

SUR L'INSTAURATION D'UN CODE (1) EXPÉRIMENTATION ET MODÈLE

[INST. CODE (1)]

J.-P. BENZÉCRI

1 Expériences d'adaptation et comportement naturel

Dans un texte sur "Les modèles de régulation en psychologie pratique", le Professeur Faverge note, non sans une ironie qu'il n'a cure de tenir secrète, "que les sujets entrent en nombre dans les cabines, étanches au bruit et aux manifestations de la vie extérieure". Si l'objet premier de la science est de connaître la nature, il n'est pas inutile de comparer à la vie extérieure les expériences de la cabine.

1.1 La séquence stimulus-réponse-conclusion

Dans la cabine, les essais se succèdent, d'ordinaire, à un rythme régulier; et ils sont à peu près isomorphes. Par exemple, toutes les 20 secondes, à un signal lumineux ou sonore, un sujet doit répondre en touchant un bouton; et alors survient une sanction, ou conclusion: l'expérimentateur donne une information. Autre exemple: un animal, libéré à un carrefour, trouve, dans la voie où il s'engage, soit nourriture, soit choc électrique; ... puis est reconduit au point de départ.

Qu'en est-il dans l'activité naturelle, au chantier? Deux différences apparaissent d'abord: d'une part, les stimuli se présentent au sujet à un rythme irrégulier; d'autre part, tant les stimuli que les réponses qu'ils appellent sont sur des voies non seulement diverses mais concurrentes. Pendant une heure, une équipe de couvreurs posent des tuiles, sans que rien les détourne de leur tâche. Soudain, les tuiles viennent à manquer, la charpente qui reste à couvrir apparaît peu accessible, il semble prudent d'assurer un nouvel échafaudage; la brouette est embourbée; on découvre sa fatigue: on fait une pause...

Pour décrire mathématiquement cette présentation aléatoire de stimuli divers, le formalisme des processus de files d'attente semble convenir. Au milieu de sollicitations de toute sorte, internes (faim, fatigue...) ou externes, le sujet (animal ou humain) est comme une vendeuse dont les clients, divers de goûts et de caractères, se présenteraient aléatoirement sur plusieurs files distinctes.

Tandis qu'en cabine tout stimulus reçoit une réponse, dans la vie, le sujet a, pour reprendre notre image, une politique de service; une règle aléatoire (i. e. où le hasard a sa place...) pour calculer son activité qui répond, non à un stimulus unique, mais à un état complexe de stimulation, (l'ensemble des queues sur les diverses files: jeu, repos, casse-croute, travail...). Souvent, la distinction entre stimulus et réponse s'estompe: le stimulus 'odeur de nourriture' appelle la réponse 'faim'; et celle-ci est un stimulus, auquel on répond en mangeant.

Dans la cabine, la sanction suit immédiatement l'essai. Dans la nature, on ne récolte pas sitôt ce qu'on a semé. Il est, de plus, fréquent que le fruit de l'action se rapporte non à un essai déterminé, mais à un complexe de stimuli et de réponses. Et ce qu'on récolte, plutôt qu'une information ou une rétribution stéréotypée, c'est, sur les diverses files d'attente, un flot de clients fonction de la politique adoptée: qui ne mange pas sera stimulé par une faim plus vive; qui achète tout ce qu'il voit trouvera sa caisse vide.

1.2 Finalité et conscience

Dans la vie, les stimuli sont multiples; on doit choisir entre ces clients; le service qu'ils demandent n'est pas dicté par une convention arbitraire, tout au contraire! Et le sujet a en vue une conception du bonheur qu'on peut traduire ainsi: céder aussi souvent que possible à certains stimuli (faire le bien, ou: aller au théâtre) en évitant de servir certains clients importuns.

Le schéma stimulus-réponse-conclusion veut ignorer tendances et calculs conscients; traiter le sujet comme un appareil qui transformerait stimulus en réponse, ainsi qu'un amplificateur fait du signal d'entrée un signal de sortie. Dans cette optique, une description complète des propriétés du sujet donnerait, pour toute suite d'essais préalables, chacun décrit comme un triple d'un stimulus d'une réponse et d'une conclusion :

$$s_1 r_1 c_1, s_2 r_2 c_2, s_3 r_3 c_3, \dots, s_n r_n c_n = \{src\}_n ,$$

la probabilité conditionnelle qu'à tel nouveau stimulus, s_{n+1} , soit donnée telle réponse, r_{n+1} . Mais nous verrons que les expériences mêmes débordent de ce cadre.

Dans la vie, la plupart des phénomènes qui sollicitent les organes sensoriels périphériques sont ignorés de la conscience, et ne reçoivent pas même une réponse réflexe: une inhibition quasi générale nous garde du monde extérieur. Il en serait ainsi, en cabine, si l'expérimentateur ne faisait jouer, pour obtenir sûrement une réponse, un moteur que le schéma ne mentionne pas. La rat qu'on libère dans le labyrinthe a été privé de nourriture; et c'est pourquoi, en quête d'un repas, il se précipite. Le sujet humain, devant qui

scintillent des lumières, a été averti, au préalable, que ce sont des tireurs, participant à un concours...; les réponses, qu'il donne sur un clavier, sont des prédictions; les conclusions – autres lumières! – sont les résultats du tir. Engagé dans cette fiction par le goût du jeu (ou l'appât du gain s'il est rétribué) l'homme se décide consciemment à modifier graduellement son comportement, afin que ses réponses soient conformes aux conclusions données par l'expérimentateur. Sans la finalité, les stimuli se perdraient avant d'avoir reçu réponse; sans l'assentiment conscient du sujet, des conclusions dépourvues de rapport naturel avec les désirs et les réponses n'auraient aucun pouvoir de transformer le comportement.

Or la fiction lie l'expérimentateur lui-même dans la présentation des stimuli et surtout des conclusions. Si l'on affirme, dans la consigne donnée avant l'expérience, que c_n est la véritable réponse immuablement liée à s_n , on peut bien se permettre, pour explorer le comportement du sujet, de changer, en fait, au cours des essais, cette réponse réputée vraie; mais il faut se garder que le sujet, découvrant la ruse, ne dénonce la fiction, ce qui mettrait fin à l'expérience (; en introduisant, dans le processus, un temps d'arrêt qu'on ne se proposait point d'étudier...). Lui donner un sens, rend l'expérience possible; mais dans des limites et avec une structure qui, bien plus que des seuls ensembles S, R, C, des stimuli, réponses et conclusions possibles, dépendent de l'activité propre de l'expérimentateur. La place que celui-ci prend ainsi en face du sujet, entraîné par les conclusions à obéir aux stimuli, peut sembler trop grande.

