



# Les isomorphismes spatio-temporels : approche transdisciplinaire et valeur heuristique

**Bruno de FOUCAULT**

F-11290 Roullens

bruno.christian.defoucault@gmail.com

**Résumé** : Un isomorphisme spatio-temporel est un concept transdisciplinaire consistant en une équivalence entre deux séries formées des mêmes éléments mais ceux-ci sont réunis par des relations l'une de nature temporelle, l'autre de nature spatiale. On explore ici ses applications à la pédologie, la phytosociologie et l'ethnographie, ainsi qu'à l'interprétation d'un appareil enregistreur de données écologiques. On précise ensuite sa valeur heuristique, avec les conditions de celle-ci, dans une recherche efficace et économique en phytosociologie et en chrono-écologie.

**Mots clés** : bioindication, espace-temps, heuristique, isomorphisme, série, systémique, transdisciplinarité.

**Abstract** : A spatio-temporal isomorphism is an interdisciplinary concept consisting of an equivalence between two series formed by the same elements but these are combined by relations one of temporal nature, other one of spatial nature. We explore here its applications in pedology, plant sociology and ethnography, as well as in the interpretation of a device recorder of ecological data. We specify then its heuristic value, and the conditions of this one, in an effective and economic research in plant sociology and chrono-ecology.

**Keywords** : bioindication, space-time, heuristic, isomorphism, serie, systemic, transdisciplinarity.

La perception au quotidien des dimensions spatiale et temporelle fait apparaître une différence fondamentale entre elles, la première étant aisément perceptible et fondamentalement bilatérale, la seconde étant difficilement appréhendable à l'échelle des phénomènes naturels habituels et fondamentalement unilatérale. Et pourtant, aucune science ne peut éluder la dimension temporelle, même lorsqu'elle est très peu accessible comme en astronomie ou en géologie. Dans une communication présentée lors d'un congrès à Toulouse (DE FOUCAULT, 1997a), nous envisagions les symétries éventuelles qui peuvent se présenter entre ces deux dimensions dans certaines disciplines afin de les utiliser pour faire avancer les connaissances (heuristique), communication restée inédite dont nous reprenons ici les grandes idées et leurs applications, en les actualisant en fonction de publications ultérieures. Notre démarche sera par essence transdisciplinaire, entendant par *transdisciplinarité* l'étude des invariants communs à plusieurs sciences, traduisant une logique scientifique profonde, invariants révélés par quelques phénoménologies assez avancées et susceptibles de s'appliquer à des sciences bien moins avancées (« *Trans sera l'attitude scientifique qui cherchera à analyser les récurrences dans l'histoire et dans d'autres domaines voisins ou déconnectés d'enjeux épistémologiques semblables* », BENOIST, 1980).

## I. Concepts généraux fondamentaux

Avant d'aller plus avant dans notre propos, il nous faut introduire quelques concepts transdisciplinaires utiles.

### A. Notion de mesure qualitative, concepts sémiologiques

Le concept de *mesure* peut d'abord s'entendre comme un nombre attaché à un phénomène, physique ou autre. Nous proposons de généraliser ce concept à celui de *mesure qualitative* en la définissant comme tout critère, quantitatif ou qualitatif, attaché à l'état d'une grandeur. Un des intérêts de cette généralisation est de réaliser un rapprochement entre les concepts de phénomène et de forme : la mesure d'un phénomène physique en est une description quantitative, la description d'une forme est une mesure qualitative de celle-ci. De telles mesures sont souvent incomplètes en ce sens qu'il existe des parties de la forme mesurée qui ne sont pas intégrées dans sa mesure ; elles sont dites de *mesure nulle*.

Par ailleurs, la sémiologie est amenée à classer ses formes élémentaires d'étude, les *signes*, en *sèmes*, données double d'un *signifié*, intellectuellement perceptible, et d'un *signifiant*, perceptible par les sens, celui-ci pouvant être interprété comme une mesure qualitative du signifié.

### B. Notion de système et de série ; représentations

Le concept éminemment transdisciplinaire de *système* est bien connu, un ensemble d'éléments  $T_k$  unis par des relations  $\mathbf{a}_n$  ; les éléments sont souvent des classes de formes équivalentes pour une certaine mesure dénommées *taxons* dotés d'une étiquette nomenclaturale. Les relations sont d'abord de nature spatio-temporelle ; dans les disciplines naturalistes (écologie, phytosociologie...), ce sont plus précisément des transformations écologiques qui relient les taxons naturels.

En phytosociologie, pour faciliter l'étude concrète des systèmes, il est utile de les limiter au niveau de leur déterminisme écologique : on cadre un système dit *élémentaire* sur une région naturelle, définie par un climat et une géologie à peu près uniformes relativement à la végétation, et à un niveau topographique donné (DE FOUCAULT, 1993b).

D'un système  $\{(T_k), (\mathbf{a}_n)\}$  on peut extraire une *série*, ensemble des  $T_k$  (*stades* de la série) unis par une même relation  $\mathbf{a}$  appartenant à  $(\mathbf{a}_n)$  à partir d'un initial  $T_1$ . Une série spatiale est souvent qualifiée de *zonation* ou *catena*, une série temporelle de *succession*.

Un système ou une série admettent une représentation synthétique en choisissant de construire leur *graphe* sur lequel on identifie l'ensemble des sommets à  $(T_k)$ , marqués par leur étiquette nomenclaturale, et l'ensemble des arcs aux transformations  $(\mathbf{a}_n)$  ; ces derniers seront distingués par un symbolisme tel que  $\approx$  pour le piétinement (liste des symboles dans GILLET *et al.*, 1991). Le graphe d'une série se réduira à un schéma de la forme

$$T_1 \rightarrow \dots \rightarrow T_n \dots,$$

la flèche  $\rightarrow$  représentant l'action de  $\mathbf{a}$  et  $T_k$  étant représenté par son étiquette nomenclaturale.

## C. Isomorphisme fonctionnel, structuralisme, homologie

La recherche d'équivalences entre divers systèmes distincts décrits puis synthétisés par leur graphe s'apparente à la *démarche structuraliste* des sciences humaines et l'équivalence fonctionnelle de ces systèmes est appelée *isomorphisme*. On peut alors montrer que, au-delà d'une diversité systémique induite par les conditions naturelles générales (climat, géologie, topographie), des systèmes élémentaires fonctionnent de la même manière en faisant intervenir un petit nombre de transformations invariantes à caractère universel, les éléments  $T_k$  étant variables mais *homologues* entre systèmes isomorphes.

