

J.-P. BENZÉCRI

## **Convergence des processus et modèles d'économie libérale et de philogénèse**

*Les cahiers de l'analyse des données*, tome 20, n° 4 (1995),  
p. 473-482

[http://www.numdam.org/item?id=CAD\\_1995\\_\\_20\\_4\\_473\\_0](http://www.numdam.org/item?id=CAD_1995__20_4_473_0)

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1995, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

# CONVERGENCE DES PROCESSUS ET MODÈLES D'ÉCONOMIE LIBÉRALE ET DE PHILOGENÈSE

## [CONVERGENCE MODÈLES]

*J. P. BENZÉCRI*

L'objet de la présente note est d'attirer l'attention du lecteur sur le fait qu'au moins dans les exposés de vulgarisation qui sont ceux sur lesquels se fonde le renom d'une théorie, on postule implicitement que les processus d'évolution sont stables et convergent vers une trajectoire; laquelle, dans un espace abstrait généralement non défini, poursuit, avec l'efficacité maxima, l'optimum d'un critère, lui-même suggéré sans précision.

### **1 L'asservissement d'un système de tir**

Quand, au cours de la guerre mondiale de 1939-45, et particulièrement après 1941, l'on disposa de systèmes de détection, tel que le RADAR, permettant d'acquérir rapidement des données numériques précises relatives à la trajectoire d'un avion, le problème se posa, pour les artilleurs, d'utiliser au mieux ces données afin de diriger canons et mitrailleuses de telle sorte que leurs projectiles atteignent les avions ennemis.

Sans prétendre donner ne fût-ce qu'un sommaire des travaux mathématiques liés à ce problème, nous y trouvons une première occasion de montrer que la convergence vers l'optimum n'est pas nécessairement propre à tout processus.

Considérons d'abord un schéma de simplicité maxima: il s'agit d'orienter la tourelle qui porte un canon, dans la direction d'une cible fixe, située dans le même plan horizontal que le tube du canon. Il semble simple de mettre en marche un moteur, qu'on arrête quand est atteinte la direction voulue; en fait, la tourelle, une fois lancée n'obéit pas instantanément à la commande d'arrêt; il faut calculer un arrêt anticipé; mais comme le calcul est entaché d'aléa, on devra généralement commander un mouvement de correction; puis corriger sur la correction; etc. Le succès relatif du premier mouvement ne fait guères de doute; la correction, au contraire peut être trop forte ou trop faible; trop vive ou trop lente. Une correction trop lente est d'autant moins acceptable qu'on vise, en fait, une cible mobile qu'en toute rigueur, il faut poursuivre afin

d'assurer l'efficacité d'un tir continu. Mais une correction trop vive est plus fâcheuse encore, car elle imprime à la tourelle, de part et d'autre de la direction visée, des oscillations dont l'amplitude peut ne pas converger vers zéro.

Le problème du pointage est pourtant clair, au moins dans son énoncé et dans le schéma de sa solution. Dans la version la plus simple d'un objectif visé immobile, on doit faire en sorte que  $\Delta(c)$ , direction du canon soit égal à  $\Delta(o)$ , direction dans la quelle est l'objectif. Si l'on tient compte du temps de déplacement du projectile et du mouvement, imparfaitement extrapolé, de l'avion, le schéma cinématique se complique; mais il peut être complètement décrit; et le critère de succès reste toujours, en bref, la rencontre de deux points mobiles dans l'espace tridimensionnel; i.e. le passage par zéro de la fonction numérique du temps exprimant la distance.

Dans la plupart des modèles évolutionnistes, au contraire, on n'a ni description explicite; ni critère précis suggérant, au moins, une règle de pilotage; laquelle, abstraction faite de fluctuations aléatoires peut-être divergentes, définirait un processus de poursuite.

## 2 Un processus d'instauration de code

Prenons un exemple de processus qui a fait, récemment, dans *CAD* l'objet de plusieurs articles: l'instauration d'un code. Le schéma est beaucoup plus complexe que dans le tir: au lieu de deux adversaires, le canon et l'avion, il y a un ensemble de sujets qui, sans recourir au langage parlé ordinaire, ni même à un langage de gestes, échangent des messages de format défini - par exemple, un point sur un segment - dans le but de désigner les objets d'un ensemble ou espace - points du cercle, pays sur la carte d'Europe. Ce qui, à un instant donné, caractérise le comportement de chacun des sujets, est une propension à associer réciproquement objets et messages. Le critère est le taux de succès des communications. On suppose qu'initialement les sujets n'ont conclu entre eux aucune convention; en sorte que demandes et réponses n'ont aucune correspondance mutuelle.

