

Organisation, intégration et espace-temps des systèmes vivants.

pierre.bricage@univ-pau.fr

Sciences Biologiques & Sciences Sanitaires et Sociales, Faculté des Sciences,
Université de Pau et des Pays de l'Adour, avenue de l'Université 64000 PAU

résumé

Il ne faut pas confondre l'intégration et l'organisation.

L'organisation est, à la fois, la **compartimentation spatiale** (c'est-à-dire l'anatomie structurale et fonctionnelle du système, avec une place pour chaque chose et chaque chose à sa place) et la **compartimentation temporelle** (c'est-à-dire la chronophysiologie du système, avec un temps pour chaque chose et chaque chose en son temps). Elle est la cause et la conséquence des réseaux d'interactions endogènes dans cet **espace-temps interne** au système (son **endophysiotope**).

Quel que soit le niveau d'organisation considéré, l'intégration est "scellée" par **l'adéquation** entre les paramètres de l'espace-temps du milieu de survie et, à la fois, la place occupée et la temporalité exprimée du système (sa "niche" écosystémique) dans cet **espace-temps externe**. Elle est la cause et la conséquence des réseaux d'interactions entre l'espace-temps interne du système et son espace-temps externe (son **écoexotope**).

L'intégration est la cause et la conséquence du maintien ou du changement de l'organisation de tout système. L'apparition de nouveaux plans d'organisation est assurée par la mise en place d'**associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés** qui permettent la création de nouveaux modes d'intégration. Les visions linéaires de la classification et de l'évolution des systèmes vivants doivent donc être abandonnées.

introduction

Qu'est-ce que l'intégration ?

L'aborigène australien est **intégré dans son habitat** sauvage, hostile pour tout autre que lui, dans lequel il survit, et se survit, **grâce à ses héritages**, biologique, social, technique et culturel. Dans le vide spatial, le cosmonaute est intégré à son scaphandre autonome qui reconstitue les paramètres de son milieu de survie. Pour aider une personne handicapée, réparer le handicap ne suffit pas, il faut d'abord lui permettre de rester intégrée dans la société dans laquelle elle vit. C'est l'existence d'un milieu social **en adéquation**, avec des ateliers professionnels protégés, qui permet l'intégration des handicapés sévères.

Les girafes du Niger, seules survivantes de l'espèce en Afrique de l'Ouest, ont failli disparaître, victimes à la fois des braconniers et de la destruction de leur habitat. Un projet de sauvegarde du couvert végétal, indispensable à leur survie, a permis leur conservation, quand les habitants de la région ont compris que ce faisant ils garantissaient aussi la fertilité des sols et la nourriture de leurs troupeaux, donc leur propre survie.

Tout être vivant est un système ¹ organisé indissociable de son milieu de survie. ²

¹ **système** (du Grec syn, sys: ensemble):

- ensemble ordonné, **organisé dans l'espace et dans le temps**, d'éléments, définis à la fois par **leurs rôles** propres et par **les relations** qu'ils entretiennent, en réseau ;
- un écosystème est un **niveau d'organisation** qui comporte une biocénose intégrée dans un biotope.
- biocénose (du grec bio: vie & ceno: **assemblée**): ensemble des différentes formes de vie habitant un biotope,
- biotope (du grec topo: **lieu**): ensemble des conditions (biotiques et abiotiques) du milieu de survie.

En permanence, tout organisme doit re-construire son organisation et re-créer son autonomie, il est donc sans cesse dépendant de son environnement externe de survie, son **  coexotop**, dans lequel il s'auto-régénère continuellement.

Survivre c'est d'abord "manger et ne pas être mangé". ³

Dans ce milieu, il puise de la matière, de l'énergie et de l'information, il est **intégré** ⁴ au sein d'une chaîne alimentaire. Avant de pouvoir se survivre dans sa descendance, il doit d'abord rester en vie, survivre, en prolongeant son existence au-delà des   v  nements insupportables qui peuvent entraîner sa disparition.

I. organisation et intégration des systèmes vivants

1. la cellule eucaryote

a. l'organisation spatiale du système

Observée au microscope, une cellule apparaît **organisée en compartiments juxtaposés**, les organites, **eux-mêmes emboîtés** dans le cytoplasme. Dans le cytoplasme d'une cellule végétale, le compartiment nucléaire est juxtaposé à une population de mitochondries ⁵, à une population de chloroplastes et à une population de peroxysomes. ⁶

Des flux de matière et d'énergie circulent entre ces différents compartiments qui constituent des **espaces structuraux et fonctionnels différents séparés par des limites** membranaires. Ainsi au cours du cycle photorespiratoire des plantes en C3, le compartiment chloroplastique reçoit du compartiment peroxysomal du gly  rate. Le chloroplaste transforme le phosphogly  rate en phosphoglycolate et le retourne au peroxysome qui le transforme en glyoxylate. Transféré dans le compartiment mitochondrial il y est transformé en glycine puis en sérine. La photorespiration semble être un inconvénient pour l'homme qui cultive des plantes en C3 (pour les manger, ou les donner à manger à ses animaux domestiques), car ce phosphogly  rate est perdu par la plante pour la synthèse de ses glucides. Mais, pour la plante, cet **inconvénient est un avantage** car elle transforme un produit banal, à faible valeur métabolique ajoutée, un glucide, en un produit, à très haute valeur ajoutée, un acide aminé, indispensable à la synthèse de ses protéines.

Survivre c'est transformer des inconvénients en avantages. ⁷

Toute cellule, d'un organisme animal ou végétal, est intégrée au milieu **interne à cet organisme**, ce milieu **externe pour les cellules** permet leur survie. Dans ce milieu, chaque cellule possède une identité propre qui lui est conférée par ses protéines membranaires de surface sur lesquelles se fixent des hormones, ou des toxines, ou des anti-corps ou des enzymes ou des récepteurs bactériens ou viraux ou des protéines d'adhésion d'autres cellules.

² Bricage P. 1991 Les Caractéristiques des Organismes Vivants. Fac. Sci. Univ. Pau, A.P.I.D.S., 44 p.

³ Bricage P. 1998 La Survie des Systèmes Vivants. Atelier MCX20 "Prendre soin de l'homme", Pau, 19 oct. 1998, 3 p. <http://www.mcxapc.org>

⁴ **intégration:**

- action d'intégrer, d'entrer **dans un ensemble plus vaste** (s'intégrer, ou être intégré, **dans un milieu externe**, une organisation de niveau supérieur), du Latin integrare (recréer),
- ne pas confondre avec le Latin integer (entier) qui a donné être intègre, être entier, ce qui correspond à un niveau d'organisation d'un système,
- en mathématiques, limite (**niveau supérieur**: le tout) d'une somme de termes (de **niveau inférieur**: les parties),
- les parties d'un tout sont intégrées dans ce tout, organisation structurale et fonctionnelle avec sa régulation.

⁵ une cellule de levure contient 100 mitochondries, une du foie peut en contenir 1000, et une amibe jusqu'à 100.000 !

⁶ 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 And  , 18-19 mars 2000, 7 p. <http://www.afscet.asso.fr/violencePB.html>

⁷ Bricage P. 1998 La Survie des Systèmes Vivants. Atelier MCX20 "Prendre soin de l'homme", Pau, 19 oct. 1998, 3 p. <http://www.mcxapc.org>

b. l'organisation temporelle du système

Toute cellule présente une modulation de la période oscillatoire de ses diverses fonctions en relation avec **le maintien ou le changement** des paramètres de son écoexotope. ⁸

In vitro, lorsque l'écoexotope est carencé en substances nutritives, **globalement**, l'organisme unicellulaire *Tetrahymena thermophila* exprime un régime oscillatoire circadien (à périodicité voisine de 24h). Lorsque les concentrations en nutriments sont élevées, il passe à un régime ultradien (à périodicité voisine de 4h à 5h). Ce changement est continuellement **maintenue ou réversible** si les conditions de survie se maintiennent ou changent.

Ce calendrier horaire global n'empêche pas chaque compartiment intra-cellulaire de conserver son rythme propre. Ainsi le compartiment mitochondrial présente un rythme respiratoire d'environ 30 minutes. La synchronisation entre cellules différentes d'une même population ou entre les populations différentes d'organites à l'intérieur d'une même cellule est assurée par des cycles de maintien ou de changement de température.

Autre organisme unicellulaire, *Gonyaulax* oscille **uniquement** avec un rythme circadien, tandis que *Euglena gracilis* oscille **simultanément** avec des périodes circa- et ultra-diennes.

Chaque organisme peut être caractérisé à la fois par son organisation spatiale et son organisation temporelle. Les 2 sont sous la dépendance de **l'intégration** de l'organisme à son milieu de survie. Elles dépendent de **l'adéquation entre l'écoexotope et l'endophysiotope**.

Il existe à la fois **des horloges internes et des horloges externes**.

Les horloges internes sont responsables de rythmes endogènes, qui se déroulent dans l'endophysiotope, indépendamment des variations de l'écoexotope, et qui persistent en conditions externes constantes. Les horloges externes sont responsables de rythmes d'origine exogène. Ils sont entraînés par des variations périodiques de paramètres "donneurs de temps (zeitgeber)", de l'écoexotope, comme les variations, journalières ou saisonnières, de la température, de la lumière, ou du pH.

Ces paramètres **synchroniseurs** peuvent être perçus à tous les niveaux d'organisation d'une cellule, d'un organisme ou d'un écosystème. ⁹

2. interactions intégratives entre hôte et parasite

La lèpre est due au bacille de Hansen, *Mycobacterium leprae*, **parasite intra-cellulaire** obligatoire, **dont l'homme est le réservoir exclusif**.

a. déterminisme des interactions ?

C'est l'interaction entre le bacille **hôte-envahisseur** et les cellules du système immunitaire de l'**hôte-envahi** qui **détermine la forme exprimée de la maladie**. Dans la forme lépromateuse, mortelle, les lésions ouvertes sont disséminées, le système immunitaire ne répond pas contre les bacilles, nombreux. Dans la forme tuberculoïde, mutilante, les bacilles sont rares et la réponse immunitaire est violente. Tous les degrés de réponse existent entre ces 2 formes. ¹⁰

Les Mycobactéries, organismes actinomycètes (procaryotes intermédiaires entre les champignons et les bactéries), sont très répandus dans les eaux, même salées (*M. marinum*), et les sols (*M. humiferum*). Ces saprophytes, habituellement inoffensifs, recyclent les déchets organiques en décomposition. Certains sont parasites des végétaux (*M. phlei*) ou des animaux, dont l'homme.

La tuberculose, en recrudescence, est due à *M. tuberculosis*. ¹¹

⁸ Balzer I. & al. 1994 Passage du régime ultradien à un régime circadien dans les oscillations de plusieurs paramètres physiologiques en fonction de la composition du milieu nutritif de *Tetrahymena thermophila*. *Bull. G.E.R.B.* 26: 167-171.

⁹ 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. *Molecular & Physiological Aspects of Plant Peroxidases*, Univ. Genève, p. 261-265.

¹⁰ Bricage P. 1975 Quelques aspects d'une maladie endémique: la lèpre. *Bull. AASNS* n° 51: 5-12.

¹¹ Leurs niches écologiques, leurs **preferendums biotiques**, sont différents,

La lèpre existe toujours, particulièrement en Afrique de l'Ouest, au Brésil et aux Indes. Et, paradoxalement, alors que le nombre de malades se réduit, la maladie gagne du terrain.¹² La tuberculose aussi gagne du terrain¹³, sa transmission étant extrêmement facile par voie aérienne.¹⁴

Le seul traitement curatif est une polychimiothérapie¹⁵ longue (de 6 mois à 2 ans), douloureuse, toxique. Mais, il existe des formes bacillaires résistantes à tous les antibiotiques, même aux plus récents, souvent extrêmement coûteux, comme la rifampicine.

La résistance du *M. tuberculosis* aux anti-tuberculeux progresse aussi.¹⁶

La lèpre est la conséquence des **interactions entre les héritages génétiques**¹⁷ de l'homme et des bacilles: - au moins 2 gènes de prédisposition à la forme tuberculoïde existent¹⁸, - dans les lésions lépromateuses, la réponse anti-bacillaire existe, mais elle est empêchée par des lymphocytes T suppresseurs, - cette suppression est induite par au moins 1 protéine du bacille¹⁹, - le séquençage du génome du bacille de la tuberculose a montré l'existence de 2 nouvelles familles protéiques impliquées dans les interactions avec les cellules hôtes²⁰.

La lèpre ou la tuberculose sont liées à **l'héritage environnemental**: le manque d'hygiène et la misère favorisent leur propagation, tout comme celle du SIDA.²¹

Mycobacterium leprae ne se multiplie que dans les histiocytes des tissus conjonctifs. Et, les histiocytes ne détruisent pas le parasite et le parasite ne les détruit pas.

"Tout se passe comme s'il existait une entente entre l'hôte et le parasite".²²

Pourtant, les macrophages et les lymphocytes réagissent à la présence de l'intrus puisqu'on observe des phénomènes d'hypersensibilité retardée.

b. survivre c'est "manger et ne pas être mangé"

Protégés par une enveloppe cireuse qui double leur membrane plasmique, les bacilles, lépreux ou tuberculeux²³, sont **résistants à la phagocytose** et, dans les voies respiratoires et les nerfs périphériques, les cellules dans lesquelles ils se multiplient, hypertrophiées, forment des nodules. Dans les macrophages infectés la persistance de quelques bacilles tuberculeux suffit à relancer la maladie. Le bacille ne sécrète pas de toxine, il se contente de proliférer. Même si sa **croissance en nombre** est extrêmement lente²⁴ (avec un temps de division optimale de 14 jours, contre 20 h pour *M. tuberculosis*, et 20 minutes pour *Escherichia coli*), un lépromateux en fin de vie héberge cent million de bacilles par gramme de tissu vivant.

c. l'endophysiotope de l'un est l'écoexotope de l'autre

Pour survivre le bacille mobilise la matière et l'énergie disponibles dans son milieu externe de survie, son **écoexotope**. Mais cet écoexotope est aussi le milieu interne de fonctionnement et de survie,

M. leprae, exclusivement **intra-cellulaire**, survit dans les tissus **périphériques**,

M. tuberculosis, **intra- et extra-cellulaire**, survit dans les organes **internes**.

¹² Leibkowitz F. & al. **2001** Leprosy in Israel. *Acta histochemica*, 103: 433-436.

¹³ Raviglione M.C. & al. 1995 Global epidemiology of tuberculosis. Morbidity and mortality of a worldwide epidemia. *JAMA* 273: 220-226.

¹⁴ Driver C.R. & al. 1994 Transmission of Mycobacterium tuberculosis associated with air travel. *JAMA* 272: 1031-1035.

¹⁵ Collectif 1997 Traitement actuel de la lèpre. *Le Concours Médical* n° 119-06, 15 févr. 1997, p. 388.

¹⁶ Collectif **2002** Faut-il supprimer le BCG ? *La Recherche* n° 356 p. 66-73.

¹⁷ Bricage P. **2002** Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systématique du vivant. Colloque AFSCET André *Évolution du vivant et du social* : Analogies et différences. 20 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹⁸ Casanova J. & al. *Nature Genetics* 33, mars **2003**. Unité INSERM 550 Génétique des maladies infectieuses.

¹⁹ Modin R.L. & al. 1986 *Nature* 322, 459., et, Ottenhoff T.M.T & al. 1986 *Nature* 322: 462.

²⁰ Cole S.T. & B.G. Barrell 1998 *Nature* 393: 537-544.

²¹ Huchon G. 1999 La tuberculose. *impact médecine* n° 42 p. I-XXII.

²² Bricage P. 1998 La Survie des Systèmes Vivants. MCX20 "Prendre soin de l'homme", 3 p. <http://www.mcxapc.org>

²³ Neyrolles O. & B. Gicquel **2003** La tuberculose: mythes et réalités. *Pour La Science* 303: 46-53.

