

# **Théorie des systèmes dynamiques et analyse du comportement: Vers la fin de l'horloge interne ?**

Céline Clément<sup>1</sup>

Université Louis Pasteur, Strasbourg 1

Depuis les travaux de Skinner (1938) et Ferster et Skinner (1957), tenter de comprendre les processus permettant l'ajustement l'animal et de l'humain aux contraintes temporelles de l'environnement est un problème récurrent de l'analyse expérimentale du comportement. Après avoir recueilli nombre de données tant chez l'homme que chez l'animal (pour une revue, voir Lejeune et Richelle, 1980), les chercheurs se sont appliqués à développer ces vingt dernières années des modèles de la discrimination temporelle (pour une revue, voir Clément, Darcheville et Rivière, 2001). L'accumulation de données et l'élaboration de modélisations élégantes n'ont pas permis de répondre à une des questions fondamentales, inhérente à la majorité des modèles proposés: est-il nécessaire de supposer l'existence d'une horloge interne sous-jacente aux comportements signant la discrimination du temps, alors même qu'aucun organe sensoriel ne semble dédié à cette tâche ?

Il s'agit dans cet article de discuter d'un point de vue épistémologique l'idée d'horloge interne. Nous tenterons de montrer qu'une série d'éléments plaident en défaveur de celle-ci. Tout d'abord, nous rappellerons très brièvement quelles sont les principales modélisations postulant l'existence d'une horloge interne. Nous nous attarderons ensuite sur l'idée selon laquelle l'utilisation conjointe de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires, « théorie

---

<sup>1</sup> Céline Clément - UFR de Psychologie et des Sciences de l'Education - 12, Rue Goethe - F-67 000 Strasbourg  
Courriel : [celine.clement@psycho-ulp.u-strasbg.fr](mailto:celine.clement@psycho-ulp.u-strasbg.fr)

phénoménologique qui vise à élaborer des *lois* du comportement » (Zanone, 1995, p. 47) et de l'analyse expérimentale du comportement amènent des éléments de réflexion qui pourraient être décisifs. Ceci nous amènera à discuter de l'utilité d'une horloge. Enfin, nous nous demanderons si le temps peut être considéré comme un stimulus.

## **MODELISATIONS DE LA DISCRIMINATION TEMPORELLE**

Les comportements de l'animal et de l'humain placés dans des programmes opérants à composante temporelle signent la sensibilité de ceux-ci aux caractéristiques temporelles de l'environnement. Le programme à Intervalles Fixes (FI) est un programme de choix pour ce type d'études. En FI, une réponse n'est renforcée que si elle suit le précédent agent renforçateur d'un délai fixé. Les réponses émises avant la fin de ce délai ne sont pas renforcées. Les comportements de l'animal et de l'humain placés dans cette procédure révèlent une propriété statistique connue sous le nom de propriété scalaire (Gibbon, 1977). Ainsi, lorsque les valeurs des pauses post-renforcement sont moyennées sur plusieurs essais ou plusieurs sessions expérimentales, deux propriétés peuvent être observées: la précision moyenne et la propriété scalaire elle-même. La précision moyenne est mise en évidence, par exemple, lorsque la pause post-renforcement varie proportionnellement à la valeur du FI (Dews, 1970). La propriété scalaire signifie que l'écart-type du temps estimé augmente de façon linéaire avec la moyenne (Catania, 1970).

Le modèle de traitement de l'information temporelle (Scalar Expectancy Theory, SET), développé par Church (1984), longtemps considéré comme la référence contemporaine en matière de modélisation de la discrimination temporelle, vise à rendre compte des deux propriétés précédemment évoquées. Il postule que l'ajustement aux contraintes temporelles de l'environnement s'effectue grâce à plusieurs structures cognitives dont l'horloge, constituée d'un oscillateur, d'un interrupteur et d'un accumulateur. Il n'est pas nouveau d'invoquer l'existence d'un oscillateur comme base des phénomènes de discrimination temporelle. Treisman (1963) avait déjà évoqué cette hypothèse dans le cadre de la perception du temps et Ashton (1976) dans celui du contrôle moteur. Ce dernier considérait qu'il est improbable que l'environnement puisse donner au sujet apprenant une base de temps ou un système de marqueur temporel. La SET ou sa concurrente la plus connue, la théorie comportementale du

temps (Behavioral Theory of Timing, BeT) développée par Killeen et Fetterman (1988) invoquent toutes deux un oscillateur et ont pour objectif de modéliser les propriétés molaires des états stables des comportements.

Plus récemment, les modèles dynamiques (Higa et Staddon, 1997; Machado, 1997; Staddon et Higa, 1999) ont insisté davantage sur la modélisation de l'acquisition de la régulation temporelle et se sont attaché à faire l'économie d'instances cognitives telles que l'horloge. Enfin, le modèle d'Hoyert (1992) est une tentative de modélisation non-linéaire du comportement de l'animal dans les programmes FI. En utilisant des résultats reconnus comme majeurs dans l'étude du comportement de l'animal non humain, Hoyert (1992) a développé un système d'équations déterministes permettant une meilleure prédiction de la variabilité de la configuration des réponses de l'animal non humain sous contingence FI. Les atouts de ce modèle sont directement issus de son caractère non-linéaire (Clément et al., 2001). Mais qu'apporte cette approche dite non-linéaire? Quelles en sont les caractéristiques? Est-elle cohérente avec les principes de l'analyse expérimentale du comportement?