En termes mathématiques, les comportements peuvent être décrits par des matrices de transition; et le critère suggère des règles plausibles pour retoucher les matrices de deux sujets après l'échange, entre ceux-ci, d'une demande et d'une réponse. Supposons, de façon précise que l'objet  $o$ , ayant été demandé par le sujet  $iA$ , au moyen du signal  $s$ , le sujet  $iB$  ait fourni l'objet  $o'$ ; le sujet  $iA$  montre alors à  $iB$ , le véritable objet  $o$ . On conçoit, e.g., que si  $o$  est proche de  $o'$ , les deux sujets soient encouragés à utiliser un signal voisin de  $s$  pour demander un objet tel que  $o$  ou  $o'$ .

Le processus ainsi défini a l'intérêt d'avoir un caractère local: en ce sens

qu'il ne prend pas explicitement en compte, dans leur ensemble, des objets mathématiques complexes, des espaces; mais seulement des effets locaux simples des lois de comportement instantanées: les triples {o, s, o'}, avec des retouches au comportement qui ne sont, en bref, que des diffusions autour de ce triple.

Simple ponctuellement, le critère de l'efficacité du code n'en met pas moins en jeu la structure globale des deux espaces d'objets et de signaux. Un code efficace ne peut être qu'une représentation aussi régulière que possible du premier espace sur le second.

Qu'en est-il dans la réalisation du processus? Le cas des expériences entre sujets humains réels apprend peu quant au fond du problème de la convergence globale d'un processus à commande locale: car les joueurs, ne se départissant jamais de leur vue globale des objets et des signaux, interprètent en terme de stratégie globale les actes élémentaires de communication.

Reste le processus de simulation. En introduisant, d'une manière ou d'une autre, une diminution de l'amplitude des retouches au fur et à mesure de l'élaboration du code, on assure la convergence vers un code limite.

Le code est-il commun à tous les sujets dont le modèle simule le comportement? On observe dans les rencontres multipliées entre deux partenaires des rapprochements mutuels, ou des effets de dominance de l'un sur l'autre. Mais le processus général n'aboutira à un code commun à tous que si les matrices de codage propres à chacun des sujets ne sont pas figées trop tôt.

Le code est-il efficace? Nous avons rappelé que le processus de simulation est régi par les ressemblances existant respectivement, d'une part, entre signaux; et, d'autre part, entre objets: ressemblances définies, dans le modèle, par des seuils d'indiscernabilité analogues à ceux par lesquels la psychophysique caractérise la finesse des sens. Si la capacité du canal des signaux est assez grande relativement à la diversité des messages à transmettre (en bref, si, compte tenu des seuils d'indiscernabilité, la multiplicité des signaux excède celle des objets) la communication peut être assurée.

Mais nous avons dit qu'un véritable optimum doit se fonder sur une stratégie globale (e.g., déroulement du cercle des objets sur le segment des signaux). L'expérience de la simulation montre qu'un tel optimum est d'autant mieux atteint que les seuils de discernabilité sont diminués par degrés, au cours du processus; ou, ce qui est équivalent, si les espaces d'objets et de signaux (schématisés par des graphes finis) sont densifiés.

Somme toute, le programme de simulation qui a été expérimenté produit des résultats suggestifs, s'accordant avec ce qu'on imagine, hors de tout calcul,

en termes de psychologie du comportement. Mais nous ne pouvons dire qu'il soit optimum, en aucun sens du terme; et sans prétendre avoir exploré toutes les variantes de procédure, ni même pensé à toutes les règles qu'on pourrait introduire, nous ne concevons pas qu'on puisse saisir le global; à moins de le prendre en compte explicitement dans la conception de l'algorithme. Au mieux, le processus convergera avec une probabilité élevée vers un code efficace; lequel ne pourra offrir, au problème de communication posé, une réponse optima unique (ni même unique à une rotation près...).