²⁴ Maurice J. 1987 La lèpre. *La Recherche* n° 190, p. 982-991.

l'**endophysiotope**, des cellules d'un autre organisme, l'homme, qui lui est mangé. La maladie est la conséquence d'une lutte entre une population de mycobactéries, et un organisme, dont les cellules sont la seule "niche écologique" **le seul milieu de survie**.²⁵

Les bacilles sont **séquestrés** à l'intérieur d'une vacuole délimitée par une **membrane** phagocytaire, équivalente à la membrane plasmique de la cellule et à la membrane externe des mitochondries. La membrane propre au bacille, le délimitant, est équivalente à la membrane interne des mitochondries.



Figure 1. topologie de systèmes adjacents: emboîtements et juxtaposition.

3. la symbiose²⁶ :

interactions entre organisation et intégration

La symbiose *Rhizobium*-Légumineuse est une réussite de l'évolution du vivant puisque les légumineuses comportent plus de 13000 espèces.

Il n'y a **pas de différence systémique**, d'organisation structurale ou fonctionnelle, entre un nodule lépreux et un nodule d'une racine de légumineuse.²⁷

a. métamorphoses simultanées de l'un et de l'autre

Les 2 phénomènes **débutent par une phase d'invasion** d'un organisme (homme ou légumineuse) par une population de bactéries libres, par une blessure.²⁸

Le génome de *Sinorhizobium meliloti*, une espèce de *Rhizobium*, a été séquencé.²⁹ Le génome de sa forme endocytoplasmique est moins riche en information que celui de sa forme à vie libre, qui contient 2 mégaplasmides de plus. *S. meliloti* est génétiquement mieux équipée que beaucoup d'autres bactéries, uniquement à vie libre, pour survivre à la sécheresse et aux carences organiques de son écoexotope dans la mesure où l'oxygénation et le pH du sol le permettent !³⁰

Pourquoi se métamorphose-t-elle en une forme parasite puis endosymbiotique ?³¹

Comment se comportent les partenaires entrés en contact ?

Au cours de l'infection, les bacilles du *Rhizobium* sont protégés par une paroi squelettique³², comme le sont les bacilles lépreux par leur paroi cireuse. Dans les nodules racinaires des légumineuses coexistent des cellules normales non-envahies et des cellules géantes (hypertrophiées, comme celles envahies par *M. leprae*) qui hébergent les bactéroïdes du *Rhizobium* envahisseur.³³ La membrane de séquestration des bactéroïdes, qui les entoure comme celle qui entoure les bacilles lépreux acido-alcool-résistants, possède la même structure, les mêmes activités enzymatiques³⁴ et la même origine que la membrane plasmique ou la membrane d'une vacuole de digestion (comme celle qui entoure tout envahisseur intra-cellulaire ou toute proie ingérée).

Mais, dans ce cas, après une phase de vie parasitaire, d'invasion et de lutte, **un équilibre** s'installe entre les 2 partenaires **qui restent séparés tout en ne faisant plus qu'un**.

²⁵ Bricage P. 2002 The Evolutionary Shuttle of the Living Systems. 5th European Systems Science Congress Greece *Res. Systemica* 2: 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/>

²⁶ Sapp J. 1994 **Evolution by Association. A history of Symbiosis**. Oxford University Press, 255 p.

²⁷ Duhoux E. 1981 La fixation biologique de l'azote atmosphérique. *Bull AASNS* n° 74 p. 7-14.

²⁸ Brill W. 1981 Agriculture et microbiologie. *Pour La Science* nov. 1981, p. 66-78.

²⁹ Galibert F. & al. 2001 The composite genome of the legume symbiont *Sinorhizobium meliloti*. *Science* 293: 668-672.

³⁰ Boulard B. 1990 Les bactériorhizes des légumineuses. *Guerre et paix dans le règne végétal*. p. 214-222. Ellipses Paris

³¹ du Grec **endo**: à l'intérieur, **syn** (sys): ensemble, **endosymbiotique**: qui ne forment qu'un par **emboîtement**.

³² De Faria S.M. & al. 1987 The occurrence of infected cells, with persistent infection threads, in legume root nodules. *Can. J. Botany* 65: 553-558.

³³ *Science* 1981, 212: 1394-1396.

³⁴ Azuara M.P. & P.J. Aparicio 1985 Presence of host-plasma membrane type H⁺ ATPase in the membrane envelope enclosing the bacteroids in soybean root nodules. *Plant Physiol.* 78: 665-672.

b. l'endophysiotope de l'un est l'écoexotope de l'autre

Cet équilibre correspond **à la fois** à une perte d'agressivité de la population de *Rhizobium* envahissante et à une perte de résistance d'une partie de la population des cellules racinaires envahies: **le tout est moins que la somme de ses parties**. Et, avec la fin de la lutte, cette **perte simultanée par chaque protagoniste de la capacité de détruire l'autre** ³⁵, permet l'émergence de propriétés nouvelles: **le tout est plus que la somme de ses parties**.

Le tout est à la fois plus et moins que la somme de ses parties. ³⁶

En effet, au sein du nodule, les bactéroïdes fixent l'azote atmosphérique grâce à une activité nitrogénasique, qu'ils n'exprimaient pas quand ils survivaient libres (hors de la plante, en aérobiose) et qu'ils expriment maintenant, "piégés" au sein du cytoplasme cellulaire. Aucune plante ne possède de gène codant une nitrogénase. ³⁷ Mais, cette nitrogénase ne peut fonctionner qu'en anaérobiose. Et c'est l'expression par la plante de gènes codant une (leg-)hémoglobine qui permet à la fois l'approvisionnement en oxygène des mitochondries (indispensable à un fonctionnement cellulaire maintenant très gourmand en énergie: les nodules sont de grands consommateurs d'oxygène) et la privation d'oxygène des bactéroïdes (indispensable à leur "asservissement" par les cellules, qui les hébergent et les nourrissent).

Tout ce qui est un inconvénient pour l'un est un avantage pour l'autre et réciproquement.

c. cet équilibre peut être rompu ou différent ³⁸

Les bactéroïdes intra-cellulaires des nodules du soja sont capables de redonner la forme bactérienne à vie libre, soit à la suite de la destruction des nodules, au cours de la sénescence de la plante, soit par auto-destruction de l'association par la seule activité protéolytique des bactéroïdes. ³⁹

D'autres actinomycètes, les *Frankia*, forment des nodules fixateurs d'azote atmosphérique, semblables à ceux des *Rhizobium*, mais sur les racines des aulnes. ⁴⁰

Leur preferendum biotique est différent.

4. l'origine endosymbiotique des mitochondries

La cellule de levure, *Saccharomyces cerevisiae*, possède **2 formes de survie**.

En milieu aérobie, les levures sont de la forme "grande". Leur cytoplasme présente une population de nombreuses et volumineuses mitochondries. En milieu anaérobie, cette population se réduit en nombre, les mitochondries restent indifférenciées, et la croissance de la cellule est réduite. La perte de la fonctionnalité des mitochondries par mutation, entraîne le même résultat, quel que soit le milieu de survie, les levures sont de la forme "petite". Les cellules qui hébergent des mitochondries sont des cellules géantes par rapport à celles qui n'en ont pas.

a. l'écoexotope est le facteur limitant de la croissance

La structure plasmique, le génome et la physiologie des mitochondries sont ceux d'une bactérie. Mitochondries et *Rhizobium* dérivent d'un **ancêtre commun**, une protéobactérie. ⁴¹ La membrane externe

³⁵ Bricage P. **2002** Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systémique du vivant. *Évolution du vivant et du social : Analogies et différences*. Colloque AFSCET Andé, 20 p. <http://www.afscet.asso.fr>

³⁶ Bricage P. **2000** La Survie des Organismes Vivants. *Atelier AFSCET "Systémique & Biologie"*, Fac. Médecine, Paris, 4 fév. 2000, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr>

³⁷ Gourret J.P. **2002** Primitive, l'oxygénation de nos cellules ? *La Recherche* 359: 6.

³⁸ 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.

³⁹ Pfeiffer N.E. & al. 1983 Proteolytic activity in soybean root nodules. Activity in host cell cytosol and bacteroids throughout physiological development and senescence. *Plant Physiol.* 71: 797-802.

⁴⁰ Margulis L. & al. 1999 *Diversity of life*. pp. 36 & 44. Jones & Bartlett, Boston, 248 p.

⁴¹ Anderssen S.G.E. & al. 1998 The genome sequence of *Rickettsia prowazekii* and the origin of mitochondria. *Nature* 396: 133-143.

des mitochondries est une **membrane de séquestration**, elle possède une structure et des activités enzymatiques voisines de celles de la membrane plasmique ou de la membrane d'une vacuole de digestion. Par contre, la membrane interne de la mitochondrie ressemble étonnamment à une membrane bactérienne.

La cellule de levure possède une paroi squelettique très épaisse en anaérobiose mais moins épaisse en aérobiose et plus fragile encore au cours de sa croissance en masse et surtout en nombre (division cellulaire). L'infection par les bactéries ancêtres des mitochondries a pu être possible à ce stade du développement. Les mitochondries possèdent encore un pouvoir infectieux ⁴² et elles peuvent coloniser des cellules voisines chez les champignons pluri-cellulaires.

À la suite de l'invasion par un ancêtre des mitochondries d'un ancêtre du cytoplasme de l'actuelle cellule eucaryote, **un nouveau niveau d'organisation** structurale et fonctionnelle s'est installé entre les partenaires **par métamorphoses simultanées des deux**. ⁴³ La majorité des protéines mitochondriales est synthétisée dans le cytoplasme, du partenaire hébergeant, et est codée par des gènes nucléaires, qui dérivent de gènes mitochondriaux transférés à une autre structure, d'un autre partenaire, le noyau, également hébergé par le cytoplasme.

b. la survie de l'un passe par celle de l'autre

Les 2 systèmes de mémorisation et d'expression de l'information génétique coopèrent de telle façon que la croissance en nombre des mitochondries est limitée par la croissance en masse du cytoplasme et que la croissance en nombre de la cellule est limitée par la croissance en nombre des mitochondries qui limite elle-même la croissance en masse de la cellule.

L'écoexotope est le facteur limitant de la croissance de l'endophysiotope. ⁴⁴

Pour que l'un survive, il faut d'abord que l'autre survive, et réciproquement. ⁴⁵

Il n'y a **pas de différence systémique**, structurale ou fonctionnelle, entre une bactérie endoparasite comme *Listeria monocytogenes* ⁴⁶ (responsable de la listériose chez la femme enceinte et le nouveau-né) qui voyage, de cellule en cellule, au sein d'une vacuole où elle n'est pas lysée, et une mitochondrie, qui est une ancienne bactérie à vie libre devenue endosymbiotique, et qui a conservé un pouvoir infectieux des cellules, de proche en proche.

Survivre c'est "intégrer et être intégré dans" un écoexotope en adéquation avec son endophysiotope.
--

L'organisation spatiale (et temporelle) de la mitochondrie retentit sur l'organisation spatiale (et temporelle) de la cellule (dans laquelle elle est emboîtée), **et réciproquement**. Et, cette interdépendance entre ces 2 niveaux d'organisation adjacents retentit sur la survie du niveau d'organisation adjacent supérieur (l'organisme). ⁴⁷

5. tout bio-système est un éco-système

Un écosystème est un **niveau d'organisation** qui comporte une biocénose intégrée dans un biotope. Le biotope est l'ensemble des conditions, biotiques et abiotiques, de l'écoexotope. La biocénose, ensemble des populations des différentes formes de vie habitant ce biotope, est l'endophysiotope. Le tout

⁴² Orgel L.E. 1997, Preventive mitochondrial replacement. *Chemistry & Biology* 4:167-168.

⁴³ Barath Z. & H. Küntzel 1972 Generation of Mitochondrial and nuclear genes specifying the mitochondrial apparatus in *Neurospora crassa*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 69: 1371-1374.

⁴⁴ Bricage P. 2000 Systèmes biologiques : le "jeu" de la croissance et de la survie. Quelles règles ? Quelles décisions ? Quels bilans ? *La décision systémique: du biologique au social*. Atelier AFSCET, Paris, Institut International d'Administration Publique, 25 nov. 2000, 6 p. <http://www.afscet.asso.fr>

⁴⁵ Bricage P. 2001 La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques: production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? *La décision systémique: du biologique au social*. Colloque AFSCET, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr>

⁴⁶ Picallo P. 1995 La listériose. *Impact Médecin Hebdo* 277: 46-47.

⁴⁷ Naya F.J. & al. 2002 Mitochondrial deficiency and cardiac sudden death in mice lacking the MEF2A transcription factor. *Nature Genetics* 8: 1303-1309.

est un ensemble hiérarchisé, **organisé dans l'espace et dans le temps**, d'éléments, définis à la fois par **leurs rôles** propres et par **les relations** qu'ils entretiennent, en **réseau**.⁴⁸

La cellule de levure est un écosystème qui comprend une population de mitochondries intégrée dans son biotope cytoplasmique.

a. organisation spatiale et réseaux trophiques

L'écosystème forestier est constitué de populations d'espèces, végétales, animales, microbiennes et virales, **en interaction dans un même espace**. Comme l'écosystème cellulaire, il présente une organisation spatiale et temporelle. L'organisation spatiale est à la fois une **organisation structurale**, en strates superposées, des organismes végétaux qui atteignent des hauteurs différentes, et une **organisation fonctionnelle** des organismes animaux qui occupent des espaces différents (le sol, l'eau, l'air). Cette organisation, où chaque espèce a sa place (sa niche écologique), est **en adéquation** avec leurs modes de vie, leurs modes de déplacement (courir, nager, voler), et ce qu'ils mangent (les oiseaux recherchent les chenilles au sol ou sur les feuilles) et ce qui les mange (les oiseaux évitent d'aller au sol où ils sont les proies de prédateurs carnivores).

L'organisation de l'endophysiotope forestier résulte d'**un ensemble de réseaux trophiques en interaction**.⁴⁹ "Survivre c'est manger et ne pas être mangé".

Toute place au sein de ce réseau présente **à la fois des avantages et des inconvénients**.

C'est un avantage pour l'oiseau d'être au sol, car, tôt ou tard, les chenilles, qui descendent des arbres en consommant au passage leurs feuilles, arrivent au sol en grande quantité. Mais cet avantage est un inconvénient, car, au sol, l'oiseau est plus vulnérable, et est exposé à un plus grand nombre de prédateurs, qu'en vol.⁵⁰

"Survivre c'est éviter que les avantages deviennent des inconvénients."⁵¹

Et, l'homme n'est pas une exception.⁵²

b. organisation temporelle et réseaux trophiques

Au sein de l'espace forestier, les organismes présentent, en plus de leur répartition spatiale, une répartition temporelle en adéquation avec les changements des donneurs de temps de l'écoexotope (**alternance jour-nuit**: espèces à repos, ou à activité, diurne ou nocturne, **alternance bonne-mauvaise saison**: espèces à repos hivernal ou estival) et en adéquation avec les périodes d'activités de leurs prédateurs et/ou de vulnérabilité de leurs proies, et où chacun à sa place.

Comme au sein de la cellule végétale, dans tout écosystème, les réseaux trophiques sont compartimentés en espace-temps juxtaposés les uns aux autres et emboîtés les uns dans les autres.⁵³

Chacun a son espace-temps individuel, son niveau d'organisation et d'intégration, dans l'espace-temps global du niveau d'organisation supérieur adjacent dans lequel il est intégré.⁵⁴

⁴⁸ 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* 55: 17-41.

⁴⁹ 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.

⁵⁰ Bricage P. & al. 1990 Appraisal of the defoliator Lepidoptera associations in a hardwood forest. *Acta Entomologica Vasconae* 1: 5-26.

