



HAL
open science

Etude exploratoire de la discrimination par les quantités de réponses itérées chez l'humain

Francis Mekkass

► **To cite this version:**

Francis Mekkass. Etude exploratoire de la discrimination par les quantités de réponses itérées chez l'humain. Psychologie. Université Charles de Gaulle - Lille III, 2016. Français. NNT : 2016LIL30064 . tel-01587725

HAL Id: tel-01587725

<https://theses.hal.science/tel-01587725>

Submitted on 14 Sep 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Charles-de-Gaulle, Lille 3
Ecole doctorale SHS, Lille Nord-de-France
UFR Psychologie
SCALab - UMR 9193 - CNRS

Etude exploratoire de la discrimination par les quantités de réponses
itérées chez l'humain

Thèse de Doctorat en Psychologie présentée par

Francis Mekkass

Membres du jury :

Professeur Céline Clément (rapporteur)

Université de Strasbourg et Université du Québec, Montréal

Professeur Emérite Jean-Claude Darcheville (co-directeur)

Université Charles-de-Gaulle, Lille

Professeur Jacques Forget (examinateur)

Université du Québec à Montréal

Professeur Armando Machado (rapporteur)

Université de Minho, Guimarães

Professeur Laurent Madelain (co-directeur)

Université Charles-de-Gaulle, Lille

Thèse soutenue publiquement le 9 décembre 2016

REMERCIEMENTS

Si je devais remercier toutes les personnes qui, par leur participation, ont contribué à ce que l'écrit qui suit voie le jour, et que pour chacune d'elles je devais rédiger ne serait-ce qu'une phrase courte, alors il faudrait lire un premier écrit tout aussi long. Néanmoins on me dit souvent que j'ai la mémoire tenace, et je sais gré à chacun de vous, que votre contribution soit des plus insignifiante ou incroyablement inestimable. Je tiens toutefois à remercier nommément certains d'entre vous.

Je commencerai tout naturellement par vous, M. Jean-Claude Darcheville. Si je vous remercie, ça n'est pas pour la confiance que vous avez placée en moi il y a six ans quand je choisissais le thème du nombre en sujet de mémoire de master où vous évoquiez au cours de ses séminaires l'hypothèse d'une relation entre discrimination des quantités et les propriétés dynamiques des programmes de renforcement continu. Ça n'est même pas pour celle, plus risquée, que vous placiez de nouveau en moi deux ans plus tard en acceptant de diriger ma thèse. Ça n'est pas non plus pour votre patience quand vous répétiez les mêmes choses plusieurs fois de suite parce que je ne les comprenais pas, ni même pour votre bienséance qui vous amenait à répondre avec attention et précision à mes questions les plus niaises. Si je vous remercie, c'est tout simplement pour tout ce que j'ai appris au travers de nos discussions. Ces discussions qui devaient durer deux heures et qui se finissaient au bout de quatre, souvent par les cris d'estomacs creux ou l'obscurité de la nuit tombée, me manqueront. Elles me manquent déjà.

M. Laurent Madelain, bien sûr, qui avez aussi accepté de me diriger, et m'avez toujours, au moment le plus opportun, aidé à trouver l'aiguille dans la botte de foin qu'étaient ces milliers de données, souvent m'apprenant comment aller la chercher. VD, critères de décisions et j'en passe, je serais encore à regarder, béat, mes fichiers de données sans vos précieux conseils.

Laurent Ott, sans toi mes analyses en seraient à leurs balbutiements. Rechignant à chaque fois, re-signant à chaque fois, ça y est, tu en as fini de voir poindre mon visage à la porte de ton bureau.

Jérémy Jozefowicz, et tes envolées critiques, toujours suivies de solutions apportées.

Laure Lamart, forcément, pour ce que tu t'es affairée avec passion, acharnée au travail, déterminée, studieuse, efficace. Tu as du mérite d'avoir choisi le sujet de mémoire le plus confus de l'histoire du master AEAC, merci pour tout.

Cécile Vuillings, Mike Perfillon et Arthur Prével, opprimés par mes injonctions pressantes, vous avez poussé plus que quiconque sur cette cellule, sans jamais vous plaindre, sans réclamer rien en retour. Un jour, pensez à me dire comment vous remercier.

Il me reste ici deux personnes à citer, je choisirai pour ce faire l'ordre chronologique, le plus fidèle à l'Histoire, si l'on en croit les physiciens.

Ainsi, je commence par vous, M. Esteve Freixa i Baqué. Vous ne m'avez pas initié au béhaviorisme, vous me l'avez joué, tel un virtuose sur les planches. Vous me l'avez chanté, comme on chante de la poésie classique. Vous m'avez tiré de ma stupeur, tout au fond de ma province, pour me faire embarquer vers l'Eldorado des sciences du comportement.

Enfin, Mme Vinca Rivière, je vous remercie profondément. Vous m'avez soutenu, dans l'ombre et silencieusement. M'offrant du travail au dehors et au-dedans de l'université, me permettant d'autofinancer mon doctorat. Sans vous, rien de ce qui suit n'aurait été écrit, pas sous cette plume en tous les cas. Je n'ai trouvé chez vous d'égal à votre franc-parler que votre diligence et votre persévérance à élever et protéger ceux qui vous sollicitent. Je resterai toujours face à vous cet étudiant que vous sélectionniez il y a six ans : plein de respect,

d'estime, et systématiquement empreint d'une pointe d'anxiété immédiatement avant que vous ne vous adressiez à moi.

TABLE DES MATIERES

p.11	INTRODUCTION GENERALE
p.16	I. Les programmes de renforcement RF
p.16	<u>I.A. Les propriétés recensées des programmes de renforcement RF</u>
p.22	<u>I.B. Les programmes de renforcement RF chez l'humain : différences et similitudes avec les autres espèces</u>
p.24	<u>I.C. Modélisation des patrons de réponses des animaux soumis à des programmes de renforcement RF</u>
p.24	<i>I.C.1. Mazur (1982) : description et critique d'un modèle probabiliste</i>
p.29	<i>I.C.2. Bizo et Killeen (1997) : description et critique d'un modèle mécaniste</i>
p.31	II. Alternatives dans l'analyse des patrons de réponses
p.32	<u>II.A. Les régressions linéaires multiples</u>
p.34	<u>II.B L'analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens</u>
p.36	III. Plan argumenté des expériences de la thèse
p.39	CHAPITRE I - Expérience 1 - Etude de la correspondance entre la discrimination conditionnelle de comportements par des quantités de réponses itérées et l'évolution de l'entropie des TIRs
p.41	Introduction
p.43	Méthode
p.43	<u>Participants et matériel</u>
p.44	<u>Procédure</u>
p.44	<i>Calibration</i>
p.44	<i>Réponses mesurées</i>
p.45	<i>Déroulement d'un essai</i>
p.47	<i>Instructions données aux participants</i>
p.48	<i>Critère de réussite et durée des conditions</i>
p.48	<i>Condition contrôle I</i>
p.50	<i>Condition aveugle</i>
p.51	<u>Analyses des données</u>
p.51	<i>Données et critère de décision</i>

p.51	<i>Variabilité des TIRs</i>
p.53	<i>Différence relative des médianes</i>
p.55	Résultats
p.55	<u>Discrimination conditionnelle par les quantités de réponses itérées</u>
p.55	<u>Variabilité des TIRs</u>
p.57	<u>Effet du temps écoulé pendant la complétion de la composante 1 sur les performances en composante 2</u>
p.59	Discussion
p.63	CHAPITRE II - Expérience 2 - Etude exploratoire de la dynamique des réponses de participants humains soumis à des programmes de renforcement RF
p.65	Introduction
p.67	Méthode
p.67	<u>Participants et matériel</u>
p.67	<u>Procédure</u>
p.68	<i>Calibration, topographie de la réponse et déroulement d'un essai</i>
p.68	<i>Instructions</i>
p.69	<u>Analyses des données</u>
p.69	<i>Ensembles de données</i>
p.70	<i>Défauts des ensembles de données</i>
p.71	<i>Régressions linéaires multiples</i>
p.72	<i>Analyses dynamique via le théorème de plongement de Takens</i>
p.75	Résultats
p.75	<u>Patrons de réponse</u>
p.76	<u>Régressions linéaires multiples</u>
p.79	<u>Analyses dynamiques via le théorème de plongement de Takens</u>
p.81	Discussion
p.83	CHAPITRE III - Expérience 3 - Etude de la correspondance entre la reconstruction d'attracteurs via le théorème de plongement de Takens à partir des patrons de réponses de participants humains soumis à des programmes de renforcement RF avec et sans perturbation de la dynamique des réponses et les performances de ces participants lors d'une tâche de discrimination conditionnelle par des quantités de réponses itérées
p.85	Introduction

p.87	Méthode
p.87	<u>Participants et matériel</u>
p.87	<u>Procédure</u>
p.87	<i>Topographie de la réponse dans chaque ensemble de conditions</i>
p.88	<i>Succession des conditions</i>
p.89	<i>Ensembles de données</i>
p.89	<u>Analyses des données</u>
p.89	<i>Comparaison de l'ellipse à une population bootstrap</i>
p.89	<i>Comparaison de l'aire de recouvrement à une population bootstrap</i>
p.91	Résultats
p.91	<u>Réplication des résultats de l'expérience 2</u>
p.94	<u>Confrontation des résultats des analyses dynamiques non linéaires avec les performances des participants à l'expérience 1</u>
p.95	<u>Effet de la perturbation de la dynamique des réponses via la modification de la topographie des réponses</u>
p.97	Discussion
p.99	CHAPITRE IV - Expérience 4 - Etude de l'effet de la modification de la dynamique des réponses lors d'une tâche de discrimination conditionnelle des comportements par des quantités de réponses itérée sur l'évolution de l'entropie des TIRs
p.101	Introduction
p.103	Méthode
p.103	<u>Participants et matériel</u>
p.103	<u>Procédure</u>
p.105	Résultats
p.107	Discussion
p.109	DISCUSSION GENERALE
p.109	I. Dynamique des réponses itérées
p.112	II. Quantités de réponses itérées et temps
p.115	III. Limites et ouvertures
p.117	CONCLUSION
p.119	REFERENCES

p.127 **ANNEXES**

p.129 Annexe 1.1 : tableau des données pour tous les participants des expériences 1 et 4 ayant atteint le critère en composante 2

p.130 Annexe 1.2 : tableau des données pour tous les participants des expériences 1 et 4 n'ayant pas atteint le critère en composante 2

p.131 Annexe 2 : comparaisons deux à deux pour toutes les conditions où la réponse T1 était requise pour chaque participant (expérience 3)

p.133 **APPENDIX**

p.135 Appendix 1 : la capture par l'analyse dynamique non linéaire de la variabilité du système étudié

p.141 Appendix 2 : détermination du nombre de classes pour mesurer l'entropie : méthode de discrétisation de données continues basée sur l'entropie (Clarke & Barton, 2000)

p.143 Appendix 3 : illustration de l'analyse de l'évolution de l'entropie des débits instantanés de réponses

p.147 Appendix 4 : analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens à partir des patrons de réponses des participants et conclusions à propos des applications de premiers retours

p.151 Appendix 5 : comparaisons des applications de premiers retours pour un même participant dans des conditions différentes

p.154 Résumé et mots clés

INTRODUCTION GENERALE

La discrimination opérante par les quantités de réponses itérées apparaît, pour un organisme, lorsqu'un ou plusieurs de ses comportements est / sont discriminé(s) par un nombre fixe ou moyen de réponses qu'il vient juste d'émettre. Ce champ de recherche s'inscrit dans celui, plus large en psychologie, de la discrimination par les quantités.