## **THEORIE DES SYSTEMES DYNAMIQUES ET ANALYSE DU COMPORTEMENT**

Issue de la physique, la théorie des systèmes dynamiques, encore appelée « dynamique non-linéaire » ou « théorie des systèmes complexes » traite de grands types de comportements ou d'évolutions, sans référence directe aux éléments matériels qui constituent ces systèmes, ce qui lui permet de présenter un haut degré de généralité et d'universalité (Bergé, Pomeau, et Vidal, 1984). Les concepts peuvent paraître séduisants et relativement efficaces en physique (Ruelle, 1980; Swinney, 1983) ou en biologie (Glass et Mackey, 1988). Néanmoins, ils semblent a priori éloignés d'une discipline telle que la psychologie et difficiles à lui appliquer. Pourtant, la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires est utilisée depuis une dizaine d'années en psychologie (pour une revue, voir Ayers, 1997). Selon Madelain (2000), cette utilisation a permis des avancées conceptuelles et empiriques dans des domaines tels que la cognition (Smith et Thelen, 1993) et la motricité (e.g., Thelen et Smith, 1994; Thelen et Ulrich, 1991). En analyse expérimentale du comportement, quelques auteurs ont justifié la pertinence de l'utilisation des concepts issus de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires à l'étude de l'évolution des comportements (Clément, 1999; Ingvaldsen et Whiting, 1997;

Madelain, 2000; Marr, 1989, 1992, 1997; Novak, 1996). Marr défend l'idée d'une application analogique de la théorie des systèmes dynamiques particulièrement intéressante. Une correspondance ou similarité partielle est présumée entre les systèmes physiques et psychologiques, et l'approche dynamique est proposée pour expliquer les processus psychologiques (Ayers, 1997). Marr (2000) postule par exemple, que le renforcement peut être considéré comme l'équivalent des forces dans les systèmes physiques. Déjà, Skinner (1975) affirmait: « ce qui évolue c'est un organisme, considéré comme un système physique, et c'est un tel organisme qui est modifié par le conditionnement opérant » (p.120). Enfin, plusieurs études expérimentales ont mis les propositions théoriques à l'épreuve des faits lors de travaux sur la poursuite visuelle lisse chez le nouveau-né et le sujet schizophrène (Madelain, 2000), la discrimination auditive (Miossec et Darcheville, 2000) et la discrimination temporelle (Clément, 1999; Hoyert, 1992; Metcalf et Allen, 1995).

Plusieurs aspects de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires sont particulièrement intéressants et convergent vers les conceptions de l'analyse expérimentale du comportement (Madelain, 2000). Deux points spécifiques peuvent être évoqués: la variabilité comportementale et la représentation.

### **Variabilité comportementale**

La variabilité est souvent envisagée comme le produit de variables inconnues et/ou incontrôlées, et le recours au hasard ou aux processus probabilistes (e.g., Lejeune et Wearden, 1991; Wearden, 1985), afin d'expliquer la variabilité de la pause post-renforcement dans les programmes à intervalles fixes, traduit sans doute notre perplexité face au phénomène. L'objectif de l'expérimentateur est donc de minimiser la variabilité, d'identifier les variables qui affectent de façon essentielle la performance et de comprendre comment elles agissent seules et ensemble. L'usage des statistiques, particulièrement fréquent en psychologie cognitive, est inhérent à cette approche. Ainsi envisagée, la variabilité, considérée comme du bruit n'est quasiment pas étudiée pour elle-même (Richelle, 1992).

Les tenants de l'approche comportementale s'appuient quant à eux sur l'analogie évolutionniste afin de rendre compte de l'émergence des comportements nouveaux et des processus d'apprentissage (Boulanger, 1995; Richelle, 1992; Skinner, 1969). Ainsi, l'objectif

devrait être de cerner la nature et les sources des variations afin de préciser les processus dynamiques du conditionnement (Staddon et Simmelhag, 1971). Or, l'accent a été porté sur les contraintes de l'environnement, les états stables - la répétition de comportements acquis - plutôt que sur leur changement et leur acquisition, sur la sélection plutôt que sur la variation (Boulanger, Ingebos, Lahak, Machado, et Richelle, 1987; Richelle, 1992). Sans doute, cette négligence est elle liée à des difficultés d'appréhension du phénomène.

Les modèles dynamiques non-linéaires peuvent nous aider à comprendre la variabilité comportementale. Celle-ci trouverait son origine dans les propriétés dynamiques des systèmes complexes que sont les organismes vivants en interaction avec leur environnement. Tout comme l'approche classique, la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires, déterministe, considère le comportement comme le résultat d'une série de variables combinées. Néanmoins, ces deux approches divergent fondamentalement en ce sens que, dans cette dernière perspective, le changement même minime d'une des variables affecte toutes les autres, et est ainsi en mesure de modifier toute la dynamique du système. On parlera ainsi d'auto-organisation: "l'évolution d'un système en une forme organisée en l'absence de contraintes extérieures, cette forme donnant au système des potentialités qui n'existeraient pas sans elle" (Madelain, 2000, p.220).