## II. Les isomorphismes spatio-temporels

### A. Définition

Si, dans l'approche structuraliste précédente, l'isomorphisme fonctionnel est une équivalence qui laisse invariantes les relations systémiques, les éléments étant variants mais homologues, il existe un autre cas d'isomorphisme qui laisse invariants les éléments systémiques, faisant varier les relations qui unissent ceux-ci. Autrement dit, on peut obtenir deux suites formées des mêmes éléments ordonnés, se distinguant par la nature de leur relation. Cet isomorphisme particulier, dit *de variables* (par allusion à la variance des variables causales), offre donc une symétrie dans le rôle joué par des transformations différentes dans les systèmes ou les séries. Le cas le plus important de ce type d'isomorphisme de variables est la symétrie entre l'espace et le temps (*isomorphisme spatio-temporel*, en abrégé IST), dont les transformations correspondantes sont des translations spatiales ou temporelles. Ce concept est de valeur transdisciplinaire comme nous allons le montrer à travers diverses disciplines indépendantes.

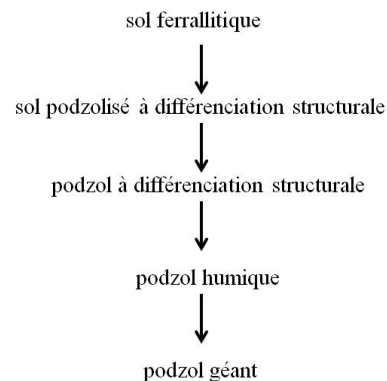
### B. Les isomorphismes spatio-temporels en pédologie

Classiquement, les pédologues décrivent d'un côté des séries ou des séquences spatiales (*catenas*) de sols, le long de gradients altitudinaux, latitudinaux ou topographiques, d'un autre côté des séquences temporelles associées à diverses transformations causales physico-chimiques et biologiques. Il est parfois possible de rapprocher les unes et les autres pour mettre en évidence des IST, autrement dit isoler des séquences formées par les mêmes éléments mais se distinguant par les relations unissant ceux-ci. De brèves investigations nous livrent les exemples suivants (d'après DUCHAUFOR, 1983 ; nous avons conservé les noms classiques des types de sol et non ceux du *Référentiel pédologique* - BAIZE et GIRARD, 1992 - pour éviter les éventuelles erreurs de correspondances) en remplaçant les relations variantes par un simple trait de liaison :

- sol humo-calcaire — sol humo-calcique — lithosol à mor, sous l'effet de l'acidification et de l'humification ;
- sol brun lessivé —...— sol podzolique, où la relation peut être spatiale, de type altitudinal ou latitudinal, ou temporelle sous l'effet de l'humification et de la podzolisation ;
- sol châtain — sol châtain tirsifié, où la relation peut être spatiale ou temporelle sous l'effet de la vertisolisation ;
- ferrisol — s. ferrallitique, où la relation peut être spatiale, de type topographique, altitudinal ou latitudinal, ou temporelle sous l'effet de la ferrallitisation ; à cet égard, une comparaison s'impose avec le cas b ;
- gley à hydromull — gley à anmoor, où la relation peut être spatiale ou temporelle sous l'effet de l'humification.

Le très intéressant travail de BRAVARD (1988) concerne la différenciation de podzols tropicaux aux dépens de sols ferrallitiques en Amazonie brésilienne. La coexistence des deux types de sols n'est pas liée à une différence dans les dépôts sédimentaires, mais à un front de transformation progressant de l'aval vers l'amont aux dépens de la couverture

ferrallitique et aboutissant à la formation de podzols. C'est une podzolisation centripète, à l'inverse de la podzolisation centrifuge qui existe aussi en domaine tropical (par exemple sur barres pré littorales sablo-argileuses, après lessivage vertical de l'argile du sol ferrallitique et colmatage en profondeur, avec hydromorphie liée à une nappe perchée). La série pédogénétique est d'ailleurs isomorphe à une catena de l'amont vers l'aval.

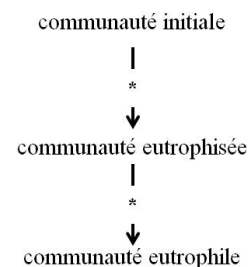


### C. Les isomorphismes spatio-temporels en phytosociologie

On peut illustrer les IST à travers diverses transformations systémiques intervenant dans les phénomènes phytosociologiques.

#### L'eutrophisation de la végétation

L'eutrophisation est une transformation écologiques universelle dont les effets sont relativement aisés à mettre en évidence, par exemple le long de séries dont la structure formelle est de la forme (\* : eutrophisation)



De telles séries temporelles sont associées à des séries spatiales orientées le long de gradients allant de milieux plus naturels, plus extensifs, vers des milieux anthropisés et eutrophisés (villes, villages...). Cette structure très générale est susceptible d'être illustrée à divers niveaux systémiques.

1. Dans les systèmes arbustifs mésophiles héliophiles tempérés ouest-européens, le fourré eutrophile étant le *Fraxino excelsioris - Sambucetum nigrae* (DE FOUCAULT, 1991) ; en conditions plus sciaphiles, des synusies intraforestières à *Rosa arvensis* peuvent aussi se transformer en synusie à *Sambucus nigra* (DE FOUCAULT, 1994). Vers d'autres régions aux caractéristiques climatiques différentes, les homologues de ce *Fraxino - Sambucetum* peuvent être le *Ribeso uvae-crispae - Sambucetum nigrae* (montagnes d'Europe occidentale), le *Nicotiano glaucae - Ricinetum communis* (Afrique du Nord, Crète...), le *Calotropido giganteae - Ricinetum communis* (plaines chaudes d'Asie du Sud-Est), le *Calliandro calothyrsi - Sambucetum javanicae* (montagnes d'Asie du Sud-Est) (DE FOUCAULT, 1991 ; DE FOUCAULT et ROYER, 2015).

2. Des systèmes arbustifs hygrophiles héliophiles tempérés ouest-européens, le fourré hygro-eutrophile étant alors l'*Humulo lupuli - Sambucetum nigrae* (DE FOUCAULT, 1991).

3. Dans les systèmes herbacés littoraux atlantiques sous l'influence des colonies denses d'oiseaux marins peuplant les pelouses aérohalophiles des falaises maritimes ; dès 1956, GILLHAM met en évidence la dynamique

*Pteridietum aqu.* → *Holcetum lanati* → *Stellarietum mediae* → *Atriplicetum*

sous l'influence croissante de la pression aviaire et cette série dynamique est par ailleurs isomorphe à une série spatiale en fonction de la distance aux nids.

