en évidence par l'AFC (Figure 9).

2.b. - CYBERSYSTÉMIQUE D'UN SYSTÈME ET NOMBRE D'ACTEURS (Figures 7 et 8)

Le calendrier des crises d'asthme (Figure 7.e), comme celui de la glycémie (Figure 6.g), est représentatif de la gouvernance d'un système-de-systèmes (Figure 7.d) par 2 acteurs ago-antagonistes (Figures 7.f, 8.c).

2.c. - CYBERNÉTIQUE D'UN CALENDRIER ENDOGÈNE : *contrôle du phénotype vigile.*

“il faut prendre en compte les effets du second ordre”.

Dans le cerveau, partant du noyau raphé, des expansions neuronales sérotonine-ergiques sont impliquées dans le contrôle de l'éveil et la synthèse de la mélatonine (Galissié et al., 1987 ; Welford et al., 2016). La sérotonine, ou 5-Hydroxy-Tryptamine (5HT) est fabriquée à partir du tryptophane (TRP) un acide aminé essentiel. Elle est le précurseur hormonale de la mélatonine. Quel est le calendrier de régulation de la teneur en sérotonine ? Comme pour la régulation de la glycémie (Figure 6) on se contente habituellement de suivre simultanément les variations des concentrations des composés de la voie métabolique, indépendamment de leurs liens spatiaux et temporels (approche expérimentale linéaire : Figure 6.a). Le calendrier de synthèse de la sérotonine à partir du tryptophane (Figure 8.a) est une ellipse (Figure 8.f), révélatrice d'un système à 2 acteurs principaux. Mais le calendrier du contrôle de la concentration en sérotonine (équilibre entre son précurseur et son produit de dégradation) est une bande de Möbius, révélant un système-de-systèmes à 3 acteurs principaux (Figure 8.g), comme celui du contrôle du cycle hormonal menstruel ovarien (Bricage, 2013).

2.d. - L'ORGANISATION TEMPORELLE ÉMERGE DES INTER-ACTIONS ENTRE ACTEURS

De même que les espaces sont des modules emboîtés et juxtaposés (espaces gigognes), les temps sont des horloges emboîtées et juxtaposées (Bricage, 2013). Un même temps peut appartenir à plusieurs acteurs : calendrier à décours circulaire ou elliptique, à 2 acteurs, calendrier à décours en 8, à 3 acteurs (Figures 8.f, 8.g). Un même acteur peut être dans plusieurs temps (rythmes infradien, circadien, ultradien). Les horloges endogènes sont *“calées”* par les limitations des variations des acteurs en inter-actions (Figure 7.f). Ce *“calage”*, résultat de l'histoire des inter-actions entre l'écoexotope et l'endophysiotope, détermine l'évolution du système-de-systèmes, son ontogénie (Figure 9). L'émergence de ses temps de latence (Figure 10) est à la fois la cause et la conséquence (Figure 4.b) de l'augmentation de la **capacité d'être accueilli** de l'endophysiotope par un écoexotope dont la **capacité d'accueil** est fluctuante (Bricage, 2011b, 2011c).

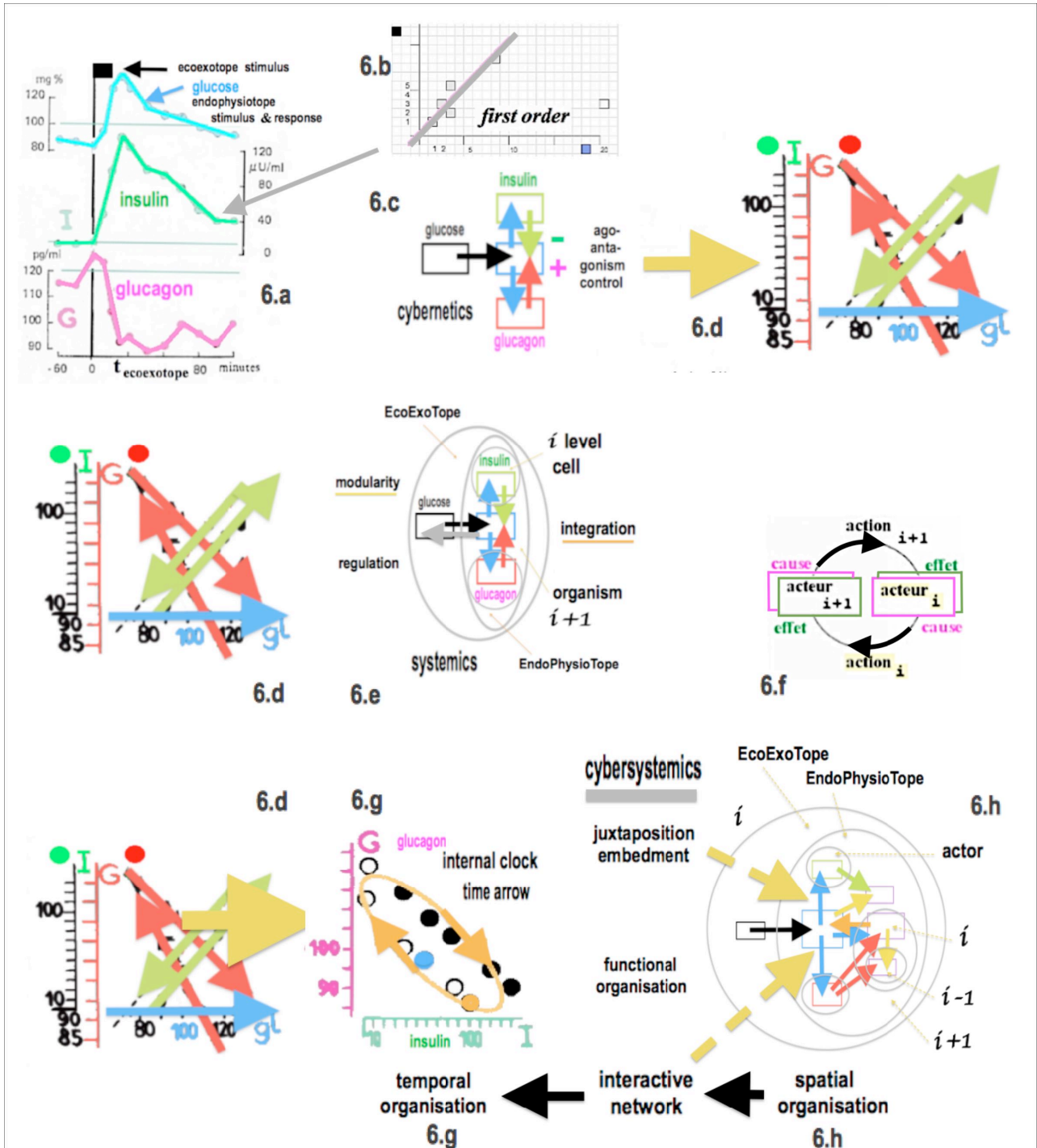


Figure 6. Régulation ago-antagoniste de la glycémie : cybersystémique d'un système-de-systèmes.