Du point de vue de l'approche comportementale l'idée d'auto-organisation n'a de sens que dans une perspective sélectionniste. Si l'évolution est envisagée « comme le résultat de l'auto-organisation et des processus de sélection, les variations trouvant leur sources dans les propriétés dynamiques des systèmes complexes » (Boulanger, 1990, cité par Richelle, 1992), il doit en être de même de l'apprentissage. Ainsi Boulanger (1990, cité par Richelle, 1992), s'appuyant sur les travaux de Page et Neuringer (1985) démontrant que la variabilité comportementale peut être considérée comme un opérant, a analysé celle-ci au cours du développement. Dans tous les cas, les contingences renforçant la variabilité comportementale sont efficaces. Néanmoins, cette efficacité est fonction de l'âge des sujets. Ces résultats montreraient que la variabilité n'est pas un simple sous-produit des conditions du milieu, mais une propriété intrinsèque des processus comportementaux, modulée par les conditions de l'environnement du sujet (Richelle, 1992). Ces vues sont rejointes par Darcheville, Clément et Miossec (2002) concernant la dynamique de la discrimination opérante.

Quelles en sont les conséquences pour notre sujet, la discrimination temporelle? Fréquemment, de fortes variations comportementales sont observées, que ce soit intra-sujets, inter-sujets, intra-sessions et inter-sessions. Et si parfois ces variabilités sont qualifiées de non-linéaires, les tenants d'une approche cognitive émettent l'hypothèse que leur origine se situe dans les étages perceptifs ou mnésiques de l'horloge interne (Crystal, 1999, 2001 ; Crystal, Church et Broadbent, 1997). Les sources de variance peuvent être tout à la fois issues de l'horloge, de la mémoire ou du comparateur et peuvent également être indépendantes du processus d'estimation du temps (Church, Miller, Meck et Gibbon, 1991). De plus, de nouvelles instances cognitives et/ou des générateurs de variabilité peuvent être inférés afin de rendre compte du comportement et l'une ou l'autre version du modèle peut être utilisée en fonction des données recueillies: « Ici, nous décrivons la version du modèle utilisée pour s'ajuster aux données des deux expériences » (Allan et Gibbon, 1991, p.41, traduit par nous). Dans une telle approche, il est évident que les non-linéarités ne sont pas envisagées comme le produit des interactions du sujet dans l'environnement et que les chercheurs ne remettent pas fondamentalement en cause la modélisation issue de l'approche cognitive (pour une discussion, voir également Staddon, 2001).

Ceci tend à montrer que la conception de la variabilité inhérente à l'approche cognitive reste intimement liée aux idées de médiation et de représentation, constitutives de l'horloge interne.

### **Représentation et médiationnisme**

La pertinence de l'utilisation du médiationnisme, discutée par Watkins (1996) dans le cas de la psychologie de la mémoire, rejoint les préoccupations qui animent nombre de chercheurs. Il s'agit de savoir si les événements passés affectent les comportements présents uniquement s'ils sont liés par une trace mnésique. Selon les modèles cognitifs, dont les modèles de représentation du temps (SET), les événements sont encodés sous forme de traces mnésiques puis restitués lorsque le sujet émet ultérieurement un comportement. Church (1999) considère qu'une théorie du temps doit inclure, afin de prédire le comportement, une représentation du temps physique depuis l'occurrence d'un événement, une mémoire du moment du renforcement, et une règle de réponse.

Les exemples présentés classiquement pour illustrer certains aspects de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires permettent de penser autrement que par le médiationnisme (Kostrubiec, 2001). En effet, les modèles non-linéaires permettent d'illustrer un fonctionnement selon les lois de causalité à longue distance. Le comportement du système dépend à chaque moment des valeurs des paramètres au début de l'expérience. Selon les valeurs de l'équation, le système peut rapidement atteindre un état stable, un cycle limite, ou le chaos. Cet effet de sensibilité aux conditions initiales est parfois nommé « mémoire permanente » (Peters, 1996). Cette mémoire ne repose sur aucune représentation mnésique ou sur un quelconque mécanisme de conservation des souvenirs, mais sur les opérations gouvernant la transformation des états du système. Chaque état  $x_{(t+1)}$  dépend de tous les états précédents  $x_{(t)}$ ,  $X_{(t-1)}$  car chaque état  $x_{(t)}$  est une transformation non-linéaire de l'état  $x_{(t-1)}$ . L'explication de la « mémoire permanente » n'est donc pas médiationniste.

De même, il peut être considéré qu'un système transmet de l'information au cours du temps s'il y a une connexion causale entre les états passés et futurs du système, sans invoquer pour autant l'idée de représentation (Shaw, 1984). Ainsi, dans les systèmes physiques, cette *information* peut être considérée comme contenue dans les états de la variable. L'émergence du comportement serait donc le résultat des coopérations des sous-systèmes impliqués dans un contexte tâche-environnement particulier, sans qu'aucun des sous-systèmes n'ait d'instructions pour cette émergence (Ashby, 1962; Keijzer, 1998; Thelen et Smith, 1994). Le comportement est, à ce moment là, la solution la plus stable qui puisse être trouvée: l'attracteur du système. De fait, la notion de structure est remplacée par celle d'attracteurs comportementaux, stables ou instables, assemblés de façon souple (Thelen et Smith, 1994, p.60).