⁵¹ Bricage P. 1998 La Survie des Systèmes Vivants. *Atelier MCX20 "Prendre soin de l'homme"*, Pau, 19 oct. 1998, 3 p. <http://www.mcxapc.org>

⁵² Bricage P. 2000 Types vigiles: performances et intégration sociale. *Atelier MCX20 CERS Capbreton* 21 avril 2000, 5 p. <http://www.mcxapc.org>

⁵³ Bricage P. 2000 La nature de la violence dans la nature : déterminismes écophysiologique et génétique de l'adaptation aux changements dans les écosystèmes végétaux. *La Violence. Colloque AFSCET* Andé, 18-19 mars 2000, 7 p. <http://www.afscet.asso.fr/violencePB.html>

II. l'intégration est, à la fois, la cause et la conséquence de l'organisation, et, réciproquement... ..

1. l'intégration est une mise en adéquation

Au cours de la croissance du plant de riz, son coléoptile survit immergé, dans l'eau, en absence d'oxygène, ou émergé, dans l'air, en présence d'oxygène. Le **nombre** et la **taille** des peroxysomes de ses cellules est continuellement proportionnel à la concentration en oxygène de l'écoexotope.⁵⁵ L'**organisation** des peroxysomes change au cours du passage de la vie anaérobie à la vie aérobie et réciproquement. Cette **métamorphose** est la conséquence de **l'intégration**, qui **maintient l'organisme en adéquation avec son milieu de survie**.

Le champignon *Helminthosporium maydis* secrète une toxine qui endommage très sévèrement les pieds de maïs mâle-stériles dont les cellules contiennent le cytoplasme Texas (ou T). Les mitochondries gonflent.⁵⁶ Un insecticide, le méthomyl, à la concentration même très faible de 5 ng/ml, a le même effet. Les variétés dont les cellules contiennent un cytoplasme d'une autre origine ne sont pas altérées même à des concentrations 20 fois supérieures.⁵⁷

Cette différence est **la conséquence et la cause d'un héritage mitochondrial différent**.

La toxine (ou l'insecticide) altère(nt) l'**organisation** structurale et fonctionnelle de la membrane interne "bactérienne" des seules mitochondries du cytoplasme T. Au niveau de la membrane interne, comme chez les bactéries, l'accumulation intra-mitochondriale de phosphates, associée à celle du calcium⁵⁸, est gouvernée par la différence de potentiel électrique trans-membranaire. Cette différence de potentiel énergétique, qui permet l'hydrolyse d'ATP, est supprimée. Mais la membrane des microsomes, la membrane plasmique et la membrane externe de séquestration mitochondriale ne sont pas altérées. Les mitochondries d'autres plantes (blé, sorgho, soja, haricot, pomme de terre), ou de tissus animaux (foie, cœur), ne sont pas affectées. Au sein de l'enveloppe mitochondriale, l'organisation spatiale est **la cause et la conséquence** de l'organisation temporelle.⁵⁹

La streptomycine, elle, n'inhibe la synthèse protéique des mitochondries et des chloroplastes, qu'à la dose de 1000 fois 5 ng/ml, et il existe des organites résistants à une dose 100 fois plus forte⁶⁰ à la suite d'une modification de leur organisation interne. D'autres antibiotiques anti-bactériens⁶¹ altèrent de la même façon le fonctionnement et la structure des mitochondries.

La capacité de **survivre** **ou** de **se survivre** de l'**organisme** végétal est la conséquence de la capacité de **survivre** d'au moins une population de **cellules** végétales qui, elle-même, est la conséquence des capacités de **survivre** **et** de **se survivre** de sa population de mitochondries **ou/et** de chloroplastes. La stérilité

⁵⁴ Bricage P. **2001** Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. *Atelier AFSCET "Systémique & Biologie", Paris*, Institut International d'Administration Publique, 11 p.

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

⁵⁵ De Bellis E. & al. 1989 Peroxisomes in rice coleoptiles grown in air anoxia. *Botanica Acta* 102: 129-133.

⁵⁶ Berville A. & al. 1984 Effects of methomyl and *Helminthosporium maydis* toxin on matrix volume, proton motive force and NAD accumulation in maize (*Zea mays* L.) mitochondria. *Plant Physiol.* 76: 508-517.

⁵⁷ Kimber A. & H. Sze 1984 *Helminthosporium maydis* T Toxin decreased calcium transport into mitochondria of susceptible corn. *Plant Physiol.* 74: 804-809.

⁵⁸ La matrice mitochondriale, comme la matrice bactérienne, contient de gros grains d'accumulation qui atteignent 1/10 de sa largeur.

⁵⁹ Anonyme **2002** L'énergie des crêtes. *Pour la Science* 295: 20.

⁶⁰ Maliga & al. 1975 Non-mendelian streptomycin-resistant tobacco mutant with altered chloroplasts and mitochondria. *Nature* 255: 401-402.

⁶¹ Möller I.M. & al. 1983 Inhibition of exogenous NADH oxidation in plant mitochondria by chlorotetracycline in the presence of calcium ions. *Biochimica Biophysica Acta* 725: 289-297.

mâle peut être déterminée par l'héritage génétique mitochondrial ou chloroplastique ou nucléaire, ou par une interaction entre ces **héritages**.⁶² L'information, mémoire de cette **intégration** d'un type d'organite au milieu de survie intra-cellulaire, est portée par des plasmides, qui peuvent se répartir entre ces 3 héritages. Bien que le noyau, les mitochondries et les plastides soient enveloppés d'une double membrane, ce matériel génétique peut être échangé entre les 3 compartiments.⁶³

Pourquoi ?

2. L'intégration est une métamorphose

Au cours de la formation des spermatozoïdes du rat, les mitochondries changent d'organisation interne **en même temps** que le noyau se métamorphose en chromosomes. On observe la fusion des membranes externes de séquestration des mitochondries.

Il n'y a **pas de différence systémique** entre cet agrégat interne mitochondrial limité par une seule membrane externe et une **vacuole de séquestration** comme celle **contenant une population** de mycobactéries lépreuses ou de *Rhizobium*.

Au sein d'une population de bactéries en contact, des échanges de plasmides sont possibles, même si ces bactéries n'appartiennent pas à la même espèce.⁶⁴

a. Intégration et héritages génétiques

Ce phénomène est à l'origine de la **coexistence** dans un même génome d'héritages génétiques d'origines différentes. Leur **intégration** et leur **ré-organisation** permettent à la fois l'émergence de protéines possédant de nouveaux domaines fonctionnels ou de complexes protéiques fonctionnels différents.⁶⁵ Si elle est portée par un plasmide, cette information génétique nouvelle peut être transmise à d'autres bactéries. Ce phénomène de transfert est même possible entre des bactéries et des cellules eucaryotes. C'est ainsi que le domaine des hémoglobines (dont l'affinité pour l'oxygène est 500 fois supérieure à celle de la myoglobine des muscles) a pu être conservé et transféré de bactérie en bactérie, puis transféré et conservé dans le génome nucléaire et exprimé dans la leghémoglobine des Légumineuses et dans les flavohémoprotéines de levure, au sein de protéines possédant plusieurs domaines fonctionnels.⁶⁶ Si le *Rhizobium* a perdu l'information génétique correspondante, il la retrouve au sein de l'association avec les cellules de la plante.

Ainsi, la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* injecte un plasmide dans le cytoplasme des cellules de ses plantes hôtes.⁶⁷ Ce plasmide, intégré dans le génome nucléaire, par sa seule présence déclenche une **hyper-croissance, en masse et en nombre**, caractéristique d'une tumorigénèse des seules cellules infectées.⁶⁸ Ces cellules transformées produisent en grande quantité des opines, molécules que les bactéries utilisent comme aliments. La bactérie se crée un nouvel écoexotopie en détournant à son profit le fonctionnement de l'endophysiotope cellulaire. Les bactéries dépourvues de ce plasmide sont à la fois incapables d'induire la tumorigénèse et incapables d'utiliser les opines.

La capacité d'intégration est associée à un héritage génétique spécifique.

⁶² Lebacqz Ph. 1982 A quoi sert le génome de la mitochondrie végétale ? Pour La Science août 1982 p. 52-64.

⁶³ Börner Th. 1984 Intercompartmental gene transfer. A review. Biol. Zbl. 103: 485-493.

⁶⁴ Raven Ph., R.F. Evert & S.E. Eichhorn 2000 Les procaryotes (et les virus). In Biologie végétale 14: 281-296. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 244 p.

⁶⁵ Tsol T.V. & al. 1999 Cloning, expression and nucleotide sequence of the *Pseudomonas aeruginosa* 142 ohb genes coding for oxygenolytic ortho dehalogenation of halobenzoates. Applied and Environmental Microbiology 65: 2151-2162.

⁶⁶ Labesse G. & al. 1998 Engineering, expression and biochemical characterization of the hemoglobin domain of a *Erwinia chrysanthemi* flavohemoprotein. Eur. J. Biochem. 225: 751-759.

⁶⁷ Ward D.V. & al. 2002 *Agrobacterium* VirE2 gets the VIP1 treatment in plant nuclear import. TRENDS in Plant Science 7: 1-3.

⁶⁸ Firoozabady E. & D.W. Galbraith 1984 Presence of a plant cell wall is not required for transformation of *Nicotiana* by *Agrobacterium tumefaciens*. Plant Cell Tissue Organ Culture 3: 175-188.

La seule condition requise est la présence sur la membrane de la cellule hôte transformée, hébergeante, d'au moins un domaine structural reconnaissable, et reconnu, par l'enveloppe de la bactérie transformante.⁶⁹ Un même mécanisme de **reconnaissance réciproque** est à l'origine du développement des nodules racinaires des légumineuses, dans lesquels des cellules tumorales hébergent une population de *Rhizobium*.⁷⁰

b. convergences systémiques adaptatives

Les acanthocéphales sont des vers parasites sans **aucune phase de vie libre active**.

Ils ne survivent à l'état libre que dans les sols et que sous forme d'un **kyste résistant**. Il en existe plus de 1000 espèces.⁷¹ Une partie de leur phase de vie active adulte se déroule dans l'intestin des vertébrés. À l'état larvaire, certains sont accrochés, par le dispositif épineux de leur tête, dans l'intestin d'un insecte. Un oiseau qui consomme l'insecte avale le parasite. Au cours de la digestion, le kyste libère la larve qui s'accroche à la paroi intestinale. Protégé, dans cet **écoexotope**, à température constante, régulièrement approvisionné en aliments digérés, le ver survit puis devient adulte. Mâles et femelles s'y accouplent. Les larves encapsulées sont libérées sur le sol avec les excréments de l'oiseau qui sont consommés par un insecte. Et **le cycle de développement recommence**.

Il n'y a **pas de différence systémique** avec le cycle de développement d'une amibe libre ou celui d'un bactériophage parasite.

3. espace-temps et intégration:

a. survivre et se survivre

Le système de transfert de protons et de synthèse d'ATP de la membrane interne des mitochondries de cœur de bœuf ou de foie de rat est inhibé par un antibiotique anti-bactérien, l'oligomycine, à 20 fois 5 ng/mg de protéines. Les mitochondries des bactéries photosynthétiques et des végétaux y sont 100 fois moins sensibles (La libération d'oxygène toxique, par la photosynthèse, peut atteindre 1000 fois 5 ng/mg de chlorophylle par seconde⁷²). Cette sensibilité **varie d'un facteur 10** fois au cours du cycle cellulaire.⁷³ La membrane interne des chloroplastes possède ces mêmes propriétés, mais la sensibilité à l'oligomycine y est masquée par un système protéique de **protection**. À l'inverse, pour leur synthèse protéique, les chloroplastes sont sensibles à l'érythromycine alors que les mitochondries y sont résistantes.⁷⁴

La survie est contingente au contexte des interactions entre écoexotope et endophysiotope.

b. continuité spatiale et temporelle et contingence

De même qu'il existe une **continuité** des plastes et des mitochondries, il existe une continuité des peroxysomes et de l'appareil de Golgi.⁷⁵ Un appareil de Golgi pré-existant est nécessaire à la formation d'un autre. L'appareil de Golgi est **capable de croissance en masse et de croissance en nombre**. Chez *Toxoplasma gondii*, la division binaire de l'appareil de Golgi accompagne celle des centrosomes.

⁶⁹ Wicken A.J. & K.W. Knox 1984, Variable nature of the bacterial cell surface. *Aust. J. Biol. Sci.* 37: 315-322.

⁷⁰ Shoot control of root development and nodulation is mediated by a receptor-like kinase. HAR1 mediates systemic regulation of symbiotic organ development. *Nature* **2002**, 420: 422-426, <http://www.nature.com/naturegenetics/>

⁷¹ Margulis L. & al. 1999 Forest Soil Puddle. In *Diversity of Life*. p. 142, Jones & Bartlett Publishers, Boston, Toronto, London, 248 p.

⁷² Enami I. & al. 1989 Isolation and characterization of photosystem II complexes which lack light-harvesting chlorophyll a/b proteins but retain three extrinsic proteins related to oxygen evolution from spinach. *Biochimica Biophysica Acta* 977: 33-39.

⁷³ Bouthyette P.-Y. & A.T. Jagendorf 1982 Oligomycin effects on ATPase and photophosphorylation of Pea chloroplast thylakoid membranes. *Plant Physiol.* 69: 888-896.

⁷⁴ Tassi F. & al. 1983 Erythromycin as a tool for discriminating in vivo between mitochondrial and chloroplastic protein synthesis in *Nicotiana sylvestris*. *Plant Science Letters* 29: 215-225.

⁷⁵ Pelletier L. & al. **2002** Golgi biogenesis in *Toxoplasma gondii*. *Nature* 418: 548-552.

Les peroxysomes, comme les plastides, sont très versatiles. Ils peuvent être spécialisés dans le métabolisme **réversible**, selon le contexte cellulaire, des lipides et des sucres (glyoxysomes des graines) ou dans le catabolisme des purines.

L'extraction des plastides, ou des mitochondries, entraîne toujours une diminution, voire une altération, de leur activité. ⁷⁶ C'est la conséquence du changement d'environnement osmotique et de la **disparition du réseau des relations** trophiques dans lequel les organites étaient précédemment intégrés. Il n'est plus possible de retrouver la capacité de vie libre une fois qu'elle a été définitivement perdue. In vitro, mitochondries et plastides ne survivent qu'un temps limité et jamais ne se survivent.

C. "être ou ne pas être ..."

Une injection de glucagon, hormone hyperglycémisante, qui stimule l'autophagie, déclenche l'**apoptose** par digestion des mitochondries dans les cellules du foie de rats. L'autophagie suit une **métamorphose de l'organisation** intra-cellulaire. La mort cellulaire par apoptose est un suicide actif. Ce mécanisme est **un avantage** pour l'organisme quand il permet l'élimination de cellules mutées anormales ou de cellules cancéreuses dangereuses pour la survie de l'organisme. L'expression du gène suppresseur de tumeurs, p53, peut être suffisante pour induire l'apoptose, et ce gène est le plus communément endommagé dans les cellules cancéreuses. ⁷⁷ L'apoptose est également **indispensable** à la **mise en place de l'organisation** par l'élimination des structures devenues inutiles ou surnuméraires. ⁷⁸ Mais son excès est générateur de maladies, il **devient un inconvénient**.