6.a. Description expérimentale linéaire : *an ago-antagonism control of first order in a black box*. [Adapté d'après Simultaneous variations in man glycaemia, insulinaemia and glucagonaemia (Unger, 1970)], t external time of the ecoexotope.

6.b. L'approche analytique linéaire, d'ordre 1 (**first order**), n'est descriptive qu'en probabilité. 6.c. C'est une boîte noire.

6.d. Passage aux inter-actions systémiques entre acteurs effecteurs I insuliniémie, G glucagonémie, gl glycémie.

6.e. L'approche systémique est indépendante de la temporalité externe de l'observateur (cybernétique de second ordre).

Elle prend en compte les niveaux d'organisation (local *i* et global *i+1*) sans qu'il soit nécessaire de connaître les causalités : 6.f.

6.g. L'approche cybersystémique, d'ordre 2, ne prend en compte que les acteurs effecteurs régulateurs (I et G). Elle permet de mettre en évidence le calendrier interne (**time arrow**), le fonctionnement de l'endophysiotope, indépendamment de l'écoexotope. On passe de l'organisation descriptive (6.a) à l'organisation temporelle prédictive globale (6.g), indépendamment de l'organisation spatiale inter-niveaux : 6.h. (Bricage, 2013, 2017a -CC share alike-)

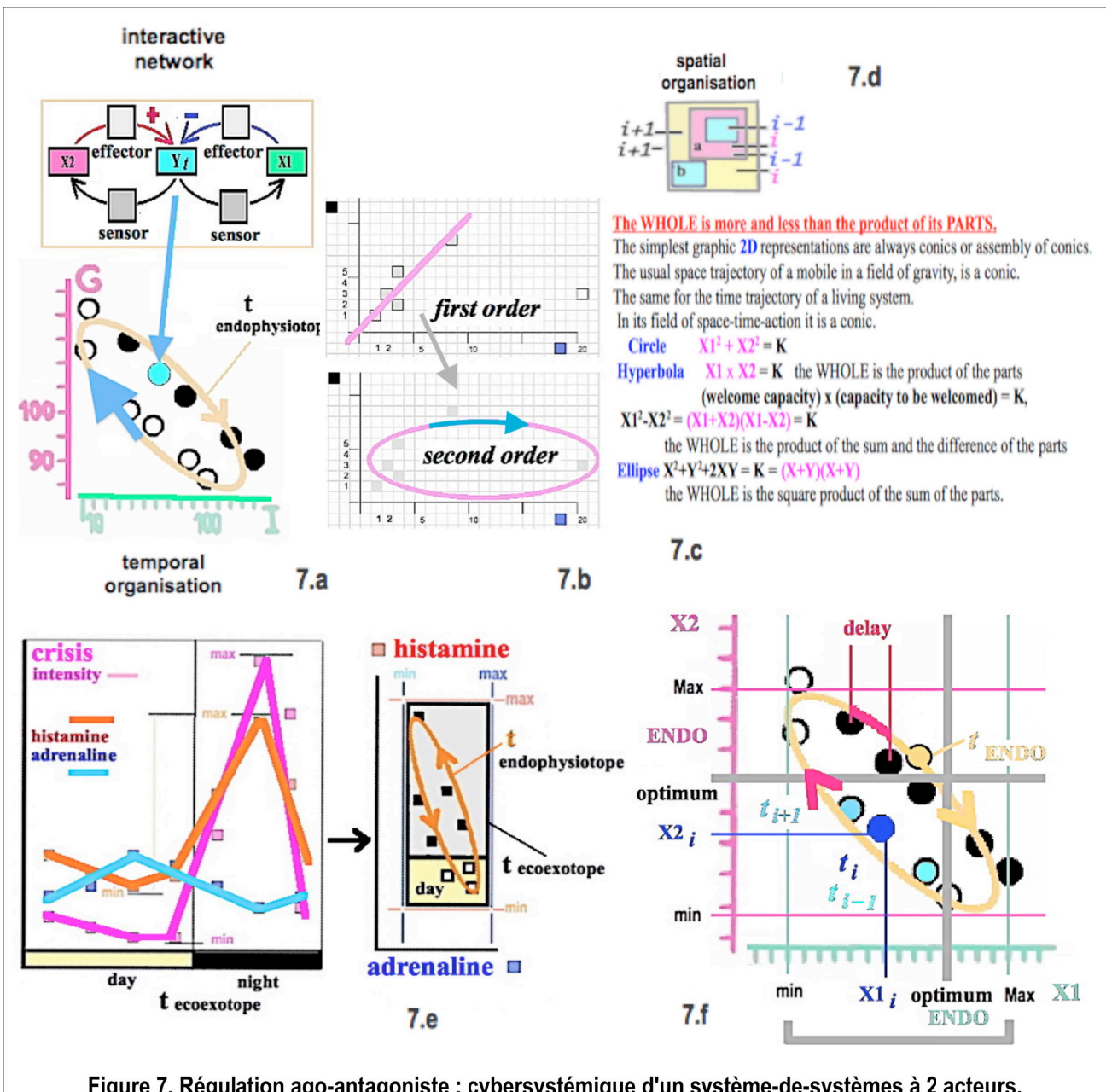


Figure 7. Régulation ago-antagoniste : cybersystémique d'un système-de-systèmes à 2 acteurs.