L'un des premiers chercheurs à étudier de façon expérimentale la capacité des animaux à « compter » (à comprendre par « voir ses comportements discriminés par la répétition d'une même réponse effectuée immédiatement avant une tâche de discrimination ») est Lindsay, ce qu'il rapporte au travers de son ouvrage *Mind in the Lower Animals* (Lindsay, 1880). L'auteur y conclut que les avancées technologiques et l'état de l'expérimentation ne permettent pas d'affirmer, ni d'infirmer, l'existence de telles facultés numériques chez les animaux. Plus tard, Koelher, éthologiste allemand, contemporain de Lorenz, mènera un long programme de recherches sur le comptage chez les animaux, qui aboutira en 1957 à la publication d'un ouvrage : *Thinking without words*. L'une des expériences phare de Koelher (Koelher, 1941, cité par Rilling, 1993), consistait à apprendre à un pigeon à sélectionner 5 items de nourriture parmi 23 items via une procédure de punissement. Les conclusions de Koehler seront a) qu'il existe bien une faculté de compter chez les animaux, b) que cette faculté est apprise au cours de l'expérience, et c) qu'elle a lieu sans l'usage de mots ou de symboles (Koehler, 1957, cité par Rilling, 1993).

Nous utiliserons ici la classification de Honig (Honig, 1993, p.61) et distinguerons la discrimination par les nombres (où des quantités adjacentes contrôlent spécifiquement des réponses distinctes) de la discrimination par les numérosités (où ces réponses distinctes sont contrôlées spécifiquement par des quantités non adjacentes). Ici, il faut comprendre « quantité

adjacentes » comme des quantités qui correspondent à des nombres entiers successifs (e.g. 2 et 3 sont des quantités adjacentes, tandis que 2 et 4 sont des quantités non adjacentes).

La discrimination par les quantités a été étudiée de diverses façons chez des organismes d'espèces variées. Des études chez l'oiseau ont ainsi été menées (e.g. Rayburn-Reeves, Miller & Zentall, 2010 pour des nombres absolus ou Al Aïn et al., 2009 pour des quantités relatives discrètes et continues). En outre, des études chez le mammifère comme le rat (e.g. Capaldi & Miller, 1988 pour des nombres absolus), le singe (e.g. Matzuzawa, 1985 pour des nombre absolus), ou l'humain (e.g. Almeida, Arantes & Machado, 2007 pour des quantités relatives ou Lautrey, Mullet & Pacques, 1989 pour des quantités continues relatives) ont été conduites également. Des symboles renvoyant à des quantités spécifiques (renvoi permis par entraînements d'appariements quantités-symboles préalables) ont été utilisés dans plusieurs études (e.g. Boysen & Bernston, 1995). Les propriétés cardinales des nombres ont été utilisées pour contrôler les réponses (e.g. Matzuzawa, 1985). Dans cette étude, une quantité d'item(s) était présentée au sujet, et celui-ci devait répondre sur un écran tactile sur le symbole correspondant (chiffres arabes) pour obtenir de la nourriture. Les propriétés ordinales des nombres ont aussi été utilisées pour contrôler les réponses des organismes (e.g. Biro & Matzuzawa, 1999). Ici, c'est l'ordination correcte de séquences de trois symboles (chiffres arabes) qui permettait l'obtention de nourriture.

Cet ensemble de références non exhaustif nous apprend que la capacité pour les organismes à voir leurs réponses contrôlées par des quantités est partagée par diverses espèces, ce qui nous permet d'émettre l'hypothèse qu'un mécanisme commun au travers des espèces, à l'origine des résultats ici cités, pourrait être impliqué, comme le suggèrent Al Aïn et al. (2009).

Notons que les études susmentionnées employaient, pour traiter du contrôle de réponses par des quantités distinctes, des stimuli externes (renforçateurs, items neutres, sons, aires, volume, etc.). Toutefois, la discrimination des réponses par des numérosités relatives ou absolues peut également être appréhendée autrement. En effet, la répétition d'une même réponse un nombre fixe ou moyen de fois peut constituer un stimulus en soi, apte à contrôler une réponse ultérieure à cette répétition.

Avant d'aller plus avant, nous précisons ici que nous ne nous pencherons pas sur la littérature concernant le dénombrement numérique (comptage) des stimuli ou des réponses. En effet, nous nous intéressons à explorer comment le processus de discrimination des comportements par les quantités discrètes s'opère en l'absence de comptage et non comment le comptage permet une discrimination des réponses.

Pour aller dans ce sens, rapportons ici les résultats enregistrés par Ferster et Skinner (Ferster & Skinner, 1957). Ces auteurs ont étudié, entre autres, les programmes de renforcement mixés. Cette contingence de renforcement consiste en l'alternance aléatoire de deux ou plusieurs programmes de renforcement. Un renforçateur est délivré lors de la complétion de chaque programme. Aucun stimulus spécifique n'est associé aux programmes de renforcement. Ferster et Skinner ont observé les performances de pigeons carnaux lorsque ceux-ci étaient soumis à des programmes de renforcement mixés à raisons fixes (RF) différentes (RF 50 Vs. RF 250). Dans les programmes de renforcement à raisons fixes, l'émission d'un nombre fixe de réponses est immédiatement suivie par la délivrance d'un agent renforçateur. En observant les enregistrements cumulés des oiseaux, ils ont observé que dans le programme à raison large (RF 250), une pause était réalisée par les animaux au voisinage de la 50^{ème} réponse (la valeur de la raison de l'autre programme). Ce résultat suggère que l'émission des 50 premières réponses suivie de renforcement dans le programme à raison faible (RF 50) entraîne l'acquisition par les animaux du contrôle d'une période de

non réponse, observable lors de la complétion par ceux-ci de la raison la plus large de l'autre programme. Mechner (1958) avancera l'idée que ce résultat va dans le sens d'un contrôle du comportement par la répétition d'une même réponse un nombre fixe de fois.

Pour étudier ce phénomène, Mechner (1958) réalise une expérience dans laquelle des rats ont à répondre sur un levier après avoir complété un RF N sur un autre levier (N prenant les valeurs 4, 8, 12 et 16 en fonction des conditions) pour obtenir un renforçateur, sans que la complétion du RF N ne soit signalée. Il montre au cours de cette expérience que les rats peuvent apprendre à répondre au moins N fois sur le premier levier avant de répondre sur le second. Lorsqu'on analyse le graphique présentant la fréquence relative des nombres d'appuis N sur le levier A en fonction du nombre d'appuis déjà effectués sur ce levier A, l'abscisse de la valeur maximale de ces fréquences relatives est au voisinage de N, quelle que soit la valeur de N testée. Il est à noter que quand N augmente, l'écart-type des courbes des fréquences relatives augmente, et l'abscisse de leur valeur maximale s'éloigne de N. Ce dernier point suggère que les quantités les plus larges de réponses itérées acquièrent un contrôle moins précis que les quantités plus faibles sur le comportement de changer de levier chez le rat. Machado utilisera ce paradigme expérimental chez le pigeon (Machado & Rodrigues, 2007). Il répliquera pour cette espèce animale les résultats de Mechner (1958) dans une première expérience, en utilisant 4 valeurs de N (4, 8, 16 et 32). Dans cette expérience les pigeons ont à leur disposition deux clés de réponses (droite et gauche). En analysant l'évolution de l'écart-type de la courbe des fréquences relatives du nombre d'appuis N sur la clé de réponse de gauche en fonction de N, il montrera que l'écart-type augmente proportionnellement avec N. L'autre expérience rapportée par les auteurs dans cet article étudie l'effet de la probabilité d'obtenir de la nourriture suite soit à précisément 4 appuis sur la clé de gauche avant un appui sur la clé de droite, ou suite à un retour vers la clé de gauche pour un nombre total d'au moins 16 appuis avant d'appuyer de nouveau sur la clé de droite. Il montre que pour des probabilités

de renforcement $p = 1,0$ et $p = 0,5$ les animaux apprennent à produire deux numérosités de réponses (autour de 4 et 16 appuis donc) en une seule condition. Pour une probabilité de renforcement $p = 0,25$ les résultats diffèrent en fonction des animaux. Les auteurs proposent ensuite un modèle pour rendre compte de ce phénomène tenant compte de la linéarité de l'évolution de l'écart-type en fonction de la taille de N. Ce modèle spécifique à ce phénomène de différenciation de la numérosité des réponses dans ce paradigme expérimental particulier ne sera pas présenté ici, puisque s'éloignant de notre thématique.

Les résultats des deux études qui viennent d'être présentées laissent penser que le nombre de réponses émises sur le premier levier, et / ou le temps écoulé pour les émettre sont les seules variables indépendantes susceptibles de rendre compte du fait que le nombre moyen de réponses sur le premier levier à chaque essai soit au voisinage de N pour toutes les valeurs de N testées. En d'autres mots, on peut affirmer que le nombre de réponses requis par la raison d'un programme RF et / ou le temps écoulé pour les émettre permet la mise en place d'une discrimination opérante.

Ainsi, l'étude des patrons de réponses des organismes soumis à des programmes de renforcement RF semble pertinente pour appréhender l'étude de la discrimination par les quantités.

Dans la présente, nous commencerons par nous atteler à recenser les propriétés connues des patrons de réponses enregistrés pour des animaux soumis à des programmes de renforcement RF. Nous nous arrêterons ensuite sur les résultats obtenus pour des participants humains plus spécifiquement et répertorient les similitudes et les différences existantes en comparaison des autres espèces. Après quoi, les modèles de Mazur (1982) et de Bizo et Killeen (1997) feront l'objet d'une présentation et d'une critique argumentée. Nous

poursuivrons en présentant des analyses alternatives de ces patrons de réponses. Enfin, nous présenterons le programme expérimental de la thèse.

I. Les programmes de renforcement RF

I.A. Les propriétés recensées des programmes de renforcement RF

Le patron des réponses engendré par ce programme a été largement étudié et décrit depuis 1957 (Ferster & Skinner, 1957) et s'articule autour de deux phases : une période de non-réponse après distribution de l'agent renforçateur est suivie par une transition relativement rapide vers un débit élevé et stable de réponses qui se maintient jusqu'à la distribution de l'agent renforçateur suivant. Notons que cette période de non réponse est appelée pause post-renforcement ou pause pré-raison. L'appellation PPR vaudra ici et nous dégagera de ce fait d'une prise de position à ce propos, qui ne fait pas l'objet de la présente. La PPR générée par les programmes RF a particulièrement attiré l'attention des chercheurs. En effet, contrairement à la PPR rencontrée dans les programmes à intervalles temporels, la pause qui suit la délivrance de l'agent renforçateur dans les programmes à raisons fixes n'est pas induite par les contingences de renforcement et entraîne une diminution de la fréquence globale de renforcement. Un patron de réponses optimal impliquerait la réémission par l'organisme de réponses immédiatement après la consommation par celui-ci de l'agent renforçateur.

Penchons-nous brièvement sur les programmes de renforcement à raisons variables (RV). Dans un programme de renforcement RV, la distribution du renforçateur suit immédiatement l'émission d'un nombre variable de réponses dont la moyenne et la dispersion autour de celle-ci ont été préalablement programmées par l'expérimentateur. Soumis à ce type de programmes, les animaux n'exhibent généralement pas de PPR. L'absence manifeste de pauses dans le patron de réponses de ces programmes de renforcement RV permet d'écarter

l'hypothèse de la fatigue due à la complétion de la raison précédente (Crossman, Bonem & Phelps, 1987 ; Mazur, 1983).

Il n'existe pas de consensus autour de la question de la présence des PPRs dans les programmes RF. Néanmoins, les tentatives d'explications récentes mettent l'accent sur le contrôle de différentes variables entrant en compétition : la faible probabilité de renforcement des réponses au début de la raison, la compétition avec d'autres sources de renforcement non contrôlées par l'expérimentateur et les propriétés aversives de la quantité de réponses restant à émettre (respectivement, Peronne & Courtney, 1992 ; Derenne & Baron, 2002 ; Perone 2003).