L'histoire de la psychologie de l'apprentissage montre qu'à l'origine, on voyait le rapport intime entre finalité et renforcement. On lit dans un traité de philosophie vieux d'un demi-siècle (R. JOLIVET, TII, p.84, 1941):

“Naguères, sous l'influence de l'associationnisme, on formulait la loi suivante comme loi fondamentale de l'apprentissage: la simple répétition d'une activité rend cette activité de plus en plus facile. THORNDIKE démontre que la simple répétition d'une activité est insuffisante. Voici l'une des expériences alléguées à l'appui...

Un sujet doit tracer, les yeux bandés, des traits de 20 cm de long. Si l'on ne fournit aucune information sur les tracés, la dispersion des longueurs ne décroît pas au cours du temps. En revanche, il y a apprentissage si l'expérimentateur dit 'bien' <e.g. quand la longueur du trait est comprise entre 18cm et 22cm> ou 'mal' <dans le cas contraire>.”

Ainsi, en psychologie de l'adaptation, le schéma S-R a précédé le schéma S-R-C; et la nécessité de tenir compte de la conclusion, du renforcement, est d'abord apparue comme la preuve “qu'au principe de l'apprentissage, et par conséquent de l'habitude, il y a un fait mental” (JOLIVET, *op. laud.*). Mais avec le temps (fâcheux effet, ici, de la répétition!) on s'est accoutumé à voir dans le

schéma S-R-C un pur mécanisme, ni plus ni moins que dans le schéma S-R; on a oublié ce point, d'abord évident, que la conclusion n'était pas une intervention matérielle arbitraire de l'expérimentateur, mais une intervention pourvue d'un sens. L'apparition de machines susceptibles d'apprentissage suivant le schéma S-R-C a confirmé maints psychologues dans leur conception mécaniste. Mais le jeu d'une machine ou d'un programme pour l'apprentissage dépend de l'intelligence de l'homme qui crée et dispose, en vue de ses propres fins, les tendances internes de l'automate (tendance vers l'amélioration de tel rendement; la diminution de telle différence...).

Une remarque ici. Branche appliquée de la psychologie, la propagande se garde d'ignorer l'importance des fins. Intéressés à faire de la société une cabine, maîtres et marchands s'emploient à réduire les hommes à quelques tropismes: vers l'argent, la voiture, l'apparence de la jeunesse...

En réaction contre une conception simpliste qui fait de la conscience la maîtresse lucide de tous les ressorts du comportement, certaine psychologie moderne a voulu bannir la conscience.

Mais dans sa remarquable "Esquisse d'un système de psychologie" (M. RALEA, 1964), un savant roumain contemporain, trop tôt disparu, écrit: "le comportement spécifiquement humain a pour caractère d'introduire, entre le stimulus et la réponse, un chaînon supplémentaire qui consiste à chercher la réponse la plus adéquate...". Et, guidés dans leur critique de la théorie réflexe stimulus-réponse par des analogies linguistiques, deux psychologues américains (E. GALENTER et G. MILLER, 1960) proposent un modèle hiérarchique de ce que peut être ce chaînon dont le jeu est plus ou moins profond selon les problèmes.

Nous croyons être fidèle aux faits en substituant au schéma réflexe un schéma triangulaire: sollicités par des stimuli, orientés par la conscience (chez l'animal par les besoins naturels) les mécanismes nerveux élaborent leurs réponses.

1.3 Synthèse et adaptation

La psychosociologie a, pour objet premier d'étude, un tout complexe. Mais c'est à tous les niveaux de la psychologie qu'il convient de considérer le primat du tout sur les éléments, ceux-ci n'apparaissant qu'au terme de la recherche; et n'existant même souvent que dans un équilibre collectif. Nous nous opposerons, de ce point de vue, aux présupposés analytiques de certains psychologues mathématiciens qui prétendent synthétiser le comportement humain à partir des traits élémentaires des stimuli et des réponses. Dans la présente étude, les mots de synthèse et d'analyse se rencontrent sans cesse, avec des sens si divers, que nous ne pourrions être compris si nous ne

précisons notre propre terminologie, quitte à y rapporter, chemin faisant, les autres usages.

Communément, on oppose synthèse à analyse comme remontage à démontage (par exemple: d'une montre). Mais précédant l'analyse, la synthèse cognitive rassemble (synthétise, compare) des objets, pour tenter de reconnaître des traits qui leur sont communs, des axes suivant lesquels ils se développent. L'analyse peut alors, selon l'heureuse formule de L. LAVELLE (*op. laud.*, p. 60, 1942) "tenter sur les signes toutes les combinaisons possibles qui deviennent ainsi des moyens d'action sur les choses". Là est le propre de l'analyse mathématique; et LAPLACE, écrivant son exposé du système du monde un siècle après les découvertes de NEWTON, pouvait, à bon droit, opposer la froide sûreté des calculs modernes aux méthodes géométriques des anciens (et à celles de l'exposé même de NEWTON) comme l'analyse à la synthèse.

Or, avant d'être une démarche de l'esprit qui veut connaître, la synthèse est une démarche de la nature au sein de laquelle les objets se rassemblent et se délimitent entre eux pour se conformer à leurs fins. Dans la théorie synthétique de l'évolution, de SIMPSON (*op. laud.*, pp. 15-17, 1950): "le paléontologiste apprend à penser en terme de population plutôt qu'en terme d'individus... le but est de déterminer comment les populations se sont génétiquement et morphologiquement différenciées." La notion d'espèce se réalise par des groupes d'animaux qui se partagent un certain patrimoine génétique; patrimoine dont la plasticité et la stabilité dépendent des effectifs de ces groupes. D'autre part, la division même du règne animal en espèces n'épuise pas les potentialités du règne. Parfois, des chaînes continues d'espèces interfécondes existent entre deux espèces éloignées; la paléontologie montre les animaux se redistribuant en espèces. Le découpage est tel: il aurait pu être autre; mais non n'importe lequel. L'évolution se fait sur un champ de possibilités structuré; et qui, sans la déterminer, lui donne sa forme. Ainsi SIMPSON décrit (p. 320) le passage de certains équidés mangeurs de feuilles "sur le domaine inoccupé" des herbivores; d'où la naissance du cheval actuel.

Comme la dérive des espèces animales, l'adaptation est, par excellence, un processus collectif qui, de l'actuel, va vers le possible: l'adaptation est une synthèse.

Ici, une question se pose. Dans sa remarquable thèse, J.-C. PAGÈS, (ch. VI, 1959), énonce en une formule concise: "l'existence précède la signification". Car c'est une variante d'un objet préexistant qui se trouve prendre valeur de clef en s'adaptant "à une serrure qui jusqu'ici restait obstinément close"; comme tels équidés, s'aventurant à manger des feuilles, ont, selon SIMPSON, conquis "un domaine inoccupé", d'où l'espèce chevaline.