7.a. Time oriented elliptic graph of the successive local ago-antagonistic steps of hormones counterbalancing global steady state. L'organisation temporelle (**temporal organisation**), mise en évidence par changement des actions de référence (Figure 6.d à 6.g), émergente, est le bilan des inter-actions (**interactive network**) entre acteurs sensitifs (**sensor**) et moteur-sécréteur (**effector**) ago-antagonistes (+/-) ; il n'est pas nécessaire de connaître l'ordre des causalités (Figure 6.f). (Bricage, 2013 -CC share alike-)

7.b. Prise en compte des signaux de faible amplitude ou de faible probabilité. (Bricage, 2013, 2017a -CC share alike-) On perd en probabilité descriptive (**first order** (Figure 6.b)) mais on gagne en efficacité fonctionnelle (**second order** (Figure 6.g))

7.c. Une trajectoire temporelle elliptique met en évidence un système ago-antagoniste à 2 acteurs principaux.

7.d. La connaissance temporelle globale s'affranchit des processus d'emboîtements et de juxtaposition des niveaux d'organisation.

7.e. Calendrier du déroulement d'une crise d'asthme (**crisis intensity**) à 2 acteurs ago-antagonistes : **histamine**, **adrénaline**, endogenous clock : **t endophysiotope** (flèche temporelle de l'horloge interne), **t ecoexotope** (alternance jour/nuit : **day/night**).

7.f. Limites et limitation des inter-actions entre 2 acteurs **X1** et **X2** sans qu'il y ait de relation de cause à effet : $X_2 = f(X_1)$ équivaut à $X_1 = g(X_2)$, **Max** et **min** limites supérieure et inférieure (encadrement) de variation d'un acteur-effecteur (**X**) de l'endophysiotope **ENDO**, **optimum** valeur en conditions optimales, t_{i-1} à t_{i+1} orientation de la flèche temporelle. (Bricage, 2013 -CC share alike-)

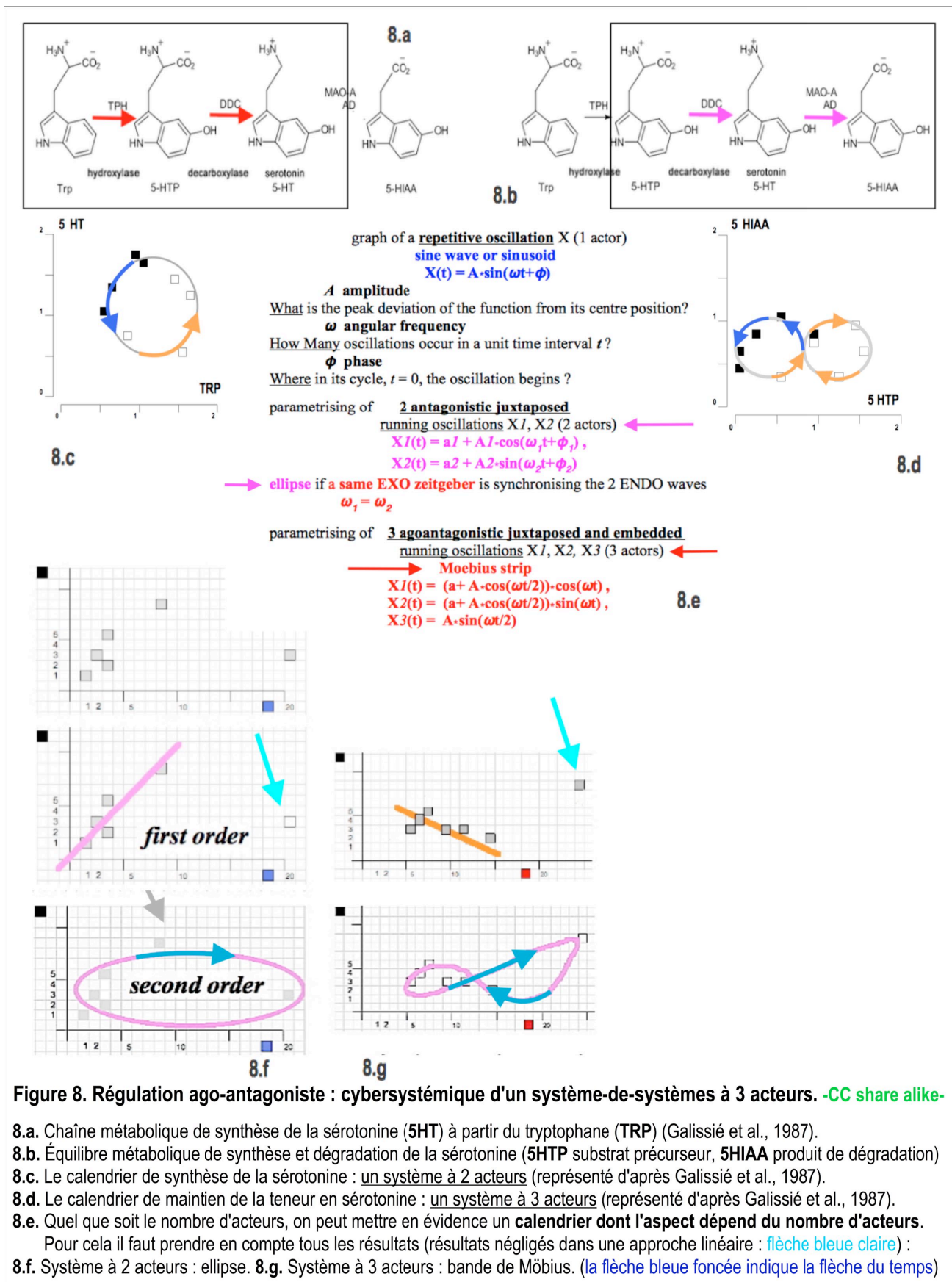


Figure 8. Régulation ago-antagoniste : cybersystémique d'un système-de-systèmes à 3 acteurs. -CC share alike-