En termes mathématiques, on dira que dans l'espace topologique de tous les comportements (un comportement étant, en bref, un système de matrices d'association entre objets et signaux), le code limite, offre, quant au rendement de la communication, un optimum local. Ailleurs, dans ce même espace, d'autres points représentent des codes différents, d'efficacité équivalente ou supérieure; la limite effective du processus dépend de la suite des tirages au hasard de demandes et de réponses (tirages régis, précisément, par l'état instantané des matrices d'association).

### 3 Optimum et instabilité en économie non planifiée

Selon un schéma simpliste, l'économie libérale résulte de l'action d'un ensemble de sujets, chacun à la fois producteur et consommateur, acheteur et vendeur, échangeant biens et services sur un marché ouvert à tous. Pour chaque produit, le prix est, à un instant donné, déterminé par la loi de l'offre et de la demande: les vendeurs faisant monter le prix aussi haut qu'il se peut sans que ne disparaissent les acheteurs.

Ce schéma ne se laisse pas préciser sans peine jusqu'à prendre forme mathématique. Il est vrai, qu'à un instant donné la quantité disponible d'un bien est limitée; limitée, également, la capacité des acheteurs à acquérir ce bien si on le propose à un certain prix.

Si le prix unitaire  $\pi$  diminue, i.e. reçoit une variation négative  $\Delta\pi$ , la capacité globale  $G$  des acheteurs varie, en valeur relative, en proportion de  $\Delta\pi/\pi$ : soit  $\Delta G/G \approx -k \cdot \Delta\pi/\pi$ . Corrélativement, selon la même formule, si la variation  $\Delta\pi$  est positive,  $\Delta G$  est négative: le prix augmentant, la demande diminue. Le coefficient  $k$  est appelé: élasticité; il n'est pas constant, notamment parce qu'au delà d'une certaine valeur de  $G$ , les consommateurs saturés, ne sont plus sensibles à une baisse de  $\pi$ : l'élasticité de la demande tend vers zéro.

D'autre part, la quantité d'un bien que les vendeurs offrent sur le marché dépend également de  $\pi$ ; avec une loi d'élasticité analogue à celle de la demande, ou capacité, des acheteurs. On peut supposer que le marché s'arrête à un prix d'équilibre,  $\pi_e$ , pour lequel l'offre égale la demande.

Cependant, il y a, sur le marché, une diversité de biens qui peuvent, plus ou moins, se substituer les uns aux autres, tant à la production qu'à la consommation. Le même cultivateur produit divers légumes entre lesquels le choix du consommateur se fixera, en partie au moins, selon les prix relatifs. Bien plus, un sujet peut hésiter entre des biens de nature différente; ou entre l'acquisition de biens et le repos. On introduit donc, dans le schéma, une notion globale mesurant un système composé de biens: par exemple, pour la consommation, on parle d'utilité; pour la production, on calcule un coût.

À ce niveau de complexité, on peut encore écrire des systèmes d'équations; mais non les résoudre, ni même en déterminer les coefficients. N'ayant pas, pour l'utilité, de formule précise, on ne calculera pas la répartition des productions et consommations qui en assure le maximum.

D'ailleurs, comment doit-on comprendre ce maximum? Dans un schéma libéral, où chacun se détermine selon son intérêt propre, il ne faut pas attendre que la fonction d'utilité globale soit mieux que la somme des fonctions afférentes à chacun des individus. Le maximum d'une telle somme correspond, selon toute vraisemblance, à une répartition avec des inégalités notables entre les composantes individuelles. Idéalement, ce pourrait être une hiérarchie sociale harmonieuse: mais rien n'assure que certaines composantes ne seront pas nulles; ce qui, pour quitter le langage des nombres, veut dire que certains individus sont écrasés.

Le maximum serait-il un heureux optimum, il resterait à l'atteindre. Le modèle d'instauration de code atteste l'imperfection de la convergence; dans un domaine, où pourtant, les sujets ayant une tâche de communication, ne sont pas en concurrence mais coopèrent, le succès ne pouvant être que partagé. *A fortiori*, on peut douter de l'efficacité du jeu des lois d'un marché où les individus, indépendants les uns des autres selon le schéma formel, peuvent, en fait, se coaliser en des groupes qui s'opposent entre eux.