En parallèle à ce qui précède, les chercheurs relèvent qu'il existe une importante variabilité inter et intra individuelle dans la longueur des pauses générées par les programmes de renforcement RF (Ferster & Skinner, 1957 ; Powell, 1968). Un examen des enregistrements cumulés des réponses et des distributions des fréquences de la longueur des pauses montre qu'en dépit de certaines similitudes et d'une régularité évidente de l'occurrence des pauses, leur longueur et l'accélération du débit de réponses varient considérablement. Ainsi, les travaux déjà réalisés sur le sujet appuient l'idée que différentes variables affectent la durée des PPRs : la taille de la raison (Felton & Lyon, 1966 ; Powell, 1968), la quantité de renforcement (Peronne & Courtney, 1992 ; Powell, 1969), le niveau de privation (Malott, 1966 ; Sidman & Stebbins, 1954, cités par Mazur & Hyslop, 1982), et l'effort de réponse (Alling & Poling, 1995 ; Wade-Galuska, Perone & Wirth, 2005) principalement. De manière générale, la durée moyenne de la pause tend à augmenter à mesure que le niveau de privation ou la quantité de renforcement diminuent, ainsi que lorsque l'effort requis augmente. Notons que la probabilité de renforcement fréquemment citée (e.g. Schlinger et. al., 2008), dépend intrinsèquement de la taille de la raison. En effet, elle dépend du rang n_i de la réponse dans la complétion de l'essai de raison n par l'organisme soumis au

programme. Elle ne sera pas traitée directement ici, les propriétés ayant trait à la taille de la raison faisant l'objet de ce qui suit.

A propos de la taille de la raison, notons premièrement que bien que les variables affectant la durée des PPRs aient fait l'objet d'un nombre important d'investigations, il s'avère que l'étude du débit de réponses, à savoir le nombre de réponses émises par unité de temps, et son inverse, les temps inter-réponses (TIRs, i.e. le temps écoulé entre l'émission de deux réponses), ont moins suscité l'attention des chercheurs. En effet, il est fréquemment admis et accepté que la PPR est suivie par une transition rapide vers un débit de réponses élevé et stable. Néanmoins, une analyse détaillée de la répartition temporelle des réponses dans les programmes RF semble indiquer une fois de plus l'existence de différences inter et intra individuelles (Davison, 1969 ; Crossman et al., 1985 ; Mazur et Hyslop, 1982). Les données sur les TIRs d'un sujet, présentées par Mazur et Hyslop (1982) illustrent parfaitement ce phénomène : les TIRs semblent être distribués autour d'une valeur modale, mais lors de certains essais, des TIRs longs sont observés en début d'essai, tandis qu'ils le sont en fin d'essai pour d'autres essais. Une irrégularité qui semble compromettre des prédictions précises quant à la distribution des réponses intra essais au fil de ceux-ci.

Un certain nombre de chercheurs estiment que les variables contrôlant le débit de réponses dans les programmes de renforcement RF, sont indépendantes de celles contrôlant la durée de la PPR, notamment la taille de la raison, le niveau de privation ou la quantité de renforcement (respectivement, Mazur et Hyslop, 1982 et Powell, 1968 à propos de la taille de la raison ; Sidman & Stebbins, 1954, cités par Mazur et Hyslop, 1982, en ce qui concerne le niveau de privation ; et Powell, 1969, quant à la quantité de renforcement). Le débit de réponses ne serait pas sensible à ces variables. Par exemple, Powell (1968, 1969) conclut que des variables telles que la taille de la raison ou la quantité de renforcement ont peu d'effet sur le débit de réponses lorsqu'il est mesuré indépendamment de la PPR. Néanmoins, ce constat

ne fait pas consensus. Crossman et al. (1985) affirment que bien qu'il soit affecté dans une moindre mesure comparativement à la PPR, le débit moyen de réponses, est également influencé par la variable manipulée au cours de l'expérience, à savoir la taille de la raison. Il est probable que les variables contrôlant la durée de la PPR et le débit de réponses interagissent de manière complexe et les auteurs ajoutent qu'il existe également des interactions entre la durée de la pause et le débit de réponses. Afin de mieux étudier ce phénomène, synthétisons les propriétés recensées, quant à l'impact de la taille de la raison, variable la plus étudiée à ce jour, sur la durée des PPRs et le débit de réponses.

Certains auteurs (Gott & Weiss, 1966 ; Mazur, 1983 ; Crossman et al., 1985) ont noté que la distribution des TIRs (inverse du débit de réponses) suivait des régularités pour des raisons suffisamment élevées (e.g. : RF 30). Ainsi, les premiers TIRs de l'essai sont plus longs tandis que ceux-ci s'écourtent à mesure que le rang de la réponse émise par l'organisme soumis au programme de renforcement approche de la fin de l'essai.

En parallèle de ces résultats, Pear et Rector (1979) proposeront de distinguer la propension de la vitesse. La propension correspond, dans leur conceptualisation, au temps que passe l'organisme dans le programme, c'est donc une dimension molaire, qui tient compte dans le calcul du débit de réponses des PPRs (débit global). La vitesse, elle, représente le nombre de réponses par unité de temps entre deux PPRs (c'est l'inverse des TIRs cumulés, calculé en excluant les PPRs, labélisé débit courant dans ce qui suit). Comme nous le verrons, cette distinction peut s'avérer judicieuse pour distinguer l'effet de la taille des raisons sur les PPRs versus l'effet de cette même taille sur le débit mesuré en excluant les PPRs.

Mazur et Hyslop (1982) retrouveront des résultats similaires, et néanmoins plus précis, que ce que nous avons pu voir précédemment. En effet, ils noteront à l'instar de ce qu'ont pu observer et Felton et Lyon en 1966, et de façon moins consistante Powell en 1968, que le

débit de réponses global (PPR incluses) tend à diminuer à mesure que la taille de la raison augmente. Toutefois, en cohérence avec les résultats de Powell en 1969, ils noteront que les débits de réponses courants (PPRs exclues) ne seront que peu modifiés en fonction de l'augmentation de la raison. L'effet de l'augmentation de la taille de la raison de façon inversement corrélée avec la diminution du débit de réponses global et l'absence d'effet de cette même augmentation sur le débit de réponses courant apparaissent consistants avec la distinction présentée plus haut proposée par Pear et Rector (1979).

Des résultats inverses ont par contre été enregistrés quand les raisons testées sont plus basses (Crossman et al., 1985 - RF 6 et RF 7 ; Davison, 1969 - RF 6).

Dans l'étude susmentionnée de Crossman et de son équipe, l'effet de la taille de différentes raisons sur les débits de réponses et la longueur des PPRs est analysé (Crossman et al., 1985). Leurs résultats confirment l'idée que des propriétés distinctes sont observables selon que les raisons testées sont très faibles (RF 1 à RF 3), faibles (RF 6 à RF 7) ou que la raison testée est élevée (RF 30). Ils rapportent de ce fait que pour des raisons très faibles (RF 1 à RF 3), une augmentation de la taille de la raison entraînera une augmentation du débit de réponses et une diminution de la longueur des PPRs (augmentation du débit de réponses courant et global, c'est-à-dire, que les PPRs soient exclues ou incluses). Ils rapportent également que lorsque la raison est un peu plus élevée (RF 6 ou RF 7), une augmentation des PPRs est alors observée, entraînant une diminution du débit de réponses global (PPRs incluses), mais sans incidence sur le débit de réponse courant (PPRs exclues), les TIRs restant approximativement constants. Ce dernier résultat étant consistant avec ceux obtenus lorsqu'une raison encore plus élevée (RF 30) est testée, ainsi qu'avec les résultats enregistrés par d'autres auteurs (Felton & Lyon, 1966 ; Powell, 1968).

Mazur et Hyslop (1982), arborant une approche probabiliste de la distribution des réponses, repéreront une propriété intéressante. Ainsi, ils noteront que quelles que soient les conditions dans lesquelles ils placent les oiseaux qu'ils soumettent à des programmes de renforcement RF des régularités dans la distribution des TIRs (PPRs exclues) sont observables au fil des essais. Ils testeront ainsi l'effet de la présence ou non d'un « time out » après la délivrance du renforçateur. Ce « time out » consiste en l'extinction de la clé de réponse ce qui entraîne une période au cours de laquelle les réponses sur cette clé restent sans conséquence, immédiatement après la distribution du renforçateur. Ils appliqueront ces tests à différentes tailles de raisons fixes (présentement 50, 100 ou 150 réponses requises). Ces observations leur permettront de classer lesdits TIRs en trois catégories en fonction de trois valeurs modales (1, 3 et 5 secondes), qu'ils catégoriseront respectivement comme des TIRs courts, intermédiaires et longs, dont la probabilité d'apparition pour chaque catégorie évolue comme suit :

- La probabilité des TIRs longs est haute en début d'essai.
- Ensuite, elle décroît tandis que la probabilité des TIRs intermédiaires augmente.
- Enfin, tandis qu'elle continue de décroître, la probabilité des TIRs intermédiaires décroît également.
- En parallèle la probabilité des TIRs courts augmente tout au long de l'essai.

Malgré les dissensions rencontrées dans la littérature quant aux régularités et propriétés, respectivement observées et recensées, dans les patrons de réponses des programmes de renforcement RF, il a pu ici être proposé une compréhension plus fine de l'effet de la taille de la raison sur les débits de réponses. Le croisement des données enregistrées nous permet de comprendre mieux comment les différentes raisons affectent la distribution des réponses, et discriminent donc la dynamique de ces réponses. Les résultats ici

rapportés l'ont tous été auprès de sujets animaux non humains, penchons-nous désormais sur les études ayant investigué les patrons de réponses des humains soumis aux programmes de renforcement RF.

I.B. Les programmes de renforcement RF chez l'humain : différences et similitudes avec les autres espèces

Comme nous l'avons rapporté plus haut, les patrons de réponses exhibés par les animaux non humains soumis à des programmes de renforcement RF s'organisent en deux phases qui se succèdent (PPR puis transition rapide vers un débit élevé stable). Bien que ces programmes de renforcement aient fait l'objet d'investigations chez l'humain les auteurs rapportent tous, à une exception près, que les patrons décrits juste avant n'apparaissent pas contrairement à d'autres espèces, du fait de l'absence de PPR (Sanders, 1969). Les auteurs suggèrent que ces différences soient dues au fait que les propriétés fonctionnelles des réponses requises et des renforçateurs délivrés dans les expériences aux animaux non humains ne sont pas équivalentes à celles des participants humains (Williams, Saunders & Perone, 2011).