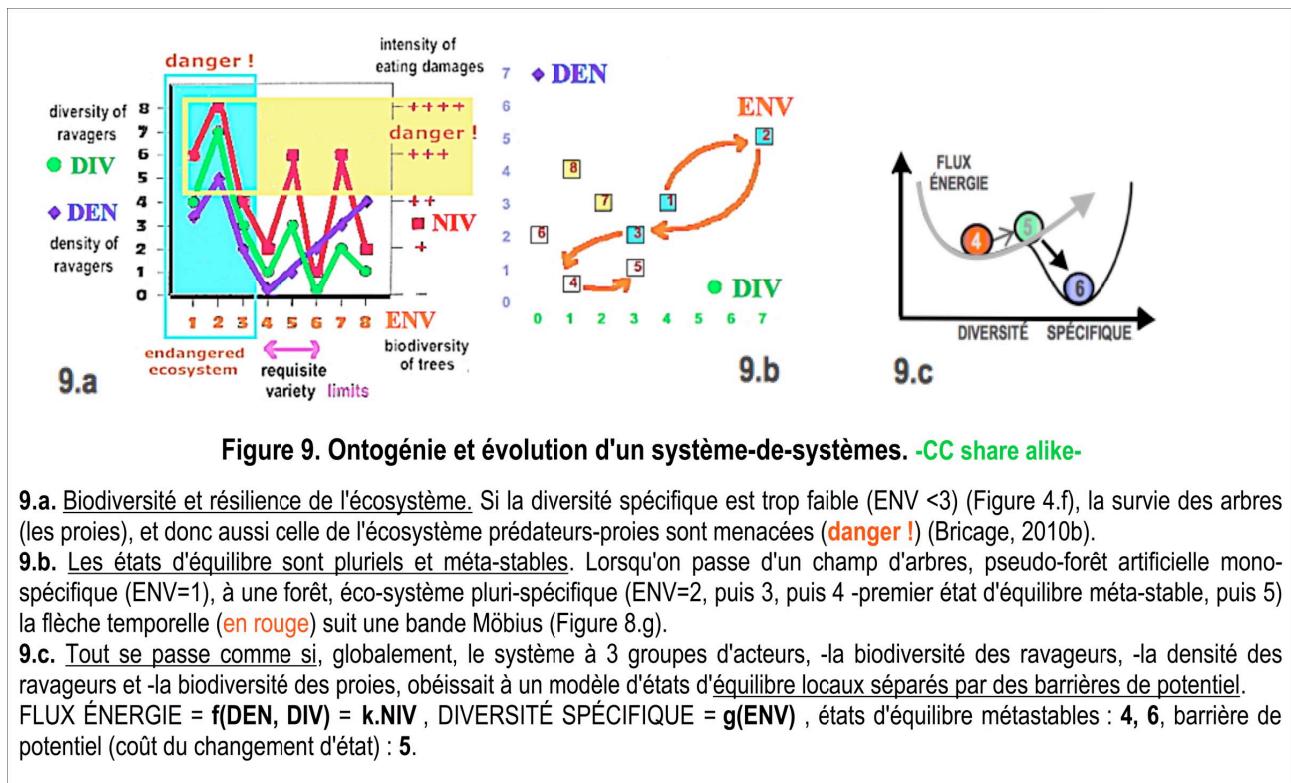
- 8.a. Chaîne métabolique de synthèse de la sérotonine (5HT) à partir du tryptophane (TRP) (Galissié et al., 1987).
- 8.b. Équilibre métabolique de synthèse et dégradation de la sérotonine (5HTP substrat précurseur, 5HIAA produit de dégradation)
- 8.c. Le calendrier de synthèse de la sérotonine : un système à 2 acteurs (représenté d'après Galissié et al., 1987).
- 8.d. Le calendrier de maintien de la teneur en sérotonine : un système à 3 acteurs (représenté d'après Galissié et al., 1987).
- 8.e. Quel que soit le nombre d'acteurs, on peut mettre en évidence un calendrier dont l'aspect dépend du nombre d'acteurs. Pour cela il faut prendre en compte tous les résultats (résultats négligés dans une approche linéaire : flèche bleue claire) :
- 8.f. Système à 2 acteurs : ellipse. 8.g. Système à 3 acteurs : bande de Möbius. (la flèche bleue foncée indique la flèche du temps)

3. LE TOUT : EMBOÎTEMENTS ET JUXTAPOSITIONS, ÉMERGENCE ET TEMPS DE LATENCE.

L'analyse factorielle est un outil à privilégier pour l'étude des réseaux d'inter-actions (Bricage, 2014b) car il permet de mettre en évidence des connaissances nouvelles, émergentes, imprévisibles.

3.a. - IMPRÉVISIBILITÉ D'UN ÉQUILIBRE DYNAMIQUE : l'*écosystème* forestier.

L'étude de la diversité et de la densité des ravageurs d'une forêt (Figures 4.c, 4.d, 4.e, 4.f) permet de mettre en évidence des états d'équilibre imprévisibles et de reconstituer une histoire évolutive ou une ontogénie, possibles, de l'écosystème (Figure 9), connaissances qui sont un préalable à sa gestion raisonnée.