Cela conduit logiquement la théorie des systèmes dynamiques à rejeter la nécessité d'utiliser la représentation, pourtant considérée dans le paradigme cognitiviste classique comme un élément indispensable. En effet, à la différence des théories de traitement l'information, il n'est plus nécessaire d'émettre d'hypothèses à propos de l'existence de structures mentales, quelles que soient leurs formes (représentation, schème, programme moteur, etc.): « Bien que le comportement et le développement apparaissent structurés, il n'y a pas de structure. Bien que le comportement et le développement apparaissent dirigés par des

règles, il n'y a pas de règles » (Thelen et Smith, 1994, p. xix, traduit par nous). Les systèmes dynamiques offrent un modèle général de l'auto-organisation où des modifications de forme et d'organisation peuvent survenir dans un système lorsqu'il est simplement soumis à une variable non spécifique (i.e., le paramètre de contrôle). Le concept de représentation peut ainsi être remplacé par celui de *paramètre de contrôle interne* (Keijzer, 1998). Le paramètre de contrôle peut être défini comme une variable non spécifique, le paramètre auquel le système -le sujet dans son environnement- est sensible et qui pousse celui-ci vers les différents états possibles (Kelso, 1995). Le paramètre de contrôle interne, dont l'origine est cérébrale, ne prescrit pas et ne contient pas le code d'un pattern émergent.

Selon nous, utiliser conjointement théorie des systèmes dynamiques et analyse du comportement, devrait permettre de concevoir un modèle de la discrimination temporelle rendant compte à la fois de la variation et de la sélection (Clément et al, 2001).

### **UNE HORLOGE: POURQUOI FAIRE ?**

La question qui se pose alors est de savoir si l'on peut penser une théorie de la discrimination temporelle en excluant d'emblée l'idée de représentation. L'horloge interne étant une des expressions de la représentation, développer un modèle sans représentation, signifie que ce modèle sera dépourvu d'horloge interne. La proposition selon laquelle la perception du temps chez l'humain est déterminée par une horloge interne, est largement indirecte (Treisman, Cook, Naish et MacCrone, 1994). Les propriétés du comportement, aussi régulières que si une horloge était utilisée, ont permis de bâtir l'hypothèse selon laquelle l'animal utilise une telle horloge afin d'estimer le temps (Machado, 1997; Marr, 1999; Zeiler, 1998). Notons cette remarque à ce titre explicite de Killeen, Fetterman et Bizo (1997, p.80): « an organism is timing if our clock is a better predictor of its behavior than any other stimulus we can identify ».

La représentation du temps nécessite divers constructs internes tels qu'un comparateur, un système mnésique, et surtout un oscillateur. Cette structure, que Marr (1999) qualifie de « rococo », s'apparente à une théorie des copies qui permettrait la représentation du temps physique en temps psychologique, et la récupération de ce dernier afin que le sujet puisse émettre des comportements qui démontrent sa sensibilité aux contraintes temporelles de son environnement

L'un des arguments souvent évoqué en faveur de l'oscillateur est qu'un certain nombre d'oscillateurs chimiques et cellulaires ont été mis en évidence chez l'animal et l'humain (Glass et Mackey, 1988; Goldbeter, 1990). L'hypothèse d'une horloge interne pourrait même, dans certains de ses aspects, être réconciliée avec la théorie des systèmes dynamiques puisque la distribution des impulsions des oscillateurs biologiques, conforme à un processus de Poisson postulé par la BeT (Killen et Fetterman, 1988), peut être le résultat d'un processus déterministe (Glass et Mackey, 1998). Néanmoins, rien n'impose que la solution la plus stable du système au niveau biologique - l'oscillateur - soit la même au niveau comportemental. Pourquoi des comportements qui semblent aussi réguliers qu'une horloge devraient être produits par une horloge ? Plusieurs auteurs partagent ce point de vue et réfutent la nécessité d'invoquer un processus d'horloge afin de rendre compte du contrôle temporel (Donahoe et Burgos, 1999; Staddon, 2001; Zeiler, 1998, 1999).

Selon Zeiler (1998, 1999), il est peu probable que l'évolution ait produit une horloge interne afin d'estimer du temps. En effet, les régularités temporelles de certains comportements de l'animal, tels que se nourrir, dormir, se reproduire, etc., ne nécessitent pas que celui-ci estime du temps. Les événements réguliers dans le temps, les « zeitgebers », modulent les systèmes physiologiques internes. Par exemple, le fait de manger est contrôlé par la faim. De même, les migrations animales ne sont pas le résultat d'un quelconque calcul du temps: elles sont provoquées par les cycles hormonaux. Bien que pour certains auteurs, ces régularités ne puissent être néanmoins assimilées à du *timing* (Killeen, Fetterman et Bizo, 1997), il est intéressant de remarquer que les régularités sont bien sous contrôle de stimuli extérieurs qui ne sont pas des horloges. Autre argument plaidant en faveur de l'absence d'horloge interne: l'élaboration par l'être humain de multiples horloges externes afin de s'ajuster aux contraintes temporelles (Zeiler, 1998). Cela tend à montrer qu'aucune horloge interne n'a été élaborée au cours de l'évolution. Quant à l'animal, exposé au même intervalle de FI pendant plusieurs mois, il continue à répondre bien avant que le renforçateur ne soit disponible (Dews 1978; Ferster et Skinner, 1957). Enfin, celui-ci s'ajuste bien mieux aux contraintes temporelles quand il est en mesure d'utiliser, comme l'être humain, des horloges externes (Ferster et Skinner, 1957; Laties et Weiss, 1966; Macar, 1971; Segal, 1962; Skinner,

1938). Ceci permet de penser, une nouvelle fois, que l'existence d'une horloge interne est improbable (Zeiler, 1999).