De plus, à la différence du code dans le processus de communication, un programme de production des biens ne se modifie pas sans inertie. Ce qui nous renvoie à l'asservissement d'un système mobile.

Il y a un quart de siècle, les économistes citaient volontiers en exemple le cycle du porc. En bref, si le prix du porc est haut, les éleveurs sont incités à multiplier cet animal; mais l'effet de l'élevage intensifié ne se manifeste pas avant un certain nombre de mois. Alors affluent sur le marché des bêtes qui ne trouvent acheteur qu'à un prix relativement bas. D'où une désaffection des éleveurs pour le porc; et, quelques mois plus tard, une diminution de l'offre ramenant une hausse du prix. Ces oscillations périodiques n'ont pu s'amortir par le jeu spontané de l'offre et de la demande; mais seulement après une

concertation entre les éleveurs. L'analogie avec le pointage de la tourelle est manifeste.

C'est pourquoi, tout en professant des principes libéraux, les conducteurs de l'économie des pays industrialisés se gardent de laisser aller le gouvernail. Témoin ces lignes, d'une lettre adressée en 1986, par M. CAMDESSUS, alors Gouverneur de la Banque de France, à l'hôte de l'Élysée:

“Dans le droit fil des méthodes appliquées depuis une décennie, un objectif de progression de la masse monétaire - entre 4 et 6% - avait été choisi, en retrait par rapport à celui de 1984. Lorsqu'il est apparu, en cours d'année, que l'agrégat retenu ne rejoignait pas cet objectif, des mesures correctives ont été prises.”

Ainsi, il n'y a pas lieu d'attendre le succès d'un système économique purement libéral. On ne prônera pas, non plus, une planification minutieuse et complète, dont l'expérience, tentée par certains, n'a pas été heureuse. Il s'agit de piloter un système où les tendances individuelles, avec les lois et les institutions collectives, jouent le rôle dévolu en mécanique aux forces et aux liaisons entre parties; sans oublier d'assurer à chacun ce qui lui revient.

Une description statique, à partir de l'inventaire des éléments, ne suffit pas à fonder la compréhension du tout. Mais nous attendons que l'analyse multidimensionnelle de données diachroniques suggère une juste analyse du tout en composantes; avec, entre les termes ainsi reconnus, des relations qui soient comme des lois d'élasticité et de flux.

Si la conduite de l'économie d'après la masse monétaire manque l'objectif assigné, n'est-ce pas, notamment, parce qu'un agrégat ne peut, à lui seul, exprimer l'adéquation entre les flux monétaires et les flux de biens? La note [CIRCULATION MONÉTAIRE], (in *CAD*, Vol XVIII, n°1, 1993,) suggère, pour la description synthétique des flux, des recherches préliminaires.

#### **4 Philogenèse, morphogenèse et sélection**

On enseigne aujourd'hui communément sous le nom de darwinisme, ou plus loyalement de néo-darwinisme, une théorie qui, avec les vues originales de DARWIN sur le rôle de la sélection dans l'apparition d'espèces nouvelles, agglomère, d'une part, des conceptions globales reçues par DARWIN de certains de ses prédécesseurs, principalement de LAMARCK; et, d'autre part, la notion de caractère génétique, découverte par MENDEL avec des lois de l'hérédité, et progressivement attachée à un support matériel, du fait des progrès de la cytologie puis de la biologie moléculaire. (cf. [FLÈCHE], in *CAD*, Vol XVIII, n°1, 1993).

Certains auteurs comprennent même dans le darwinisme toute

construction hypothétique suggérant que, dans quelque domaine que ce soit, une structure est apparue, non par la réalisation d'un programme explicite, mais parce que, parmi une grande diversité de formes bourgeonnant aléatoirement, une seule a survécu, propre à assurer la survie d'un système en perfectionnant celui-ci.

Par métaphore, toute morphogenèse (genèse de forme), est ainsi assimilée à une phylogenèse (ou genèse d'espèces se succédant sur une branche du règne des vivants). Le terme de sélection naturelle sert alors pour rappeler que, sans choix explicite, la voie à suivre a été choisie *de facto*, ou plutôt imposée par l'issue d'une lutte pour la vie.

Tel quel, ce processus n'est vraisemblable que pour autant qu'il est très simple; sinon, la morphogenèse pose un problème cybernétique de convergence analogue à ceux déjà considérés dans la présente note.