Une protéine, la survivine, est à la fois un inhibiteur de l'apoptose et/ou est indispensable à la division cellulaire des cellules cancéreuses... Les 2 fonctions ne sont **pas mutuellement exclusives**. ⁷⁹ Des protéines similaires ont des rôles différents chez les procaryotes et les eucaryotes et selon le phénotype de la cellule dans laquelle elles sont présentes. ⁸⁰

Une cellule cancéreuse est une cellule qui a acquis **une forme d'intégration, différente** de celle des cellules normales, au même milieu de survie, l'organisme. ⁸¹

L'attachement entre elles, et à la matrice extra-cellulaire, protège les cellules saines et permet leur survie, sous le contrôle de l'organisme qu'elles constituent. Inversement, c'est la rupture de cet attachement qui permet la survie des cellules cancéreuses, qui survivent malgré les défenses de l'organisme et qui se survivent sans obéir aux contrôles de l'organisme. Elles ne sont plus des parties intégrées à l'organisme. La cellule cancéreuse survit alors qu'elle aurait dû mourir. Hébergée au sein de l'organisme, en conditions optimales de croissance, elle se survit.

Quelle qu'en soit la cause, **à la suite d'une métamorphose de son organisation elle a changé son mode d'intégration au même milieu de survie**.

Chez les végétaux, certaines tumeurs peuvent être causées par l'intégration d'un génome bactérien (*Agrobacterium tumefaciens*). ⁸² Certains cancers, chez les animaux, sont causés par l'intégration d'un génome viral (*Herpes virus* ⁸³, virus de l'hépatite ⁸⁴)

⁷⁶ Duval J.C. 1983 Photosynthetic properties of plastids isolated from macrophytic brown seaweeds. *Physiol. Vég.* 21: 1145-1157.

⁷⁷ Nordstrom W. & J.M. Abrams **2000** Guardian ancestry: fly p53 and damage-inducible apoptosis. *Cell Death and Differentiation* 7: 1035-1038.

⁷⁸ Ameisen J.C. 1999 *La sculpture du vivant, le suicide cellulaire ou la mort créatrice*. Seuil, Collection "Science ouverte", Paris, 340 p.

⁷⁹ Uren A.G. & al. **2000** Survivin and the inner centromere protein INCENP show similar cell-cycle localization and gene knockout phenotype. *Curr. Biol.* 10: 1319-1328.

⁸⁰ Arluisson V. **2003** Une protéine primitive. *Pour La Science* 303: 25.

⁸¹ Greenwood E. **2002** Cancer cells come to a sticky end. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 3: 313-316.

⁸² Chilton M.-D. 1983 L'introduction de gènes étrangers dans les plantes. *Pour La Science* août 1983 p. 89-99.

⁸³ Collectif 1995 Le cancer de Kaposi d'origine virale. Cancer utérin. Transplantation. *Impact Médecin Hebdo* 285: 18.

⁸⁴ Thierry F. **2001** Hépatites virales et cancer du foie. *La lettre de l'Institut Pasteur* 39: 10-11.

d. ubiquité ou éternité ?

À la suite de sa pénétration dans une bactérie-hôte, le plus souvent, un virus bactériophage, qui n'est pas détruit ou réduit à l'inactivité, détourne à son profit le fonctionnement de l'hôte "accueillant", s'y multiplie et entraîne la lyse de la bactérie qui libère une génération nouvelle de virus. L'endophysiotope de la bactérie est l'écoexotope de vie active du virus. En dehors de la bactérie, le virus survit "inerte", **à l'état de dormance**, dans un autre écoexotope, comme survivent une graine d'une plante, une spore de bactérie ou une nymphe d'insecte. À l'intérieur de la bactérie, **il sort de son état d'inhibition, il se métamorphose, survit, puis se survit**. Mais en se survivant il entraîne la disparition de son milieu de survie. En augmentant sa **croissance en nombre**, le virus diminue le nombre des bactéries. Or, il faut qu'au moins une bactérie-hôte survive, et se survive, pour que l'écoexotope de reproduction du virus ne disparaisse pas ! S'il disparaît, le virus peut éventuellement survivre, mais **il ne se survit plus...** sauf si un autre écoexotope d'accueil se présente. La capacité de se survivre, de perdurer, du virus est dépendante de **la capacité d'accueil de son écoexotope**. Son ubiquité est liée à l'ubiquité de son écoexotope-hôte.

Pour que le virus se survive, il faut d'abord que la bactérie survive et se survive.

Très rarement, un bactériophage mutant, "moins performant", ne détruit pas la bactérie. Il s'intègre à l'héritage génétique de sa bactérie-hôte. **Il ne se survit plus mais il survit** car il ne fait plus qu'un avec elle. L'association possède de nouvelles propriétés qu'aucun des 2 partenaires ne possède séparément. La bactérie, **hôte-habité**, devient résistante à la destruction par les virus apparentés au virus **hôte-habitant**. L'association perdure et **en même temps** que la bactérie survit, le phage y survit **"intégré"**. Le virus en changeant son mode d'intégration à son ancien écoexotope de survie, en passant du mode de vie parasitaire au mode de vie symbiotique, change de type d'organisation, il se métamorphose pour créer et occuper un nouvel écoexotope.

Il perd l'ubiquité, mais il gagne l'éternité.

En effet, habituellement, dans son cycle de lyse, le virus est le plus souvent dormant, son espace de survie est limité à une bactérie et son temps de génération est très court, plus court que celui de cette bactérie. Au mieux son espace de survie est immense tant que la population bactérienne est immense. Dans son état inhabituel de non-lyse, intégré, son espace de survie est réduit à une seule bactérie, mais son temps de génération devient celui de la bactérie. Il devient "éternel", **tant que son hôte survit et se survit, le virus hébergé survit et se survit**. La croissance en nombre du virus est limitée par la croissance en nombre de son hôte. Le virus survit parce que la bactérie survit d'abord !

Il n'y a **pas de différence systémique** entre ce type d'association et celles qui relient une espèce de Rhizobium et son espèce de légumineuse hôte, ou une espèce de figuier et l'espèce de ses guêpes pollinisatrices... et, le parasite n'est pas réduit en esclavage, comme souvent c'est écrit. ⁸⁵

Une autre forme de vie est apparue, caractérisée par un nouvel écoexotope et un nouveau mode d'intégration, et, par un nouvel endophysiotope et un nouveau type d'organisation.

Tant que l'écoexotope reste stable, l'association perdure. Mais des changements de l'écoexotope de la bactérie, "des chocs" thermiques, photiques, chimiques ou biologiques, qui entraînent des changements de son endophysiotope peuvent libérer le virus. ⁸⁶ Celui-ci retrouve l'ubiquité, mais il perd l'éternité. Éventuellement il part en quête de nouveaux espace-temps. ⁸⁷

Un traitement anti-cancéreux peut ainsi permettre une invasion ou une libération de virus. ⁸⁸

e. complexification: indépendance et inter-dépendances

La cancérisation résulte d'**une déstabilisation de l'équilibre endosymbiotique** au sein de l'héritage génétique cellulaire. Cette **désorganisation**, par sortie, perte ou altération d'un élément

⁸⁵ Teyssèdre A. 1999 Un parasite réduit en, esclavage. *La Recherche* 325: 54-55.

⁸⁶ Le virus intégré a été appelé, pour cette raison, provirus... malheureusement !

⁸⁷ Chastel Cl. **2002** En quête de nouveaux espaces. In dossier "Vaincre les virus émergents." *La Recherche* 351: 25-28.

⁸⁸ Paran N. & al. **2001** HBV infection of cell culture: evidence for multivalent and cooperative attachment. *The EMBO Journal* 20: 4443-4453.

préexistant, ou par entrée d'un élément nouveau, **libère les dangers contenus par le réseau d'intégration**. Ces dangers contenus peuvent être d'anciens virus à vie libre devenus endosymbiotiques.⁸⁹ Deux bananiers sains peuvent engendrer des descendants malades car dans l'héritage génétique des cellules du bananier⁹⁰ est intégré le génome d'un virus. Dans certains croisements, à la faveur d'un réarrangement de l'endophysiotope, il retrouve sa liberté.

Des gènes viraux ou bactériens peuvent passer d'une espèce à une autre, chez les bactéries⁹¹ et les végétaux, sous forme de plasmides.⁹² L'homme a développé une biotechnologie qui utilise la propriété de transfert de gènes par des virus, d'un hôte à un autre⁹³ car ils peuvent franchir les barrières des espèces.⁹⁴ Ils sont donc utilisés (**par l'homme**) aussi bien pour la thérapie génique⁹⁵ que pour l'amélioration (**pour l'homme**) des animaux ou des végétaux domestiqués.

Ils peuvent constituer un réservoir d'informations potentiellement dangereuses, ou potentiellement utiles, pour **la survie de leur hôte selon leur localisation**. L'espèce cultivée du tabac, *Nicotiana tabacum*, est issue de la fusion de 2 autres espèces *N. sylvestris* et *N. tomentosiformis*. Une séquence virale, acquise par un ancêtre de *N. tomentosiformis*, et absente chez *N. sylvestris* a été conservée chez *N. tabacum*.⁹⁶ Il y a environ 5 millions d'années un puceron a piqué un ancêtre de *N. tomentosiformis* et lui a transmis le virus. Mais cet ancêtre a survécu et le virus avec lui.

Des familles différentes de descendants de virus devenus endogènes coexistent sous forme de transposons, actifs⁹⁷, ou inactifs, mais réactivables⁹⁸, chez de nombreuses plantes domestiquées, comme le riz.⁹⁹ Ils peuvent être en interactions pour l'occupation d'un même hôte.¹⁰⁰ Tant que la **capacité d'être accueilli de l'hôte hébergé** ne dépasse pas **la capacité d'accueil de l'hôte hébergeant**, l'intégration à cet hôte est assurée, il est sans danger pour lui. À chaque fois que la capacité d'accueil de l'hôte hébergeant, ou/et la capacité d'être accueilli de l'hôte hébergé, change(nt), il y a un **risque de désorganisation** de l'association symbiotique.¹⁰¹ L'association n'est stabilisée, par la mise en place d'un nouveau type d'organisation, que lorsque, grâce à un nouveau mode d'intégration, elle a donné naissance à **une nouvelle forme de vie**.

Tout niveau d'organisation et d'intégration ne survit qu'en permettant la survie des niveaux d'organisation précédents, qu'il contient, qui se survivent en lui et grâce à la survie desquels il se survit. Tout niveau d'organisation et d'intégration ne se survit qu'en permettant la survie des niveaux d'organisation dans lesquels il est contenu. Toujours, il faut **que coexistent des espace-temps** différents, **par juxtaposition et emboîtements**, afin de permettre

"un espace pour chacun et chacun dans son espace,

⁸⁹ Bricage P. 2000 La Survie des Organismes Vivants. *Atelier AFSCET "Systémique & Biologie"*, Fac. Médecine, Paris, 4 fév. 2000, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr>

⁹⁰ Teycheney P.-Y. & M.-L. Iska-Caruana 2002 Bananier: l'ennemi intérieur. *La Recherche* 353: 34-38.

⁹¹ Mercado-Blanco J. & J. Olivares 1993 Stability and transmissibility of the cryptic plasmids of *Rhizobium meliloti* GR4. *Arch. Microbiol.* 160: 477-485.

⁹² Kinoshita Y. & al. 1985 Extrachromosomal circular DNA from nuclear fraction of higher plants. *Plant Cell Physiol.* 26: 1401-1409.

⁹³ Anderson W.F. 1986 Le traitement des maladies génétiques. *La Recherche* 176: 458-468.

⁹⁴ Joyner A. & al. 1983 Retrovirus transfer of a bacterial gene into mouse hematopoietic progenitor cells. *Nature* 305: 556-558.

⁹⁵ Verma I. 1991 La thérapie génique. *Pour La Science* 159: 44-51.

⁹⁶ Lichtenstein C.P. 2000 C'est la nature qui a commencé. *La Recherche* 327: 39-44.

⁹⁷ An active DNA transposon family in rice. *Nature* 2003 421: 163-167.

⁹⁸ The plant MITE mPing is mobilized in anther culture. *Nature* 2003 421: 167-170.

⁹⁹ Mobilization of a transposon in the rice genome. *Nature* 2003 421: 170-172.

¹⁰⁰ Collectif 2001 Le virus GB-C protégerait les sujets infectés par le VIH. *Actualités Innovation Médecine* 74: 4.

¹⁰¹ Oldstone M. 1989 Les anomalies cellulaires d'origine virale. *Pour La Science* 144: 78-87.

III. intégration et évolution, niches écosystémiques

1. mise en place de l'organisation : pas d'avantages sans inconvénients

Pour que la cellule survive, il faut d'abord que les mitochondries survivent. L'apoptose, ou mort cellulaire programmée, est déclenchée par un changement de l'organisation de la membrane interne mitochondriale qui ne retient plus le cytochrome c qui passe dans le cytoplasme. ¹⁰³

La survie de l'un passe par celle de l'autre, et réciproquement.

Le fonctionnement photosynthétique des chloroplastes est semblable au fonctionnement respiratoire des mitochondries. Les mêmes flux de matière et d'énergie sont contrôlés par le même gradient électrochimique de pH, entre l'extérieur et l'intérieur de la membrane interne. Et, c'est la séparation membranaire entre le chloroplaste et le cytoplasme, la séquestration, qui permet l'existence de compartiments à pH interne différents. Ainsi, la régulation, spatiale et temporelle, de l'activité, peut être assurée par les mêmes régulateurs, dont la répartition ou/et l'activité dépend du pH. Et, en retour, chaque compartiment peut agir différemment sur la durée de vie, ou la synthèse ou la dégradation, de ces régulateurs.

Tout ce qui est un avantage pour l'un des partenaires est un inconvénient pour l'autre, et réciproquement.

2. maintien de l'organisation : survivre

La capacité de **mouvement** d'une amibe est la conséquence d'un réarrangement continu de son cytosquelette souple et labile. Au cours de sa phase de vie libre mobile, le cytoplasme se déforme sans cesse vers l'extérieur et la cellule avance et survit en ingérant des proies grâce à ses pseudopodes. Elle est le siège d'une **mobilisation de matière et d'énergie**, elle est traversée par des flux, entrant et sortant, d'aliments et de déchets.

Elle survit. Éventuellement, elle est le siège d'une **croissance en masse**. Puis, par sa **croissance en nombre**, éventuellement, **elle se survit**.

Un stress osmotique hypertonique d'une cellule de *Dictyostelium discoideum* entraîne un réarrangement du cytosquelette qui se fige. ¹⁰⁴ La **réponse à cette stimulation** aboutit au même état écophysologique que celui d'une spore. Au cours de cette phase de résistance et de dormance physiologique, **tout se passe comme si** la direction des forces était inversée vers l'intérieur de la cellule, qui s'enkyste, en formant une paroi squelettique protectrice et un endosquelette rigide. L'hypertonie entraîne une acidification du pH cytoplasmique provoquant l'inactivation métabolique. L'augmentation interne de la concentration en protons entraîne l'arrêt des flux entrant et sortant de matière et d'énergie. **Ce changement est réversible**, si les conditions de milieu permettent à nouveau la vie active.

De même, à la suite de leur extraction dans un milieu trop peu concentré, les mitochondries gonflent. La matrice turgescente repousse la membrane interne qui se déplie et vient s'accoler contre la membrane externe qu'elle repousse. À l'inverse, lorsque la matrice interne se condense, en milieu trop concentré, avec extrusion d'eau, la membrane interne se décolle et s'éloigne de la membrane externe. La forme des mitochondries est **contrôlée par l'héritage épigénétique** de son écoexotopie cytoplasmique. Seules des

¹⁰² Bricage P. 2000 Types vigiles: performances et intégration sociale. [MCX20](http://www.mcxapc.org), CERS, Capbreton, 5 p.
<http://www.mcxapc.org>

¹⁰³ Sánchez-Alcázar J.A. & al. 2000 Increased mitochondrial cytochrome c levels and mitochondrial hyperpolarization precede campothecin-induced apoptosis in Jurkat cells. *Cell Death & Differentiation* 7: 1090-1100.