Les similitudes avec d'autres espèces concernent d'autres propriétés des patrons de réponses. Wanchisen, Tatham et Himeline (1992), chercheront par exemple à répliquer chez l'humain une étude qu'ils avaient réalisée chez le pigeon (Wanchisen, Tatham & Himeline, 1992), investiguant l'optimalité des choix lorsque les sujets sont exposés à des programmes concurrents RF – RP. Ici, RP renvoie à un programme de renforcement à raison progressive, fonctionnant de la même façon qu'un programme RF mais pour lequel la raison évolue de façon prédéfinie par l'expérimentateur au fil des essais. Ils rapporteront que certains résultats quant à l'allocation des choix dans l'une des conditions peuvent paraître proches mais resteront très prudents vis-à-vis de cette comparaison, arguant des différences de paradigmes

expérimentaux principalement (Wanchisen, Tatham, Himeline, 1992). L'année suivante, la même équipe relève que des effets sur la variabilité spatiale des réponses sur un écran quadrillé sont observés en fonction de la taille de la raison des programmes de renforcement, chez l'humain, que les participants soient soumis à un programme de renforcement RF ou RV (Tatham, Wanchisen & Himeline, 1993). Dans aucune de ces deux études ils n'apporteront de précision à propos de la distribution temporelle des réponses lors de la complétion des programmes de renforcement RF. Plus récemment, Williams, Saunders et Perone (2011) relèveront également des propriétés similaires chez l'animal humain et non humain en répliquant une étude réalisée sur des pigeons en vue d'en généraliser les résultats à des participants humains. Dans ces deux études (Perone & Courtney, 1992 pour l'étude pionnière et Williams, Saunders et Perone, 2011 pour la réplication), les auteurs cherchent à observer l'effet de la transition de programmes de renforcement RF riches vers des programmes de renforcement RF pauvres lorsque les sujets sont soumis à des programmes de renforcement multiples, sur la longueur des PPR. Dans les programmes de renforcement multiples, deux ou plusieurs composantes se succèdent, un renforçateur est délivré après la complétion de chaque composante, et chaque composante est associée à un stimulus spécifique. Ils montreront qu'à l'instar des oiseaux de l'étude initiale, les humains peuvent voir leurs comportements contrôlés par l'effet conjoint des renforçateurs perçus et des stimuli signalant la valeur (pauvre ou riche) de la composante à venir. En effet, des PPRs plus longues apparaissent lorsque la composante pauvre suit immédiatement la composante riche. Notons qu'avec l'étude de Miller (1968) présentée ci-après, ce sont les seuls cas où des PPRs ont été observés chez l'humain pour ce type de programme de renforcement. Néanmoins, ce résultat reste à nuancer, puisque celles-ci sont observées lorsque les humains sont soumis à des programmes multiples et non à des programmes de renforcement RF classiques (i.e. où la même raison est présentée au fil des essais).

Le seul cas dans la littérature où des PPRs sont observées chez l'humain soumis à des programmes de renforcement RF est rapporté par Miller en 1968 (Williams et al., 2011, cités ci-avant notent également que c'est le seul cas existant). Pour ce faire, l'auteur aura requis une réponse difficile à émettre (Miller, 1968). Cette réponse difficile à émettre (réponse vocale dont le volume variait entre 90 et 102 dB en fonction des participants) était renforcée négativement (elle entraînait la réduction de l'effort d'une autre réponse placée sous une contingence de renforcement positif). Nous nous sommes inspirés, comme nous le verrons, de la façon de procéder de Miller pour définir les réponses requises pour la complétion des programmes de renforcement RF dans les expériences rapportées ici.

Nous avons revu à la fois les propriétés recensées, mais aussi les divergences inter espèces et la difficulté plus générale à correctement organiser les connaissances à propos de patrons de réponses dans les programmes de renforcement RF que ce soit chez l'humain ou pour les autres espèces. Penchons-nous désormais sur deux modélisations des patrons de réponses des animaux soumis à des programmes de renforcement RF proposées à ce jour, à savoir celle de Mazur en 1982, et celle de Bizo et Killeen en 1997.

I.C. Modélisation des patrons de réponses des animaux soumis à des programmes de renforcement RF

I.C.1. Mazur (1982) : description et critique d'un modèle probabiliste

Mazur se propose de modéliser les patrons de réponses dans les programmes de renforcement RF, et a, de ce fait, élaboré des équations qu'il a ensuite programmées afin de simuler informatiquement le comportement du système.

Son approche est quantitative et moléculaire. L'approche moléculaire se distingue de l'approche molaire. Une approche molaire (e.g. la loi de l'égalisation¹ - Herrnstein, 1961), propose une description et une modélisation du comportement d'un système pris dans sa globalité, sans prise en compte des réponses prises localement voire individuellement. Une approche moléculaire tiendra compte à l'inverse de l'effet des réponses et de leurs conséquences immédiates sur les réponses qui les suivent immédiatement (Cheney & Pierce, 2004).

Pour élaborer ses équations, Mazur relève plusieurs points essentiellement issus des travaux de Crossman et de ses collaborateurs (études référencées spécifiquement plus bas). Notons ici que des programmes de renforcement multiples s'alternent de façon aléatoire et sont distinctement signalés, le renforçateur est distribué à la fin de chaque programme. Mazur relate, en premier lieu, que lorsqu'un organisme est soumis à des programmes de renforcement multiples (programmes de renforcement RF différents, à savoir RF 10 et RF 100), la PPR est corrélée à la taille de la raison à venir et non à celle qui vient d'être réalisée² (Crossman, 1968). En second lieu, quand l'organisme est soumis à des programmes mixés (même principe que les programmes multiples, sauf qu'aucun stimulus ne signale le programme en cours), un effet dit d'amorçage est observé : une pause apparaît dans le programme dont la raison est la plus élevée après une réponse dont la valeur modale correspondant à la dernière réponse du programme le plus faible (Crossman & Silverman, 1973). En dernier lieu, à mesure que la complétion de la raison arrive à son terme une diminution des pauses intra essai est observée (Powell, 1970).

Mazur postule donc que, de façon générale, la probabilité d'émission du comportement opérant dépend en grande partie du nombre de réponses qu'il reste à émettre

¹ Matching law en anglais.

² Notons que ceci corrobore l'idée d'une pause pré-raison plutôt que d'une pause post renforcement.

avant la complétion de la raison totale. Plus précisément, la probabilité d'émission d'une réponse est inversement proportionnelle au nombre de réponses qu'il reste à fournir pour compléter l'essai en cours.

Pour commencer, nous décrivons le cheminement permettant de comprendre le modèle de Mazur, nous reviendrons ensuite sur les différentes critiques qui peuvent lui être opposées.

Dans son modèle, Mazur propose de distinguer deux types de comportements : les comportements opérants (ceux qui, après un nombre préalablement fixé de répétitions, entraîneront la distribution du renforçateur) et les autres comportements (tous les comportements qu'est susceptible d'émettre l'organisme et qui ne sont pas le comportement opérant). Ainsi, soient deux catégories de comportements : la catégorie I comprenant les comportements opérants et le comportement contingent (cas particulier des comportements opérants : c'est le comportement opérant qui est immédiatement suivi par la distribution du renforçateur) et la catégorie O comprenant les autres comportements.

A chaque seconde t , une valeur effective non négative peut être assignée à chaque comportement de chaque catégorie : $v_{i,t}$.

La probabilité qu'un comportement i apparaisse à un instant t est donc égale à la valeur effective relative de ce comportement, c'est-à-dire à sa valeur effective divisée par la somme totale de la valeur effective de tous les autres comportements :

$$P(i, t) = \frac{v_{i,t}}{\sum_{i=1}^n v_{i,t}} \quad (1)$$

Le comportement contingent ne pouvant être émis tant que le renforçateur n'est pas disponible, on peut réduire cette équation à :

$$P(I, t) = \frac{v_{I,t}}{v_{I,t} + v_{O,t}} \quad (2)$$

En vue d'intégrer l'impact des comportements précédents sur le comportement actuel du système, Mazur biaise la valeur du comportement actuel par un paramètre d'inertie S qui favorise le choix du comportement émis à la seconde $t - 1$. Pour ne pas se confronter à un choix exclusif d'un comportement i du fait de ce paramètre, il assigne à chaque comportement i une valeur absolue V_i qui ne dépend donc pas du comportement étant apparu immédiatement avant. Pour tous les comportements, excepté celui qui précède immédiatement le comportement à t , la valeur effective de ces comportements correspond à leur valeur absolue. De ce fait, si le comportement i n'a pas eu lieu à la seconde $t - 1$:

$$v_{i,t} = V_i. \quad (3)$$

Par contre, si le comportement i a eu lieu à la seconde $t - 1$:

$$v_{i,t} = SV_i. \quad (4)$$

En cohérence avec les théories de l'apprentissage, Mazur nous rappelle que la valeur du comportement V_i devrait être de 0 en ligne de base, et augmenter une fois soumise à une contingence de renforcement. En outre, il ajoute que la valeur de V_C , la valeur absolue du comportement contingent, devrait être supérieure à V_I de telle sorte que V_I tende vers V_C . Enfin, Mazur rappelle que la valeur d'un comportement, pour lequel un renforçateur est contingent, dépend de l'état de privation de l'organisme par rapport à ce renforçateur, à la quantité de renforcement délivrée de façon contingente à ce comportement, au nombre de répétitions du comportement à émettre avant la distribution du renforçateur et à l'effort nécessaire pour émettre le comportement. Il intègre ainsi ces différents paramètres et postulats et propose son modèle via l'équation suivante :

$$V_I = V_C \left(\frac{T_C}{T_C + (T_{I,t} + 1)^R - 1} \right), \quad (5)$$

où T_C est la durée du renforcement (transformation temporelle de la quantité de renforcement), $T_{I,t}$ est la quantité de réponse(s) opérante(s) qu'il reste à émettre pour compléter l'essai (mesurée en seconde, donc là aussi, une transformation temporelle de la quantité de réponse a été effectuée) et R est la valeur de l'effort de la réponse.

Pour résumer, tout d'abord, à chaque seconde, la probabilité d'un comportement dépend de sa valeur effective relativement aux valeurs effectives de tous les autres comportements possibles. Ensuite, le paramètre d'inertie S augmente la valeur effective du comportement émis à la précédente seconde. Enfin, la valeur absolue du comportement opérant à un instant t dépend de la valeur absolue du comportement contingent, de la durée de la présentation du renforçateur, de la durée restante nécessaire à l'émission des comportements requis pour compléter la raison, et de l'effort nécessaire à l'émission de chaque comportement opérant. Ainsi, après délivrance et consommation du renforçateur, le paramètre d'inertie favorise les autres comportements (équation (4)). Tant que les autres comportements sont choisis par la simulation, $v_{O,t}$ et $v_{I,t}$ ne changent pas. A contrario, dès la première émission du comportement opérant, le paramètre d'inertie favorise la poursuite de son émission. La probabilité d'émettre le comportement opérant augmente à chacune de ses émissions puisque la diminution de $T_{I,t}$ augmente la valeur de V_I . Lorsque l'avant-dernier comportement opérant est émis, le paramètre d'inertie favorise alors le comportement contingent.

Mazur a ensuite testé différentes valeurs de V_C et R pour confronter son modèle à différents résultats empiriques. Ainsi pour des valeurs différentes de ces deux paramètres, les simulations de son modèle correspondront aux données empiriques récoltées par Kaplan en 1956, Winograd en 1965, et Powell en 1968 et 1969.

Ce modèle, consistant avec les données empiriques rappelées au paragraphe précédent, souffre néanmoins de plusieurs faiblesses. La première est sa dimension ad hoc. En effet, pour

que les simulations correspondent auxdites données, Mazur se voit forcé de tester différentes valeurs pour les paramètres libres que sont V_C et R . De plus ces paramètres ne sont pas constants au travers des données expérimentales pour lesquelles il cherche à faire correspondre les simulations de son modèle. Cet état de fait n'entraîne une puissance du modèle qu'à posteriori et réduit donc grandement son pouvoir prédictif. En outre, ce modèle assume une première liberté théorique forte, pourtant non vérifiée, voire contredite dans la littérature en analyse du comportement. En effet, en transformant les quantités de réponses en durées (paramètres $T_{i,t}$ du modèle), Mazur postule à une équivalence entre le nombre de réponses et le temps, une idée pourtant contredite par Rilling (1967) et Killeen et Fetterman (1988). Notons en outre qu'il transforme de la même façon l'amplitude (la quantité) de renforcement via le paramètre T_C sans plus d'arguments scientifiques pour appuyer cette démarche. Enfin, le modèle renvoie de par sa construction au nombre de réponses qu'il reste à émettre dans l'essai, puisque de T_I , dépend V_I , la valeur du comportement prédit. Ceci soutient l'idée que le nombre de réponses total à émettre (ce qui est une donnée molaire) contrôle le comportement, puisqu'il contrôle V_I donc $P(I, t)$. On peut donc se poser la question de savoir pourquoi une approche moléculaire a été préférée par l'auteur.