Mais, d'un point de vue opposé, on peut, poursuivant la métaphore, noter que la serrure préexiste à la clef. Selon la formule scholastique *Forma dat esse materiæ*, la forme donne à la matière d'exister. Ce "domaine inoccupé" est comme un moule qui, (à la faveur d'un jeu génétique complexe) s'empare des vivants et leur impose sa marque.

Ainsi Saint AUGUSTIN, dont la docte méditation précède la marche des sciences, voit-il dans l'œuvre des six jours de la Genèse non l'apparition immédiate, en des jours semblables à ceux que nous vivons, (et comment en eût-il été ainsi si, les premiers jours, le soleil n'était pas créé!), de créatures achevées, mais le déploiement majestueux du plan de la création; le départ ordonné d'une course, dont le temps seul révélerait la fécondité. Il a des paroles sublimes que l'on peut tenter de paraphraser, mais non traduire ...

"Si nous voyons maintenant toutes les choses se mouvoir dans le temps pour accomplir ce qui convient à leur genre, c'est qu'elles le tiennent de ces formes naturelles que, telles des semences, Dieu répandit dans l'acte de créer quand *il dit et elles furent faites, il commanda et elles furent créées* (cf. psaume XXXII, 9)... Car c'est ainsi qu'il fit les choses à venir: il ne fit pas dans le temps des choses temporelles, mais il leur donna que, par lui faites, elles parcourussent le temps." (in P.L. XXXIV, coll. 318 et 320).

Ut hoc quod nunc videmus temporalibus intervallis ea moveri ad peragenda quæ suo cuique generi competunt, ex illis insitis rationibus veniat, quas tamquam seminaliter sparsit Deus in actu condendi, cum "dixit, et facta sunt; mandavit, et creata sunt" (psal. XXXII, 9)... Sic enim fecit quæ futura essent, ut non temporaliter faceret temporalia, sed ab eo facta currerent tempora.

Gardons-nous donc que la métaphore de la serrure ne nous égare par ce qu'elle a de trop précis: l'intelligence de l'homme ne s'ouvre pas sur un vaste pupitre aux multiples touches dont il pourrait apprendre à jouer une à une. La nature est plus riche et d'abord plus confus: seule une maturation générale en révèle les axes et les sommets et nous élève de la sensation à la perception, de la perception à la compréhension. ARISTOTE note dans sa psychologie (*de anima*, L.III, ch. 1, 4256) que, si nous n'avions plusieurs sens, nous ne pourrions connaître les sensibles communs, mouvement, grandeur et nombre, que nous révèle la convergence des afférences des divers sens spéciaux. Tandis que psychologie génétique et linguistique structurale contemporaines, s'accordent sur ce point que la langue est un système dont il nous faut apprendre, non les sens ou les mots isolés, mais les gradations et les oppositions.

Dans la complexité du comportement aux multiples dimensions, nous recherchons la forme; par l'expérimentation psychologique, la synthèse

statistique et les modèles mathématiques, nous cherchons comment elle s'imprime à la matière.

2 Une expérience d'instauration de moyen de communication

2.0 Le thème linguistique: arbitrarité et analogie

Dans l'illustre *Cours de linguistique générale* de F. de SAUSSURE, on lit ces phrases:

“La langue est ... comparable à une feuille de papier: la pensée est le recto et le son est le verso; on ne peut découper le recto sans découper en même temps le verso; ... Nous pouvons représenter le fait linguistique dans son ensemble, c'est-à-dire la langue, comme une série de subdivisions contiguës dessinées à la fois sur le plan indéfini des idées confuses (A) et sur celui non moins indéterminé des sons (B); ... Non seulement les deux domaines reliés par le fait linguistique sont confus et amorphes, mais le choix qui appelle telle tranche acoustique pour telle idée est parfaitement arbitraire.”

À notre avis, “les deux domaines reliés” ne sont pas absolument “amorphes” mais munis d'une certaine topologie (une notion de voisinage, de distance entre idées ou entre sons): chacun a sa forme, ses dimensions. C'est comme si l'une des faces de la “feuille de papier”, par exemple (A), était une sphère; et l'autre, (B), un triangle. Afin d'établir un code, on veut les appliquer l'une sur l'autre et toutes deux se déchirent: ce découpage est aléatoire, mais il n'est pas totalement arbitraire.

Certes, la langue n'est pas qu'un code, fût-ce entre deux espaces topologiques: chaque “idée confuse”, plutôt qu'un point d'un espace A est une ligne, un système d'objets et de relations pris avec le sujet dans un mouvement. Mais supposons qu'un groupe d'hommes se bornent, dans leurs communications mutuelles, à utiliser les signaux d'un espace B pour se demander, les uns aux autres, des objets d'un espace A, accessible à tous. On peut imaginer que si l'objet apporté, a', ressemble d'assez près à l'objet demandé, a, le demandeur se tiendra satisfait; tandis que dans les autres cas, il ira se servir lui-même, non sans montrer à son aide ce qu'il voulait; et ainsi s'édifiera une sorte de langue.

D'où une expérience, qu'avec J. F. RICHARD nous avons conçue puis réalisée afin d'étudier la rencontre des formes de A et B dans la multitude des actes de communication.

2.1 Le protocole d'expérience

Supposons que l'espace A des objets à désigner soit la carte d'Europe (on peut varier à loisir); l'espace B des signaux dont on dispose pour cela, un segment de droite.

Nous préciserons les personnes en présence, le matériel utilisé, le processus expérimental.

Les personnes sont d'une part, deux joueurs, J1 et J2, qui se tournent le dos et ne peuvent parler; et, d'autre part, un expérimentateur ou correcteur, C.

Chacun des joueurs a devant lui une carte d'Europe; J1 est muni d'un crayon bleu, et J2 d'un crayon noir.

Le matériel dont dispose le correcteur C comprend:

une liste de quelque deux cents noms de pays d'Europe, choisis au hasard, la probabilité affectée à chaque pays étant d'autant plus grande que celui-ci est plus étendu;

une pile de fiches, portant chacune dix traits d'environ 12 cm, avec, à droite et à gauche, dans les marges, des pointillés:

..... —————

un barème de notation et des feuilles de note, dont on expliquera l'usage; et ...

un crayon rouge.

Au préalable, (en lisant le texte des consignes) C explique à J1 et J2 qu'ils ne sont pas en concurrence, mais doivent, au contraire, coopérer, tenter de se comprendre en échangeant des signaux très simples - un point marqué sur une ligne - afin de désigner les pays d'Europe. S'ils réussissent, ils gagneront des points; et l'emporteront sur d'autres équipes {J'1, J'2}, {J''1, J''2}, qui sont en tournoi avec eux. Et le jeu commence.