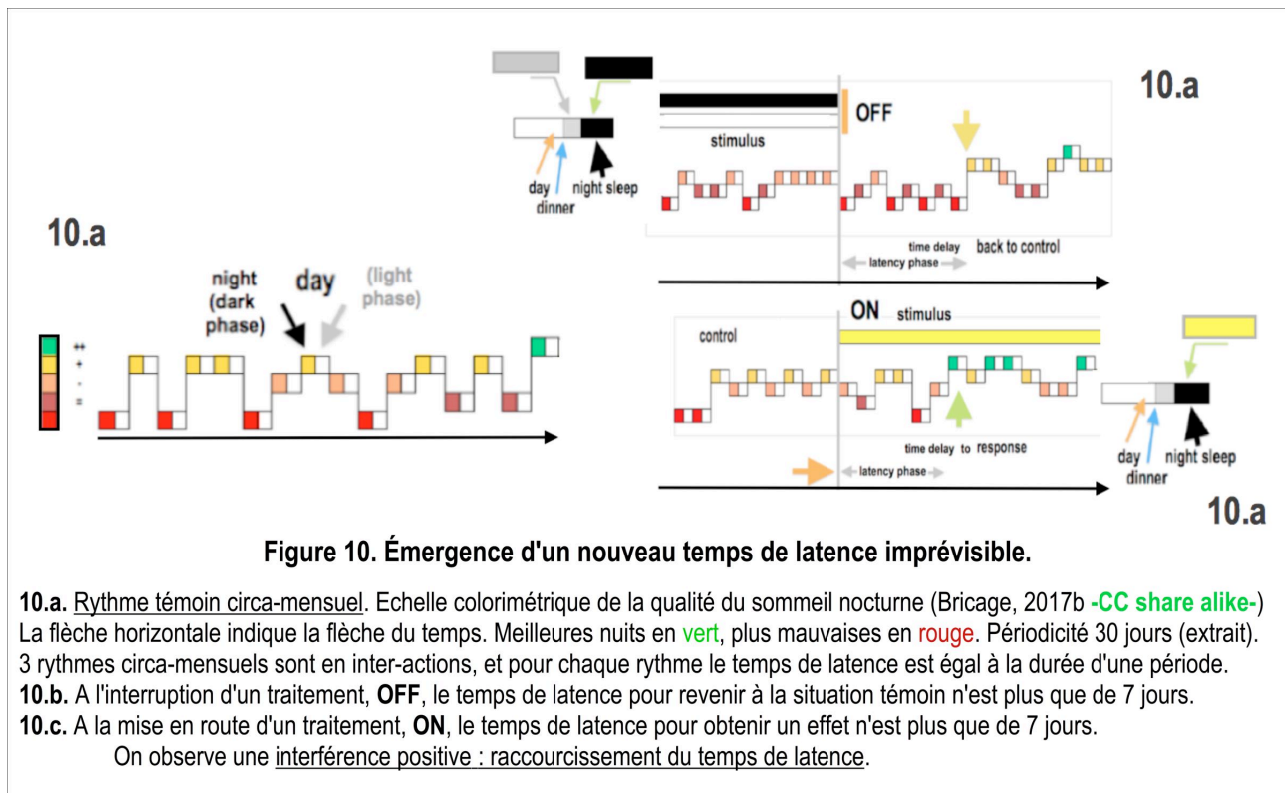


3.b. - IMPRÉVISIBILITÉ D'UN TEMPS DE RÉPONSE : *chronobiologie* humaine.

Compte tenu de leur calendrier observé de sommeil (Figures 5.b, 5.c, 5.d, 5.e), on peut se demander si un traitement a un effet statistiquement significatif -test en double aveugle contre placebo (Bricage, 2017b)- sur des individus de phénotype sensible aux rythmes d'origine lunaire, de périodicités circa-mensuelles et en inter-actions. Pour un rythme isolé, le temps de latence entre un stimulus et la réponse associée est habituellement de la durée d'une période du rythme (Bricage, 2005). Quand plusieurs rythmes sont en inter-actions, le temps de latence global se réduit (Figure 10). Cette propriété, imprévisible, émergente (on pourrait s'attendre à un temps de latence de même durée, voire de durée plus longue), est un exemple d'adaptation favorable à la survie du système-de-systèmes (Bricage, 2017b).

discussion

Un modèle prédictif du fonctionnement adaptatif d'une "*usine*" bactérienne (avec 457 réactions inter-dépendantes, 337 métabolites, consommés ou produits, et 295 interactions régulatrices) à la suite de manipulations génétiques multiples (pour 26 souches d'*Escherichia coli*), modèle fonctionnel couvrant pratiquement tout le génome et décrivant l'ensemble des processus métaboliques possibles (Khodayari & Maranas, 2016) est disponible, "**en image**", et en réalité ! Pour quoi faire ? Pour qui ?



Si l'exploitation des données (Jambu, 1991) se contentait de mises en corrélations sans **chercher les liens de causalité** -quand c'est possible (loi systémique constructale (Bricage, 2011b))- et, surtout, quels sont **les concepts pertinents**, l'association entre les flots de données (big data) et les algorithmes (programmes) n'aboutirait pas à des applications pratiques, sociétales ou environnementales (Bricage, 2011c). **Les solutions systémiques aux problèmes systémiques passent par des inter-actions, des rétro-actions, entre les acteurs** producteurs de données, les acteurs de leur exploitation et **la possibilité** de l'utilisation des résultats par tout acteur (Figure 1). **La mise des informations en images**, data-visualisation (Gerald, 2015), permet de questionner les données (Bricage, 2017c), de réfléchir de façon critique, au-delà des corrélations, nécessaires mais pas suffisantes (Mangin, 2017). Les fiches de données et les diagrammes en réseaux, les cartes, révélateurs de structures et de fonctionnements environnementaux et sociétaux (Bertin, 1973), existaient bien avant l'invention des ordinateurs et du calcul de masse. L'image cybersystémique des systèmes vivants (Figure 1) est réellement transdisciplinaire, elle peut être transposée en physique, par exemple (Figure 11), voire en métaphysique, et pas parce qu'elle est simpliste (Halévy, 2013). Ce qui "justifie" *a posteriori* l'utilisation de l'Analyse Factorielle des Correspondances comme outil de représentation, et de connaissance, même si elle n'est que partielle, en probabilité, de la structure fonctionnelle d'un système-de-systèmes sous forme d'une image "simplifiée", par la projection graphique d'un espace (inconnu) à *n* dimensions (connues) dans un espace à 2 ou 3 dimensions (complexes, émergentes), inconnues *a priori* (Figure 5.g), mais connaissables *a posteriori* (Bricage, 1997).

Les systèmes vivants obéissent rarement à des cybernétiques du premier ordre. L'AFC permet de le mettre en évidence (Figures 4, 5). L'approche cybersystémique est une approche holistique, indépendante de l'échelle, qui permet de prendre en compte simultanément les inter-relations entre les sous-systèmes d'un système-de-systèmes (Collectif, 2004). Il n'est plus nécessaire de savoir quelle est la cause ou quel est l'effet, ce qui peut être un avantage pour la compréhension globale (Bricage, 1986), ni de savoir quels niveaux d'organisation sont en cause, ce qui peut être un inconvénient pour la compréhension locale (Bricage, 1984).

Les espaces, les temps et les actions sont indissociables (Figures 10, 11). (Bricage, 2017a)

Le modèle cybersystémique proposé (Figures 1.a, 1.c, 1.d, 3.f, 4.b) est transposable, quel que soit le niveau d'organisation envisagé (Bricage, 2001b, 2014c) : Figure 11. Ce qui conforte le choix de l'analyse factorielle comme outil de connaissance (Figures 2, 3, 4, 5). L'AFC est toujours un outil d'actualité pour l'étude des réseaux d'inter-actions. C'est un outil de plus en plus sophistiqué, grâce aux progrès de la programmation, et avec l'automatisation de l'écriture des logiciels [un logiciel est un système-de-systèmes, modulaire, écrit par emboîtements et juxtaposition de modules fonctionnels pré-existants (Figure 11.a)] et surtout à l'augmentation de la puissance de calcul, qui permet de constituer et d'analyser des bases de données toujours plus vastes, et ce avec de nouveaux modèles (Xu & Zeng, 2014). La probabilité de la représentation de la partie de la réalité étudiée diminue, par la prise en compte des signaux de faible probabilité (Figures 7, 8), mais, grâce à l'impression 3D, il est maintenant possible d'avoir **“une sculpture” du réseau d'interactions** qui permet de visualiser des acteurs en marge, ou d'avoir des représentations semblables mais différentes, qu'on peut faire tourner dans l'espace, en privilégiant la représentation d'un type d'inter-actions ou d'un type d'acteurs, ce qui améliore leur connaissance.