I.C.2. Bizo et Killeen (1997) : description et critique d'un modèle mécaniste

Dans cet article, les auteurs cherchent à tester les prédictions réalisées par Killeen dans son article théorique *Mathematical Principles of reinforcement* publié en 1994. Cet article pose trois principes fondamentaux :

- des incitateurs excitent l'organisme et permettent ainsi que des réponses soient évoquées,
- il existe un plafond au débit d'une réponse donnée, et

- les réponses de l'organisme sont biaisées vers les réponses et contextes qui précèdent immédiatement les incitateurs.

Le modèle pour les programmes de renforcement RF est le suivant :

$$B = \frac{C}{\delta} - \frac{N}{a}, \quad (6)$$

Où B est le débit de réponse, δ (delta) la durée de la réponse (le temps que l'animal met pour exécuter la réponse de son initiation à sa terminaison), N le nombre de réponses requis pour compléter l'essai, a la valeur de l'incitateur, appelé « l'activation spécifique », paramètre qui englobe le niveau de privation et la topographie et la quantité du renforçateur, et C représente l'empan mnésique de l'animal et est calculé comme suit :

$$C = 1(1 - \beta)^N, \quad (7)$$

Où β correspond au poids attribué à la réponse la plus récente du répertoire comportemental de l'animal. L'originalité du modèle et de sa construction permet que l'empan mnésique C augmente avec N , ce qui a pour effet d'augmenter B . Ceci est tout à fait cohérent avec les conclusions de Mazur et Hyslop (1982) rapportées plus haut, à propos de la distribution des TIRs au cours de la complétion d'un essai dans un programme de renforcement RF. En outre, on se rend également compte que la privation et la valeur du renforçateur (a), ont un effet direct sur B , puisqu'ils augmentent sa valeur en augmentant. Point dont on ne commentera pas plus avant la correspondance évidente avec les données empiriques.

Les auteurs travailleront en outre à améliorer le modèle afin de permettre qu'il prédise également l'évolution des pauses en fonction de la taille des raisons des programmes de renforcement. Partant du fait que le taux de renforcement (nombre de renforçateur par unité de temps) correspond au rapport B/N , l'intervalle inter renforçateur T correspond donc à

l'inverse de ce rapport : $T = N/B$. La durée moyenne des PPRs t_p étant forcément une proportion des intervalles inter renforçateur, on peut accepter que $t_p = kT$ et écrire :

$$t_p = \frac{kN}{\frac{c}{\delta} - \frac{N}{a}} \quad (8)$$

Ce modèle n'est pas had oc, puisque comme le précisent et l'argumentent les auteurs, les paramètres sont choisis en suivant simplement les principes fondamentaux connus et communément acceptés en analyse du comportement. Néanmoins ce modèle rend compte tant au niveau du débit de réponses, qu'au niveau du temps de pause (le débit incluant le temps de pause étant présenté par les auteurs, n'a pas été présenté ici puisqu'il ne consiste qu'en la concaténation des équations 6 et 8) de données transformées. En effet, il saura évaluer comment le débit global pourra évoluer en fonction de la taille de la raison du programme, et ce de manière sensible à différentes réponses, nécessitant des efforts spécifiques, pour des états de privation différents des organismes, et il en est de même pour la longueur moyenne des pauses. Toutefois, il ne rend aucunement compte de la variabilité existante, et déjà rapportée dans la présente, des TIRs, qu'on parle des PPRs ou des TIRs dans les essais, donc des variations dans le débit. In fine, le modèle pourra prédire le coefficient directeur de la courbe de régression linéaire de l'enregistrement cumulé en fonction de la taille de la raison du programme. C'est un choix théorique tout à fait acceptable que de travailler à la prédiction du débit global et qui ne retire en rien la finesse du modèle proposé, mais force est de constater qu'un modèle pouvant rendre compte de la variabilité des données enregistrées gagnerait considérablement en puissance.

II. Alternatives dans l'analyse des patrons de réponses

Concernant la problématique qui nous concerne, à savoir la description du processus sous-tendant la discrimination des comportements des organismes par les quantités discrètes,

force est de constater que l'état de l'art ici rapporté nous apporte des explications nombreuses, parfois contradictoires, en somme diffuses. L'autre frein à une compréhension plus fine du fonctionnement de la discrimination par les quantités réside en le fait que les seuls modèles existants, présentés plus tôt, permettant une correspondance entre la simulation et les données empiriques sont soit ad hoc de par les paramètres libres qui le composent, soit éloignés de la réalité de par la transformation arbitraire des données, et sciemment construit de telle façon à rendre compte de données moyennées, faisant fi de la variabilité en tant que dimension des patrons de réponses, s'éloignant donc de la réalité.

Pour échapper à ces défauts, nous procéderons à deux types d'analyses permettant la construction de modèles : les régressions linéaires multiples, et l'analyse dynamique des réponses via le théorème de plongement de Takens. Nous comparerons les forces et les faiblesses de ces deux types d'analyses.

II.A. Les régressions linéaires multiples

Lorsqu'on se penche sur l'analyse dynamique linéaire des données en analyse du comportement, une étude réalisée par Lau et Glimcher semble proposer un outil d'analyse respectueux des critères que nous nous sommes fixés ici (Lau & Glimcher, 2005). Dans cette étude, des singes sont confrontés à une tâche de choix entre deux programmes de renforcement concurrents qui s'apparentent à des programmes de renforcements à intervalles variables (voir ci-après). Dans un programme de renforcement à intervalles variables (IV), la première réponse instrumentale apparaissant après un intervalle de temps moyen dont la moyenne et l'écart-type ont été préalablement définis par l'expérimentateur est suivie de la délivrance de renforcement. A la différence des programmes de renforcement à intervalles variables (IV), les contingences de renforcement évoluent dans l'étude de Lau & Glimcher (2005) en fonction des choix des sujets de telle façon à ce que la probabilité qu'une réponse

soit suivie de la délivrance du renforçateur sur une alternative augmentée à mesure que le sujet répond sur l'autre alternative. Ce type de contingences permet aux auteurs d'induire expérimentalement la production de changements d'alternative dans l'allocation des choix des sujets, tout en rendant les contingences à chaque moment dans la session directement dépendante des choix des sujets. L'analyse des auteurs utilisera pour prédire le choix des sujets à la fois les choix antérieurs et l'allocation des renforçateurs antérieurs sur chacune des alternatives. Si nous rapportons cette façon de procéder à l'étude des patrons de réponses dans les programmes RF (pour lesquels aucun choix entre deux alternatives n'est requis), cela revient à conduire une analyse par régressions linéaires multiples (e.g. Marden, 2015, p.70), où le TIR_n est prédit par le ou les TIRs qui le précède(nt). Suite à cette analyse, un modèle du type :

$$y_n = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_{n-1}X_{n-1} + \varepsilon, \quad (9)$$

est obtenu, avec n prenant la valeur du rang dans l'essai du TIR qu'on cherche à prédire, où y_n est le TIR à prédire, les séries de variables X_1 à X_{n-1} correspondent respectivement aux TIR_1 à TIR_{n-1} de tous les essais successifs analysés, les nombres a_0 à a_{n-1} sont les paramètres estimés (les coefficients qui pondèrent la valeur de la variable qui leur est associée dans la prédiction de y_n) et ε la valeur des résidus. Nous obtenons suite à ce type d'analyse la valeur dite r^2 correspondant à la proportion de variance expliquée de y_n par le modèle, avec une probabilité d'erreur donnée p . Cette analyse sera donc conduite, nous y reviendrons dans le traitement des données dans la partie méthode de l'expérience 2. La principale faiblesse de cette méthode d'analyse concerne la variance expliquée, plus précisément la variance non expliquée. En effet, si la proportion de variance expliquée n'est pas maximale, et au regard de la variabilité relatée par les auteurs cités au point I, il est très probable que ce soit le cas, la puissance de prédiction du modèle reste très faible.

II.B L'analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens

Nonobstant les critiques émises quant à la collecte de données, de résultats, et de conclusions proposées par les auteurs dans la revue introductive, plusieurs éléments qui y sont présentés peuvent s'avérer pertinents, à condition d'adopter un autre prisme quant à l'appréhension de ce problème. Ainsi, les propriétés recensées en premières parties tendent à systématiquement souligner la présence de variabilité inter et intra individus, inter et intra essais, et, inter et intra sessions tant dans la fréquence et la longueur des pauses longues que dans la distribution des TIRs, donc dans les débits de réponses courants et globaux. En outre, des régularités restent néanmoins indéniables pour ces deux dimensions (les PPR et le débit de réponses courant). Hoyert a été confronté aux mêmes phénomènes de variabilité et de régularités, mais dans l'analyse des patrons de réponses des organismes soumis à des programmes de renforcement à intervalles fixes (IF). Dans ces programmes, la première réponse instrumentale émise après un intervalle de temps préalablement fixé par l'expérimentateur est suivie de renforcement. Il commit une publication en 1992 visant à décrire et à tester l'analyse dynamique non linéaire de ces patrons de réponses. Hoyert procède en proposant un système d'équations différentielles et en en faisant émerger l'attracteur (Hoyert, 1992). Après cela, il applique le théorème de plongement de Takens (pour une présentation de cette méthode, voir Shalizi, 2006) aux données obtenues empiriquement pour obtenir les applications de premiers retours aptes à valider l'existence d'un attracteur et à apporter de l'information sur ses propriétés géométriques. Il ne reste à ce stade à l'auteur qu'à décider de l'existence ou non d'une correspondance entre l'attracteur construit à partir de la modélisation et celui construit à partir des données. Clément soutient une thèse en 1999 où elle procède en appliquant le théorème de plongement de Takens aux données empiriques récoltées auprès de participants jeunes (entre 4 et 6 ans) soumis à des programmes de renforcement IF. Cette méthode lui permet de reconstruire les attracteurs et

d'en étudier les propriétés à partir des applications de premiers retours. En comparant ces applications de premiers retours à celles obtenues à partir de données triées aléatoirement, il est observé que leurs formes sont spécifiques, ce qui suggère qu'elles ne sont pas dues au hasard. Ainsi les analyses conduites lui permettront de conclure à l'existence de déterminisme dans le comportement du système (le système étant le patron des réponses des participants soumis à un programme de renforcement IF).