4. Dans les systèmes herbacés mésophiles prairiaux : une série prairiale trophique relie dans le temps une pelouse initiale oligotrophile à une prairie dérivée par eutrophisation (fertilisation), voire une friche nitrophile. La même suite de syntaxons peut être obtenue selon un gradient spatial géographique allant des forêts et pelouses aux prairies eutrophisées puis aux villages et aux friches nitrophiles, par exemple :

- en Aubrac (DE FOUCAULT, 1986a, 2015) : *Diantho - Meetum athamantici* et hêtraie / *Violo luteae - Trisetetum flavescens* / *Heracleo lecoqii - Arrhenatheretum elatioris* / friches des villages ;

- en Normandie (DE FOUCAULT, 1989, 2015) : *Orchido - Saxifragetum granulatae* / *Luzulo campestris - Brometum hordeacei* (fauche) et *Luzulo campestris - Cynosuretum cristati* (pâturage) / *Heracleo sphondylii - Brometum mollis* (fauche) et *Cirsio arvensis- Lolietum perennis* (pâturage) / friches des villages ;

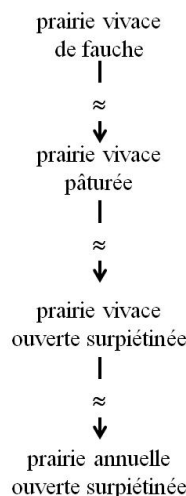
- en Tarentaise (VERTÈS, 1983 : 67) : pelouse des *Nardetea strictae* / prairie du *Poion alpinae* / végétation des abords de chalets ;

- dans le Jura (GUINOCHET, 1955 ; DE FOUCAULT, 1986b ; FERREZ et al., 2011) : pelouse du *Mesobromion erecti* (*Gentiano vernae - Brometum erecti* ?) / *Euphorbio brittingeri - Trisetetum flavescens* (fauche) et *Gentiano luteae - Cynosuretum cristati* (pâturage) / *Alchemillo monticolae - Brometum hordeacei* (fauche) et *Alchemillo monticolae - Cynosuretum cristati* (pâturage) / végétation des abords de chalets.

5. Dans les systèmes aquatiques : là encore, l'eutrophisation des milieux aquatiques y détermine un cas d'IST, c'est-à-dire qu'il existe un gradient spatial le long duquel la série des végétations observées est isomorphe à une série temporelle ; cet isomorphisme a été reconnu, en d'autres termes bien sûr, dans le Ried alsacien (le long du gradient tête de bassin, oligotrophe / cours moyen / partie basse du cours, eutrophe ; CARBIENER, 1977), le nord de la France (MÉRIAUX et GÉHU, 1980).

### Le piétinement de la végétation

De la même manière, le piétinement consécutif à des pressions biotiques se traduit sur la végétation prairiale par une série structurale de la forme (≈ : piétinement)



les deux derniers stades pouvant être assemblés en une mosaïque spatiale, série isomorphe à une série dans l'espace allant des secteurs peu perturbés à des secteurs très influencés (DE FOUCAULT, 1989).

### La pollution atmosphérique acide

On peut encore illustrer le phénomène d'IST par le cas des systèmes lichéniques épiphytiques soumis à une pollution atmosphérique acide (SO<sub>2</sub>) croissante, dont un des invariants fonctionnels est qu'une association épiphytique toxiphobe est progressivement remplacée par une association toxitolérante, ce qui se marque dans l'espace au niveau de zones floristiquement équivalentes (*isoflores*) centrées sur la source de pollution. On pressent que cette relation spatiale doit être aussi une relation temporelle, ce qui peut être démontré en adoptant une démarche archéolichénosociologique consistant à examiner les anciens catalogues ou herbiers de lichens centrés sur les mêmes régions que les investigations actuelles, par exemple en régions lilloise et rouennaise (DE FOUCAULT, 1993a).

### La dynamique végétale progressive

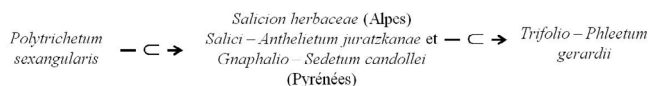
La structure générale d'une phytocénose forestière fait apparaître deux dimensions spatiales privilégiées, l'une verticale reliant les diverses strates (arborescente, arbustive, herbacée), l'autre horizontale associant l'intérieur de la forêt à ses lisières (manteau = lisière arbustive, ourlet = lisière herbacée). De là et d'observations dynamiques répétées, RAMEAU (1987 : 83) note que, par sa structure horizontale, la forêt donne une représentation synchronique des phénomènes diachroniques ontogénétiques (ourlet / manteau / forêt) et par sa structure verticale le déroulement diachronique des successions (strate arborescente / strate arbustive / strate herbacée).

### Les changements climatiques

BRAUN-BLANQUET (1948 : 77-82, 90) donne quelques exemples de dynamique de systèmes de l'étage alpin sous l'effet de modifications climatiques dans les Pyrénées orientales : en quelques années, il a pu observer, par exemple, l'évolution (⇨ refroidissement climatique)

pelouse des *Caricetea curvulae* — ⇨ —> combe à neige du *Salicion herbaceae*

dynamique marquée par la mort de *Agrostis rupestris*, *Nardus stricta*, *Carex pyrenaica*, *Trifolium alpinum*. En années plus chaudes, la dynamique inverse se manifeste (⇨ réchauffement climatique)



successions que l'auteur met en rapport avec les zonations correspondantes (des combes à neige aux pelouses), source d'un IST.

### D. Les isomorphismes spatio-temporels en ethnographie

Une étude ethnographique assez étendue d'objets forgés par les hommes aboutit non seulement à en proposer une typologie, mais aussi à aborder leur dynamique éventuelle au cours du temps. D'une manière générale, la forme de ces objets est associée à une fonction (matérielle, symbolique...) pour les hommes qui les ont créés. Au cours de la démarche diachronique, on est donc amené à définir des séries temporelles reliant des objets de même fonction, mais entre lesquels des éléments architecturaux peuvent varier. Par exemple des objets tels que des balais végétaux traditionnels sont structurés au moyen de liens végétaux ; mais plus récemment des liens de fil de fer sont utilisés pour structurer de nouveaux balais ; ce passage temporel entre liens végétaux et fil de fer se déroule aussi dans l'espace, entre les ethnies restées traditionnelles (Canaries, Thaïlande, Malaisie, Indonésie, Inde) et les pays plus « développés » (France), nouvel exemple d'IST (DE FOUCAULT, 1997b).

Si l'on s'intéresse maintenant aux abris végétaux forestiers traditionnels tels que les *carcahoux* normands (DE FOUCAULT et LEGRAND, 1994), la tendance dynamique récente est leur

remplacement par des cabanes tractées à immobilisation temporaire assurant toujours une fonction d'abri des ouvriers forestiers ; on peut dire que l'ensemble de plusieurs carcahous permanents dispersés spatialement dans divers secteurs de la forêt est fonctionnellement équivalent à l'ensemble des points occupés par une même cabane se déplaçant dans le temps, idée que P. VALÉRY (*Cahiers*, I : 550) exprime ainsi : « Le déplacement d'un corps est équivalent à une pluralité de corps diversement placés dans un espace », et que J. RENARD (*Journal*, en date du 6 juillet 1898) décrit ainsi : « Tous ces arbres, c'est le même qui se promène au bord de l'eau ».