Cependant le fait de changer la métrique, -les distances entre acteurs, c'est-à-dire le poids des interactions, mesuré(e)s initialement en probabilité-, pour mettre mieux en évidence des ressemblances (*“qui se ressemblent s'assemblent”*) ou des différences, donne une image qui est **“une caricature” de la réalité**. Ce qui a des avantages, *l'image est “plus parlante”*, et des inconvénients, **“cette réalité virtuelle augmentée est encore moins la réalité”**. Ce qui pose des questions d'ordre éthique. Dans quelles limites a-t-on le droit d'augmenter, et d'affaiblir à la fois, la réalité -inconnaisable-, pour en représenter et en appréhender une partie de la complexité ? Dans quelle mesure le Tout représenté peut-il être à la fois plus et moins que la somme de la représentation de ses parties et de leurs inter-actions ?

En cohérence avec le respect de la méthodologie expérimentale (Bricage, 2008), quels sont les biais cognitifs qui peuvent grever notre interprétation de la réalité ? (Bricage, 2017c)

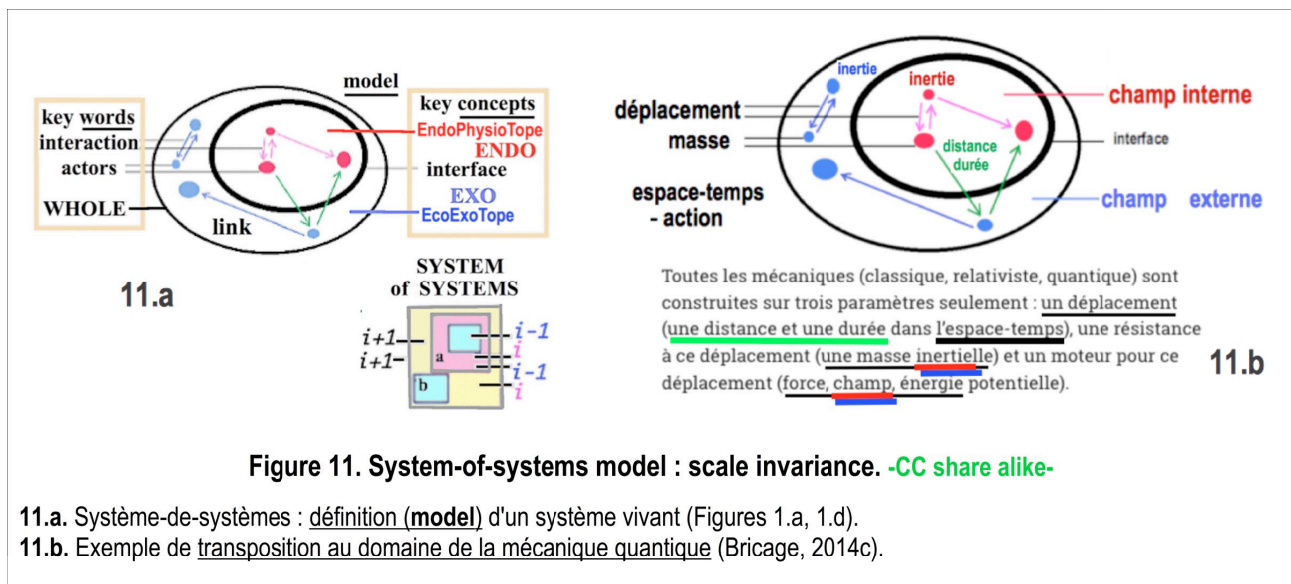


Figure 11. System-of-systems model : scale invariance. -CC share alike-

11.a. Système-de-systèmes : définition (model) d'un système vivant (Figures 1.a, 1.d).

11.b. Exemple de transposition au domaine de la mécanique quantique (Bricage, 2014c).

conclusions

“Assurons nous bien du fait avant de nous inquiéter de la cause.” Fontenelle

Avant l'analyse (Edwards, 1993), avant la formulation (Bruter, 1976), c'est le fait réellement observé qui est la cause première (Mohamed, 1973) !

La "collection industrielle" des données, trop souvent purement quantitatives (Figures 2.c, 4.d, 4.e), et leur méta-analyse (Eddy et al., 1992) (Figures 3, 4), est permise par l'émergence de nouvelles technologies ou méthodologies (CTRLQUAL), mais sans l'apparition de nouveaux concepts ou paradigmes (<http://armsada.eu>). La standardisation de l'information a permis des représentations consensuelles, mais pas forcément judicieuses (Marchais, 2008). Elles ne sont que la première étape de la connaissance et de l'utilisation du savoir (Figures 4.a, 4.b, 3.f), particulièrement dans les domaines sensibles de l'évolution humaine (Frégnac, 2017). Leur exploitation nécessite le respect de critères d'évaluation de leur pertinence, de leur correspondance, avec le réel. Des règles de "simplification" ne sont pas nécessairement nécessaires, ni bienvenues (Figures 3.f, 4.b, 8.f, 8.g). **L'intelligence artificielle est "capable" des mêmes biais cognitifs et éthiques que l'intelligence humaine** (Caliskan et al., 2017). Pour un système informatique, une définition ou un concept n'est qu'une chaîne de bits, pas un mot compréhensible, avec une connotation éthique humaine.¹

Par exemple, le "calage" (Figure 7.f) des horloges endogènes (Sehgal, 2013) détermine aussi leurs temps de latence et le moment de la prise et le type à utiliser de médicament : il faut que l'action pharmacodynamique aille dans le sens du temps du système (Bricage, 2013), en synergie temporelle, et pas a *contrario* (Figures 6.g, 7.e, 8.c).

A l'heure de la recherche collaborative, l'urgence est de mettre en place les normes d'une macro-gestion transparente des connaissances afin de garantir non seulement leur libre accès, ce qui implique la gratuité et le libre accès aux technologies, mais aussi la vérification par les citoyens de la prise en compte des acquis scientifiques ou sociétaux par les acteurs politiques et économiques (Devaquet, 1988) :

une société du citoyen, par le citoyen et pour le citoyen (Bricage, 2014a).