Certes, on admettra que si une modification ponctuelle du chromosome d'une bactérie aboutit à faire produire par celle-ci une enzyme qui désintègre les molécules d'une classe d'antibiotiques d'usage courant, la bactérie ainsi modifiée se multiplie, notamment dans les tissus infectés de malades contagieux hospitalisés ensemble; et que, dans ce milieu, l'espèce, dite mutante, ainsi apparue, se substitue à l'espèce commune.

Mais l'apparition d'un organe complexe, tel que l'œil, ne se conçoit que par un processus aux multiples étapes. Et la trajectoire, qui, par la succession de nombreuses générations d'individus, conduit de l'absence de l'organe jusqu'à la présence de celui-ci, ne peut être parcourue que si, à chaque étape, l'avantage apporté par ce qui n'est d'abord qu'une ébauche d'organe est tel qu'il contribue à une sélection positive. Autrement, la probabilité devient infime de traverser, dans l'espace des formes possibles, le désert qui sépare la forme initiale de la forme perfectionnée.

Nous étions parvenus à ce point de notre mise en garde contre le processus de conduite de la phylogenèse postulé par le darwinisme, quand notre attention s'est portée sur la préface que M.-P. SCHÜTZENBERGER a donné à un livre où R. CHANDEBOIS propose pour la genèse des espèces une tout autre sorte de processus. Réservant à une autre note la présentation du corps du livre (cf. *La Logique du Vivant*), nous nous arrêtons ici pour citer M.-P. Sch. En effet, d'une part cet auteur, Docteur en Médecine et Maître dans les sciences de l'information, a toute compétence et autorité; d'autre part, ce qu'il exprime donne forme à ce que nous avons seulement en vue.

“La thèse fondamentale commune aux diverses versions actuelles du darwinisme est que l'évolution des êtres vivants résulte du seul hasard filtré par la sélection naturelle...” (p.7). Or l'on sait aujourd'hui “que les systèmes



dynamiques complexes tendent vers le chaos en dehors de cas infiniment spéciaux...” (p.10). D'où ce “dilemme auquel sont confrontés les néodarwinistes:

- ou bien l'évolution de la vie est le résultat de milliers de macromutations dont chacune aurait une improbabilité quasi inchiffable...

(ici M.-P. Sch. cite cette métaphore de l'improbable proposée par un cosmologue: la probabilité qu'une tornade assemble un avion en s'abattant sur un champs de carcasses,)

- ou bien ces mutations n'étaient ni totalement fortuites ni totalement indépendantes.” (p.12).

Et renvoyant à WADDINGTON comme à un partisan de cette version réformée du darwinisme, M.-P. Sch. rétorque par cet exemple:

“S'il existait des contraintes sur le génome des poissons primitifs orientant précisément leurs descendants vers la possession des organes beaucoup plus complexes qui sont requis pour être un oiseau, un kangourou ou un primate, ce sont ces contraintes qui sont les vrais moteurs de l'évolution même si le hasard et la sélection semblent en surface jouer ce rôle...” (p.13).

Nous accepterions, quant à nous, que par des chocs, hasard et sélection participent à la fonction motrice; mais ce serait pour faire participer les “contraintes sur le génome” à la conduite du mouvement.

Au cours de son exposé, M.-P. Sch., réfute ceux qui chercheraient, dans le parallélisme entre physique nucléaire et zoologie, un argument en faveur du processus darwinien :

“La situation est ... analogue mais de fait toute différente pour le mécanisme généralement admis de la synthèse des noyaux atomiques à l'intérieur des étoiles... C'est ... un processus que l'on pourrait qualifier de darwinien. Le choc (aléatoire) des particules [élémentaires] produit des noyaux de plus en plus gros; et les différents modes de désintégration ... (encore le hasard) déterminent la fréquence ultime des espèces atomiques ... de leurs isotopes. Les physiciens et ... cosmologistes [peuvent] ... calculer avec assez de précision les paramètres en cause pour que ce modèle soit tout autre chose qu'un système conjectural. Il n'en est pas de même en biologie...” (pp. 8-9).