Donahoe et Burgos (1999) rappellent que le contrôle temporel peut émerger sous l'effet du renforcement dans les réseaux de neurones. Le comportement qui varie conjointement avec le passage du temps dans un environnement constant peut émerger de l'action du renforcement dans les réseaux de neurones sans qu'il soit besoin d'invoquer d'oscillateur ou d'unités d'habituation. Le modèle de traitement de l'information temporelle développé par Buonomano et Merzenich (1997) est en mesure, parmi d'autres, de discriminer des intervalles de temps et montre des capacités à généraliser dans la dimension temporelle. Le réseau est en mesure de coder des informations temporelles sans qu'il ait été pour autant nécessaire de postuler un mécanisme explicite. De même le modèle développé par Burgos (1997) est en mesure de répondre comme si il existait un mécanisme de *timing* bien qu'il n'en existe aucun. Bien que le réseau de neurones, dans une contingence FI, se comporte comme si il y avait une horloge, étant même en mesure de respecter la loi de Weber et donc la propriété scalaire, aucune information de ce type n'est contenue dans le réseau. Une série de neurones est sélectionnée sous l'action du renforcement de telle façon que dans un environnement constant la probabilité d'émission de l'opérant change. En définitive, les arguments neurobiologiques plaideraient davantage en faveur d'une telle approche plutôt qu'en faveur d'une horloge (Buonomano et Merzenich, 1997).

Les arguments de Zeiler (1998) et Donahoe et Burgos (1999) ont au moins une implication fondamentale: les régularités temporelles et les périodicités n'impliqueraient pas nécessairement le contrôle du comportement par le temps lui-même. En physique, nul besoin d'expliquer la régularité des marées par le contrôle du temps. Le temps peut-il alors être considéré comme un stimulus ?

## LE TEMPS EST-IL UN STIMULUS ?

Donahoe et Burgos (1999) indiquent clairement que le temps n'est pas un stimulus: aucun événement de l'environnement ou neural ne covarie uniquement et uniformément avec le temps d'un stimulus *arbitraire* (souligné par les auteurs).

L'hypothèse de ces auteurs à propos de la nature du temps diverge de ce qui est généralement admis: la durée est considérée comme une propriété distinguable du stimulus comme sa fréquence, son intensité ou son étendue dans l'espace (Catania, 1970; Staddon, 1965). Skinner (1938) considérait également que le temps est la seule propriété de la durée, comparable à l'intensité ou à la longueur d'onde.

Marr (1999) répond à ces propos, en rétorquant que si la seule propriété de la durée est le temps, cela implique que la seule propriété du temps est le temps lui-même. Cela rejoint les vues de Gibson (1975) qui s'est interrogé sur la compréhension de la dimension temporelle. S'appuyant sur les arguments développés à propos de la perception directe de l'espace (Gibson, 1950), il suggère qu'il « n'y a pas de perception du temps, mais simplement la perception des événements et des déplacements qui se déroulent dans un médium de l'environnement qui est rigide et permanent » (Gibson, 1975, traduit par nous, P. 298). Ces derniers, quel que soit leur type, ont une composante de persistance et de changement qui permet leur description. Selon Gibson (1975) si le passage du temps était vide, nous serions incapables de le percevoir. Dans les faits, il n'y a pas de vide et ce que nous percevons n'est pas le flot du temps, mais le flot du changement ou son rythme. De la même façon, pour De la Lastra (1978), les mesures de la dimension temps sont des mesures de vitesse et ces dernières, en définitive, sont des mesures d'espace. Le temps ne serait donc qu'un concept extrait des percepts des événements.

Cette proposition permet de répondre à l'apparente contradiction d'utiliser des protocoles de discrimination du stimulus, pour tester les capacités d'adaptation du sujet à son environnement temporel, tout en prétendant que le temps n'est pas un stimulus (Clément, 1999). Quelles que soient les procédures utilisées pour tester les capacités de discrimination temporelle, celles-ci mettent en jeu des stimuli aux propriétés physiques ou des durées entre des événements. Ainsi, dans les tâches de bissection temporelle, le stimulus temporel est matérialisé par la présentation puis par la suppression d'un stimulus, le plus souvent visuel.

Dans les programmes opérants à composante temporelle, comme le programme FI, la durée ne se *matérialise* finalement que parce que le sujet émet des réponses qui seront ou non renforcées. La contrainte majeure qui pèse sur le système sujet-environnement semble être le renforcement. Par analogie, nous pouvons dire que le renforcement est une force qui pèse sur le système (Marr, 1999) comme la lune sur les marées (Zeiler, 1998).

En fait, dans chacune des tâches de discrimination temporelle, on *donne* au temps une dimension physique. La dimension physique permet d'accéder au statut de stimulus qui est une dimension physique ou une relation entre des événements ou une combinaison entre des événements (Catania, 1992). Ce qui est nommé « temps » est donc transformé en stimulus. Pourquoi cette nécessité de transformation, si ce n'est qu'on ne peut percevoir du temps en dehors d'événements? Mais comme le suggère Gibson (1975), quelle peut donc être la situation où il n'existe aucun événement interne ou externe au sujet? A ce point de l'exposé, il n'est pas inutile de rappeler que les enfants tendent à construire des événements facilitant l'ajustement à des contraintes de temps telles que des activités motrices ou des récits (e.g., Pouthas, 1985) de même que les adultes qui utilisent le comptage et les récits (e.g., Laties et Weiss, 1963). De même, les activités collatérales sont associées à une meilleure performance temporelle dans de multiples études chez l'animal (pour une revue, voir Lejeune et Richelle, 1980) et les marqueurs temporels affectent la qualité de la discrimination temporelle (Staddon, 2001).

L'ensemble de ces éléments tend à montrer que la discrimination temporelle n'est pas une discrimination de ce que l'on nomme communément le *temps*. Dans ce cas, une horloge interne dédiée à cette fonction semble d'autant plus improbable.