L'approche ethnophytosociologique, autrement dit l'étude des relations entre les hommes et les communautés végétales (DE FOUCAULT, 1990), fait de même apparaître des isomorphismes entre espace et temps, par exemple :

- dans la civilisation agricole de l'ager, il existe souvent un ordre des cultures tel qu'on puisse définir un isomorphisme entre rotation (succession des cultures dans le temps sur une même parcelle) et assolement (ensemble des cultures existant à un moment donné sur l'exploitation) ;

- en Auvergne, on peut décrire dans le temps comme dans l'espace une série *ayguade* (saltus non amélioré) / *fumade* (saltus fertilisé par la parçage de nuit), rappelant les séries prairiales trophiques évoquées précédemment associées à la série *saltus* / végétation des abords de chalet, elle-même partie d'une série plus étendue de la forme *silva* (forêts) / *saltus* / *ager* (cultures) / *hortus* (jardins proches des habitations), caractérisée par une pression anthropique croissante, une dynamique végétale régressive, une tendance évolutive ethnologique des civilisations.

## E. Dualité espace-temps de l'appareil enregistreur

Revenant à des concepts transdisciplinaires, d'un point de vue conceptuel, un ensemble de mesures ordonnées selon un gradient, ou série, peut être fourni par un appareil enregistreur : quand une cause varie dans le temps, peut donc être décrite par une succession, sa mesure peut être donnée par un tel appareil qui livre une série de mesures ordonnées dans l'espace. Son intérêt formel est de transformer des données temporelles en données spatialement ordonnées, l'espace s'y avérant une mesure qualitative du temps.

Sans reprendre le cas des enregistreurs matériels bien connus et livrant des mesures quantitatives, il peut être intéressant d'évoquer des types plus formels, livrant éventuellement des mesures qualitatives, par exemple un arbre qui offre un ensemble de cernes le long d'un rayon ligneux, un lac qui livre un ensemble sédimentologique, une tourbière qui livre un ensemble d'horizons, un glacier livrant un ensemble de moraines... (MAGNY, 1995). Plus précisément, l'étude fine des successions en tourbière révèle notamment une succession temporelle de types de tourbe assez variés associés à des communautés végétales différenciées ; donc, de la surface vers la profondeur, on doit retrouver des substrats de plus en plus anciens, selon un ordre précis. Autrement dit, l'ordre spatial des horizons, la zonation en profondeur, doit révéler la dynamique de la végétation, d'autant plus que les tourbes conservent longtemps les restes végétaux qui y sont enfouis.

La restitution de l'enregistrement consiste à repasser de la série spatiale à la succession ; elle équivaut à la lecture d'une bande dessinée, d'une partition musicale, la suite spatiale des notes sur le papier étant la mesure qualitative d'une mélodie.

## III. Heuristique es isomorphes spatio-temporels en phytosociologie

### A. Principe heuristique

Quand on a pu mettre en évidence des IST, pour certaines sciences, leur valeur heuristique est élevée puisque, grâce à eux, on peut avoir accès à une série, difficile, longue ou onéreuse à décrire, par le biais d'une série isomorphe, de variable différente, beaucoup plus facile à appréhender. Alors que les successions sont longues à décrire, il n'en est pas de

même des séries spatiales car celles-ci s'analysent par de simples déplacements dans l'espace. Lorsque les conditions de l'IST sont remplies, l'heuristique consiste à considérer que la série temporelle s'obtient à partir de la série spatiale en changeant de variable ( $x \rightarrow t$ ) et en conservant les éléments en série.

Parmi ces conditions, il faut préciser la manière de décrire la série spatiale selon un gradient privilégié pour être valablement transformée en série temporelle. En phytosociologie notamment, une autre condition est que la série se déroule dans un système élémentaire dont l'invariance géo-climatique et topographique est assurée. C'est, en d'autres termes, les conditions que MULLER (1986) avait posées pour utiliser les données synchroniques à des fins diachroniques : à la page 203 de son mémoire, il pose une invariance climatique et substratique (ce dernier terme peut-être un peu vague) et p. 204 il pose une invariance topographique et géologique. De son côté DECOCQ (2004) présente un exemple où une séquence spatiale s'étendant sur une séquence géologique hétérogène ne peut être étendue à une séquence temporelle. Ainsi, « on est réduit à essayer de reconstituer dans l'espace les stades successifs de l'évolution, que l'on suppose avoir eu lieu dans le temps » (DUCHAUFOR, 1948).

Il n'est pas nécessaire d'insister longuement sur l'intérêt de cette démarche dans une recherche financièrement économique, les expérimentations dans le temps étant longues et onéreuses, à l'inverse des recherches dans l'espace. Il est certain que, en l'absence d'expérimentations précises, beaucoup de phytosociologues raisonnent ainsi pour préciser une dynamique, en passant de l'espace au temps ; seuls les isomorphismes spatio-temporels permettent toutefois de valider une telle démarche. Il reste à les décrire pour préciser réellement les cas où ces inductions sont valables.

## B. Méthodologie

Une transformation causale donnée pouvant être d'intensité variable selon les stations, sur une aire suffisamment large dans l'espace mais respectant l'homogénéité du système, on a de bonnes chances de rencontrer plusieurs stades plus ou moins avancés de la série à décrire. Alors, inversement, avec des investigations suffisantes dans l'espace et dans le cadre d'un système élémentaire, avec une méthodologie à la fois fine et rapide, à de courtes échelles de temps (approche synchronique), on a de bonnes chances de pouvoir décrire des taxons interprétables ensuite en termes de stades d'une série à définir.

Toujours sur le plan méthodologique, si on cherche à décrire la série temporelle d'éléments successifs  $T_n$ , un échantillonnage efficace dans l'espace aura de bonnes chances de passer par la plupart des stades indicés par  $n$  ; une ordination des  $T_n$  ainsi définis suivie de l'IST donnera, au moins à titre hypothétique, la série temporelle. Dans le domaine de la systémique phytosociologique pastorale, l'approche expérimentale de DELPECH (1975) a consisté à se fixer dans l'espace et à œuvrer dans le temps. Les IST relient les deux approches et notamment valident la première. L'approche heuristique dans de nouvelles régions consiste alors à étudier une dynamique par de simples déplacements dans l'espace, selon des gradients privilégiés connus *a priori*.

On peut aussi utiliser l'*archéophytosociologie* (introduite initialement sous le nom de *paléophytosociologie récente* ; GÉHU, 1973 ; DE FOUCAULT et MATYSIAK, 1994 ; DE FOUCAULT *et al.*, 1998), qui consiste en la déduction d'unités phytosociologiques à partir d'inventaires floristiques réalisés dans une région donnée dans une période historique déterminée (voir aussi DE FOUCAULT, 1993a). DECOCQ (2004) l'a utilisée dans une perspective « pseudo-diachronique » pour préciser les successions longues (qui mettent en jeu des transformations ne produisant des effets significatifs qu'au bout de plusieurs dizaines d'années) en se substituant aux lourdes expérimentations se déroulant dans le temps et ainsi valider quelques IST, avec les limites que l'auteur reconnaît clairement.

Dépassant des exemples ethnographiques, donnés ailleurs (DE FOUCAULT, 1992), et ethnologiques, dans lesquels

la compréhension des phénomènes et des techniques néolithiques passe parfois par des déplacements dans l'espace vers des ethnies actuelles restées à des stades moins avancés que les nôtres (voir les travaux de A.-M. et P. PÉTREQUIN entre les sites archéologiques d'Europe occidentale et les ethnies de Papouasie - Nouvelle-Guinée pour comprendre la fabrication des haches polies, ou les ethnies du Bénin pour comprendre les habitats palafittiques), nous allons illustrer ces aspects heuristiques surtout en phytosociologie et en chrono-écologie.