Il est à noter qu'en 1992, Mc Dowell récuse l'idée présentée ici d'en appeler à l'analyse dynamique non linéaire des patrons de réponses en proposant de rendre compte de phénomènes discontinus via un système d'équations linéaires. Toutefois, son modèle présente plusieurs faiblesses. A l'instar de celui de Mazur (1982), il prend également le parti de transformer les nombres de réponses en durées, avec les contradictions scientifiques que cela comprend. En outre, il ne permet pas une explication des patrons exhibant une accélération. En effet, son modèle est construit à partir du postulat qu'il existe une relation proportionnelle entre un comportement à un instant t et la distribution d'un renforçateur à un instant $t + 1$. Ce point retire du domaine d'application les patrons des réponses enregistrés dans les programmes de renforcement IF, et comme nous l'avons vu, RF, puisque toutes les études rapportent que le débit courant constant habituellement admis n'est en réalité jamais observé dans les données empiriques (e.g. Mazur & Hyslop, 1982). Enfin, le domaine d'application du modèle est assumé par l'auteur comme concernant les performances stables, et ne rend donc pas compte des performances en acquisition (il ne rend pas compte de la dynamique des réponses avant la stabilisation de celle-ci). A contrario, on peut penser qu'une analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens, des patrons de réponses avant et après l'installation des patrons dits stables devrait présenter des différences, et donc rendre compte de façon opérationnalisée de ces deux types de patrons, ce qui est un argument de plus à son utilisation. La force principale d'une modélisation subséquente à une telle analyse serait de

rendre compte de la variabilité (voir appendix 1), plutôt que de la considérer comme du bruit, ce qui amène souvent les auteurs à transformer les données empiriques en vue de lisser ladite variabilité, comme l'ont fait Bizo et Killeen (1997). Notons ici que nous distinguons la variabilité intrinsèque à la topographie de la réponse, dont nous faisons l'hypothèse qu'elle est aléatoire, et due au grand nombre de degrés de libertés existant quand un animal se déplace, de la variabilité induite par la tâche réalisée par l'animal. Ainsi, nous faisons l'hypothèse ici, qu'une part de la variabilité recensée par les auteurs dans le débit courant, et dans la longueur des pauses post renforcement est sous-tendue par une dynamique complexe formalisable. C'est cette part de la variabilité dont nous proposons de faire l'étude ici. La présente ne prétend pas aboutir à l'élaboration d'un modèle, mais apporter des données d'ordre exploratoire afin d'apposer les recommandations quant à la pertinence ou non d'utiliser l'analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens, en vue de modéliser le comportement de systèmes que sont les patrons de réponses des organismes soumis à des programme de renforcement RF, tout en capturant les variations observées dans les données empiriques, tant au niveau des débits courants que de la longueur des pauses.

III. Plan argumenté des expériences de la thèse

L'objet principal de cette thèse est d'explorer la correspondance entre la discrimination par les quantités de réponses itérées et la dynamique de l'itération de ces réponses. Pour ce faire, nous commencerons par étudier comment le comportement des animaux humains peut être discriminé par l'itération d'un nombre spécifique de réponses au cours de l'expérience 1 dans une tâche de discrimination conditionnelle. Toujours au cours de cette expérience, nous analyserons l'entropie des patrons des réponses en fonction de l'installation ou non de ladite discrimination opérante. Cette analyse nous apportera de l'information quant à l'évolution ou non de la variabilité dans les débits courants en fonction de la discrimination ou non des quantités de réponses itérées. Après cela, nous soumettrons

des participants naïfs à différents programmes de renforcement RF au cours de l'expérience 2, dont les raisons seront reprises à partir des nombres fixes de réponses à réitérer en expérience 1. Nous conduirons sur les patrons obtenus des analyses similaires à celles réalisées par Clément (1999) afin de vérifier si nous parvenons à reconstruire des attracteurs, et si ceux-ci sont spécifiques à certaines quantités ou ensemble de quantités. A ce stade, l'expérience 3 consistera à analyser de la même façon les patrons de réponses de participants de l'expérience 1 soumis aux conditions de l'expérience 2. Dans cette troisième expérience, nous chercherons donc à vérifier l'existence d'une correspondance entre la discrimination des comportements par des quantités spécifiques de réponses et l'existence d'attracteurs spécifiques auxdites quantités. Nous tenterons d'apporter de l'information quant au sens de cette correspondance en modifiant la dynamique des réponses (via une modification de la topographie des réponses requises lors de la complétion des programmes de renforcement RF). Ceci nous permettra de vérifier, toujours dans cette expérience, si la reconstruction des attracteurs est sensible à cette différence de topographie en fonction des quantités de réponses. Enfin, nous recruterons pour l'expérience 4 des participants naïfs et les soumettront à la même procédure de discrimination conditionnelle qu'à l'expérience 1, à ceci près que la topographie requise pour l'itération des réponses sera modifiée de la même façon qu'à l'expérience 3. Nous observerons l'effet de la modification de la topographie de la réponse sur les performances des participants à la tâche de discrimination conditionnelle. Nous vérifierons également l'entropie des débits courants pour cette nouvelle topographie et rapporterons le cas échéant les régularités observées avec l'expérience 1 ainsi que les éventuelles contradictions. Des conditions contrôlant les effets du temps et du taux de renforcement seront conduites pour isoler les variables indépendantes à l'origine des résultats obtenus.

CHAPITRE I

Expérience 1 - Etude de la correspondance entre la discrimination conditionnelle de comportements par des quantités de réponses itérées et l'évolution de l'entropie des TIRs

Introduction

Cette première expérience étudie la discrimination opérante par des réponses itérées chez des participants humains adultes, normaux, tandis que le comptage est bloqué expérimentalement. Une analyse dynamique du débit de réponse au fil de l'apprentissage sera effectuée pour observer l'évolution de la variabilité des TIRs dans les patrons de réponses. Afin de placer les participants humains dans des conditions aussi proches que possibles de celles des autres espèces, nous nous sommes inspirés du paradigme de Miller (1968), cité plus haut, dans lequel un effort de réponse était requis pour chaque réponse permettant de compléter le programme de renforcement RF (en ajoutant un effort de réponse comme nous le décrirons dans la procédure). Nous mesurerons l'entropie comme l'ont fait Grunow et Neuringer (2002), l'équation sera présentée dans la méthode. Nous pourrions ainsi observer comment la variabilité du débit de réponse évolue au fil de l'apprentissage, et si cette évolution est spécifique selon que le contrôle des comportements par les quantités de réponses itérées s'installe ou ne s'installe pas.

Méthode

Dans cette étude, plusieurs couples de programmes de renforcement RF seront présentés aux participants. Chaque condition étudie la discrimination conditionnelle pour chaque raison d'un couple donné. Chaque essai se compose de deux composantes. Les participants commencent par compléter un essai d'un des deux programmes de renforcement RF, après quoi, le renforçateur est délivré (composante 1). Une réponse de consommation est alors requise (voir partie « déroulement d'un essai » dans la procédure). Ceci entraîne la présentation d'une tâche de choix entre deux stimuli, préalablement associés spécifiquement à chaque raison du couple étudié dans la condition, parmi lesquels le participant doit effectuer un choix (composante 2). Les participants peuvent doubler les gains qu'ils viennent d'obtenir dans la composante 1 en choisissant le stimulus qui a été associé à la taille de la raison qu'ils viennent de compléter dans cette composante 1. L'analyse de la variabilité des débits de réponses en composante 1 sera étudiée pour comprendre comment la stabilisation, l'augmentation ou la diminution de cette variabilité en composante 1 est corrélée aux performances des participants dans la composante 2. Pour contrôler les effets temporels et le taux de renforcement, deux conditions contrôle ont été menées (respectivement condition aveugle et condition contrôle I).

Participants et matériel

Onze participants (5 de sexe féminin et 6 de sexe masculin), âgés entre 20 et 30 ans, ont été recrutés sur la base du volontariat. Un formulaire de consentement éclairé a été signé par chaque participant avant de débiter l'expérience où ceux-ci ont été informés du nombre maximal de sessions qui pourra être réalisé, de leurs durées maximales et du fait qu'ils pouvaient mettre fin à leur participation à n'importe quel moment de l'expérience sans justification. L'expérience a été revue et approuvée par le comité éthique du laboratoire.

Toutes les sessions ont eu lieu au sein du même box expérimental du laboratoire SCALab (Laboratoire de Sciences Cognitives et Affectives) de l'université de Lille III. Lors des passations, les participants étaient assis à un bureau sur lequel étaient disposés un écran tactile et une cellule de force Novatech Mini40 Ati tous deux commandés par un programme codé sous Matlab® version 2010b, installé sur PC (les participants n'interagissent dans l'expérience qu'avec la cellule de force et l'écran tactile, jamais avec le PC).

Neuf participants ont passé la condition expérimentale, 2 autres ont passé la condition contrôle I et 2 participants du groupe expérimental ont passé la condition aveugle.

Deux expérimentateurs ont conduit toutes les sessions, une étudiante de Master II et l'auteur de la présente.

Procédure

Calibration

En vue d'implémenter l'expérience de manière idiosyncrasique, la force maximale de chaque participant a été mesurée via un étalonnage avant le début de l'expérience. La calibration consistait en le fait d'appuyer trois fois consécutivement sur la cellule de force pour une durée de trois secondes, les instructions étant affichées sur l'écran :

« Appuyez aussi fort que possible » et « Relâchez le capteur ».

La force moyenne de ces trois appuis a été calculée et considérée comme la force maximale du participant. L'étalonnage n'avait lieu qu'une fois pour chaque participant au tout début de l'expérience quel que soit le groupe auquel il était affilié (expérimental ou condition contrôle I)

Réponses mesurées

Pour la composante 1, une réponse critère consistait en un appui sur la cellule de force par le participant à une force située entre 75% de sa force maximale et $+\infty$. Une nouvelle réponse ne pouvait être enregistrée ensuite que si la pression sur la cellule de force passait sous le seuil de 5% de la force maximale.

Une jauge est présente à l'écran à chaque essai pendant la complétion du programme de renforcement RF (composante 1). Cette jauge est rouge tant que la force critère (75% de la force maximale du sujet) n'est pas atteinte et passe au vert une fois que le sujet atteint la force critère. Cette jauge sert de feedback aux participants à propos de leurs réponses. Cela permet de réduire les réponses non critère. Il a, en effet, été montré qu'en l'absence de feedback, les sujets ont tendance à émettre un grand nombre de réponses avant d'émettre une réponse atteignant le critère. Ceci a pour effet de placer l'ensemble des réponses (réponses critère et réponses non critère) sous une contingence de renforcement à raison variable (Zarcone, Chen & Fowler, 2007), et non fixe.

Toutes les réponses critère en composante 1 ont été enregistrées, les autres réponses n'ont pas été enregistrées.

En composante 2, la taille de la raison présentée en composante 1 et le choix des participants (stimulus associé à la raison 1 ou stimulus associé à la raison 2) ont été enregistrés à chaque essai.

Déroulement d'un essai

Deux programmes à raison fixes de tailles différentes sont présentés successivement et aléatoirement aux participants. Aucun stimulus n'est corrélé avec le programme de renforcement en cours. Le participant complète ceux-ci en fournissant le nombre de réponses critère requis par le programme. Au cours de la complétion des programmes de renforcement RF, des nombres inscrits en vert apparaissent en bas de l'écran après chaque réponse critère et

le participant doit les lire oralement d'une voix audible (il en a reçu l'instruction, voir plus bas). Ces nombres sont compris entre 1 et 20 et apparaissent dans un ordre aléatoire (ils sont tirés au hasard avec remise à chaque apparition). L'intérêt de cette tâche additionnelle est de rendre difficile le dénombrement des réponses critère par le participant au cours de la complétion du programme RF. Toutes les tailles de raisons présentées sont des nombres premiers, indivisibles donc, et supérieurs à notre base de comptage (i.e. supérieurs à 10). Les couples présentés en fonction des conditions sont les suivants :

- RF 11 et RF 19,

- RF 19 et RF 29,

- RF 11 et RF 13,

- RF 17 et RF 19,

- RF 29 et RF 31.

Les conditions ont été présentées dans le même ordre pour tous les participants (l'ordre de l'énumération qui précède).