1. C passe la fiche réglée à J1, et lui désigne, de la pointe du crayon, un pays sur la carte d'Europe - le premier pays de la liste aléatoire que C peut seul consulter;

2. J1 marque un point bleu sur la première ligne de la fiche;

3. C passe la fiche de J1 à J2;

4. J2 écrit en noir dans la marge droite, sur le pointillé de la première ligne, l'interprétation qu'il donne au message reçu de J1: c'est-à-dire, un nom de pays d'Europe;

5. C reprend la fiche, y écrit en rouge, dans la marge gauche, le nom du pays demandé, regarde sur le barème combien de points l'équipe des deux joueurs a gagnés ou perdus (e.g. 2 points gagnés si on a répondu Belgique pour Hollande; 3 points perdus si c'est Espagne pour Finlande) proclame le résultat et l'inscrit sur la feuille de note.

1'. C passe la fiche à J2, lui montre un pays ... Et ainsi de suite, alternativement, J1 et J2 parlent sur le segment; tous les dix coups, au changement de fiche, C donne le total des points obtenus.

*Consignes de l'expérimentateur aux deux sujets en présence
(rédigées par J. F. RICHARD)*

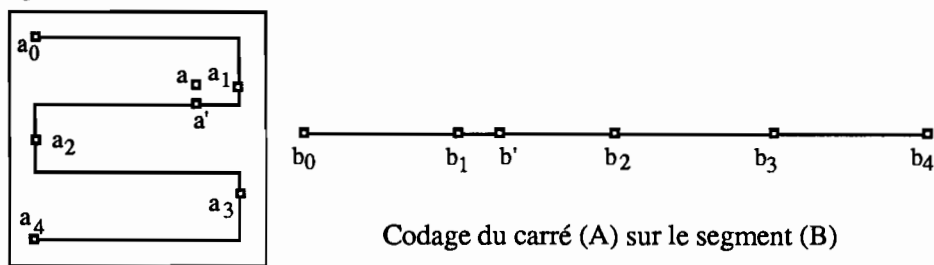
Vous allez participer à une sorte de jeu. Je vais montrer à l'un de vous un pays sur la carte; vous devrez essayer d'indiquer à votre camarade quel est ce pays, mais pour cela vous aurez seulement le droit de marquer un point sur une ligne horizontale. En voyant ce point, le camarade devra essayer de deviner quel est le pays qu'on a voulu lui désigner. Évidemment, au début, vous devinerez un peu au hasard; mais, petit à petit, vous devez arriver à vous comprendre, en gros, avec pour seul moyen d'expression la possibilité de marquer un point sur une ligne.

À celui d'entre vous qui aura deviné la première fois, je montrerai ensuite un pays sur la carte; et il devra, à son tour, le désigner par un point pour l'indiquer à son camarade, qui aura à deviner cette deuxième fois; et ainsi de suite. Selon que vous aurez deviné un pays proche ou lointain de celui qui était désigné, vous gagnerez des points ou vous en perdrez. Vous devez essayer de gagner le plus de points possible.

2.2 Aperçu de résultats d'expérience

2.2.1 Carré codé sur un segment

Partons d'un cas où l'espace A des objets est un carré et l'espace B des signaux est un segment. Le déroulement de l'expérience, s'écarte alors du protocole décrit au §2.1, par quelques détails: ainsi, dans les marges des fiches, figurent non des pointillés (sur lesquels on écrit des noms), mais des carrés où l'on peut placer l'interprétation conjecturée, puis le point véritablement demandé... Après quelques coups au hasard, les sujets J1 et J2, (tous deux instruits et âgés de vingt à trente ans,) entreprirent d'inventer un code. L'un d'eux, mathématicien, songea à la courbe du carré; l'autre, ne pouvant pénétrer ce code, imposa le sien, simple et efficace: un balayage en va-et-vient de haut en bas, suivant une ligne, que nous avons tracée sur la figure.



Schématiquement, à un signal b , point du segment B, on répond par le point a , situé, sur la ligne de parcours, au même niveau que b sur B: e.g., au point b_2 milieu de B, correspond le point a_2 , milieu de la ligne de parcours. Réciproquement, un objet a , c'est-à-dire un point du carré, est assimilé au point a' de la ligne de balayage qui en est le plus proche, et codé par le signal b' , correspondant à a' sur le segment B. Compte tenu du peu de précision des signaux, il n'importe pas que le choix de a' pour a soit parfois ambigu.

2.2.2 Expérience avec la carte d'Europe

Les sujets appelés à jouer sur la carte d'Europe, étaient presque tous des garçons, âgés de douze à seize ans. Dans la plupart des cas, un code s'établit en quelques dizaines de coups, soit d'Ouest en Est, par la longitude (l'Espagne à l'extrême gauche du segment, la Russie à l'extrême droite); soit, plus rarement, du Nord au Sud, par la latitude: Le cas se présenta que l'un des sujets codait obstinément Ouest-Est, l'autre Nord-Sud: au bout d'une heure d'efforts, après une centaine d'essais, on ne se comprenait toujours pas...

Dans deux cas, les sujets, peu satisfaits de coder d'un même point du segment la Finlande et la Bulgarie, pays différant peu quant à la longitude, mais très éloignés l'un de l'autre, entreprirent de distinguer, à droite du segment, deux zones, l'une réservée au Nord de l'Europe, l'autre au Sud: quand, après plus d'une heure, le jeu s'arrêta, ils n'avaient pas encore achevé de s'accorder sur la délimitation des zones.

De quelque façon qu'on procède, vu le nombre de pays nommés dans les expériences (25), il est impossible de fixer sur le segment, sans confusion, un point précis pour chaque pays: l'Europe est donc traitée, ainsi que le carré, comme un continuum; et c'est pourquoi nous pouvons dire que la carte d'Europe est l'espace des objets, et non un ensemble de 25 individus, les pays. (D'ailleurs, les notes attribuées, mesure du succès, sont calculées en fonction de la disposition spatiale des pays sur la carte; cf. *infra*, §2.3.2).

2.3 Critique de la situation expérimentale

Il est juste de confronter notre travail aux critiques formulées au §1.

2.3.1 Rôle de l'expérimentateur

Nous sommes parvenus à réduire le rôle de l'expérimentateur. La seule initiative qui lui est laissée est de proposer les pays dans un ordre aléatoire; ce, afin d'éviter que les joueurs n'entreprennent une exploration systématique de l'espace des objets. (En psychologie expérimentale, on prive souvent les sujets de l'exercice de quelques-unes de leurs facultés supérieures, afin d'étudier isolément un comportement élémentaire: la difficulté étant de ne pas dénaturer, du même coup, celui-ci). Il faut toutefois regretter que le code ne soit élaboré que par deux sujets; et que ceux-ci soient assujétis à un rythme séquentiel. (Au contraire, le modèle proposé au §3 et les simulations du §5.2, mettent en jeu plusieurs sujets.)