Or, par un effet de ce que M.-P. Sch. appelle plaisamment “le charme de la rhétorique”, un grand physicien - Stewen WEINBERG -, dans une remarquable initiation aux “*conceptions actuelles sur les origines de l'univers*”, croit devoir être mieux reçu, du grand public, en proposant une

analogie de l'équilibre statistique avec le processus, darwinien dans son schéma, de l'offre et de la demande quant il écrit:

“... l'équilibre thermique joue, en quelque sorte, comme le mécanisme des prix est censé jouer en économie classique...” (p. 56). ou encore:

“Dans les conditions de haute température et de forte densité qui régnaient dans les débuts de l'Univers, ... le nombre de particules doit avoir été précisément tel qu'à chaque seconde, autant en étaient détruites que créées. (i.e. égalité de la demande et de l'offre)...” (pp. 83-84).

### **5 Description des processus multidimensionnels**

Au seuil de son livre “*Science et Méthode*”, Henri POINCARÉ s'interroge, en ces termes, sur “le choix des faits”.

“...les savants croient qu'il y a une hiérarchie des faits et qu'on peut faire entre eux un choix judicieux... les faits les plus intéressants sont ceux qui peuvent servir plusieurs fois; ce sont ceux qui ont chance de se renouveler... Ce sont d'abord les faits simples... Mais où est le fait simple? Les savants ont été le chercher aux deux extrémités, dans l'infiniment grand et dans l'infiniment petit” (pp.8...11).

Ici sont cités d'une part l'astronome; d'autre part le physicien et le biologiste. Pour l'astronome, l'élément est l'astre, assimilé à un point dans l'espace; pour le physicien, un cube infiniment petit de matière; pour le biologiste, une cellule.

Le regard ironique de POINCARÉ se porte alors vers un autre chercheur.

“Le sociologue est plus embarrassé; les éléments, qui pour lui sont les hommes, sont trop dissemblables, trop variables, trop capricieux, trop complexes eux-mêmes en un mot;... la méthode, c'est précisément le choix des faits, il faut donc se préoccuper d'abord d'imaginer une méthode, et on en a imaginé beaucoup,... chaque thèse de sociologie propose une méthode nouvelle que d'ailleurs le nouveau docteur se garde bien d'appliquer, de sorte que la sociologie est la science qui possède le plus de méthodes et le moins de résultats.” (pp.12-13).

Assurément, il y a, dans tout domaine, entre les éléments et les relations, une hiérarchie qui n'est pas immédiatement perceptible: POINCARÉ, quant à lui, attribue à un sens esthétique le choix des lignes par lesquelles on y pénètre et de celles qu'on y reconnaît.

Un système économique, ou le génome d'un animal, sont des objets dont il ne suffit pas de considérer les éléments apparents; car ce n'est pas entre ceux-ci qu'on découvrira les lois qui conduisent le processus global. Mais

nous répéterons que de ce qui, complexe par essence, ne peut être disséqué sans perdre sa nature, l'analyse multidimensionnelle, apte à décrire la trajectoire, suggère des lois empiriques; plus pertinentes que celles, inaccessibles, d'une dynamique conjecturale.

### Références bibliographiques

Henri POINCARÉ: *Science et Méthode* ; Flammarion, Paris; (1908).???

Steven WEINBERG: *The first five minutes, a modern view of the Origin of the Universe*; Basic Books, inc., New York; (1977);

Marco SCHÜTZENBERGER: "Et aussi avec Charles DARWIN" , préface au livre:

Rosine CHANDEBOIS: *Une nouvelle logique du vivant* ; Édition espace 34; (1992).

Michel CAMDESSUS: "Lettre du gouverneur de la Banque de France au Président de la République"; extrait du *Compte-rendu annuel de la Banque de France*; lettre reproduite dans la revue: *Banque*, n°462, pp. 525-530; (Juin 1986).

[CIRCULATION MONÉTAIRE] : Hossam Al WARD : "Projet d'analyse de la circulation monétaire d'après les activités des comptes"; in *CAD*, Vol XVIII, n°1, pp. 119-122; (1993).

[FLÈCHE] : J.-P. BENZÉCRI : "Système de la nature et flèche du temps"; in *CAD*, Vol XVIII, n°1, pp. 97-118; (1993).

[INST. CODE (1, 2, 3)] : J.-P. BENZÉCRI : "Sur l'instauration d'un code"; in *CAD*, Vol XX, n°3, pp. 301-372; (1995).