¹⁰⁴ Schuster S.C. & T. Pintsch 2000 Hyperosmolarity: stress or signal ? *BIOforum International Cell Biology* 1: 25-26.

solutions hypertoniques, 5 fois plus concentrées que celles qu'on utilise habituellement pour cultiver des bactéries ¹⁰⁵, permettent de maintenir intacte l'organisation de mitochondries isolées d'une cellule. Les cellules du foie de souris diabétiques contiennent des mitochondries **géantes**, dont le volume atteint celui du noyau.

La capacité d'**intégration** est associée au changement de l'écoexotope. Pour survivre la cellule doit être capable de modifier son **organisation spatiale et temporelle**. Seule cette **métamorphose** lui permet de rester **en adéquation** avec le milieu de survie. Quel que soit le stress, osmotique, thermique, toxique, la cellule utilise les mêmes mécanismes pour y résister.



Figure 2. survivre, c'est être au bon endroit, au bon moment ¹⁰⁶ (to survive = to fit)

Quel que soit le **module de survie**,
quel que soit son **niveau d'organisation**,
survivre c'est transformer les inconvénients en avantages,
et éviter que les avantages deviennent des inconvénients.

La capacité d'intégration est **"robuste" grâce à sa polyvalence**.

Ce qui est un avantage au niveau de l'organisme, sa survie, est un inconvénient au niveau cellulaire, apoptose. Ce qui est un avantage au niveau cellulaire, cancer, est un inconvénient au niveau de l'organisme, mort anticipée. Le "bien" ou le "mal" dépendent du **contexte d'action**. Les mécanismes qui contrôlent la croissance des cellules souches, à l'origine des tissus normaux de l'embryon, sont aussi ceux qui permettent la cancérogénèse. ¹⁰⁷

L'apoptose peut être **déclenchée par des bactéries parasites**, comme *Shigella flexneri*, responsable chez l'homme de la dysenterie bacillaire grâce à sa capacité d'envahir la paroi du gros intestin, ou *Bordetella pertussis*, agent de la coqueluche. Elles déclenchent la mort des macrophages, les cellules phagocytaires qui les ingèrent et devraient les tuer, et provoquent ainsi des abcès, amas purulents de cellules mortes et de bactéries vivantes. ¹⁰⁸ L'apoptose des macrophages a lieu parce que les bactéries échappent aux vacuoles de phagocytose qui normalement les emprisonnent. C'est en accédant au cytoplasme de la cellule que les bactéries déclenchent le suicide de leur hôte.

Quel que soit le **module de survie**,
quel que soit son **niveau d'organisation**,
survivre c'est manger et ne pas être mangé.

3. changement de l'organisation

L'origine, protoplasmique, du cytoplasme et de la membrane plasmique, et l'origine, par intégration endosymbiotique, des mitochondries sont validées par l'étude des canaux membranaires qui contrôlent les flux d'ions. ¹⁰⁹

a. l'origine de la cellule eucaryote: l'ontogénèse récapitule la phylogénèse...

De même qu'il existe une **continuité** mitochondriale, il existe une continuité chloroplastique. Les plastes comme les mitochondries sont des **organites semi-autonomes**, ils possèdent leur propre matériel génétique et leur propre système de synthèse protéique. Ces **héritages, génétique et épigénétique**, sont de type bactérien. Le chloroplaste possède **le même système** d'incorporation de l'ammoniaque en acide aminé que le *Rhizobium*. Mais il se nourrit de nitrates, qu'il est capable d'utiliser comme le *Rhizobium* libre.

¹⁰⁵ Milieux de culture Merck pour la bactériologie

¹⁰⁶ Ratel H. **2002** Le diable en son éden. *Sciences & Avenir* juillet 2002 p. 72-73.

¹⁰⁷ Jamora C. & al. **2003** Links between signal transduction, transcription and adhesion in epithelial bud development. *Nature* 422: 317-322.

¹⁰⁸ Zychlinsky A. & P.J. Sansonetti 1994 Les bactéries et la mort cellulaire programmée. *La Recherche* 264: 444-445.

¹⁰⁹ Iyer R. **2002** A biological role for prokaryotic CIC chloride channels *Nature* 419: 715-718.

Certains *Rhizobium*, qui survivent dans des nodules de tiges, sont photosynthétiques comme les chloroplastes. ¹¹⁰ La disposition des gènes au sein de l'opéron responsable de la synthèse du photosystème y est la même que chez d'autres bactéries. ¹¹¹ Et, elle ressemble à celle des gènes codant pour les molécules intervenant dans les systèmes d'oxydo-réduction, mitochondriaux ou cytoplasmiques.

De même que la membrane interne des mitochondries contient un phospholipide **qui lui est spécifique** (le diphosphatidylglycérol), la membrane interne des plastes a une composition en lipides identique à celle des Cyanobactéries (avec du phosphatidylglycérol, du mono- et du digalactosyldiacylglycérol) différente de celles des membranes des autres compartiments (phosphatidyléthanolamine et phosphatidylcholine sont spécifiques de la membrane plasmique, et de celles du reticulum endoplasmique, de l'appareil de Golgi, des peroxysomes et du noyau). ¹¹² Les plastes dérivent d'anciennes cyanobactéries, à vie libre ¹¹³, dont l'organisation spatiale et temporelle a été métamorphosée ¹¹⁴, **"mise en adéquation"**, avec son nouveau mode d'**intégration** à un nouveau milieu de survie.

Ce sont plusieurs processus d'endosyncénose successifs qui sont à l'origine des différents modules qui constituent la cellule eucaryote actuelle. ¹¹⁵

b. le tout est à la fois plus et moins que la somme de ses parties ¹¹⁶

Les plastes, isolés du cytoplasme, intacts ¹¹⁷, in vitro, possèdent des activités enzymatiques **semblables** à celles qu'on trouve habituellement dans le cytoplasme ou dans les mitochondries: Ils sont capables de convertir le phosphoglycérate en pyruvate, pour fabriquer leurs propres lipides, et d'oxyder les hexoses phosphates. Leurs flux métaboliques internes sont **réversibles**: ils sont capables aussi bien de fabriquer de l'amidon à partir de trioses phosphates que de libérer des trioses phosphates à partir d'amidon. Toute activité enzymatique est réversible, c'est le contexte physique (température, pH), chimique (concentrations) ou biologique (support membranaire) qui oriente le sens exprimé de la réaction. C'est **le contexte** intra-cellulaire qui fait que seules certaines de ces activités, celles spécifiques des plastes, sont exprimées in vivo, et dans un seul sens métabolique. Le phénotype de survie du chloroplaste est **contingent à son écoexotopie** dans lequel il est en interaction avec les mitochondries et le cytoplasme. On observe **une répartition et une spécialisation des tâches, un choix**, une différenciation, entre les différents compartiments cellulaires, **en réseau d'interactions**.

Ensembles, **intégrés** au sein du même écoexotopie, chacun est moins capable qu'isolément.

c. la cellule est une endosyncénose ¹¹⁸

Les plastes produisent des glucides, qui sont les aliments des mitochondries et du cytoplasme, à partir de gaz carbonique et d'eau qui sont les déchets de fonctionnement des mitochondries et du cytoplasme. L'oxygène, déchet hautement toxique, produit par le fonctionnement chloroplastique est

¹¹⁰ Dreyfus B. & al. **2000** Effect of Bradyrhizobium photosynthesis on stem nodulation of Aeschynomene sensitiva. *P.N.A.S.* 97: 14795-14880.

¹¹¹ Dreyfus B. & al. **2002** Bacteriophytochrome controls photosystem synthesis in anoxygenic bacteria. *Nature* 417: 202-205.

¹¹² Trémolières A. 1998 Composition lipidique du monde végétal. 1: 14-32. In *Les lipides végétaux*. De Boeck Université, Paris, Bruxelles.

¹¹³ Giddings T.H. & al. 1983 Structure of the thylakoids and envelope membranes of the cyanobacteria of Cyanophora paradoxa. *Plant Physiol.* 71: 409-419.

¹¹⁴ Donner B. & al. 1985 Circadian rhythm of total protein synthesis in the cytoplasm and chloroplasts of Gonyaulax polyedra. *Chronobiology International* 2: 1-9.

¹¹⁵ Brochier C. & H. Philippe **2002** Phylogeny: a non-hyperthermophilic ancestor for Bacteria. *Nature* 417: 244.

¹¹⁶ Bricage P. **2000** La Survie des Organismes Vivants. *Atelier AFSCET "Systémique & Biologie"*, Fac. Médecine, Paris, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹¹⁷ Journet E.-P. & R. Douce 1985 Enzymic capacities of purified cauliflower bud plastids for lipid synthesis and carbohydrate metabolism. *Plant Physiol.* 79: 458-467.

¹¹⁸ Bricage P. **2002** The Evolutionary "Shuttle" of the Living Systems. 5th European Systems Science Congress, Crete, Res. Systemica 2: 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/>

l'aliment des mitochondries. L'eau oxygénée, toxique produit par plastes et mitochondries est recyclée en eau, aliment des chloroplastes, par les peroxysomes. Les aliments des uns sont les déchets des autres **et réciproquement**. L'écosystème cellulaire a émergé d'un système de recyclage des déchets.¹¹⁹

Comme les mitochondries¹²⁰, les plastes "parcourent" leur cycle de développement à l'intérieur de **l'écosystème endo-symbiotique cellulaire**. Leur taille (croissance en masse) et leur nombre (reproduction et croissance en nombre) changent en même temps que leurs membranes externes fusionnent entre elles ou avec celles des mitochondries.¹²¹ Une cellule végétale peut contenir des centaines de mitochondries, qui contiennent des dizaines de plasmides, et des dizaines de chloroplastes, qui contiennent des centaines de plasmides..., des échanges de plasmides, et des échanges entre plasmides, peuvent avoir lieu au cours de ces fusions.

Du fait de la **structure fractale, ergodique**¹²², **de tout système vivant**, en même temps que les conditions de l'écoexotope de l'organisme change, les conditions de son endophysiotope changent. Par la même les conditions de l'écoexotope cellulaire changent et son endophysiotope change. De ce fait l'écoexotope des plastes change et eux-mêmes répondent à ce changement par des **métamorphoses adaptatives**.¹²³

Les parties, ensembles, **organisées en un même endophysiotope**, sont plus capables qu'isolément. **Le tout est plus que la somme de ses parties**.

La cellule est une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés.¹²⁴

Tout ce qui est un avantage pour l'un des partenaires est un inconvénient pour un autre et réciproquement.

d. la quantité permet l'émergence de qualités nouvelles

Des systèmes de transfert de protons, mais de lyse d'ATP, équivalent à ceux des mitochondries et des plastes, mais fonctionnant en sens inverse, existent au niveau de la membrane plasmique¹²⁵, de la membrane de l'appareil de Golgi¹²⁶, de la membrane des vacuoles.¹²⁷ Il existe au moins 3 types de pompes à protons: les ATPases-P des membranes plasmiques et réticulaires des eucaryotes et, les ATPases-F des membranes internes mitochondriales ou chloroplastiques et des membranes plasmiques bactériennes, les ATPases-V des vacuoles de lyse. Leur spécificité diffère quant aux ions activateurs ou inhibiteurs et à leur pH optimum d'activité.¹²⁸ Fixées à des protéines filamenteuses, il existe des ATPases non-membranaires (kinésine, dynéine), productrices d'énergie, qui sont nécessaires aux mouvements moléculaires.

¹¹⁹ 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, 7 p. <http://www.afscet.asso.fr/violencePB.html>

¹²⁰ Lampka G.K. & A.J. Bendich 1984, Changes in mitochondrial DNA levels during development of pea (*Pisum sativum* L.). Planta 162: 463-468.

¹²¹ Brown R.H. & al. 1983 Enclosure of mitochondria by chloroplasts. Plant Physiol. 71: 437-439.

¹²² Bricage P. **2001** Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. Atelier AFSCET "Systémique & Biologie". Paris, Institut International d'Administration Publique, 11 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹²³ Ziegler H. & al. 1983 Some metabolic changes during chloroplast-chromoplast transition in *Capsicum annuum*. Physiol. Vég. 21: 485-494.

¹²⁴ 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. AFSCET Institut Internat. d'Administration Publique Paris, 6 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹²⁵ Pomeroy M.K. & al. 1982 A comparison of the properties of ATPase associated with wheat and cauliflower plasma membranes. Plant Physiol. 69: 1241-1246.

¹²⁶ Chanson A. & al. 1984 Evidence for a KCl-stimulated, Mg²⁺-ATPase on the Golgi of corn coleoptiles. Plant Physiol. 76: 498-507.

¹²⁷ Thom M. & E. Komor 1985 Electrogenic proton translocation by the ATPase of sugarcane vacuoles. Plant Physiol. 77: 329-334.

¹²⁸ Nultsch W. 1998 Structure du protoplasme. 2: 39-66. In Botanique générale. De Boeck Université, Paris, 602 p.

Au niveau des structures fonctionnelles membranaires, **en continuité**, il n'y a pas de différence de régulation entre le compartiment cytoplasmique et le compartiment nucléaire. ¹²⁹

La cellule eucaryote a émergé d'abord de la **juxtaposition de n modules** de type protoplasmique, sans paroi séparatrice, et certainement de plus de 4 pour qu'un de ces modules, complètement entouré par d'autres modules, acquière une place centrale, et devienne le noyau. Cette juxtaposition est réalisable par la **croissance en nombre** d'un module dont les descendants restent groupés. ¹³⁰ La croissance permet la mise en place d'une organisation nouvelle qui permet un nouveau mode d'intégration. **Le quantitatif précède le qualitatif.**

Cette hypothèse explique à la fois ¹³¹ l'existence du reticulum endoplasmique, l'existence de la double membrane qui enveloppe le noyau, le fait que les membranes correspondantes aient les mêmes structures fonctionnelles, le fait qu'ils soient en continuité entre eux et avec le milieu extérieur, et que tout se passe comme si l'espace qu'ils englobent était l'équivalent du milieu extérieur qui a été internalisé. On savait que la membrane nucléaire est équivalente au reticulum ¹³², mais, ceci n'était pas encore explicité. ¹³³

Dans un premier **temps d'adéquation** entre les nouvelles conditions d'organisation et l'intégration à l'ancien milieu de survie, une différence s'est installée, liée à la position dans l'espace, qui a isolé des flux externes entrants et des flux internes sortants, le futur noyau. Le module central, plus isolé des changements du milieu extérieur que les autres et placé de façon à pouvoir recevoir un transfert d'information génétique de tous les autres qui l'environnaient, est devenu le noyau.

Dans un second temps avec l'accumulation de l'oxygène dans le milieu, et peut être plusieurs fois, dans des conditions de milieu différentes, des protéobactéries différentes, à l'origine des mitochondries, ont été englobées par ce complexe protoplasmique nucléé. Ce qui explique l'identité et la continuité membranaire entre la membrane externe des mitochondries, celle du reticulum, maintenant endoplasmique, celle du noyau et celle de la membrane externe des plastes qui seront intégrés plus tard, dans un troisième temps. ¹³⁴

La cellule eucaryote est **une endosyncénose** formée à partir d'au moins 5 partenaires: une petite population initiale d'une ou plusieurs espèces de Protoplastes procaryotes, un ou plusieurs clones d'au moins une espèce de Protéobactéries, un ou plusieurs clones d'au moins une espèce de Cyanobactéries, au moins un autre partenaire à l'origine des peroxysomes, au moins un autre partenaire à l'origine des centrioles. Le matériel génétique des peroxysomes a sans doute été transféré au noyau, de la même façon que l'a été celui des plastes et des mitochondries. Et, de la même façon que pour les mitochondries, la croissance en masse ou en nombre des peroxysomes est sous le contrôle du noyau, et, ils sont impliqués dans le processus d'apoptose. ¹³⁵

e. survivre pour se survivre

Au niveau de ses pores, la membrane nucléaire est "perméable" aux génomes des virus cytoplasmiques, en entrée et en sortie, parce qu'il n'y a plus de séparation membranaire une fois la membrane plasmique franchie.