Immédiatement après que le programme RF soit complété, la jauge et le nombre disparaissent de l'écran et le renforçateur est délivré : une pièce de 10 cents et une tirelire apparaissent à l'écran en plus d'un message précisant le total des gains depuis le début de la session. La réponse de consommation (glisser via l'écran tactile la pièce dans la tirelire) entraîne l'apparition d'un carré vert en bas à droite de l'écran que le participant doit toucher pour accéder à la deuxième composante de l'essai. Deux carrés (5cm x 5cm) espacés de 3cm l'un de l'autre apparaissent au centre de l'écran, l'un vert, l'autre bleu. Chaque couleur a été aléatoirement associée à chacune des raisons composant le couple de la condition en cours, au début de la condition et reste associé à cette raison pour toutes les sessions de cette condition

pour un même participant. La position des carrés (droite ou gauche) est contrebalancée de façon aléatoire à chaque présentation. Le participant doit alors choisir l'un des deux carrés en le touchant. S'il fait le choix correct (s'il appuie sur le carré associé à la raison qu'il vient de compléter en composante 1) un message apparaît immédiatement à l'écran :

« Vous gagnez 20 cts supplémentaires »,

sinon, aucun message n'est présenté, les carrés disparaissent, la jauge et un nombre vert réapparaissent et l'essai suivant démarre.

Instructions données aux participants

Immédiatement après la calibration, l'expérience débute. L'écran est noir, et un nombre (« 0 ») vert est présent en bas de l'écran ainsi que la jauge à droite. L'expérimentateur lit alors les instructions au participant sur une intonation neutre :

« Vous participez à une expérience sur le nombre. Voyez-vous le nombre en bas de l'écran ? Votre objectif est de le faire changer. A chaque fois qu'il change vous devez prononcer oralement d'une voix audible le nombre qui apparaît à la place. Pour faire changer ces nombres, vous devez appuyer sur la cellule de force avec le pouce. Vous devez utiliser le même pouce tout au long de l'expérience. Au cours de l'expérience vous gagnerez des sommes de monnaie, vous devrez alors faire glisser les pièces qui apparaîtront dans la tirelire qui sera présente à l'écran en utilisant l'écran tactile. Vous devrez valider vos gains en appuyant sur un bouton vert qui apparaîtra à l'écran, mais tout ceci sera écrit à l'écran, vous n'aurez qu'à suivre les instructions le moment venu. Après cela, deux stimuli apparaîtront à l'écran et vous devrez faire un choix entre les deux en touchant l'un ou l'autre. Il existe une règle qui vous permet de gagner de l'argent à chaque présentation de ces deux stimuli. Ensuite, le nombre vert et la jauge réapparaîtront à l'écran et l'essai suivant commencera, vous devrez alors recommencer d'appuyer sur la cellule et ainsi de suite jusqu'à la fin de la

session qui vous sera signalée par la disparition de l'écran noir. A ce moment-là, vous n'aurez qu'à quitter la pièce en claquant la porte derrière vous. Je vous laisse démarrer. ». L'expérimentateur quitte alors la pièce et attend derrière la porte (dans le but de vérifier que les nombres apparaissant à l'écran sont effectivement prononcés à haute voix par les participants).

Il a été décidé de fournir les instructions les plus minimales possibles aux participants pour favoriser le contrôle des réponses par les contingences de renforcement plutôt que par les règles verbales et se rapprocher ainsi des conditions expérimentales dans lesquelles se trouvent les autres espèces animales soumises à ce type de contingences de renforcement (Matthews, Shimoff, Catania & Salgvoden, 1977).

Critère de réussite et durée des conditions

Le critère de réussite pour toutes les conditions est le même : au moins 5 réponses correctes pour chaque association stimulus-raison en composante 2 et aucune réponse incorrecte.

Si le critère de réussite est atteint, la session s'arrête immédiatement, sinon, elle s'arrête après la fin du dernier essai une fois que 30 minutes sont écoulées (sauf pour la condition aveugle, traitée plus bas). Pour la condition expérimentale et la condition contrôle I, deux sessions maximum peuvent être réalisées par condition, par participant. Les participants du groupe expérimental n'ayant pas atteint le critère après deux sessions pour la première condition ont été remerciés et n'ont pas participé aux autres conditions. Par contre, les participants qui ont atteint le critère en moins de deux sessions complètes pour la première condition ont participé aux quatre autres conditions, qu'ils aient atteint ou non le critère dans les conditions suivantes.

Condition contrôle I

Dans cette condition, seul le couple RF 11 - RF 19 a été testé. A la différence de la condition expérimentale, un programme de renforcement à raison variable des réponses correctes a été implémenté en composante 2 en vue de vérifier les effets du taux de renforcement sur la variabilité du débit de réponses. En effet, dans la condition expérimentale, lorsque les participants atteignent le critère en composante 2, cela signifie que leurs réponses en composante 2 avaient été renforcées de façon continue. Par contre, le renforcement des réponses en composante 2 pour les participants n'ayant pas atteint le critère, aura approximativement correspondu, du fait de la chance, à un programme de renforcement à raison variable 2 (puisque'il n'y a que deux stimuli dans la tâche de choix, en répondant de façon aléatoire, il y a une chance sur deux de répondre correctement, indépendamment de la taille du programme de renforcement RF qui vient d'être complété). Cette différence de taux de renforcement dans la composante 2 pourrait avoir un impact sur la variabilité des débits de réponse en composante 1, et c'est pour contrôler cet éventuel effet que cette condition a été construite et menée.

Dans cette condition contrôle I, après que les participants aient atteint un critère de réussite (au moins 2 réponses correctes consécutives pour chaque association stimulus-raison et aucune réponse incorrecte), un message apparaît à l'écran :

« Désormais les réponses correctes ne seront plus systématiquement récompensées d'un gain ».

Suite à cela, les gains contingents aux réponses correctes en composante 2 ont été délivrés en suivant un programme de renforcement à raison variable 2, pour égaliser le taux de renforcement en cours pour les participants n'atteignant pas le critère. Le critère de sortie de cette condition étant : au moins 5 réponses correctes consécutives pour chaque association stimulus-raison pendant le renforcement variable (donc sans tenir compte des réponses

correctes apparues au cours de la période de renforcement continu) et aucune réponse incorrecte, ou deux sessions de 30 minutes effectuées.

Condition aveugle

Cette condition a été conduite en vue de contrôler l'effet du temps écoulé lors de la complétion des programmes RF en composante 1 sur les performances en composante 2. Pour permettre cela, les participants du groupe expérimental qui ont atteint le critère pour des couples où les tailles des raisons étaient rapprochées (RF 11 – RF 13 et RF 17 – RF 19) ont été recrutés pour participer à ces sessions aveugles basées sur leurs propres données temporelles. Les sessions ont consisté à présenter à chaque participant, pour chaque couple testé (cités ci-avant), les durées qu'ont mis les participants à compléter les programmes RF en composante 1 exactement dans le même ordre, successivement. Après que le temps soit écoulé pour chaque composante 1 de chaque essai, la pièce de monnaie et la tirelire apparaissait, et l'essai se poursuivait exactement de la même façon que dans les autres conditions (réponse de consommation, tâche de choix). La cellule de force, les nombres verts à l'écran et la jauge n'étaient pas visible au cours de cette condition. Les instructions fournies aux participants ont été les suivantes :

« Vous devez rester en face de l'écran. Au cours de l'expérience, vous obtiendrez des gains et vous aurez ensuite à faire exactement la même choses que ce que vous faisiez dans les autres conditions »

(pour rappel ces participants avaient déjà participé aux 5 conditions expérimentales).

Le succès ou l'échec à cette tâche par les participants nous permettra de conclure à l'effet des quantités de réponses émises en composante 1 sur les performances en composante 2. Ainsi, si les participants réussissent à atteindre le critère en composante 2, uniquement à partir des échantillons temporels présentés, la durée écoulée, plutôt que la quantité de réponses émises

serait responsable des performances observées en composante 2. A l'inverse, s'ils échouent, nous pourrions affirmer que les quantités de réponses émises en composante 1 participent, au moins en partie, à l'installation de la discrimination conditionnelle observée en composante 2.

Analyses des données

Données et critère de décision

Des analyses intra participant ont été conduites pour chaque participant dans cette étude. Le débit instantané des réponses des participants en composante 1 a ainsi été calculé et utilisé comme ensemble de données brutes. Nous avons choisi cette mesure, parce qu'elle rend compte des variations dans les débits courants et est inhérente à la plupart des autres mesures qu'on aurait pu choisir (rang de la réponse, débits moyens, etc.). Cette mesure sera utilisée au fil des 4 expériences. Les critères de décisions ont été obtenus à partir des méthodes de bootstrap (Efron, Jolivet & Hordan, 1995). Pour ce faire, nous avons comparé nos variables dépendantes à des populations obtenues par bootstrap. Nous concluons à une différence effective si la valeur réelle se situait en deçà du 1^{er} percentile ou delà du 99^{ème} de la population bootstrap. Les populations bootstrap ont été obtenues en ré-échantillonnant 10 000 fois les débits instantanés pour chaque participant pour chaque condition sans remplacement (pour conserver exactement la même diversité des valeurs dans chaque ensemble de la population bootstrap).

Variabilité des TIRs

Comme mentionné plus tôt, la variabilité a été opérationnalisée via l'entropie (Grunow & Neuringer, 2002), et calculée à partir de l'équation suivante :

$$\frac{-\sum_{i=1}^n FR_i \times [\{\log(FR_i)/\log(2)\}]}{\log(n)/\log(2)}, \quad (10)$$

où les FR_i sont les fréquences relatives non pondérées et n le nombre de classes (correspond au nombre de séquences possibles dans l'univers dans les travaux de Grunow et Neuringer (2002) cités plus haut). Le calcul de n constitue la seule différence dans la façon dont nous avons construit l'équation en comparaison de ce qu'on fait Grunow et Neuringer (2002) dans leurs travaux. En effet, leur paradigme expérimental induit un univers composé d'un nombre de séquences possibles fini (combinaison de clés de réponses et de nombre de réponses par essai). A contrario, nous cherchons à mesurer l'entropie d'un ensemble de débits instantanés de réponses, qui sont par définition des données continues. Pour calculer n nous avons donc employé la « méthode de discrétisation par l'entropie » (Clarke & Barton, 2000), qui consiste à partitionner un ensemble de données continues par lui-même et de trouver ainsi le paramètre n optimal pour cet ensemble de données (voir appendix 2).

Afin d'étudier l'évolution de la variabilité des TIRs au fil de chaque condition pour chaque participant, l'entropie a été calculée pour un ensemble de données du début de la condition (ED1) et pour l'ensemble de données correspondant aux débits instantanés des essais en composante 1 qui ont été nécessaires pour établir que le critère avait été atteint en composante 2 (ED2). Pour les cas où aucun critère n'avait été atteint dans la condition étudiée, ED2 se composait du nombre de débits instantanés en composante 1 qui auraient été nécessaires pour atteindre le critère en composante 2 si toutes les réponses avaient été correctes. Comme la variable dépendante étudiée ici est la variabilité, nous avons décidé de tenir compte de la variabilité induite par le façonnage en début de condition de la réponse cible (appui sur la cellule de force à une force d'au moins 75% de la force maximale). Tenir compte des toutes premières réponses aurait pu biaiser les résultats dans le sens d'un faux positif d'une variabilité élevée des TIRs de l'ensemble ED1 qui n'aurait été que le résultat du façonnage de la forme de la réponse, plutôt que représentatif d'une dynamique particulière des débits de réponses. Souhaitant standardiser les ensembles étudiés dans les différentes conditions, nous

avons choisi de retirer dans tous les ensembles le même nombre de données. Le nombre de données retirées correspond donc à la taille de la plus grande raison testée, à savoir 31. Nous avons émis l'hypothèse que l'apprentissage relève plutôt d'un processus continu que discret, de ce fait, les données au voisinage de ED2 ont également été retirées de ED1. Là aussi, dans un souci de standardisation, nous avons souhaité retirer la même proportion de données de ED1, à savoir la deuxième moitié de la population de données allant du 32^{ème} débit instantané au dernier débit instantané avant que ne commence ED2 (voir appendix 3).