## CONCLUSION

Ainsi donc, la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires et l'analyse du comportement, compatibles et complémentaires, considèrent toutes deux que (1) la variabilité comportementale ne peut être considérée comme du bruit et (2) l'idée de représentation doit être rejetée lorsqu'il s'agit d'expliquer le comportement. Comme le propose Kostrubiec (2001) concernant la mémorisation, on peut envisager que la discrimination temporelle n'est pas nécessairement un processus spécifique et complexe mais plutôt une aptitude émergente qui se

construirait à partir de processus bio-comportementaux simples. De notre point de vue, les comportements de discrimination temporelle sont contrôlés par les modifications des relations fonctionnelles avec l'environnement. Il n'y aurait donc aucune nécessité d'invoquer un processus spécifique, l'horloge, pour rendre compte de ces comportements.

On peut se demander si malgré les centaines d'expériences accumulées, ce n'est pas l'attachement aux propriétés topographiques de ces comportements, convenons-en si spectaculaires, qui nous empêchent de nous attarder sur les relations fonctionnelles les liant ? En définitive, s'il est vrai que la métaphore de l'horloge semble être une bonne description du comportement observé, son utilisation tend à faire confondre au chercheur le fonctionnement de la métaphore (i.e., l'horloge) au fonctionnement de son sujet d'étude. Pire elle tend à figer les programmes de recherche autour de la seule étude du fonctionnement d'une horloge dont l'existence est purement hypothétique.

Comme le rappellent Staddon, Higa et Chelaru (1999, p.301, traduit par nous), "... nous pouvons entraîner un rat à se comporter comme une horloge, mais nous oublions qu'après tout il n'est pas une horloge, mais un rat. L'objet de la théorie et de l'expérimentation doit toujours être de comprendre le rat, pas l'horloge".

## REFERENCES

- Allan, L. G. et Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning and Motivation*, 22, 39-58.
- Ashby, W.R. (1962). Principles of the self-organizing system. In H. von Foerster et W. Zopf (Eds.), *Systems, organization, and the logic of relations* (pp. 255-278). New-York: Pergamon Press.
- Ashton, R. (1976). Aspects of timing in child development. *Child Development*, 47, 622-626.
- Ayers, S. (1997). The application of chaos theory to psychology. *Theory and Psychology*, 7(3), 373-398.
- Bergé, P., Pomeau, Y., et Vidal, C. (1984). *L'ordre dans le chaos. Vers une approche déterministe de la turbulence*. Paris: Hermann.
- Boulanger, B. (1995). Au bord du chaos. In H. Lejeune, F. Macar, et V. Pouthas (Eds.), *Des Animaux et des Hommes* (pp. 239-254). Paris: PUF.
- Boulanger, B., Ingebos, A.M., Lahak, M., Machado, A., et Richelle, M. (1987). Variabilité comportementale et conditionnement opérant chez l'animal. *L'année Psychologique*, 87, 417-434.
- Buonomano, D.V., et Merzenich, M.M. (1997). Temporal information processing: A computational role for paired-pulse facilitation and slow inhibition. In J.W. Donahoe et V. Packard Dorsel (Eds), *Neural-networks models of cognition* (pp. 129-139). Amsterdam: Elsevier.
- Burgos, J.E. (1997). Evolving artificial neural networks in pavlovian environments. In J.W. Donahoe et V. Packard Dorsel (Eds), *Neural-networks models of cognition* (pp. 58-79). Amsterdam: Elsevier.

- Catania, A.C. (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgments: A study of some temporal properties of behavior. In W. N. Schoenfeld (Ed.), *The theory of reinforcement schedules* (pp. 1-42). New-York: Appleton Century-Crofts.
- Catania, A.C. (1992). *Learning* (3<sup>o</sup> ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Church, R.M. (1984). Properties of the internal clock. In J. Gibbon et L. G. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (pp. 566-582). New-York: New-York Academy of Sciences.
- Church, R. M. (1999). Evaluations of quantitative theories of timing. A commentary on Staddon et Higa's "Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing". *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, 253-291.
- Church, R.M., Miller, K.D., Meck, W.H., et Gibbon, J. (1991). Symmetrical and asymmetrical sources of variance in temporal generalization. *Animal Learning et Behavior*, 19(3), 207-214.
- Clément, C. (1999). *L'ontogenèse du contrôle temporel du comportement humain envisagé comme un système dynamique non-linéaire* [The ontogenesis of temporal control in humans viewed as a non-linear dynamical system]. Thèse de doctorat non publiée, Université Charles de Gaulle, Lille, France.
- Clément, C., Darcheville, J-C. et Rivière V. (2001). Modélisation du contrôle temporel sous contingences de renforcement: Une revue [Models of temporal control under reinforcement contingencies: A review]. *Acta Comportementalia*, 9(2), 213-250.
- Crystal, J.D. (1999). Systematic nonlinearities in the perception of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 25(1), 3-17.
- Crystal, J. D. (2001). Nonlinear time perception. *Behavioural Processes*, 55, 35-49.
- Crystal, J.D., Church, R.M., et Broadbent, H.A. (1997). Systematic nonlinearities in the memory representation of time. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 23(3), 267-282.
- Darcheville, J-C., Clément, C. et Miossec, Y. (2002, Avril). Dynamique de la discrimination opérante et auto-organisation dans la perception catégorielle [Dynamics of the operant discrimination and self-organization in category perception]. *Colloque de la société d'Ecophysiologie et de la Société Française pour l'Etude du Comportement Animal*, Université Louis Pasteur, France
- Dews, P.B. (1970). The theory of fixed-interval responding. In W. N. Schoenfeld (Ed.), *The theory of reinforcement schedules* (pp. 43-61). New-York: Appleton Century-Crofts.
- Dews, P.B. (1978). Studies on responding under fixed-interval schedules of reinforcement:II. The scalloped pattern of the cumulative record. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 29(1), 67-75.
- de la Lastra, C. (1978). A propos d'une formule physique. *Espiral* (Ed Française), 6, pp 447-500.
- Donahoe, J.W., et Burgos, J.E. (1999). Timing without a timer. A commentary on Staddon et Higa's "Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing". *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71(2), 257-263.
- Ferster, C. et Skinner, B. F. (1957). *Schedules of reinforcement*, New-York: Appleton-Century-Crofts.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84(3), 279-325.
- Gibbon, J., Church, R.M., et Meck, W.H. (1984). Scalar timing in memory. In J. Gibbon et L. A.Han (eds) *Annals of the New York Academy of Science*, 423 (pp. 52-77). New York, New York Academy of Science.
- Gibson, J.J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1975). Events are perceivable but time is not. In J. T. Fraxe et N. Lawrence (Eds.), *The Study of Time II* (pp. 295-301). Berlin: Springer-Verlag.
- Glass, L., et Mackey, M.C. (1988). *From clocks to chaos*. Princeton: Princeton University Press.
- Goldbeter, A. (1990). *Rythmes et chaos dans les systèmes biologiques et cellulaires*. Paris: Masson.
- Higa, J.J., et Staddon, J.E.R. (1997). Dynamic models of rapid temporal control in animals. In C. M. Bradshaw et E. Szabadi (Eds.), *Time and behaviour: Psychological and neurobehavioural analyses* (pp. 1-40). Amsterdam: Elsevier.
- Hoyert, M.S. (1992). Order and chaos in fixed-interval schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57(3), 339-363.