2.3.2 Finalité et renforcement

Le but du jeu paraît artificiel: gagner des points. Mais le barème n'est pas arbitraire: il traduit la forme de l'espace des objets; il sert aux joueurs à évaluer avec quelle précision ils ont rempli leur véritable tâche, fort naturelle,

qui est de communiquer. En même temps, les points donnent à cette tâche, qui, quoique naturelle, serait gratuite (car nos joueurs savent parler; et parleraient, si on les laissait faire, de tout autre chose que de nos objets!) une utilité momentanée: gagner. Comme l'activité sociale des hommes, le jeu mêle en un tout inanalysable, nature et fiction.

2.3.3 Synthèse et structure

Les sujets édifient seuls la solution d'un problème dont les données sont des formes, et non des ensembles amorphes: le processus d'adaptation est une synthèse qui peut conduire à divers codes, également admissibles s'ils remplissent également bien leur fonction: communiquer. Toutefois la synthèse manque d'ampleur; l'adaptation, d'imprévu. Certes, on a donné à l'espace des objets plus de dimensions qu'à celui des signaux (2 contre 1) afin d'empêcher que le code ne se borne à dessiner le premier sur le second. Mais, que l'espace des objets soit un carré ou une carte d'Europe, les joueurs ont d'emblée une vue d'ensemble de la structure de cet espace; et l'expérience montre qu'ils édifient systématiquement leur code.

2.3.4 Code et langue naturelle

La situation est tout autre dans le cas d'une langue. L'espace des signaux lui-même (qui est un segment dans nos expériences) n'est étudié que par les phonéticiens. Quant à l'espace des objets, c'est toute la nature; ou, plutôt, c'est ce que les membres d'une société humaine en peuvent éprouver ensemble, avec leurs actions concertées pour y vivre. Ni le sujet qui parle, ni personne même parmi les lexicographes n'en a jamais pris une vue d'ensemble; encore moins peut-il être question d'un code systématique. Tel est, selon nous le problème de la sémantique: déployer dans un cadre spatial aussi régulier, aussi peu hétérogène que possible, le code propre à une langue; système souvent heureux, mais dont les multiples artifices nous cachent le tout, comme on dit des arbres qu'ils empêchent de voir la forêt. La langue est comme une sténographie de l'algèbre qui travestirait le système formel par une multitude de ligatures; ou encore, le linguiste est comme le géologue qui devrait étudier une région d'après une carte routière.

Rappelons qu'avec l'Europe, plus complexe que le carré, on a vu apparaître, dans le codage de l'Est du continent, l'arbitraire et le discontinu, qui sont la marque des langues naturelles. Il faudrait pouvoir expérimenter longtemps, avec un groupe plutôt qu'avec deux sujets; choisir un espace des signaux riche en dimensions, dont la complexité dépasserait notre aptitude à concevoir les structures globales. Mais comment donner une telle ampleur à un jeu, dont on ne peut poursuivre une partie plus de quelques heures sans se lasser: il faudrait proposer aux sujets une tâche qui eût pour eux un intérêt naturel, ce qui nous ramène à la finalité.

2.4 Analyse statistique de l'expérience sur la Carte d'Europe

Une matrice de confusion entre pays d'Europe résulte du dépouillement d'une série d'expériences sur cet espace d'objets avec huit couples de sujets.

Soit I l'ensemble des 25 pays considérés, on définit sur $I \times I$ un tableau de correspondance (*a priori* non symétrique): $\{k(i, i') \mid i \in I, i' \in I\}$; où $k(i, i')$ est le nombre de fois que, sur l'ensemble des parties, l'un quelconque des joueurs, ayant demandé le pays i , a vu répondre à son signal le pays i' . Les facteurs issus de l'analyse de ce tableau sont des fonctions sur I notées:

demandes : FD1, FD2, ... ; réponses : FR1, FR2,

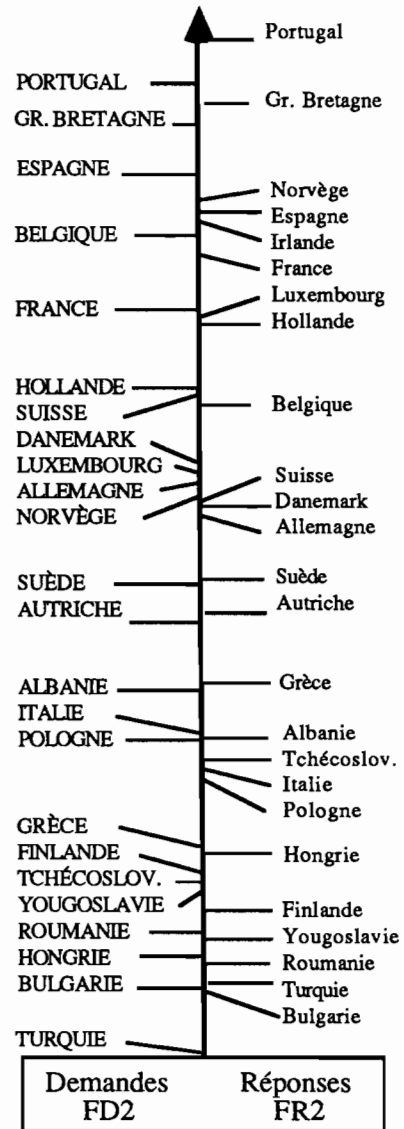
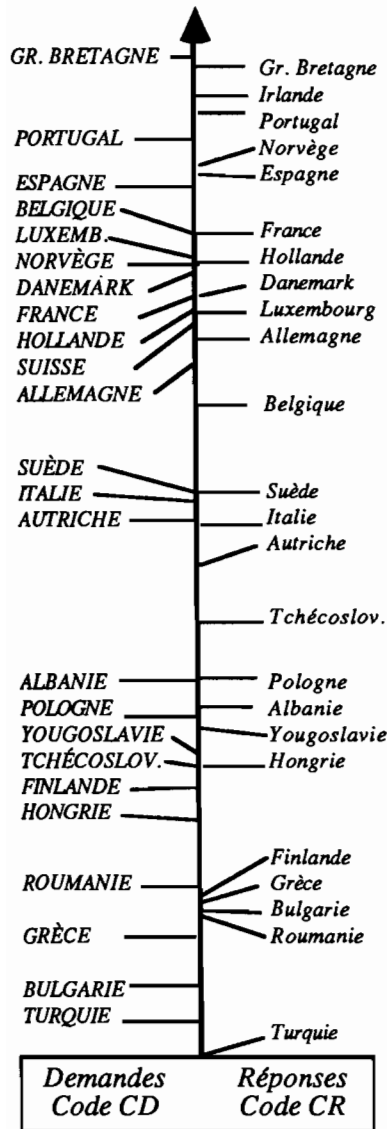
On obtient, pour demandes et réponses, des résultats semblables: sur l'axe 1, tous les pays sont étroitement groupés, sauf la Russie qui se détache seule. Sur l'axe 2, les pays se rangent approximativement selon leur longitude. Toutefois, l'Irlande qui, dans les expériences que nous analysons ne fut l'objet d'aucune demande, manque sur les axes $\{FD1, FD2, \dots\}$; elle apparaît seulement sur $\{FR1, FR2, \dots\}$; car, figurant sur la carte, elle a pu être donnée comme réponse. (On a donc, en fait, analysé une correspondance 24×25).