C'est l'accès aux langages et aux processus de création qui fait l'homme (Donnadieu, 2008).

bibliographie

- Bertin J. (1973) *Sémiologie Graphique. Les Diagrammes - Les Réseaux - Les Cartes*. Mouton, Paris, La Haye & Gauthier-Villars, Paris, 431 p.
- Bricage P. (1984) *Lathyrus macrorhizus: Influence des facteurs stationnels sur la floraison in situ*. *Canadian J. of Botany*, 62: pp. 241-245.
- 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*. pp. 261-265. In *Molecular & Physiological Aspects of Plant Peroxidases*, Univ. Geneva, Suisse (ISBN 2-88164-001-X).
- Bricage P. (1988) *La teneur en HMF des miels. Peut-elle avoir un effet sur la santé du consommateur ? Sa basse teneur peut-elle être un élément de valorisation du miel ?* *Bull. Tech. Apic.*, 16(69): pp. 255-262.
- Bricage P. (1989a) *L'altitude du point de vue du miel. Vers des appellations contrôlées toutes fleurs, de plaine, de montagne et de haute-montagne ?* *Acta biol. Montana*, IX: pp. 357-364.
- Bricage P. (1989b) *Action des micro-ondes (fréquences, intensités, durées) sur les systèmes biologiques : quels effets et quand ?* *Système BioÉnergétiques "Structure, Contrôle et Évolution"*, Société de Chimie Biologique, Bombannes, France, 55 p.
- Bricage P., D. Larroche & A. Duverger-Nedellec (1990) *Appraisalment of the defoliator Lepidoptera associations in a hardwood forest*. *Ikartzaleak*, 13: pp. 5-26.
- Bricage P. (1991a) *CTRLQUAL environnement logiciel de création et d'analyse de banques de données*. *sej*, 1 p. (INPI).
- Bricage P. (1991b) *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* vol. (2), pp. 5-21.
- Bricage P. (1993a) *Quelle pédagogie pour quelle formation ?* *Bull. A.E. ENS*, 2 : pp. 45-71.
- Bricage P. (1993b) *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. (1997) *Influence de la lune sur les rythmes biologiques ?* *Bull. Soc. Astronomie Pyr. Occident.*, 116 : pp. 71-77.
- Bricage P. (1998) *La préparation aux concours d'entrée des écoles paramédicales*. *SOINS, Formation, Pédagogie, Encadrement* (n° spécial : L'accréditation), 25: pp. 44-50.

¹ **Artificial Intelligence (AI) copies human stereotypes** in language (Word-Embedding Association Test). Analyzing hundred of billions of words on the internet, computers are learning racial and gender bias. **AI programs exhibit racial and gender biases**. Read more at: <https://phys.org/news/2017-04-biased-bots-human-prejudices-artificial.html#jCp>

- Bricage P. (2001a) *La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques: production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? La décision systémique: du biologique au social.* Colloque AFSCET, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr/Decision.pdf>
- Bricage P. (2001b) *Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. Les caractéristiques du vivant biologique et sociétal.* Atelier AFSCET, Paris, I.I.A.P., 1er décembre 2001, 11 p. <http://bricage.perso.univ-pau.fr/VivantErgodicite.pdf>
- Bricage P. (2003) *Types vigiles et performances éducatives. Peut-on enseigner en prêt-à-porter, de façon industrielle, ou doit-on enseigner sur mesure, de façon artisanale ? Fête de la Science*, Aquitaine, UPPA, Pau, UFR Sciences et Techniques, 79 p.
- Bricage P. (2005) *Modelling of time modularity of living systems: time delay, time duration, time lag and rhythms.* *Res. Systemica* 5: 11 p., <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Paris05/bricage2.pdf>
- Bricage P. (2008) *La démarche scientifique expérimentale, un langage "systémique" : mise en évidence d'une phase critique d'apprentissage. Systémique et langage.* Andé, Journées annuelles AFSCET, 30 p., <http://afscet.asso.fr/Ande08/pbAnde08ExpSci.pdf>
- Bricage P. (2010a) *Bilan épistémologique de la modélisation systémique de l'espace-temps-action du vivant : co-déterminisme global, prédictibilité locale et imprédictivité globale. Vers une nouvelle systémique.* Andé, Journées annuelles AFSCET, 34 p. <http://www.afscet.asso.fr/Ande10/pbETA vivant10.pdf>
- Bricage P. (2010b) *Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages. The way, to be resilient and self-sustainable, the Living Systems are Running Through.* 54th International Congress of the ISSS "Governance for a Resilient Planet" Waterloo, Ontario, Canada, 12 p. <http://journals.iss.org/index.php/proceedings54th/article/view/1491>
- Bricage P. (2011a) *Engineering Health and Social Sciences Curriculum: Governance of the Pedagogy, Pedagogy of the Governance. Towards A Holistic Behaviour of Teachers and Learners.* Keynote at IRDO International Symposium, "Holistic Education for Holistic Behaviour", Maribor, Slovenia, 7 p.
- Bricage P. (2011b) *La semi-autonomie du vivant : « pour que l'un survive, il faut d'abord que l'autre survive, et réciproquement ».* Balancing between individualism and collectivism, between union & breaking: « for the one to survive, all the other ones must survive first ». *Approche Systémique de la Diversité*, 8^e European Systems Science Congress, UES/EUS, Bruxelles, Belgique, Table ronde *Crises et réponses systémiques*, 28 p. <http://www.armsada.eu/files/pbARMSADA.pdf>
- Bricage P. (2011c) *The Social and Environmental Responsibility of Mankind. 1. About Man Interventions in the Living Networks: Modelling with a "Qualitative Animated Semiological Holistic" Point of View, a Systemic Approach, in an Holistic Way of Education to Explain The Issues of the Fighting Steps and the Escalade of Violence between Mankind and the Wild.*, Proceedings of The International Congress of the European Union for Systemics, *Approche Systémique de la Diversité*, Bruxelles, Belgique, IASCYS "Social Responsibility" Workshop, 25 p., <http://www.armsada.eu/files/pbManSERqash.pdf>
- Bricage P. (2012) *Le Jeu de la Vie. Systèmes vivants : les enjeux du temps, le temps des enjeux. Modélisation des temps internes d'un système vivant.* Journées Annuelles de l'AFSCET à Andé, *Jeux et Enjeux : Systèmes, Modèles et Jeux*, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr/Ande12/pbAnde2012texte.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, pp 677–692.
- Bricage P. (2014a) *An Approach of Organizations and Management: Systemic Ethics, Democracy and Sustainability.* *Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages.* *International Journal of Public and Private Management*, vol 1, no 1, pp. 90-113.
- Bricage P. (2014b) *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*. Robert G. Dyck & Matjaž Mulej, Bentham Science, vol 3. pp. 257-277.
- Bricage P. (2014c) *Loi puissance d'invariance spatiotemporelle des systèmes vivants.* *Revista Internacional de Sistemas*, vol 19, pp. 5-33.
- Bricage P. (2017a) *Modelling Space-Time-Action Modularity and Evolution of Living Systems.* In *Advances in Complex Societal, Environmental and Engineered Systems*. Mohamed Nemiche & Mohammad Essaaidi, Springer, Berlin, pp. 269-297.
- Bricage P. (2017b) *Use of chronolithotherapy for better individual healthcare and welfare.* *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 26(3): pp. 1-23. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11518-017-5336-6>
- Bricage P. (2017c) *Systèmes vivants. Data-Visualisation: biais cognitifs innés et acquis. Résumé.* Journées de l'AFSCET à Andé, "La représentation face à l'explosion des données", 1 p., http://www.afscet.asso.fr/Ande17/pbAnde2017_biais-resume.pdf
- Bruter C.-P. (1976) *La formule et le fait.* *Bull. GERB*, 8 : pp. 185-200.
- Burdick R.K. & F.A. Graybill (1992) *Confidence Intervals on Variance Components.* Marcel Dekker Inc, New York, 232 p.
- Caliskan A., Bryson J.J. & A. Narayanan (2017) *Semantics derived automatically from language corpora contain human-like biases.*, *Science*, Vol. 356, Issue 6334, pp. 183-186. science.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.aal4230
- Collectif (2004) *International Encyclopedia of Systems and Cybernetics.* -François Ch. Editor-, K.G. Saur, München, 2nd edition, 2 parts, 741 p.
- Devaquet A. (1988) *L'amibe et l'étudiant.* Editions Odile Jacob, Paris, 331 p.