Se survivre c'est transmettre ses héritages génétique, épigénétique et environnemental.

¹²⁹ Atkinson L. & al. **2002** Purinergic receptors: an ATP-gated ion channel at the cell nucleus. *Nature* 420: 42.

¹³⁰ ou, par le regroupement de modules d'origines peu différentes.

¹³¹ Wynn Ch. M. & A. W. Wiggins **2001** La méthode scientifique ou **comment concilier les observations, les hypothèses et les théories**. 7: 120-130. In *Intuitions géniales*. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 218 p.

¹³² Burke B. & J. Ellenberg **2002** Remodelling the walls of the nucleus. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 3: 487-497. & Haraguchi T. **2001** BAF is required for emerin assembly into the reforming nuclear envelope. *Journal of Cell Science* 114: 4575-4585.

¹³³ Nultsch W. 1998 La cellule. 3: 67-132. In *Botanique générale*. De Boeck Université, Paris, 602 p.

¹³⁴ Xiao-Ping Z. & E. Glaser **2002** Interaction of plant mitochondrial and chloroplast signal peptides with the Hsp70 molecular chaperone. *TRENDS in Plant Science* 7: 14-21.

¹³⁵ Heaney A.P. & al. **2002** Functional PPAR-receptor is a novel therapeutic target for ACTH-secreting pituitary adenomas. *Nature Genetics* 8: 1281-1287.

Certaines souches de *Rhizobium* perdent la capacité de symbiose à la suite de la perte d'un plasmide. ¹³⁶ L'intégration définitive de la mitochondrie au partenaire cytoplasmique est assurée par le transfert de la quasi-totalité de l'information génétique mitochondriale à celle du noyau. Une mitochondrie même dépourvue d'information génétique peut encore survivre dans le cytoplasme. La mitochondrie intégrée ne vit plus dans le même espace-temps que la bactérie libre dont elle est issue. De même, au sein d'un organisme, en survivant à sa cellule-mère, chaque cellule-fille change d'espace-temps.

Comment **être toujours plus indépendant du milieu de survie** ? Comment se soustraire aux influences nocives de l'environnement tout en gardant les avantages du contact avec lui ? Comment à la fois séparer, isoler, et permettre le contact, et les échanges ?

La réponse de la symbiose est: **"être toujours plus dépendants les uns des autres"**.

Au sein de la cellule, souvent, un même module est apte à assurer plusieurs fonctions différentes: **"faire d'une pierre deux coups"**, c'est la base de l'**exaptation**. Les lectines, par exemple, sont à la fois, des protéines de réserve et de défense, et, elles sont à la fois des protéines de reconnaissance et des récepteurs. Les mêmes réactions enzymatiques sont réversibles en fonction du contexte; une ATP-synthétase est aussi une ATP-ase: **"permettre tout et son contraire"** c'est la base de la **mise en adéquation** avec l'alternance de cycles, qualitatif et quantitatif, externes et internes.

conclusions

La différence entre apoptose, nécrose et autophagie est une différence de réaction à des **stimulations provenant de niveaux d'organisation et d'intégration, adjacents et différents**. ¹³⁷ L'apoptose est déclenchée par un agent interne à la cellule. Elle débute par un dysfonctionnement, suivi d'une lyse mitochondriale. Des dysfonctionnements mitochondriaux sont impliqués dans les maladies neuro-dégénératives (Alzheimer, Parkinson). L'autophagie est déclenchée par un agent interne à l'organisme, comme une cellule sécrétrice d'une hormone ou d'une toxine. La nécrose est déclenchée par un agent externe à la cellule ou à l'organisme, comme un virus.

Toute réponse **dépend du contexte, d'intégration et d'organisation**, dans lequel elle est exprimée. ¹³⁸ L'intégration d'un virus dans le gène codant pour un facteur inducteur d'apoptose (réorganisation spatiale au niveau moléculaire) entraîne à la fois la non-nécrose virale, une réduction de l'apoptose et une plus grande sensibilité aux peroxydes, facteurs de nécrose. Et, dans le cas du *Rhizobium* par exemple, le contexte varie avec les héritages, génétique ¹³⁹, épigénétique ¹⁴⁰ ou environnemental ¹⁴¹, et leurs interactions. ¹⁴²

**Quel que soit le module de survie,
quel que soit son niveau d'organisation,**

- 1.- il est semi-autonome, il ne possède pas en lui la loi de tous ses déterminismes, ¹⁴³**
- 2.- il ne peut survivre que si les autres niveaux d'organisation et d'intégration,
qu'il contient, et dans lesquels il est contenu ¹⁴⁴, survivent d'abord ¹⁴⁵,**

¹³⁶ Nuti M.P. 1983 Parasitism versus symbiosis: interaction between *Rhizobium* and Leguminous plants. Molecular Biology of Parasites. J. Guardiola & al., Raven Press New York, p. 151-161.

¹³⁷ Larsen K.E. & D. Sulzer 2002 Autophagy in neurons: a review. Histol. Histopathol. 17: 897-908.

¹³⁸ Klein J.A. & al. 2002 The harlequin mouse mutation downregulates apoptosis-inducing factor. Nature 419: 367-374.

¹³⁹ Lie T.A. 1984, Host genes in *Pisum sativum* L. conferring resistance to european *Rhizobium leguminosarum* strains. Plant and Soil 82: 415-425.

¹⁴⁰ Lie T.A. & P.C.J.M. Timmermans 1983 Host-genetic control of nitrogen fixation in the legume-*Rhizobium* symbiosis: complication in the genetic analysis due to maternal effects. Plant and Soil 75: 449-453.

¹⁴¹ Tu J.C. & R.E. Ford 1984 Plant virus interaction in nitrogen-fixing nodules. J. Plant Diseases & Protection 91: 200-212.

¹⁴² Bricage P. 2002 The Evolutionary Shuttle of the Living Systems. European Systems Science Congress, Crete, Res. Systemica 2: 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/>

¹⁴³ <<L'autonomie est la capacité de posséder en soi la loi de ses déterminismes.>> Kant

3.- il survit, et se survit, **par subsidiarité** ¹⁴⁶,

aussi bien vis-à-vis des niveaux adjacents inférieurs qu'il contient,
que vis-à-vis des niveaux adjacents supérieurs qui le contiennent,

4.- tous les modules, à tous les niveaux, et toutes les associations, possèdent

les 7 capacités caractéristiques du vivant :

la mobilisation de la matière et de l'énergie, la croissance, la réactivité aux stimulations,
le mouvement, l'organisation, en adéquation avec l'intégration au milieu de survie,
pour survivre,
et la reproduction, pour se survivre.

5.- **Seules perdurent les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés.**

La plus grande bactérie jamais observée, visible à l'œil nu, un million de million de million de fois plus volumineuse qu'un *Rhizobium*, vit en symbiose dans les intestins d'un poisson de la mer Rouge. ¹⁴⁷

Au sein d'un réseau, d'échanges d'informations ou de matière, dès que chaque individu est en contact avec plus de 4 autres ¹⁴⁸, les comportements, local de l'individu, et global du **réseau**, deviennent imprévisibles.

Tout modèle linéaire, en arbre ¹⁴⁹, des phénomènes évolutifs ¹⁵⁰ devient inacceptable, car **l'émergence d'associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés** est la règle des phénomènes d'évolution biologique. ¹⁵¹ La symbiose émerge à la fois du fait que les hybrides ne sont pas forcément "avantagés" ¹⁵² et du fait que la marginalité des individus d'une espèce peut favoriser l'adaptation. Elle rend compte à la fois du fait que l'imperfection peut protéger ¹⁵³ et du fait que les formes de vie "intermédiaires" sont exceptionnelles dans les archives fossiles, car ces nouvelles formes d'intégration et d'organisation apparaissent **d'emblée** et occupent **de nouveaux espace-temps**, internes et externes. Elles ne résultent pas d'un processus graduel. ¹⁵⁴

Et cela rend compte des explosions soudaines de formes de vie lors de changements globaux des écoexotopes. ¹⁵⁵

¹⁴⁴ Bricage P. **2001** Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. *AFSCET Systémique & Biologie*, Paris, Institut International d'Administration Publique, 11 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹⁴⁵ Bricage P. **2001** La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques: production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? La décision systémique: du biologique au social. *Colloque AFSCET*, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹⁴⁶ **subsidaire**: de subsidium "secours", donné pour **venir à l'appui** de, un subside **fourni à autrui** est **prévu par engagement contractuel**.

¹⁴⁷ La plus grande bactérie. *Sciences & Avenir* mai 1993, p. 8.

¹⁴⁸ Charitat Th. & P. Sens **2002** Sitôt qu'on est plus de quatre... *La Recherche* 354: 80.

¹⁴⁹ Lecointre G. & H. Le Guyader **2001** *Classification phylogénétique du vivant*. Belin, Paris, 543 p.

¹⁵⁰ Wynn Ch. M. & A. W. Wiggins **2001** *La théorie de l'évolution*. 6: 93-118. *In* Intuitions géniales. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 218 p.

¹⁵¹ Bricage P. **2001** La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques: production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? *La décision systémique: du biologique au social*. *Colloque AFSCET*, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹⁵² Hua J.P. & al. **2002** Genetic dissection of an elite rice hybrid revealed that heterozygotes are not always advantageous for performance. *Genetics* 162: 1885-1895.

¹⁵³ De Bonis L. 1994 Imperfection et évolution. *Pour La Science* 200: 30-31.

¹⁵⁴ Le Guyader H. **2002** La théorie synthétique de l'évolution revisitée. *Pour La Science* oct. 2002: 92-95.

¹⁵⁵ Janvier Ph. **2002** Les premiers animaux. *Pour la Science* 300: 20-23.

Un modèle plausible de représentation et d'évolution du vivant est celui de **la percolation**, explicatif à la fois de la mise en place du réseau d'intégration, à un niveau d'organisation quelconque, et des changements au sein des réseaux adjacents, inférieurs, intégrés, et supérieurs, d'intégration.



**Figure 3. Les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés :
un nouveau paradigme impose une nouvelle classification évolutive du vivant...**

Place de l'homme ?

Dans tout écosystème, la distribution des espèces est limitée par **"des barrières"**, spatiales, temporelles, ou biologiques. Pour toute espèce, quelles que soient les chaînes trophiques, il existe toujours **"des bonnes et des mauvaises places"**. Des communautés d'espèces peuvent exister sous **"différentes formes d'associations stables"**.¹⁵⁶ Quand l'écoexotope change, ces barrières, ces places, ces formes changent. **Rien n'est jamais définitif !** Aucune population ne croît sans limites, des écoexotopes surexploités peuvent disparaître..., **et, toujours**, quel que soit l'écosystème, il existe des **"espèces clés de voûte"**, **"keystone species"**¹⁵⁷, dont la présence est indispensable à la survie globale du tout, sans pour autant qu'on décèle leur présence, ou que l'on sache pourquoi. Elles peuvent être des recycleurs. Elles peuvent par leur activité biologique encaisser les perturbations climatiques ou trophiques¹⁵⁸. Mais, le plus souvent, on ne décèle leur rôle "clé" que lorsqu'elles ont disparu, et que l'écosystème disparaît !

L'homme est une espèce clé pour la survie des espèces animales et végétales domestiques, **sans lesquelles il n'existerait plus, et sans lequel elles n'existeraient plus !**¹⁵⁹

L'espèce humaine est dotée d'une faculté exceptionnelle, son imagination, et sa technologie, lui permettent de créer un avenir imaginé à l'avance. Le rêve, ou le cauchemar, peuvent ainsi devenir réalité. C'est la raison pour laquelle il est impératif, pour sa survie, de soupeser le pour et le contre¹⁶⁰, d'évaluer les avantages et les inconvénients, de ses modes d'intégration à ses différents écoexotopes. L'intégration d'une espèce à une autre peut donner une nouvelle forme de vie, plus évoluée, c'est un processus de **complexification**.¹⁶¹ C'est ainsi qu'est née la cellule.

Même si en termes d'**organisation**, et cela se discute, l'espèce humaine clame qu'elle est la plus évoluée, en termes d'**intégration**, un lichen, est plus évolué que l'espèce humaine, mais moins qu'une orchidée.¹⁶²

L'espèce humaine a développé un système artificiel d'intégration, indépendant de son organisme, et prolongement de son organisme, sa technologie. Elle lui permet d'asservir tout écosystème qui devient source de matière et d'énergie **au seul service de l'espèce humaine**, de la même façon qu'un virus bactériophage asservit à sa survie et à sa reproduction une bactérie, de la même façon qu'une cellule cancéreuse **détourne à son profit** le fonctionnement de survie de l'organisme. Le danger de ce mode d'intégration est dans ce qu'il développe une organisation qui accroît la **capacité d'accueil** de l'écoexotope-hôte sans accroître la **capacité d'être accueilli**.

¹⁵⁶ 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.

¹⁵⁷ Krebs J.C. 1985 **The Message of Ecology**, Harper & Row, New York, 186 p.

¹⁵⁸ C'est le cas des mitochondries dans la cellule !

¹⁵⁹ Bricage P. 2001 La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques: production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? *La décision systémique: du biologique au social. Colloque AFSCET*, Andé, 19-20 mai 2001, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr>

¹⁶⁰ Wynn Ch. M. & A. W. Wiggins 2001 *Évaluation des avantages et des inconvénients d'un procédé*. 8: 131-150. In Intuitions géniales. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 218 p.

¹⁶¹ Collectif 1990 La méthode et le défi de la complexité. *Sciences Humaines* 1: 23-25 et suivantes.

¹⁶² Roguenant A. & al. 2003 La sexualité mouvementée des orchidées. *Pour La Science* 306: 34-40.

En détruisant ¹⁶³ les **réseaux d'intégration**, préexistants à son apparition, l'espèce humaine accroît l'**émergence d'agressions** dirigées contre elle, et contre ses plantes et ses animaux domestiques, qui survivent et se survivent en symbiose avec elle.

Ce n'est pas un processus de complexification mais de **complication**. Il accroît le risque de non-survie ¹⁶⁴ à la fois pour l'hôte accueilli (l'espèce humaine ¹⁶⁵) et toutes les autres formes de vie qui l'accueillent (malgré elles) ou qui sont associées à elle.

notes ajoutées à la suite des discussions:

percolation et probabilité d'un événement (remarque d'Emmanuel Nunez):

Le processus de percolation, présenté ici comme étant à l'origine de la mise en place des associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés, est de même nature que celui à l'origine de la mise en place des réseaux de neurones. Bien que sa probabilité soit très faible, **tôt ou tard, il a lieu**.

systémique et pragmatisme (intervention de Lionel Saint Paul):

La notion nouvelle d'un **endophysiotope** (espace-temps interne de fonctionnement) permettant la survie dans un **écoexotope** donné (espace-temps externe de fonctionnement) est applicable à l'entreprise.

La notion d'espèce, de **module**, ou de système, "**clé de voute**" l'est aussi.

Une étude statistique, comparative, des entreprises qui survivent et se survivent et de celles qui disparaissent ne pourrait-elle pas permettre d'identifier les entités "clés de voûte" aussi bien de leur espace-temps interne que de leur espace-temps externe ?

convergence systémique inter-niveaux d'organisation et d'intégration

(intervention de Pierre Bricage, suite à la présentation par Daniel Durand de la communication de Gérard Donnadiou relative à l'approche interactionniste et aux boucles de régulation):

D'un point de vue systémique,

tout se passe comme si

la **boucle de Crozier** correspondait à l'endophysiotope et la **boucle d'Iribarne** à l'écoexotope, où,

tout se passe comme si

le **système technologique** était équivalent à l'héritage génétique, le **système des acteurs** à l'héritage épigénétique et le **système socio-culturel** à l'héritage environnemental.

sémiologie graphique et pertinence des **représentations systémiques** (discussion avec Jean-Paul Bois):

La représentation en arbre, ou en râteau, de l'évolution du vivant était bien commode car elle est plane. Cette nouvelle représentation (figure 3), qui rend compte des phénomènes d'emboîtement, avec ses anastomoses, ne sera possible qu'en 3D. Elle impose l'utilisation d'un outil "généalogique" informatique sophistiqué capable de représenter le "streaming" observé.

vocabulaire et trans-disciplinarité (interventions de divers participants):

Les sciences du vivant ne pourrait-elle pas être à l'origine d'un **métalangage** relatif à l'étude descriptive, et expérimentale, des systèmes ?