La principale anomalie concerne la Russie qui, après avoir créé, à elle seule l'axe 1, se place à l'origine sur l'axe 2. En effet, par sa position géographique particulière, par la grande fréquence de son apparition dans les demandes, (rappelons que, sur la liste aléatoire, les pays ont une fréquence proportionnée à leur étendue), la Russie attire l'attention des joueurs qui la placent très tôt en un point précis (généralement à l'extrémité droite du segment). C'est pourquoi la Russie est l'objet de bien moins d'erreurs que les autres pays: de façon précise, sur un total de 788 actes de communication entre tous les joueurs, il y a eu 255 réponses exactes; la Russie est demandée 65 fois, et répondue 63 fois, dont 53 réponses exactes.

Ainsi, la matrice de confusion présente, approximativement, la structure classique de la décomposition en blocs diagonaux: il y a un bloc 1×1 afférent à la Russie, et réduit au seul nombre 53; et un bloc 23×24 concernant les autres pays (recensant 713 occurrences, dont 202 réponses exactes); avec seulement, en dehors des ces deux blocs, 12 occurrences dans la ligne RUSSIE (demandes qui n'ont pas été comprises) et 10 occurrences dans la colonne Russie (réponses données hors de propos).

À notre connaissance, c'est précisément d'après cet exemple qu'ont été vues pour la première fois, puis démontrées, les particularités des résultats issus de l'analyse d'un tableau décomposé en blocs (cf. *Traité*, TI A, n°2, §4; ou *Prat1*, IV, §0.0.4; ou *Handbook*, *ibid*). Ici, l'analyse du bloc 23×24 a fourni un couple de facteurs $\{fD1, fR1\}$ différant très peu (Russie mise à part) du $\{FD2, FR2\}$ issu de l'analyse globale 24×25 .

L'étroite parenté entre ces facteurs, d'une part, et le code dont usent les sujets, de l'autre, suggère un calcul de corrélation. Notons $CD(i)$ (resp. $CR(i)$) l'abscisse moyenne, sur le segment, des points marqués pour demander le pays i (resp. des points auxquels on a répondu i); on peut, la Russie et l'Irlande



étant écartées, considérer le code moyen, $\{CD \cup CR\}$, et les facteurs, $\{FD2 \cup FR2\}$ ou $\{fD1 \cup fR1\}$ comme définissant des fonctions sur l'ensemble $I \cup I$ des pays considérés chacun deux fois (comme demande puis comme réponse). On trouve, entre ces fonctions, des corrélations supérieures à 0,94 .

La figure montre $\{CD, CR\}$ et $\{FD2, FR2\}$ face à face.

§3 Modèle mathématique de processus d'instauration de code

§3.0 Modèle et moyens de calcul

Selon les moyens de calcul disponibles, un modèle mathématique de processus d'instauration de code a pu être mis en œuvre par un algorithme plus ou moins général, pour traiter divers espaces d'objets et de signaux. Nous citerons une première version, due à M.-O. LEBAUX (1965); dont dérive la version que B. DORÉ (Mme. LEROUX) a utilisé dans sa thèse (1970).

Vers 1965, il fallait plusieurs minutes pour traiter un exemple simple dans le cadre d'un grand Centre Universitaire de Calcul; un micro-ordinateur d'aujourd'hui effectue en moins d'une seconde des calculs plus complexes.

Cependant, sous le nom de 'réseaux neuronaux', des modèles analogues, en couches de cellules, sont toujours prônés en psychologie mathématique et en reconnaissance des formes. Bien que la structure des processus cognitifs évoque, pour nous, non un réseau de liens, fût-il adaptable, mais une assemblée de processeurs travaillant parallèlement dans une configuration hiérarchique gérée selon une analyse globale des informations (cf. *infra* §6.4); le fonctionnement des réseaux mérite d'être observé.

Ceci encourage à poursuivre l'expérimentation du modèle d'instauration de code; où l'optimisation d'un problème de communication se résoud dans un dialogue entre plusieurs sujets distincts, les joueurs.

On décrit ici le modèle proposé à l'origine (cf. J.-P. BENZÉCRI et J.-F. RICHARD, 1964); avec un aperçu sur la conception des premiers programmes de simulation. On considère, dans un autre article, un programme de simulation plus récent (§4), avec des exemples typiques de résultats obtenus avec ce programme sur un micro-ordinateur de 1990-95 (§5).

§3.1 Schéma de la situation expérimentale dans le modèle

C'est celui décrit au §2.1. Des sujets, (notés h, h', \dots) d'un ensemble fini H , utilisent les signaux d'un espace B pour se désigner et se demander mutuellement les objets d'un espace A accessible à tous. On suppose que A et B sont des espaces métriques, c'est-à-dire qu'on peut définir entre deux objets, $\{a, a'\}$, ou deux signaux, $\{b, b'\}$, une distance que nous noterons laa' , lbb' .

À un moment donné, le comportement des sujets de H sera décrit par les probabilités qu'ils fassent telles demandes ou telles réponses: les variables du comportement sont donc, pour nous, des mesures de probabilité et des probabilités de transition.

Supposons qu'entre h et h' ait eu lieu un essai de communication: h demande à h' l'objet a , par le signal b ; et, parce que h' a interprété b comme désignant a' , h reçoit a' de h' . On peut encore dire que h a codé a par b ; et h' a décodé b suivant a' .

En fonction du triple (a, b, a'), h et h' modifient leur comportement.

Si la distance laa' est faible, la communication est satisfaisante: h et h' augmentent la probabilité conditionnelle d'émettre un signal voisin de b s'ils ont en vue un objet voisin de a et a'; et, ils éviteront d'utiliser de tels signaux pour un objet a'' éloigné de a et de a'. Corrélativement h et h' augmentent la probabilité de décoder un signal voisin de b comme désignant un objet voisin de a et a'.

Si les objets a et a' sont éloignés l'un de l'autre, la communication n'ayant pas réussi, la sagesse serait vraisemblablement, pour h et h', de ne rien changer à leur comportement, de peur de modifications incohérentes.

Quoiqu'il en soit, les notions de "distance faible", d' "objets - de signaux - voisins" jouent un rôle fondamental dans l'adaptation du processus de communication: il faut donc définir mathématiquement ces notions. Pour cela, le plus simple est de poser entre objets et entre signaux deux seuils, d_A et d_B , qui donneront la borne supérieure - ou l'ordre de grandeur - des distances considérées comme faibles.