## C. Heuristique en phytosociologie

### En systèmes forestiers

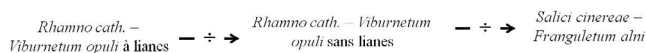
RAMEAU (1987 : 36, 70) déduit des isomorphismes entre dimension spatiale en forêt et dimension temporelle une méthode heuristique menant à la reconstitution diachronique au moyen d'observations synchroniques de sites arrivés à des stades dynamiques variés. Cette approche synchronique a pour objectif de reconstituer les étapes de la dynamique forestière en analysant les variations spatiales de la structure et de la composition floristique des formations végétales ; elle implique notamment de travailler dans des conditions stationnelles parfaitement définies.

Elle a été aussi implicitement utilisée à une assez grande échelle par RAMEAU et ROYER (1975). Dans le but de dégager les séries dynamiques naturelles de l'est de la France, ces auteurs tentent d'ordonner divers stades dynamiques bien définis en termes phytosociologiques au moyen d'une importante analyse factorielle des correspondances (AFC). L'examen des cartes factorielles met alors en évidence les séries dynamiques recherchées. C'est un remarquable essai qui repose toutefois sur un passage de l'espace (l'AFC rapproche les stades par leur composition floristique selon des translations spatiales sur les cartes factorielles) au temps (ces translations sont traduites en transformations temporelles qui font dériver ces stades les uns vers les autres) ; et par là même cet essai ne devrait pas être considéré comme plus qu'un schéma hypothétique ; l'affinement des recherches de terrain orientées selon cet essai heuristique doit en prendre le relais pour confirmer ou infirmer ces hypothèses.

Plus récemment, l'IST a été envisagé pour comprendre la dynamique de forêts ivoiriennes (KASSI *et al.*, 2011).

### Effets de l'oligotrophisation

Pour appréhender les effets de l'oligotrophisation édaphique (flèche  $\rightarrow$ ) sur une végétation arbustive hygrophile du nord-est du Bassin parisien, DE FOUCAULT *et al.* (1992) ont explicitement réalisé des observations synchroniques puis implicitement utilisé l'IST pour mettre en évidence la série suivante :



### Utilisation en bioindication végétale

Les IST sont encore d'une grande utilité en bioindication car ils permettent de décrire des séries à valeur indicatrice de la qualité des milieux naturels par des analyses synchroniques ; contentons-nous de trois exemples :

- en bioindication lichénique de la pollution atmosphérique acide, la démarche heuristique consiste à réaliser des observations lichénologiques le long de transects privilégiés à partir des sources de pollution, donc de décrire une série spatiale, et d'en déduire une série temporelle isomorphe ;

- l'existence d'IST dans l'eutrophisation des milieux aquatiques et terrestres permet de connaître l'évolution d'une zone progressivement perturbée par des observations le long d'un gradient spatial convenable (CARBIENER, 1977 ; DE FOUCAULT et JULVE, 1997 ; JULVE et DE FOUCAULT, 1997) ;

- des hypothèses sur les effets de changements climatiques sur la végétation peuvent être posées à partir de déplacements le long de gradients latitudinaux ou altitudinaux.

*Des relations spatiales aux relations temporelles entre individus d'association contigus*

Des observations courantes de terrain montrent l'existence de relations spatiales entre individus d'association (IA) contigus ; peut-on en déduire que ces IA contigus dans l'espace présentent aussi entre eux une relation temporelle, autrement dit que l'un peut évoluer vers l'autre ? Nous avons déjà abordé cette problématique dans un travail antérieur (DE FOUCAULT, 1986c) où nous avons montré que cette déduction entraîne la possibilité d'une dynamique ondulatoire (dans une fonction d'onde, l'espace  $x$  et le temps  $t$  sont couplés en une unique variable  $x + ct$ , où  $c$  désigne la vitesse de dynamique) pour la succession de la végétation et donc aussi une possibilité d'une évolution parallèle des facteurs écologiques. Toute relation spatiale n'implique donc pas forcément relation temporelle, dans le cas où les facteurs écologiques ne peuvent évoluer à la manière d'une onde, notamment si aucun changement écologique ne peut se manifester.

Par exemple, l'analyse synchronique des ceintures d'étangs et rivières montre des zonations classiques mettant en relation les herbiers aquatiques puis les roselières-magnocariçaies d'atterrissement et/ou les prairies inondables à hygrophiles. Il se pose alors le problème de savoir si cette zonation peut s'avérer être aussi, au moins dans quelques cas, une succession temporelle par atterrissement progressif de la pièce d'eau. Dans ce cas, l'IST pourrait permettre de poser des prévisions dynamiques sur le simple examen des zonations. Plusieurs auteurs, en particulier GÉHU (1961) et DECOCQ et DE FOUCAULT (1997), décrivent effectivement de telles successions pouvant mener finalement au boisement à *Alnus glutinosa*. Les mécanismes autogènes permettant une telle dynamique sont l'accumulation progressive de matières organiques apportées par les végétaux et l'alluvionnement lorsque les herbiers aquatiques ralentissent les courants, ce qui favorise le dépôt des particules minérales les moins légères. Cette dynamique aboutit à la disparition du système aquatique proprement dit si rien ne vient contrecarrer sa progression. Des raisonnements équivalents permettent de faire l'hypothèse sur les effets d'un drainage à un niveau topographique donné par l'observation de la végétation des niveaux immédiatement supérieurs.

La courte zonation menant dans l'espace d'un sol squelettique à un sol jeune superficiel définit en systémique une transformation spatiale dite approfondissement du sol. Le résultat de cette transformation est le même que celui de la dynamique menant dans le temps du sol squelettique vers le second. Toutefois, peut-on assurer que toute zonation peut s'avérer être une succession dans cette situation ? N'y a-t-il pas des roches mères ne donnant que peu ou pas lieu à la désagrégation ou à l'altération nécessaires à cette dynamique ? Ainsi, parfois, l'incorporation réelle entre matière organique et roche mère est très réduite, notamment lorsque celle-ci est dure et peu désagrégable ; alors l'humus organique forme un matelas que l'on peut aisément soulever de son substrat minéral et dérouler comme un tapis (voir par exemple DE FOUCAULT et FRILEUX, 1988).

## D. Application à la chrono-écologie

Le passé biologique se manifeste aujourd'hui à nous par des images qui traversent le temps et qui sont concrètement représentées principalement par les fossiles, les grains de pollen et spores, les bois, des restes végétaux divers... D'une autre côté, les problématiques de la chrono-écologie sont

- la reconstitution des paysages anciens, leurs évolutions ;
- la recherche de leur déterminisme, notamment la reconstitution des climats anciens ;
- l'occupation humaine et ses impacts.