¹⁶³ Anonyme **2002** L'ulcère de Buruli se dévoile. *Sciences & Avenir* déc. 2002 p. 35.

¹⁶⁴ Neyrolles O. & B. Gicquel **2003** La tuberculose: mythes et réalités. *Pour La Science* 303: 46-53.

¹⁶⁵ Ratel R. **2003** La barrière des espèces s'est effondrée. *Sciences & Avenir* mai 2003 p. 14-16.

QUELQUES ASPECTS D'UNE MALADIE ENDOBIOTIQUE : LA LÈPRE

par P. PÉROUX

Bull. ANRS n° 51
octobre 1973

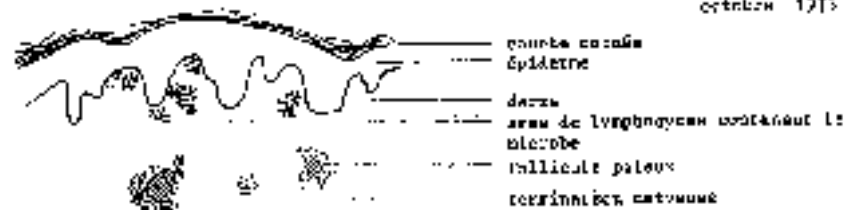


Fig. 1. Microphotographie, coupe d'une lèpre jeune X 100

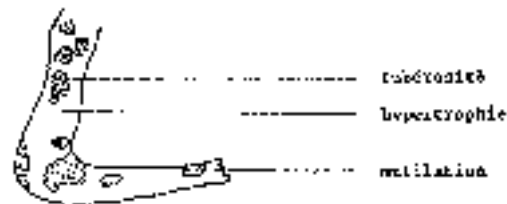


Fig. 2. Coupe d'une lèpre jeune X 100



Fig. 3. Observation au microscope optique X 5000 (d'après H. H. H. H.)

Fig. 4. Lymphocyte hypertroué X 1200

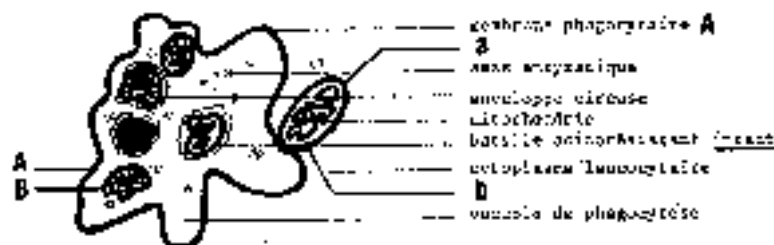


Fig. 5. Observation au microscope électronique X 75.000

Figure 1. topologie de systèmes adjacents: emboîtements et juxtaposition.

La maladie est la conséquence d'une lutte entre une population de mycobactéries, dont l'**écoexotop** est l'**endophysiotop** de l'organisme humain, et l'homme.

membranes équivalentes: **A** et **a** (membranes de séquestration, délimitant l'écoexotop d'accueil, qui est l'endophysiotop de l'hôte accueillant), **B** et **b** (membranes délimitant l'endophysiotop de l'hôte accueilli). La mitochondrie bénéficie de la **capacité d'accueil** du milieu hôte car elle possède la **capacité d'être accueilli**.

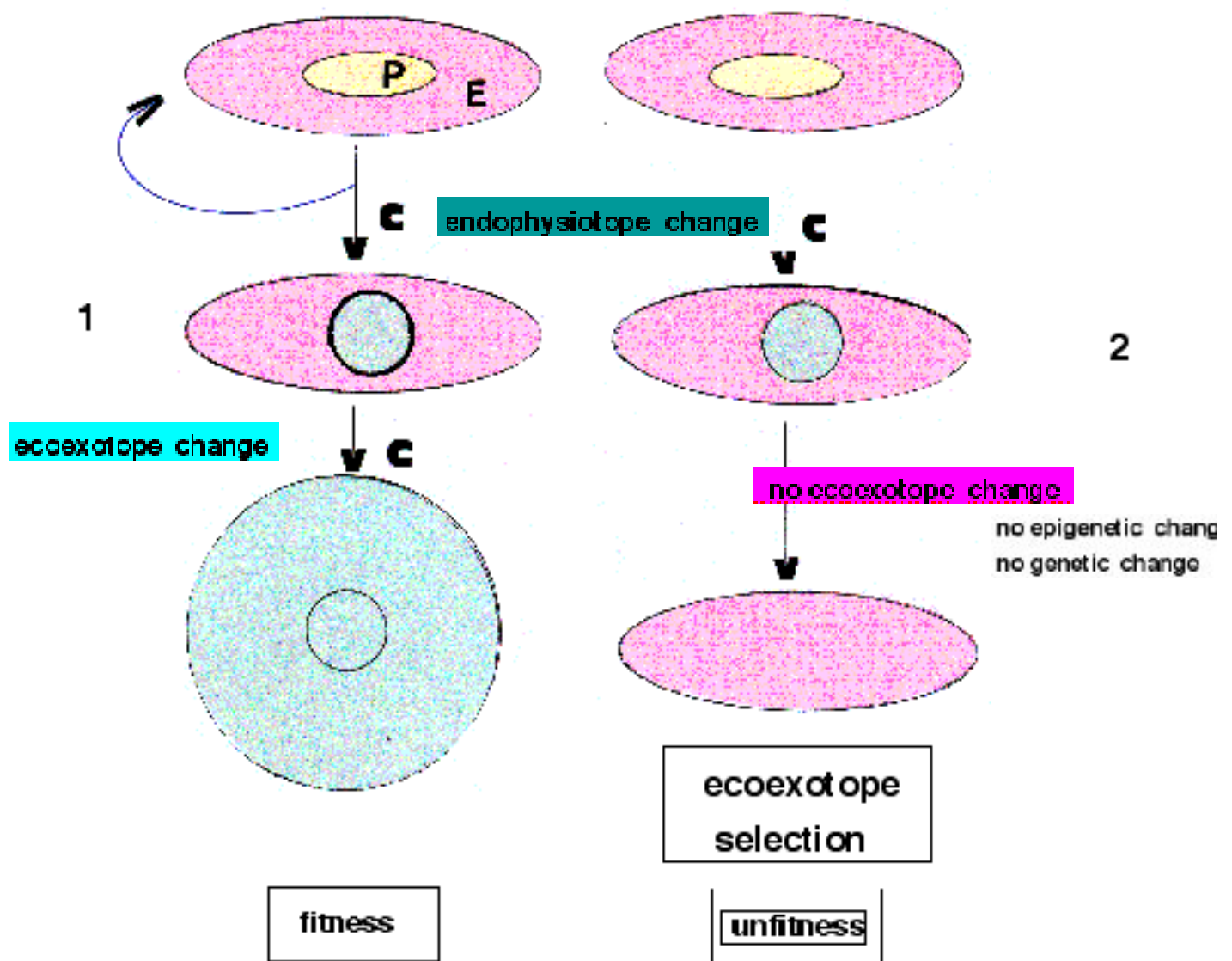


Figure 2. survivre, c'est être au bon endroit, au bon moment

2. A. interactions entre changements d'héritages d'un système vivant.

P endophysiotope, espace-temps d'interaction entre héritages génétique et épigénétique,

E écoexotope, espace-temps d'intégration du système,

C changement (de l'endophysiotope par reproduction sexuée, par exemple, ou de l'écoexotope, par accumulation de déchets de fonctionnement, par exemple),

sinon maintien de la stabilité.

1. sélection naturelle par changement de l'héritage génétique (mutation),
puis changement de l'héritage environnemental:

adéquation entre organisation et intégration: ajustement adaptatif (fitness) par

exaptation.

changement de la capacité d'accueil de l'environnement
après changement de la capacité d'être accueilli

2. sélection naturelle par changement de l'héritage génétique ou épigénétique,
sans changement de l'héritage environnemental

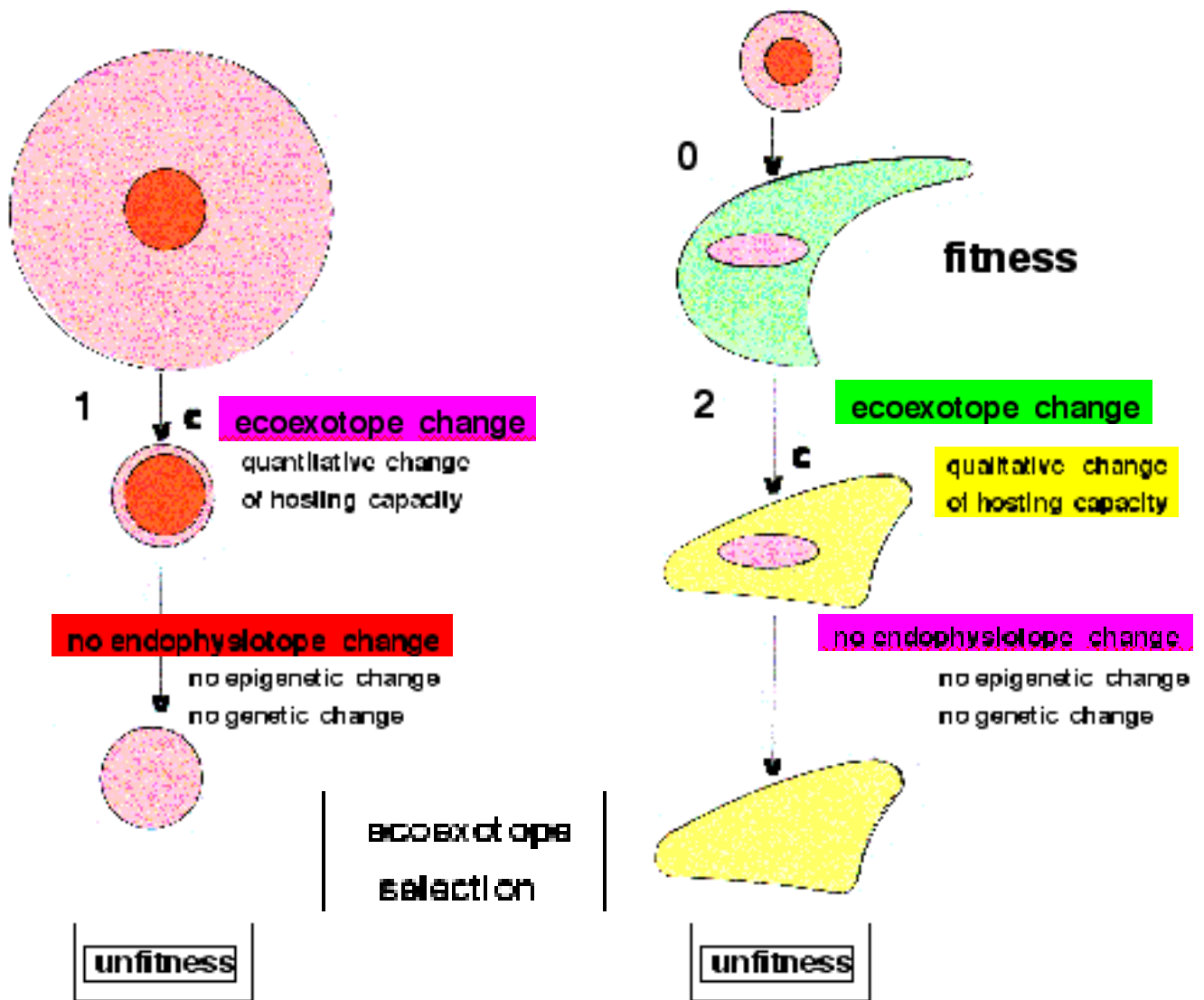


Figure 2. survivre, c'est être au bon endroit, au bon moment

2. B. sélection naturelle par changement de l'héritage environnemental, sans changement de l'héritage génétique ou de l'héritage épigénétique: sélection par l'écoexotope.

réduction de la **capacité d'accueil** de l'environnement
sans augmentation de la **capacité d'être accueilli**

C changement 1. changement quantitatif

2. changement qualitatif

0. ajustement adaptatif (fitness): **adéquation** entre organisation et intégration, puis inadéquation (unfitness 2) (voir figures 2A et 2C).

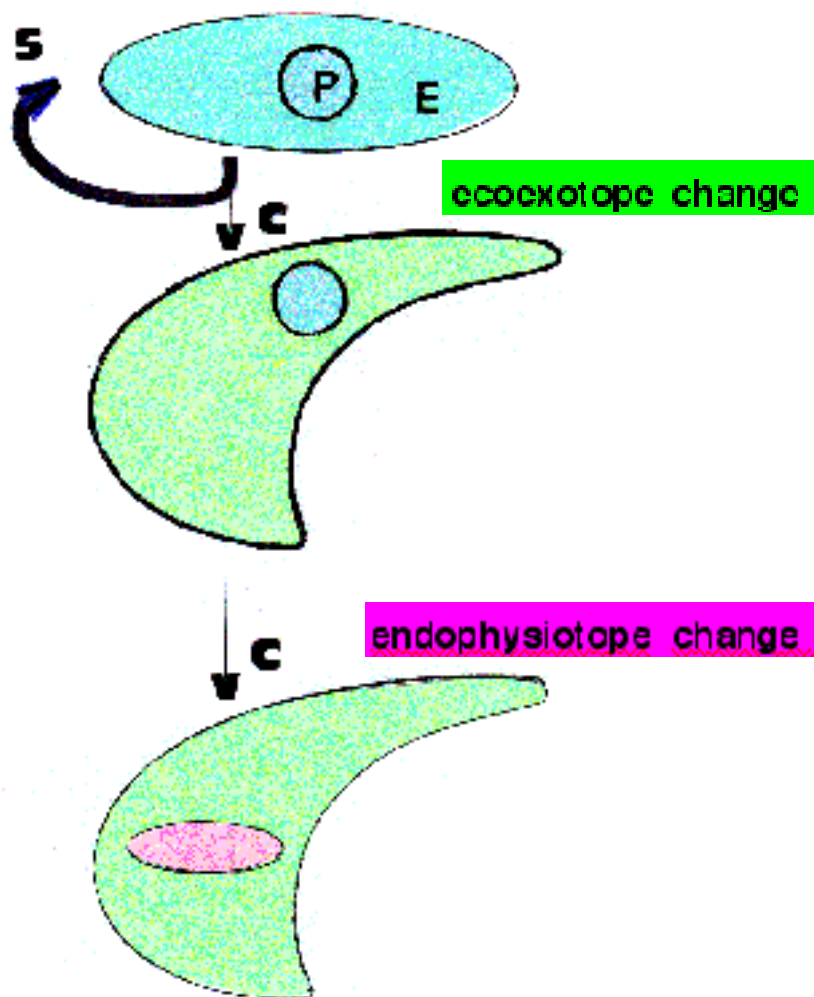


Figure 2. survivre, c'est être au bon endroit, au bon moment

2. C. "sélection naturelle" par changement de l'héritage génétique ou épigénétique après un changement de l'héritage environnemental,

changement de la capacité d'accueil de l'environnement
suivi par un changement de la capacité d'être accueilli

P endophysiotope, espace-temps d'interaction entre héritages génétique et épigénétique,

E écoexotope, espace-temps d'intégration du système,

C changement(s): changement génétique de l'endophysiotope, au cours de la reproduction sexuée, par exemple, ou changement de l'écoexotope par les déchets de l'activité du système,

S maintien de la stabilité (reproduction végétative limitée, par exemple)

ajustement adaptatif (fitness): **adéquation entre organisation et intégration**

adaptation par changement de l'héritage génétique ou épigénétique, après un changement de l'héritage environnemental.