Si l'on veut que le modèle mathématique respecte les capacités perceptives des sujets vivants, les seuils d_A et d_B devront être au moins égaux aux seuils psychophysiologiques. (Ici, il s'agit d'une notion particulière: seuil de discrimination entre un objet ou signal présent, d'une part; et les souvenirs conservés de stimuli déjà perçus, d'autre part; ce seuil est plus élevé que ceux mesurés dans les expériences de comparaison usuelles; cf., e.g., [SEUIL], in *CAD*, Vol IV, n°4; 1979). Si trop de précision dans le code dépasse les besoins de la communication ou la capacité présumée de la mémoire, les seuils de distance devront être encore plus élevés.

Notons ici que d_A est une sorte de seuil de satisfaction: un sujet est satisfait si $laa'] < d_A$: ce seuil pourrait s'abaisser au cours d'une partie; les exigences croissant avec l'amélioration du code; simultanément le seuil d_B serait abaissé afin d'assurer aux signaux la capacité de transmettre l'information pertinente sur les objets. (Dans le programme de simulation présenté au §4, un effet équivalent à celui d'une réduction des seuils est obtenu par la densification des ensembles finis qui tiennent lieu d'espace des objets et d'espace des signaux: cf. §§4.4 et 5.4).

Dans les expériences décrites au §2, c'est le barème qui fournit la distance; et suggère au sujet son seuil de satisfaction (le point).

3.2 Les variables probabilistes du comportement

Tout en conservant le jeu d'indices propre au calcul tensoriel des transitions probabilistes, (calcul qui traite les ensembles finis et les variétés

différentiables comme des cas particuliers d'espaces probabilisables: cf., e.g., *Traité*, TII B n°1,) nous écrivons ici des expressions usuelles du calcul différentiel. Si A et B sont des droites, segments ou courbes, ces formules peuvent être prises à la lettre; sinon, on leur donnera valeur analogique: e.g., dans le cas de variétés, en comprenant dx comme un élément de volume.

Nous considérerons (pour chaque sujet h):

$$h_A^*(a).da ,$$

mesure de probabilité sur A; la fonction h_A^* est non négative, et satisfait à la condition:

$$\int_A h_A^*(a).da = 1 ;$$

$h_A^*(a)$ est la densité de probabilité que le sujet h de H ait en vue l'objet a de A; h_A^* représente les buts de h. On supposera ici que les demandes formulées par h ne dépendent pas du sujet h' auquel il s'adresse.

$$h_B^A(a, b).db ,$$

transition de A vers B; la fonction h_B^A est non-négative, et satisfait à la condition:

$$\forall a \in A : \int_B h_B^A(a, b).db = 1 ;$$

$h_B^A(a, b)$ est la densité de probabilité conditionnelle que h, désirant l'objet a, utilise, pour désigner celui-ci, le signal b; h_B^A est le code de h. On peut faire l'hypothèse simplificatrice que ce code ne dépend pas du sujet h' auquel h s'adresse.

$$h_{AB}^*(a, b) da \times db = h_A^*(a) \times h_B^A(a, b) da \times db ,$$

mesure de probabilité sur $A \times B$: $h_{AB}^*(a, b)$ est la densité de probabilité que h ait en vue l'objet a et le désigne par le signal b.

$$h_B^*(b) db ;$$

$$h_B^*(b) = \int_A h_{AB}^*(a, b) da ,$$

mesure de probabilité sur B; $h_B^*(b)$ est la densité de probabilité que h utilise le signal b; c'est la densité de la loi marginale de $h_{AB}^*(a, b) da \times db$ sur B.

$$h_A^B(a, b) da ;$$

$$h_A^B(a, b) = h_{AB}^*(a, b) / h_B^*(b) ,$$

transition de B vers A; $h_A^B(a, b)$ est la densité de probabilité conditionnelle que h, en émettant le signal b, ait en vue l'objet a.

Si on admet que, "faisant aux autres ce qu'il voudrait qu'on lui fit", h se base, pour répondre à une demande, sur son propre comportement de demandeur, on peut poser que $h_A^B(a, b)$ est aussi la densité de probabilité conditionnelle que h , ayant reçu, de quelque autre sujet h' , le message b , réponde par l'objet a .

Dans la suite, nous ferons cette hypothèse; ainsi h_A^B représentera le décodage par h des messages reçus.

$$h_{ABA}^*(a, b, a') da \times db \times da' ,$$

mesure de probabilité sur $A \times B \times A$; densité de probabilité que, dans une communication où h intervient comme demandeur, l'objet demandé soit a , le signal b , la réponse a' . Nous ne tenterons pas de préciser le calcul de cette mesure; laquelle dépend des buts et des codes de tous les sujets ainsi que des probabilités de rencontre des sujets. On définirait une mesure analogue pour les actes où h est le répondeur.

$$r(h),$$

nombre réel positif, espérance mathématique du nombre de communications où intervient le sujet h pendant le temps unité.

3.3 Le renforcement

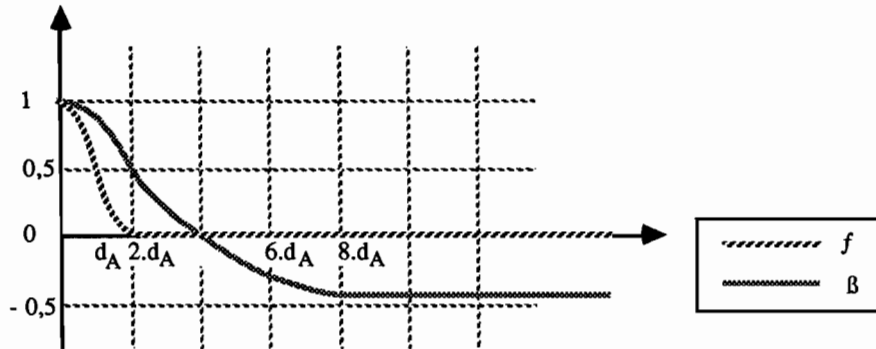
Nous supposons ici que les mesures h_A^* qui expriment les buts des divers sujets h sont des constantes; tandis que les codes h_B^A se modifient pour rendre plus efficace la communication; et qu'avec les codes, se trouvent modifiées les autres mesures et transitions qui en sont fonction, notamment les transitions h_A^B , servant à décoder des messages.

Il faut suggérer un calcul pour la variation de h_B^A et h^A_B après un acte de communication (a_0, b_0, a'_0) entre h et h' ; (i.e. h a demandé a_0 par b_0 , et reçu a'_0 de h' , cf. §3.1.1). Afin de simplifier les notations, nous poserons que la même formule s'applique au demandeur et au répondeur et qu'elle ne dépend pas des sujets particuliers (h et h') en cause.