- Ingvaldsen, R.P., et Whiting, H.T.A. (1997). Modern views on motor skill learning are not 'representative!' *Human Movement Science*, 16, 705-732.
- Kelso, J.A. (1995). *Dynamic Patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Keijzer, F.A. (1998). Doing without representations which specify what to do. *Philosophical Psychology*, 11(3), 269-302.
- Killeen, P.R., et Fetterman, J.G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review*, 95(2), 274-295.
- Killeen, P.R., Fetterman, J.G., et Bizo, L.A. (1997). Time's Causes. In C. M. Bradshaw et E. Szabadi (Eds.), *Time and behaviour: Psychological and neurobehavioural analyses* (pp. 79-139). Amsterdam: Elsevier.
- Kostrubiec, V. (2001). *La mémoire émergente: Vers une approche dynamique de la mémorisation*. Paris: L'Harmattan.
- Laties, V.G., et Weiss, B. (1963). Effects of a concurrent task on fixed-interval responding in human. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 6(3), 431-436.
- Laties, V.G., et Weiss, B. (1966). Influence of drugs on behavior controlled by internal and external stimuli. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 152(3), 388-396.
- Lejeune, H., et Wearden, J.H. (1991). The comparative psychology of fixed-interval responding: Some quantitative analyses. *Learning and Motivation*, 22, 84-111.
- Macar, F. (1971). Addition d'une horloge externe dans un programme de conditionnement au temps chez le chat. *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, 1, 89-100.
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological Review*, 104(2), 241-265.
- Madelain, L. (2000). *Approches dynamique et opérante de l'ontogenèse du comportement de poursuite visuelle lisse chez le nouveau-né et de ses dysfonctions chez le sujet schizophrène* [Dynamical and operant views of the ontogenesis of visual smooth pursuit in new-born and its dysfunctions in schizophrenic patients]. Thèse de doctorat non publiée, Université Charles de Gaulle, Lille, France.
- Marr, J. (1997). The mechanics of complexity: Dynamical systems span the quick and the dead. In L. J. Hayes et P. M. Ghezzi (Eds.), *Investigations in behavioral epistemology* (pp. 65-80). Reno, NV: Context Press.
- Marr, J. (1999). The whirligig of time: Some thoughts on Staddon and Higa. A commentary on Staddon et Higa's "Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing". *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71(2), 281-284.
- Marr, J. (2000). Happiest thought: Dynamics and behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 107-108.
- Marr, M.J. (1989). Some remarks on the quantitative analysis of behavior. *The Behavior Analyst*, 12(2), 143-151.
- Marr, M.J. (1992). Behavior dynamics: One perspective. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57(3), 249-266.
- Metcalf, B.R., et Allen, J.D. (1995). In search of chaos in schedule-induced polydipsia. In F. D. Abraham et A. R. Gilgen (Eds.), *Chaos theory in psychology* (pp. 73-86). Westport: Greenwood Publishing Group
- Miossec, Y. et Darcheville, J-C. (2000, June). Non-linear dynamics and operant discrimination. *Fourth European Meeting for the Experimental Analysis of Behaviour*. Amiens, France.
- Novak, G. (1996). *Developmental psychology: Dynamical systems and behavior analysis*. Reno, NV: Context Press.
- Page, S., & Neuringer, A. (1985). Variability is an operant. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11(3), 429-452.
- Peters, E. (1996). *Chaos and order in the capital markets*. New-York: John Wiley and Sons.
- Pouthas, V. (1985). Timing behavior in young children: A developmental approach to conditioned spaced. In J. Michon et J. Jackson (Eds.), *Time, mind and behavior* (pp. 100-109). Berlin: Springer-Verlag.
- Richelle, M. (1992). Le modèle sélectionniste: Convergences dans la pensée scientifique moderne. *Acta Comportementalia*, 0, 215-235.
- Richelle, M., et Lejeune, H. (1980). *Time in animal behaviour*. Oxford: Pergamon Press.
- Ruelle, D. (1980). Les attracteurs étranges [Strange attractors]. *La Recherche*, 11, 132-144.