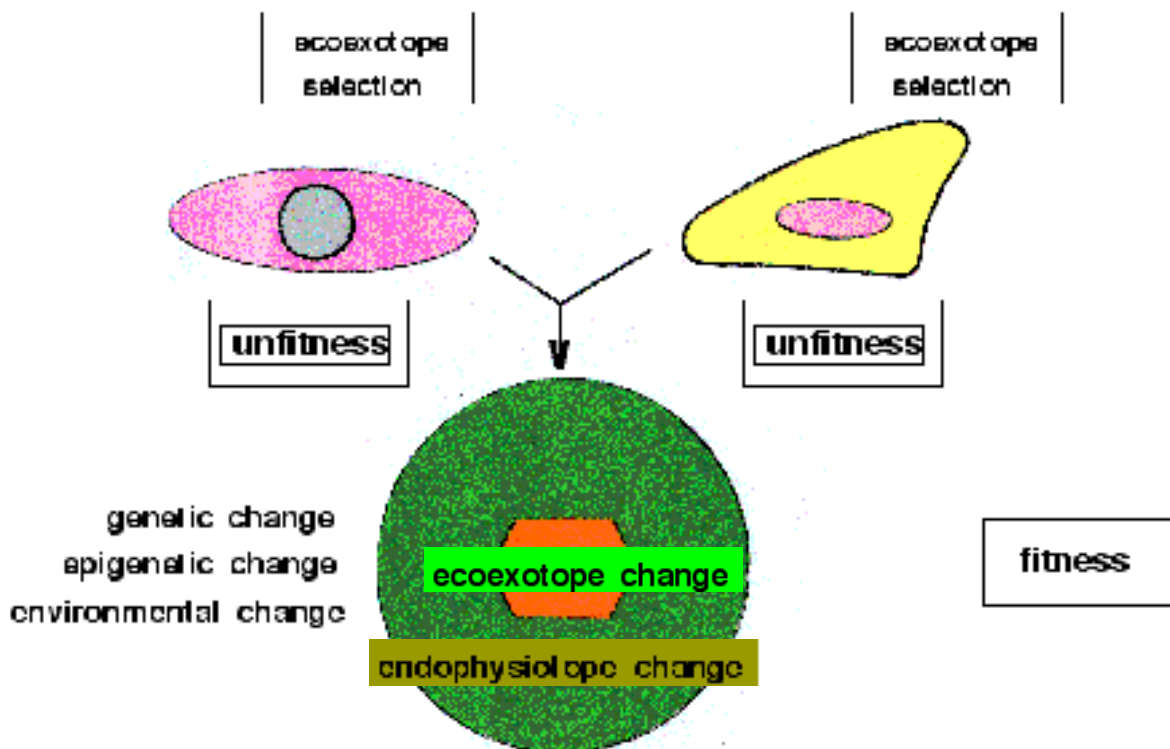


Figure 2. survivre, c'est être au bon endroit, au bon moment

2. D. survie par association d'héritages génétique ou/et épigénétique, "condamnés" après un changement de l'héritage environnemental, et par intégration à un nouvel écoexotope: changements simultanés de l'endophysiotope et de l'écoexotope.

ASSOCIATIONS à AVANTAGES et INCONVÉNIENTS RÉCIPROQUES et PARTAGÉS

Changements simultanés
de la capacité d'être accueilli par l'environnement, et,
de la capacité d'accueil de l'environnement

ajustement adaptatif (fitness): **adéquation entre organisation et intégration**

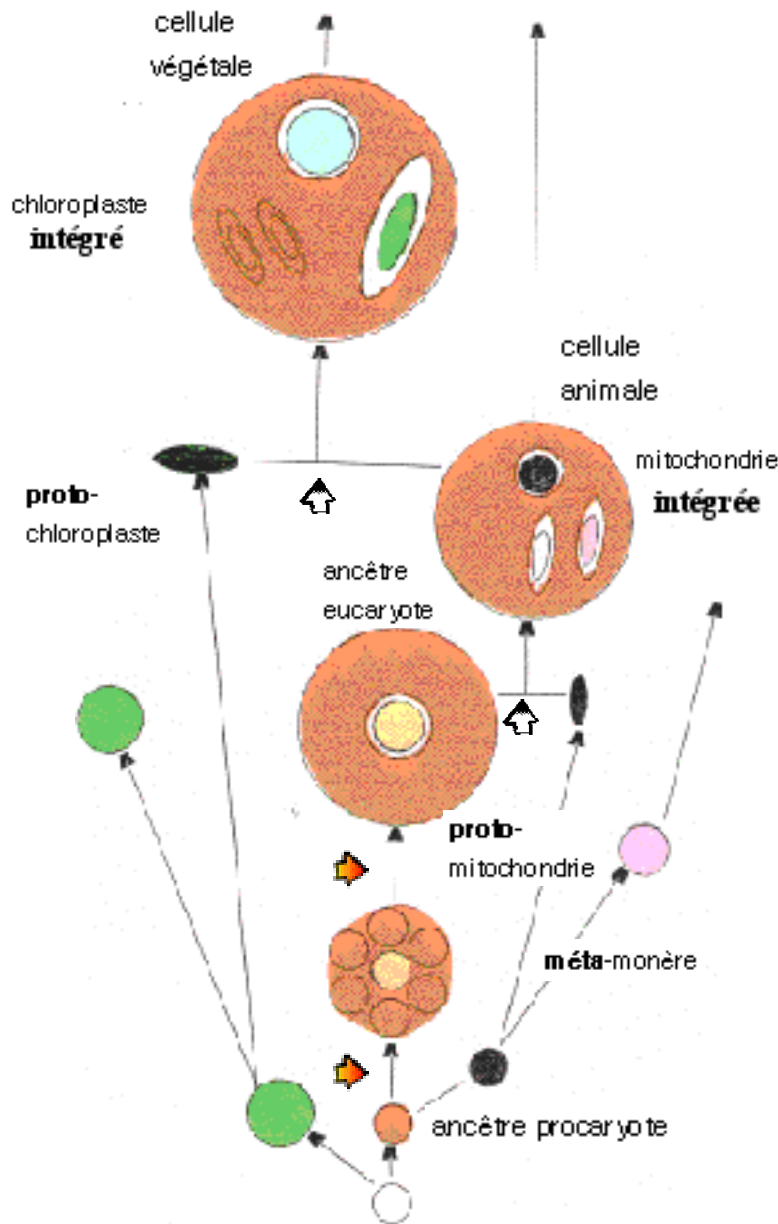


Figure 3. Les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés : un nouveau paradigme impose une nouvelle classification évolutive du vivant...

3.A. l'apparition de la cellule eucaryote:

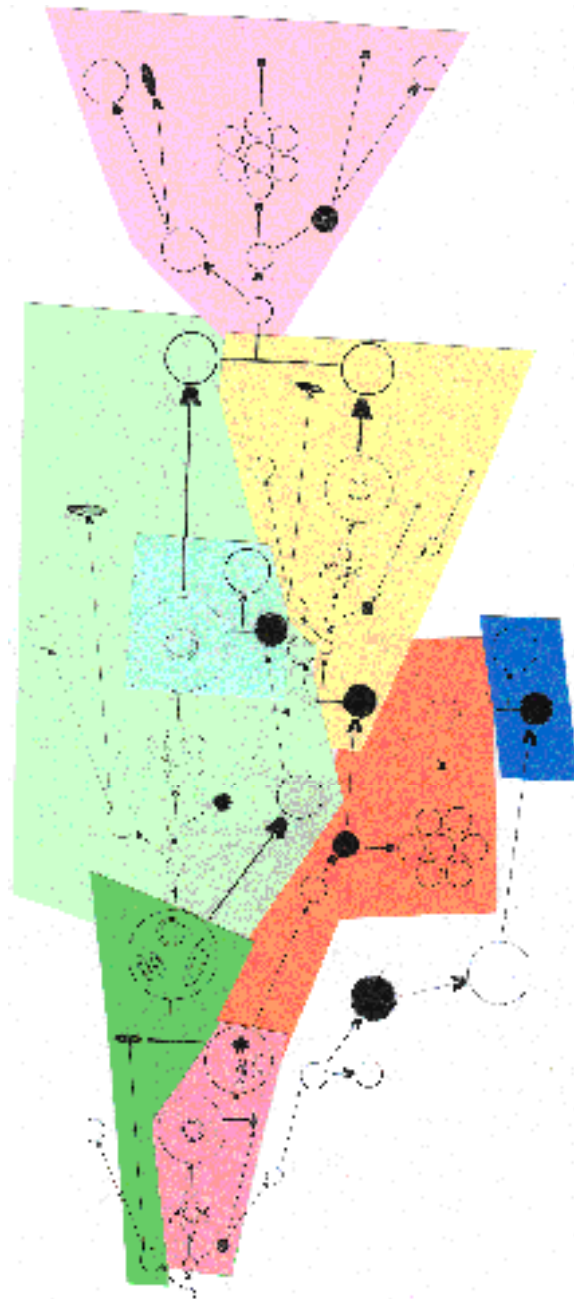
exemple de mise en place d'associations **à avantages et inconvénients réciproques et partagés**.

à gauche, en vert, la lignée à l'origine des proto-chloroplastes,

à droite, en rose, la lignée évolutive à l'origine des proto-mitochondries

au centre, la lignée à l'origine **simultanément** du cytoplasme, en orange, et du noyau, en jaune,

les flèches noires pointent vers le haut les **événements endosyncénétiques**, un trait de liaison horizontal représente la **mise en place** d'une association, les flèches colorées horizontales indiquent les 2 étapes, de croissance en nombre puis d'agglomération, à l'origine du passage d'un niveau d'organisation au suivant.



3.B. l'apparition des lignées évolutives du vivant: quelques niveaux de mise en place des **associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés**.

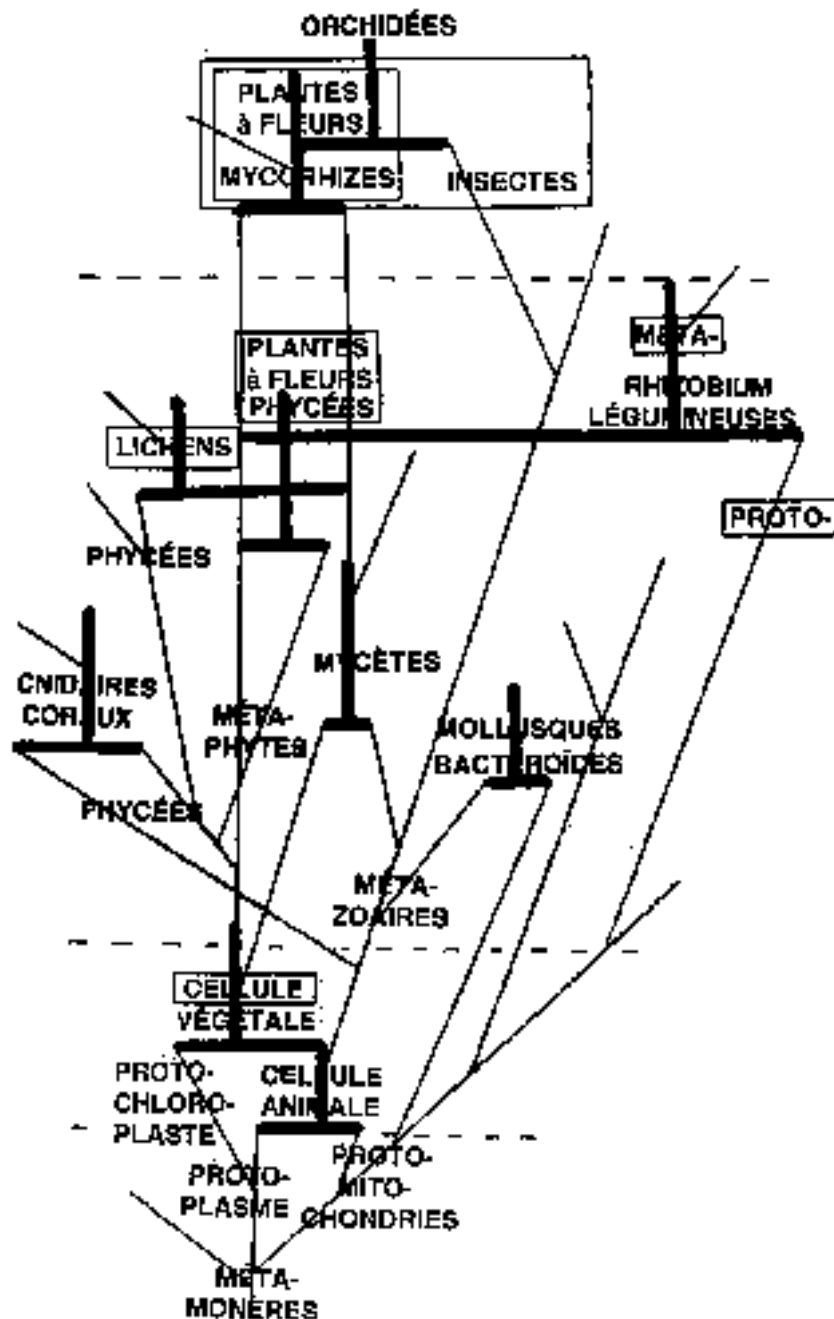
le mécanisme endosyncénétique (voir 3A) **par itération successive** rend compte de la mise en place de **tous les nouveaux plans d'organisation** du vivant (exemple de généalogie très simplifiée)

à gauche, en vert foncé, la lignée à l'origine des cellules végétales ou **protophytes**,

à droite, en rose foncé, la lignée évolutive à l'origine des cellules animales ou **protozoaires**

puis, en vert clair, la lignée à l'origine des **métaphytes**, en rouge celle à l'origine des **métazoaires**, en jaune, celle à l'origine des **champignons**, en bleu clair celle à l'origine des **lichens**, en rose clair celle à l'origine des plantes à mycorhizes, en bleu foncé un autre type d'associations...

chaque trait de liaison horizontal représente la **mise en place** d'une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés, par répétition du **même processus de juxtaposition et d'emboîtement**.



3.C. l'évolution du vivant: représentation du **réseau fractal d'emboîtements et de juxtapositions**:

la vie est un "flux", **ergodique, fractal et contingent**, vers **des macro-états organisés de micro-états**, à la suite de brisures de symétrie. ¹⁶⁶

Chaque trait horizontal représente une anastomose, événement de percolation à l'origine d'un nouveau type d'organisation spatiale et temporelle et d'un nouveau mode d'intégration à un nouvel écoexotope

(Orchidées: associations Plante supérieure-Champignon-Insecte ¹⁶⁷, *Ginkgo biloba*: association Plante supérieure-Algue-Champignon ¹⁶⁸, Lichens: associations Algue-Champignon ¹⁶⁹).

¹⁶⁶ Bricage P. **2001** Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. *Atelier AFSCET "Systémique & Biologie"*. Paris, Institut International d'Administration Publique, 11 p. <http://www.afscet.asso.fr> (voir figures)

¹⁶⁷ Anonyme **2002** L'arbre, le champignon et l'orchidée. *Pour La Science* 298: 10-11.

¹⁶⁸ Anonyme **2002** L'algue du ginkgo. *Pour La Science* 297: 27.

¹⁶⁹ Carlile M.J. & S.C. Watkinson 1995 The lichens. In *The Fungi*, Academic Press, London, p. 69-72.