Pour une valeur déterminée de a ,

$$h_B^A(a,b) db = h^a_B(b) db ,$$

est une mesure de probabilité sur B : d'après ce qu'on a dit plus haut, la modification de cette mesure consistera à augmenter ou diminuer la masse contenue au voisinage du signal b_0 ; sans toutefois changer la masse totale qui doit rester 1. Nous calculerons d'abord un indice $\mu(a_0, a'_0, a)$, ou fonction de renforcement, donnant l'ordre de grandeur de cette augmentation ou



diminution; puis, en fonction de μ , nous modifierons h^a_B par une opération de diffusion, considérée au §3.4.

L'indice μ dépend du succès de la communication, (a_0, b_0, a'_0) , (succès en raison inverse de la distance $|a_0 a'_0|$) et de la distance de a au couple $\{a_0, a'_0\}$, (distance qu'on peut assimiler à la somme $|a_0 a| + |a'_0 a|$). On réalisera donc le programme suggéré au §3.1.1 en posant:

$$\mu(a, a_0, a'_0) = f(|a_0 a'_0|) \cdot B(|a_0 a| + |a'_0 a|) ;$$

où f et B sont des fonctions dont l'allure générale est proposée sur la figure.

La fonction f vaut 1, son maximum, si $a_0 = a'_0$ (succès parfait); elle vaut 1/2 si $|a_0 a'_0|$ est égal à un seuil, d_A ; à partir de $|a_0 a'_0| = 2.d_A$, f est nulle; donc aussi μ : ce qui correspond au fait que d'une communication qui a échoué il est prudent de ne tirer aucune conclusion (par renforcement positif ou négatif).

La fonction B n'atteint son maximum, 1, que si $a = a_0 = a'_0$; i.e. si le succès de la communication a été total, et qu'on considère le renforcement des liens avec le signal même ayant servi pour cet acte réussi. Quand $(|a_0 a| + |a'_0 a|) = 4.d_A$, la fonction B s'annule; au-delà de cette valeur, elle devient négative, sans toutefois descendre au dessous de -0,5.

Supposons, par exemple, que $a_0 = a'_0$. Dans ce cas, μ vaut 1 pour $a = a_0$; μ vaut 1/2 si la distance $|a_0 a| = |a'_0 a|$ est d_A ; μ s'annule pour $|a_0 a| = 2.d_A$; et, au-delà, μ devient négatif, sa valeur asymptotique étant: -1/2.

Si $|a_0 a'_0| = d_A$, valeur seuil (succès modéré de l'acte), $f=1/2$: pour $a = a_0$, ou pour $a = a'_0$, B vaut 1/2; donc $\mu=1/4$. Quand $(|a_0 a| + |a'_0 a|)$ dépasse $4.d_A$, par exemple si $|a_0 a|$ et $|a'_0 a|$ sont tous deux supérieurs à $2.d_A$, B devient négatif, donc, également, μ ; le minimum asymptotique étant -1/4.

3.4 Diffusion: du modèle au programme

À la loi conditionnelle $h^a_B(b)$ db (du signal b pour un objet a donné), le renforcement μ – positif ou négatif – doit être appliqué autour du signal b_0 utilisé, pris pour centre; et avec un rayon de diffusion de l'ordre de d_B .

Si $0 < \mu$, pour augmenter de μ la masse dans un intervalle de centre b_0 et de rayon d_B , on peut utiliser une mesure $\partial_B(b_0, b)$.db de masse totale 1 ayant cet intervalle pour support et poser:

$$h^a_B(b) := (1-\mu).h^a_B(b) + \mu.\partial_B(b_0, b) ;$$

ce qui revient à substituer à une mesure de masse μ , proportionnelle à h^a_B , une mesure de même masse, proportionnelle à ∂_B .

Dans le cas $\mu < 0$, appliquer cette même formule introduira, dans certains cas des masses négatives: pour éviter cela, on peut, e.g., procéder comme suit. Soit m la masse totale de h^a_B sur la boule de centre b_0 et de rayon d_B ; et, donc, $(1-m)$ la masse portée par le complémentaire de cette boule. Notons μ' le plus petit des deux nombres m et $|\mu|$. En multipliant par $(m-\mu')/m$ les masses portées par la boule; et par $(1+\mu'-m)/(1-m)$, celles extérieures à la boule; une masse μ' est chassée de la boule.

Pour réduire la vivacité de l'adaptation, on multipliera μ par k , coefficient compris entre 0 et 1.

Supposons que $k = 1/N$, N désignant un entier qui tend vers l'infini; tandis que, corrélativement, afin que le code ne laisse pas de se modifier notablement par des renforcements infinitésimaux, on multiplie par N le nombre des actes de communications par unité de temps. Alors l'effet du hasard est éliminé: le processus tend à être décrit par une équation intégral-différentielle de la forme: $dH/dt = \Delta(H)$; où H désigne le système des codes de tous les sujets.

Cependant, le programme considéré au §4 ne suit pas exactement le modèle élaboré ici. Sans prendre explicitement en compte des transitions probabilistes, le programme élabore, pour chaque sujet, une matrice de liens $B \times A$, non assujétie à des conditions de normalisation; et les profils des colonnes et lignes de cette matrice servent de loi, respectivement, pour le codage des objets et le décodage des signaux.

Plus précisément, en appliquant pour le renforcement une même formule, quel que soit le signe de μ , on introduit des liens négatifs. On peut soit mettre à zéro ces liens; soit les conserver pour inhiber des renforcements positifs ultérieurs. Dans ce dernier cas, il convient d'utiliser, pour le codage et décodage, la seule partie positive de la matrice des liens. C'est ce que fait le programme 'Icode', présenté au §4.

Références bibliographiques

Sanctus Aurelius Augustinus, (Saint AUGUSTIN): *De genesi ad litteram*; (commentaire de la Genèse); in *Patrologie Latine*, Vol. 34.

E. GALENTER & G. MILLER: "Some comments on stochastic models and psychological theories"; in *Mathematical methods in the social sciences*; Stanford University Press; Stanford; (1960).

R. JOLIVET: *Traité de Philosophie*; T.II: Psychologie; E. Vitte, Lyon; (1941).

L. LAVELLE: *La parole et l'écriture*; L'artisan du Livre, éd.; Paris; (1942).

J.-C. PAGÈS: *Physiologie d'une machine qui inventerait*; Thèse de médecine; Paris; (1958).

M. RALEA: "Esquisse d'un système de psychologie"; in *Revue Roumaine des sciences sociales*; série de psychologie; Tome 8, n°1; (1964).

F. de SAUSSURE: *Cours de linguistique générale*; Payot; Paris.

G. G. SIMPSON: *Rythmes et modalités de l'évolution*; Albin-Michel; Paris; (1950).