Pour cette problématique, outre les classifications fondamentales en espèces et types biologiques, il faut retenir des typologies utiles en chrono-écologie : palynologie, carpologie, xylogologie, anthracologie.

À la base de telles recherches, on introduit d'abord le concept d'assemblage, collection *a priori* hétéroclite de restes végétaux du passé telle qu'apparaissant à l'issue de l'inventaire d'un site. Il convient ensuite de transformer ces assemblages en données exploitables en s'appuyant sur les catégories

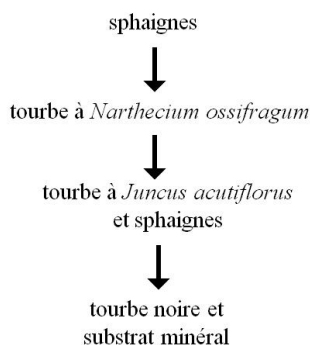
précédentes : on va retenir précisément une classification et répartir des éléments de l'assemblage selon ses catégories ; une telle liste de catégories est plus couramment appelé un *spectre* (palynologique, carpologique, xylologique...), à valeur de mesure qualitative. L'utilisation rationnelle des lois végétales (DE FOUCAULT, 1997c), parfois implicites, permet alors d'acquérir des informations sur le passé écologique ou ethnologique du site.

Mais le plus souvent, la chrono-écologie utilise des enregistreurs formels (voir II-E) et met en évidence des séries spatiales de spectres ou *diagrammes* ; ces mesures renvoient donc aux paléo-données écologique-ethnologiques, elles-mêmes ordonnées en séries spatiales, et la dialectique espace-temps permet à l'inverse de restituer des séries temporelles. Ainsi, l'analyse de données spatialement ordonnées peut apporter des informations sur les variations temporelles de climat, végétation, cultures... De la même manière, en archéologie, un site stratifié s'avère un enregistreur et l'interprétation de la stratigraphie restitue les faits passés et met en relation les composantes spatiales et temporelles du document archéologique : « *la stratigraphie raconte l'histoire* » (MARGUERRON et TERRASSE, 1990). Nous allons illustrer ces démarches sur des exemples d'atterrissement en bord de lac et de dynamique en tourbière.

Les écologues suivent implicitement de tels raisonnements en interprétant des sondages effectués dans des bas-marais ou des tourbières (enregistreurs formels). L'analyse consiste à mettre en évidence les horizons distincts et à y retrouver d'éventuels restes organiques afin de définir l'origine de ces horizons et d'esquisser, avec une assez grande certitude, la succession des groupements végétaux sur une même aire.

En III-C on a posé le problème de déduire des successions en bordure d'eau par l'examen des zonations correspondantes ; la possibilité de cette dynamique spontanée à été démontrée au moyens d'analyses pédologiques par BUTTLER et GALLANDAT (1989) puis BUTTLER et GOBAT (1991) : au lac de Neuchâtel (Suisse), les associations du *Potamion* et du *Nymphaeion* s'atterrissent progressivement en végétations héliophytiques du *Phragmition australis* et du *Magnocaricion*, lesquelles peuvent être ensuite envahies par *Cladium mariscus*. Dans d'autres cas, la dynamique peut aller plus loin, par exemple :

- VANDEN BERGHEM (1951 : 174, 209) précise que, sous les dépôts tourbeux observés, se succèdent un substrat lacustre ou d'alluvions, une couche de tourbe à *Phragmites australis* et carex, éventuellement une tourbe à sphaignes peu décomposées, à *Myrica gale* et Ericacées et enfin une tourbe récente à sphaignes vivantes ; ailleurs il présente un profil correspondant à la zonation du bas vers le haut des horizons suivants



qui correspond au moins à une succession d'un bas-marais à *J. acutiflorus* vers une tourbière à *N. ossifragum* ;

- en Ouganda, MORRISON et HAMILTON (1974) déduisent de sondages le passage d'associations hydrophiles (à *Nymphaea*, *Laurembergia*, *Callitriche*) à une végétation héliophytique (*Typha*, *Polygonum*, *Burnatia*), puis à un bas-marais à Cyperacées, Fougères, enfin un marais à Sphaignes et Cyperacées.

Un autre cas d'IST peut être aussi mis en évidence, selon un axe horizontal et non plus vertical. Il s'agit de la zonation allant des stades hydrophiles au haut-marais, révélatrice

de la succession temporelle. On peut prendre l'exemple de forêts turfiques tropicales asiatiques (Sumatra, Indonésie) développées en marge d'une eau oligotrophe en conditions climatiques ombrogènes et organisées selon la zonation (RICHARDS, 1952)

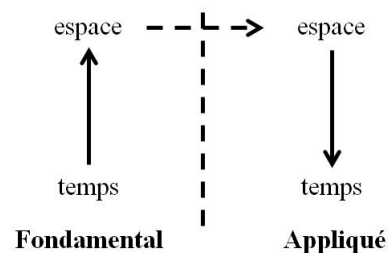
forêt « flottante » → forêt sur tourbe mince → forêt sur tourbe épaisse à *Licuala* sp.

## Conclusion

Au cours de cette réflexion, nous avons donc illustré diversement la notion d'isomorphisme spatio-temporel, où la zonation peut s'avérer une bonne représentation de la succession. On en déduit des principes heuristiques de haut intérêt dans une recherche financièrement économique, les expérimentations dans le temps étant onéreuses, à l'inverse des expérimentations dans l'espace. Ce concept constitue donc en quelque sorte un pont privilégié entre l'espace et le temps, notamment pour les sciences qualitatives ; en rapprochant de cette idée le fait que les lois quantitatives peuvent être aussi interprétées comme des ponts (DE FOUCAULT, 1986c) en reliant deux domaines *a priori* sans rapport, décrits par des variables indépendantes qu'elles combinent (par exemple dans la simple loi  $x = c.t$ , la vitesse  $c$  est un pont entre l'espace  $x$  et le temps  $t$ ), on peut poser que l'IST a la valeur d'une vitesse pour ces physiques qualitatives.

Ce passage de l'espace au temps nous permet de poser le problème heuristique dans toute sa globalité sous la forme suivante : dans un champ phénoménologique donné d'extension spatiale, peut-on définir un sous-ensemble de ce champ isomorphe à un système dynamique ? Un tel problème transdisciplinaire se pose autant en évolution biologique (recherche des phylums des espèces connues) qu'en phytosociologie et en linguistique ; dans ce dernier cas, on ne peut s'empêcher d'évoquer la théorie controversée faisant dériver d'une seule langue mère toutes les langues connues du monde (RUHLEN, 1997).

Évidemment, pour utiliser concrètement ces isomorphismes, il reste à définir des situations où ils fonctionnent et selon quelles modalités : ceci est du ressort de la recherche fondamentale, du domaine de la science. Le diagramme suivant compare la démarche fondamentaliste (du temps vers l'espace, définissant l'isomorphisme par une expérimentation menée dans le temps et par quelques données spatiales) et la recherche appliquée (espace vers temps, dont la restitution des enregistreurs formels) :



Cette symétrie nous amène aussi à comparer le *laboratoire physique*, où le chercheur expérimente dans le temps à  $x$  fixé, et le *terrain* (sauf l'expérimentation au champ, d'essence physique), où le chercheur œuvre dans l'espace, à  $t$  fixé (du moins relativement à la vitesse d'évolution des phénomènes étudiés).