- Segal, E.F. (1962). Exteroceptive control of fixed-interval responding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 5(1), 49-57.
- Shaw, R. (1984). *The dripping faucet as a model chaotic system*. Santa-Cruz: Aerial.
- Skinner, B.F. (1938). *The behavior of organisms*. New-York: Appleton-Century-Crofts.
- Skinner, B.F. (1969). *Contingencies of reinforcement: A theoretical analysis*. New-York: Appleton-Century-Crofts (Traduction française: L'analyse expérimentale du comportement. Mardaga: Liège).
- Skinner, B.F. (1975). The shaping of phylogenetic behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 24(1), 117-120.
- Smith, L.B., et Thelen, E. (1993). *A dynamic systems approach to development: Applications*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Staddon, J.E.R. (1965). Some properties of spaced responding in pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 8(1), 19-27.
- Staddon, J.E.R. (2001). Time, I, II, III. In *Adaptive dynamics: The theoretical analysis of behavior* (pp. 311-370). Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.
- Staddon, J.E.R., et Higa, J.J. (1999). Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71(2), 215-251.
- Staddon, J. E. R., Higa, J. J., et Chelaru, I. M. (1999). Time, trace and memory. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, 293-301.
- Staddon, J.E.R., et Simmelhag, V.L. (1971). The "superstition" experiment: A reexamination of its implications for the principles of adaptive behavior. *Psychological Review*, 78(1), 3-43.
- Swinney, H.L. (1983). Observations of order and chaos in nonlinear systems. *Physica*, 7D, 3-15.
- Thelen, E., et Smith, L.B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Thelen, E., et Ulrich, B.D. (1991). Hidden skills: A dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. *Monographs of the Society for Research in Child Development, serial 223*(56 (1))
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs*, 57(6), 1-31.
- Treisman, M., Cook, N., Naish, P.L.N., et MacCrone, J.K. (1994). The internal clock: Electroencephalographic evidence for oscillatory processes underlying time perception. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47A(2), 241-289.
- Watkins, M.J. (1996). Mediationism and the obfuscation of memory. *The Behavior Analyst*, 19(1), 91-103.
- Wearden, J.H. (1985). The power law and Weber's law in fixed-interval postreinforcement pausing: A scalar timing model. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37B, 191-211.
- Zanone, P. G. (1995). Une approche écologique-dynamique de la motricité. In J.-M. Albaret et R. Soppelsa (Eds.), *Précis de rééducation de la motricité manuelle* (pp. 29-54). Paris: Solal.
- Zeiler, M.D. (1998). On sundials, springs, and atoms. *Behavioural Processes*, 44, 89-99.
- Zeiler, M.D. (1999). Time without clocks. A commentary on Staddon et Higa's "Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing". *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71(2), 288-291.

## RESUME

Tenter de comprendre les processus à l'œuvre dans la discrimination temporelle est un sujet récurrent en analyse expérimentale du comportement et plus largement en psychologie. L'une des discussions majeures est de savoir si il est nécessaire d'invoquer un processus spécifique pour la discrimination temporelle, i.e., l'horloge interne. Cet article vise à présenter plusieurs éléments plaidant en défaveur de cette hypothèse. Plus particulièrement, sera évoquée l'utilisation

conjointe de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires et de l'analyse expérimentale du comportement. Théorie des systèmes dynamiques et analyse du comportement partagent le refus de comprendre le comportement par l'utilisation de représentation. Par ailleurs, l'élaboration de réseaux de neurones capables de se comporter comme si une horloge était sous jacente à leur comportement alors qu'il n'existe aucun mécanisme explicite de *timing*, est un autre élément plaidant en défaveur de l'existence nécessaire d'une horloge interne. Ceci amène enfin à interroger la nature du temps: Celui-ci est-il un stimulus ?

Mots-clés: discrimination temporelle ; horloge interne ; épistémologie ; théorie des systèmes dynamiques non-linéaires ; représentation ;

## **ABSTRACT**

From the works of Skinner (1938), attempts at understanding the processes at work in temporal discrimination, have been a recurrent subject in experimental analysis of the behaviour and in experimental psychology. One of the most important discussions have been to know whether it was necessary to invoke a specific process in order to account for temporal discrimination, i.e. an internal clock. In 80's the two major theories about timing - Scalar Expectancy Theory and Behavioral theory of Timing - presupposed a clock. Nevertheless some elements went against this hypothesis. The purpose of this paper is to present those elements. First, we argue that combining non-linear dynamical systems theory and behaviour analysis may help us to develop a model of temporal discrimination able to account for variation and selection of the behaviour without invoking any representations. Secondly, the development of neural networks able to behave as if a clock was underlying their behaviour whereas there is no explicit timing mechanism, is another argument against an internal clock. Finally, we are led to question the very nature of time: Is time a stimulus? If this is not the case, then there is no interest to suppose that a specific mechanism should be dedicated to this perception.

Key-words: internal clock; time; stimulus; dynamics system theory; epistemology