- Donnadiou G. (2008) *Langages et processus de création : ce qui fait l'homme ? Langages systémique et cartésien dans le processus de création*. Journées Afsctet à Andé, 2 p. <http://www.afscet.asso.fr/Ande08/gDonnadiouAnde08.pdf>
- Eddy D.M., Hasselblad V. & R. Shachter (1992) *Meta-Analysis by the Confidence Profile Method*. Academic Press, Statistical Modeling and Decision Science Series, London, 440 p.
- Edwards L.E. (1993) *Applied Analysis of Variance in Behavioral Science*. Marcel Dekker Inc, New York, 648 p.
- Frégnac Y. (2017) *Big data et industrialisation des sciences du cerveau : une stratégie incertaines ? La Recherche* n° 521 (mars 2017), p. 91.
- Galissié M., Abravanel G., Marengo M.J. & G. Vaysse (1987) *Variations du taux des acides aminés et des métabolites de la chaîne du tryptophane chez la drosophile en fonction du milieu nutritif, de l'âge et du nyctémère*. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, n° 123, pp. 95-104.
- Halévy M. (2013) *Ni hasard, ni nécessité. Physique et métaphysique de l'intention*. Oxus, Toulouse, 256 p.
- Jambu M. (1991) *Exploratory and Multivariate Data Analysis*. Academic Press, Statistical Modeling and Decision Science Series, London, 474 p.
- Khodayari A. & C.D. Maranas (2016) *A genome-scale Escherichia coli kinetic metabolic model k-ecoli457 satisfying flux data for multiple mutant strains*, *Nature Communications* 7, 13806, 12 p. (supplementary data 33 p.)
- Mangin L. (2017) *Les données, objets d'art*. *Pour La Science* n° 471, p. 86.
- Marchais P. (2008) *Consensus et langage : l'exemple de la schizophrénie*. *Langages systémique et cartésien dans le processus de création*. Journées Afsctet à Andé, 3 p. <http://www.afscet.asso.fr/Ande08/pmarchaisande08.pdf>
- Mohamed M.I. (1973) *Field observations on the nesting activities of Tetralonia lanuginosa Klug*. *Dtsch. Ent. Z.*, 20(IV-V): pp. 345-353.
- Parker B. M., Balland R. & R. Cazalas (1952) *Les Merveilles de la Nature*. Les deux coqs d'or, Paris, 213 p.
- Priestley M.B. (1982) *Spectral Analysis and Time Series*. Vol. 1. *Univariate Series*. & Vol. 2. *Multivariate Series. Prediction and Control*. Academic Press, London, 892 p.
- Rovine M.J. and A. von Eye A. (1991) *Applied Computational Statistics in Longitudinal Research*. Academic Press, Statistical Modeling and Decision Science Series, London, 237 p.
- Sehgal A. (2013) *Biological Clocks*. In Wolverson M. *Living by the Clock*. Penn Medicine, Spring, pp. 17-23
- von Eye A. (1990a) *Statistical Methods in Longitudinal Research*. Vol 1. *Principles and Structuring Change*. Academic Press, Statistical Modeling and Decision Science Series, London, 256 p.
- von Eye A. (1990b) *Statistical Methods in Longitudinal Research*. Vol 2. *Time Series and Categorical Longitudinal Data*. Academic Press, Statistical Modeling and Decision Science Series, London, 312 p.
- Welford R.W.D., M. Vercauteren, A. Trébaul, C. Cattaneo, D. Eckert, M. Garzotti, P. Sieber, J. Segrestaa, R. Studer, P.M.A. Groenen & O. Nayler (2016) *Serotonin biosynthesis as a predictive marker of serotonin pharmacodynamics and disease-induced dysregulation*. *Nature Scientific Reports* 6:30059, 10 p.
- Winfrey A. (1994) *Les horloges de la vie. Les mathématiques des rythmes biologiques*. Pour La Science, Belin Éditions, Paris, 187 p.
- Xu J. & Z. Zeng (2014) *Fuzzy-Like Multiple Objective Multistage Decision Making*. *Studies in Computational Intelligence* 533, Springer Verlag, Heidelberg, New York, London, 378 p.