Pour finir, nous allons généraliser ce concept d'IST en illustrant celui, plus large, d'*isomorphisme* (ou au moins de morphisme) *de variables*, équivalence (au moins partielle) de deux séries dans lesquelles interviennent des variables distinctes et pas forcément de nature spatio-temporelle :

- en phytogéographie il a été reconnu depuis longtemps que les successions d'étages le long de gradients *altitudinaux* sont approximativement (à des variations climatiques et floristico-historiques près) les mêmes que les successions de zones le long de gradients *latitudinaux* ;

- en écologie, au niveau de la colonisation végétale dans des conditions extrêmes : bien souvent, le long d'un gradient écologique contraignant (altitude, températures basses, fumerolles volcaniques...), on assiste à une disparition progressive des Angiospermes, puis des Gymnospermes, remplacés par les Ptéridophytes, puis les Bryophytes et Lichens ; à la limite extrême, on trouve surtout des Procaryotes. Cette succession retrace évidemment en sens inverse l'évolution végétale (BOURNÉRIAS et BOCK, 1992 : 173) ; elle en est isomorphe ;

- en ethnophytosociologie, il existe une symétrie entre la dimension horizontale (ou latitudinale) et la dimension verticale (ou altitudinale) au niveau des déplacements des troupeaux et des groupes humains sur les *saltus* (DE FOUCAULT, 1990) ;

- en épistémologie, on remarque une certaine symétrie entre le développement historique d'une science et le développement intellectuel de ses chercheurs (l'apprenti chercheur devra en grande partie repasser par les étapes acquises successivement par sa discipline), à rapprocher du célèbre morphisme biologique entre le développement ontogénique des individus et le développement phylogénique des espèces, défendu par HAECKEL à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en reprenant les idées de SERRES et MÜLLER : l'histoire des sciences vient révéler aux chercheurs leur propre histoire intellectuelle. On peut encore en rapprocher le morphisme, mis en évidence par Bachelard puis Piaget, entre le développement historique de la pensée scientifique et des structures logiques et la pratique de l'éducation.

## Bibliographie

BAIZE D. & GIRARD M.-C. (coord.), 1992 - *Référentiel pédologique 1992, principaux sols d'Europe*. Inra Éditions, collection *Techniques et Pratiques*, Paris, 222 p.

BENOIST J.-M., 1980 - *La révolution structurale*. Paris, 345 p.

BOURNÉRIAS, M. & BOCK Ch., 1992 - *Le génie végétal*. Nathan, Paris, 231 p.

BRAUN-BLANQUET J., 1948 - *La végétation alpine des Pyrénées Orientales, étude de phytosociologie comparée*. Monografía de la Estación de Estudios Pirenaicos y del Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología vegetal, Barcelona, 306 p.

BRAVARD S., 1988 - *Podzolisation en Amazonie brésilienne. Étude d'une séquence sol ferrallitique - podzol de la région nord de Manaus*. Thèse, Poitiers, 198 p.

BUTTLER A. & GALLANDAT J.-D., 1989 - Phytosociologie des prairies humides de la rive sud du lac de Neuchâtel (Suisse) et modèle de succession autogène. *Phytocoenologia* **18** (1) : 129-158.

BUTTLER A. & GOBAT J.-M., 1991 - Les sols hydromorphes des prairies humides de la rive sud du lac de Neuchâtel (Suisse). *Bull. Ecol., Brunoy* **22** (3-4) : 405-418.

CARBIENER R., 1977 - Étude d'une séquence phytosociologique de végétaux supérieurs bioindicateurs d'eutrophisation progressive dans les cours d'eau phréatiques du « Ried » d'Alsace. Congrès de limnologie, Metz 1977.

DECOCQ G., 2004 - Synchronisme, diachronisme et isomorphisme spatio-temporel : intérêt de l'approche archéophytosociologique en systématique végétale. *Colloq. Phytosoc.* **XXVIII**, La Vegetazione postglaciale passata e presente : 803-817.

DECOCQ G. & DE FOUCAULT B., 1997 - Un exemple de conservation d'une mare anthropogène en moyenne vallée de l'Oise. In A. TESSIER-ENSMINGER & B. SAJALOLI (éd.), *Radioscopie des mares, l'Harmattan*, Paris : 179-192.

DELPECH R., 1975 - *Contribution à l'étude expérimentale de la dynamique de la végétation prairiale*. Thèse, Orsay, 103 p.

DUCHAUFOR Ph., 1948 - Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. *Ann. École Natl. Eaux Forêts* : 1-332 p.

DUCHAUFOR Ph., 1983 - *Pédologie, I - Pédogénèse et classification*. Masson, Paris, 491 p.

FERREZ Y., BAILLY G., BEAUFILS Th., COLLAUD R., CAILLET M., FERNEZ Th., GILLET F., GUYONNEAU J., HENNEQUIN C., ROYER J.-M., SCHMITT A., VERGON-TRIVAUX M.-J., VADAM J.-C. & VUILLEMENOT M., 2011 - Synopsis des groupements végétaux de Franche-Comté. *Nouv. Arch. Flore Jurass. N.-E. France*, NS, **1** : 1-283.

FOUCAULT B. (DE), 1986a - Contribution à une étude systématique des prairies de l'Aubrac (Massif central français). *Doc. Phytosoc.*, NS, **X** (1) : 255-305.

FOUCAULT B. (DE), 1986b - Note phytosociologique sur le système prairial mésophile du haut Jura français. *Ann. Sci. Univ. Franche-Comté, Biol. vég.*, sér. 4, **6** : 45-55.

FOUCAULT B. (DE), 1986c - *La phytosociologie sigmatiste : une morpho-physique*. Lille, 147 p.

FOUCAULT B. (DE), 1989 - Contribution à une systématique des prairies mésophiles atlantiques. *Colloq. Phytosoc.* **XVI**, Phytosociologie et pastoralisme : 709-733.

FOUCAULT B. (DE), 1990 - Introduction à une ethnophytosociologie. *Lejeunia*, NS, **134** : 1-60.

FOUCAULT B. (DE), 1991 - Introduction à une systématique des végétations arbustives. *Doc. Phytosoc.*, NS, **XIII** : 63-104.

FOUCAULT B. (DE), 1992 - Un chapitre de technologie rurale : la barrière traditionnelle de prairie, typologie et dynamique. *Mém. Soc. Linn. N. Picardie* **2** : 1-107.

FOUCAULT B. (DE), 1993a - La bioindication lichénique : une physique qualitative. In Ch. VAN HALUWYN & M. LEROND, *Guide des Lichens*, Masson-Lechevalier, Paris : 198-216.

FOUCAULT B. (DE), 1993b - Systématique qualitative et structuralisme en phytosociologie. *Rev. Int. Systématique* **7** (4) : 363-384.

FOUCAULT B. (DE), 1994 - Contribution à la connaissance phytosociologique des ZNIEFF régionales. III - Le système calcicole de la région d'Auxi-le-Château. *Bull. Soc. Bot. N. France* **47** (3) : 29-39.

FOUCAULT B. (DE), 1997a - Les isomorphismes spatio-temporels : approche transdisciplinaire et valeur heuristique. Colloque CNRS, *Les temps de l'environnement*, Toulouse 1997, Abstracts session 3 : 83-90.

FOUCAULT B. (DE), 1997b - Problèmes de reconnaissance de plantes en ethnobotanique : application aux balais et balayettes végétaux. *J. bot. Soc. Bot. France* **4** : 59-69.

FOUCAULT B. (DE), 1997c. Nouvelles réflexions sur les lois qualitatives du monde végétal et leur valeur heuristique. *Acta Bot. Gallica* **144** (1) : 129-144.

FOUCAULT B. (DE), 2015 - Contribution au prodrome des végétations de France : les *Arrhenatheretea elatioris* Braun-Blanq. ex Braun-Blanq., Roussine & Nègre 1952. *J. Bot. Soc. Bot. France* à paraître.

FOUCAULT B. (DE), BOURNÉRIAS M. & WATTEZ J.-R., 1992 - Données floristiques et phytosociologiques récentes sur les milieux tourbeux basoclines du marais de Sacy-le-Grand (Oise). *Bull. Soc. Bot. France* **139**, Lettres bot. (1) : 75-91.

FOUCAULT B. (DE) & FRILEUX P.-N., 1988 - Étude phytosociologique du système paysager des corniches et côtes calcaires de la basse vallée de la Seine (des Andelys à Rouen). *Doc. Phytosoc.*, NS, **XI** : 159-183.

FOUCAULT B. (DE) & JULVE Ph., 1997 - Utilisation de végétaux terrestres en bioindication. *J. Bot. Soc. Bot. France* **1** : 25-27.

FOUCAULT B. (DE) & LEGRAND J.-P., 1994 - Monographie d'un fait ethnobotanique : le carcahoux de la forêt d'Eu (Seine-Maritime). *Bull. Soc. Linn. N. Picardie* **12** : 31-38.

FOUCAULT B. (DE) & MATYSIAK J.-P., 1994 - Analyse ethnobotanique et paléophytosociologique d'un inventaire floristique du Béthunois réalisé au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. *Bull. Soc. Bot. N. France* **47** (2) : 40-52.

FOUCAULT B. (DE) & ROYER J.-M., 2015 - Contribution au prodrome des végétations de France : les *Rhamno catharticae* - *Prunetea*

*spinosa* Rivas Goday & Borja ex Tüxen 1962. *J. Bot. Soc. Bot. France* à paraître.

FOUCAULT B. (DE), WATTEZ J.-R. & MATYSIAK J.-P., 1998 - Applications régionales des principes de la paléophytosociologie récente. *Bull. Soc. Bot. N. France* **51** (2) : 3-14.

GÉHU J.-M., 1961 - Les groupements végétaux du bassin de la Sambre française. *Vegetatio* **10** (2) : 69-148, (3-4) : 161-208, (5-6) : 257-372.

GÉHU J.-M., 1973 - Notes de paléophytosociologie récente dans le Parc naturel régional de Saint-Amand, I - La butte du mont des Bruyères. *Doc. Phytosoc.* **4** : 41-43.

GILLET F., DE FOUCAULT B. & JULVE Ph., 1991 - La phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts. *Candollea* **46** : 315-340.

GILLHAM M.E., 1956 - Ecology of the Pembroeshire islands; V - Manuring by the colonial seabirds and mammals, with a note on seed distribution by gulls. *J. Ecol.* **44** : 429-454.

GUINOCHET M., 1955 - *Notice de la carte phytosociologique de Pontarlier 5-6*, publiée hors texte in M. GUINOCHET, 1973, *Phytosociologie*, Masson, Paris, 227 p.

JULVE Ph. & DE FOUCAULT B., 1997 - Végétations aquatiques et bioindication. *J. Bot. Soc. Bot. France* **1** : 19-23.

KASSI N.J., YONGO O.D., AKE ASSI E. & DECOCQ G., 2011 - L'intérêt d'une approche systémique des dynamiques de végétations en phytosociologie forestière tropicale : cas de la forêt classée de Sanaimbo à Bongouanou/Dimbokro (Côte-d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **5** (3) : 1337-1350.

MAGNY M., 1995 - *Une histoire du climat : des derniers mamouths au siècle de l'automobile*. Ed. Errance, Paris, 176 p.

MARGUERRON J.-C. & TERRASSE M., 1990 - L'archéologie et le terrain. *Encyclopaedia Universalis* **2** : 809-811.

MÉRIAUX J.-L. & GÉHU J.-M., 1980 - Réactions des groupements aquatiques et subaquatiques aux changements de l'environnement. *Ber. Int. Symp. Epharmonie* (Rinteln, 1979) : 121-141.

MORRISON M.E.S. & HAMILTON A.C., 1974 - Vegetation and climate in the uplands of south-western Uganda during the later Pleistocene period. II - Forest clearance and other vegetational changes in the Rukiga Highlands during the past 8 000 years. *J. Ecol.* **62** (1) : 1-31.

MULLER S., 1986 - *La végétation du pays de Bitche (Vosges du Nord). Analyse phytosociologique, application à l'étude synchronique des successions végétales*. Thèse, Orsay, 283 p.

RAMEAU J.-C., 1987 - *Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Application à l'étude synchronique des successions végétales*. Thèse, Orsay, 283 p.

RAMEAU J.-C. & ROYER J.-M., 1975 - Les associations végétales de la Bourgogne calcaire. *Compte rendu du 99<sup>e</sup> Congrès national des sociétés savantes* (Besançon, 1974) : 305-317.

RENARD J., 1973 - *Journal (1887-1910)*. Bibliothèque de la Pléiade, Gallimard, Paris, 1 267 p. plus des index.

RICHARDS P.W., 1952 - *The tropical rain forest, an ecological study*. Cambridge University Press.

RUHLEN M., 1997 - *L'origine des langues : sur les traces de la langue mère*. Belin, collection *Débats*, Paris, 288 p.

VALÉRY P., 1973 - *Cahiers, I*. Bibliothèque de la Pléiade, Gallimard, Paris, 1 370 p. plus un appendice.

VANDEN BERGHEN C., 1951 - Landes tourbeuses et tourbières bombées à sphaignes en Belgique. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique* **84** : 157-226.

VERTÈS F., 1983 - *Contribution à l'étude phytosociologique et écologique des prairies et alpages de moyenne Tarentaise. Application à l'évaluation des potentialités fourragères de la vallée de Peisey-Nançois*. Thèse, Paris, 167 p.