Différence relative des médianes

Pour chaque participant, dans chaque condition, la somme des TIRs a été calculée pour chaque essai. Pour chaque taille de raison du couple étudié, la médiane de ces sommes a été calculée. Nous avons comparé la différence relative de ces médianes (elle correspond au rapport entre leur différence absolue et leur moyenne arithmétique), que nous avons exprimée en taux d'évolution pour en faciliter la lecture. Voici la formule utilisée :

$$p_r = \left(\frac{|Med_{RR1} - Med_{RF2}|}{(Med_{RF1} + Med_{RF2})/2} \right) \times 100, \quad (11)$$

où, Med_{FR1} et Med_{FR2} sont les médianes des sommes des TIRs par essai pour chaque taille de raison du couple étudié.

Résultats

Discrimination conditionnelle par les quantités de réponses itérées

L'analyse des résultats concernant l'atteinte du critère dans la composante 2 nous montre que le comportement des humains peut être contrôlé par des quantités de réponses itérées, même si la capacité à compter ces réponses est empêchée. L'écart entre les raisons testées dans un même couple influence les performances, puisque pour tous les participants, les performances en composante 2 déclinent avec la différence relative de la taille des raisons présentées dans un couple (tableau 1).

Condition expérimentale									
	SE1	SE2	SE3*	SE4	SE5	SE6	SE7	SE8	SE9
11 Vs. 19	Atteint	Atteint	Atteint	Atteint	Atteint	NON ATTEINT	NON ATTEINT	NON ATTEINT	NON ATTEINT
19 Vs. 29	NON ATTEINT	Atteint	Atteint	Atteint	Atteint	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé
11 Vs. 13	NON ATTEINT	Atteint	Atteint	Atteint	Atteint	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé
17 Vs. 19	NON ATTEINT	NON ATTEINT	NON ATTEINT	Atteint	Atteint	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé
29 Vs. 31	NON ATTEINT	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé				

Tableau 1 : montre l'atteinte du critère ou non en composante 2, pour chaque participant, pour chaque condition en condition expérimentale. L'astérisque désigne le participant ayant rapporté avoir compté au cours des passations.

Variabilité des TIRs

Du fait que notre étude s'intéresse à la discrimination des comportements par les quantités de réponses itérées (et non par le dénombrement verbal de ces réponses itérées), le participant ayant rapporté avoir compté les réponses en composante 1 au cours des passations (SE3) a été retiré de l'analyse.

Une description exhaustive de l'analyse menée pour obtenir les résultats présentés ici est disponible à l'appendix 3. Il est juste utile de noter que la valeur comparée à la population bootstrap est la différence entre l'entropie de l'ensemble ED2 et celle de l'ensemble ED1.

Ainsi, une différence négative correspond à une diminution de l'entropie au fil de la condition, tandis qu'une différence positive correspond à une augmentation.

Les résultats des participants du groupe expérimental (voir annexe 1.1 et 1.2) suggèrent qu'il existe une correspondance entre l'évolution de l'entropie des débits instantanés de réponses en composante 1 et l'atteinte ou non du critère en composante 2. La figure 1 montre que l'entropie des débits de réponses instantanés en composante 1 diminue au cours d'une même condition lorsque le critère est atteint en composante 2, et qu'elle augmente lorsqu'il n'est pas atteint (sauf pour un sujet dans une condition). Dans la plupart des cas, la comparaison des valeurs réelles avec les populations bootstrap semble indiquer que cette évolution orientée n'est pas due au hasard. Ces résultats restent vrais, même si le taux de renforcement en composante 2 est variable (voir les participants SCRR1 et SCRR2 dans la figure 1 correspondant aux deux participants de la condition contrôle I).

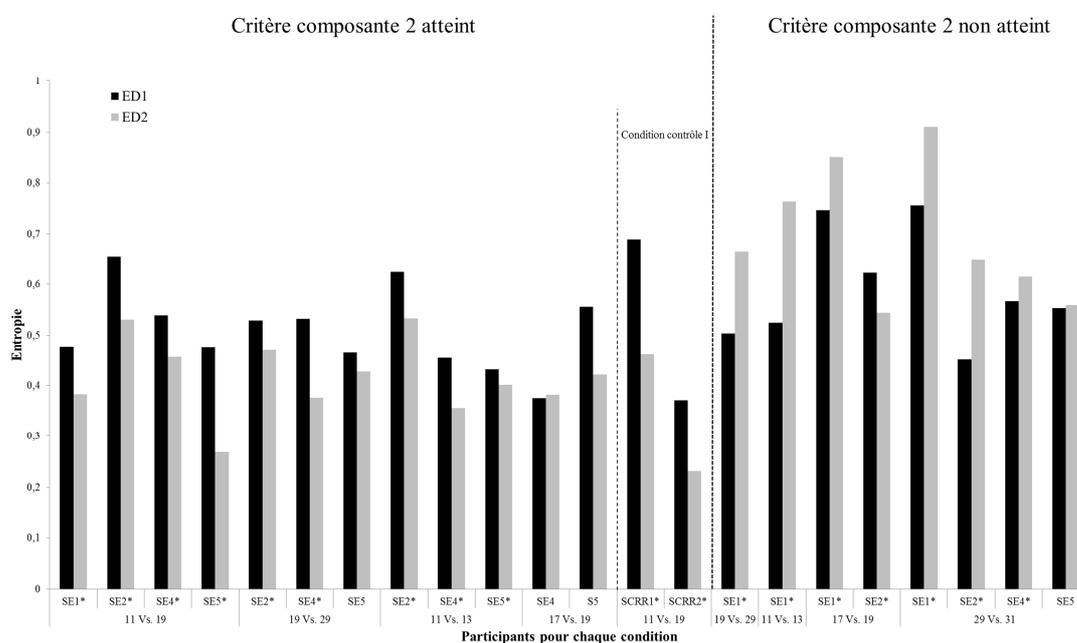


Figure 1 : Valeur de l'entropie pour chaque condition pour chaque participant du groupe expérimental ayant atteint le critère au moins une fois en composante 2 et pour les deux participants de la condition contrôle I. Les astérisques indiquent une différence entre les entropies des ensembles ED1 et ED2 en deçà du 1^{er} percentile ou au-delà du 99^{ème} en comparaison à la population bootstrap de comparaison.

Effet du temps écoulé pendant la complétion de la composante 1 sur les performances en composante 2

La figure 2 nous montre le taux d'évolution des médianes des sommes des TIRs par essai pour chaque raison de chaque couple testé pour les participants du groupe expérimental ayant atteint au moins une fois le critère. On peut y voir que pour des taux d'évolution grands, les critères sont atteints sauf une fois, tandis qu'ils le sont ou ne le sont pas lorsque les taux d'évolution sont plus faibles.

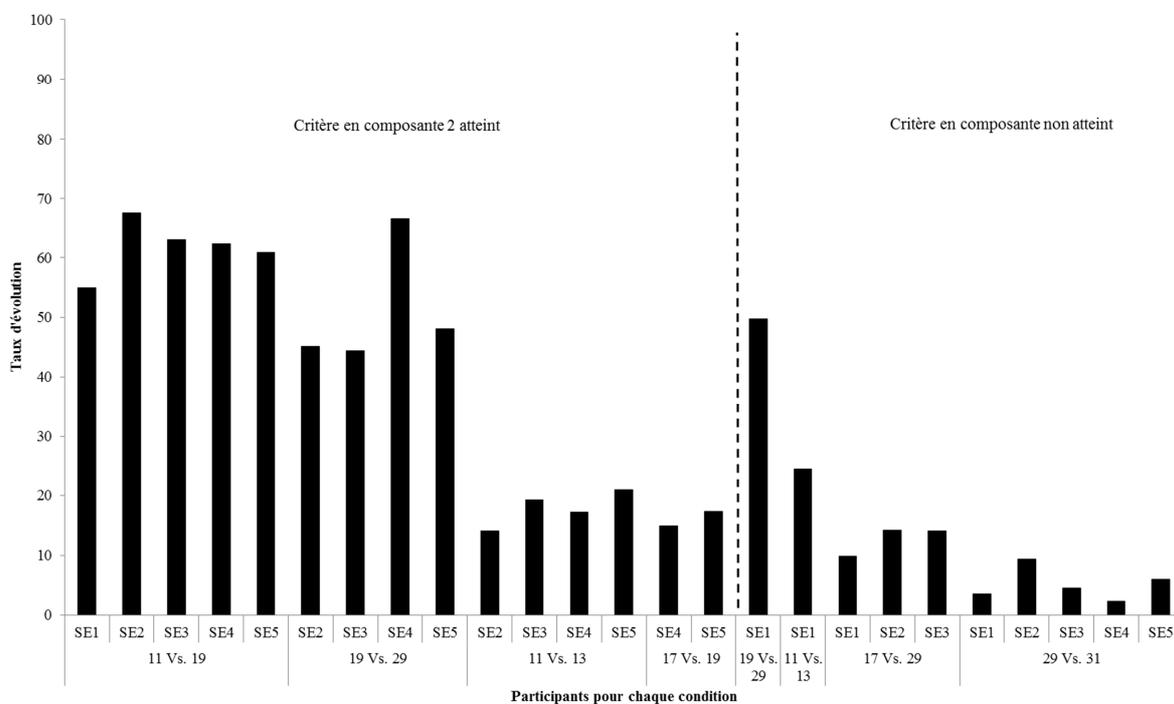


Figure 2 : taux d'évolution des médianes des sommes des TIRs par essai pour chaque raison des couples testés pour chaque participant du groupe expérimental ayant atteint au moins une fois le critère en composante 2.

Les derniers résultats concernent les deux participants du groupe expérimental qui ont participé à la condition aveugle. Ces deux participants n'ont pas réussi à atteindre le critère en composante 2 pour les deux conditions testées (RF11 – RF 13 et RF 17 – RF 19) dans cette condition contrôle. Pour rappel, cette condition consistait à leur présenter, exactement dans le même ordre, les échantillons de temps qui correspondaient aux durées qu'ils mis pour

compléter les raisons auxquelles ils avaient été soumis en composante 1 dans les conditions expérimentales respectives, où ils avaient atteint les critères tous les deux pour les deux conditions, tandis que des réponses physiques discrètes étaient requises en composante 1.

Discussion

L'observation d'une évolution de la variabilité des TIRs en composante 1, orientée et opposée en fonction de l'installation ou non d'une discrimination conditionnelle en composante 2 semble montrer l'existence d'une correspondance entre la stabilisation des débits de réponses (composante 1) et le contrôle de réponses opérantes par des quantités de réponses itérées (composante 2). L'analyse des résultats des participants de la condition contrôle I semble indiquer que l'augmentation de la variabilité relevée dans les conditions où les participants du groupe expérimental n'ont pas atteint le critère n'est pas due au taux de renforcement plus pauvre en comparaison de celui effectif lorsque des réponses correctes successives sont exhibées par les participants, puisque le taux de renforcement dans les deux cas est identique dans cette condition. Pour rappel, dans cette condition, les réponses correctes sont renforcées via un programme de renforcement à raison variable 2, ce qui tend donc à approcher le taux de renforcement des réponses, en composante 2 de cette expérience, des participants pour lesquels les réponses itérées en composante 1 ne contrôlent pas les réponses de choix en composante 2. On peut proposer, pour expliquer cela, que le renforcement continu des premiers essais pour ces deux participants (SCRR1 et SCRR2) a entraîné le renforcement d'une dynamique spécifique des TIRs au sein de l'essai (renforcement du débit courant) comme le suggère l'approche mécaniste (e.g. Killeen, 1994). L'étude des taux d'évolution des médianes des sommes des TIRs par essai ne nous apporte que peu d'information à propos de la dimension explicative du temps écoulé en composante 1 sur les performances en composante 2. A l'inverse, les résultats des participants ayant passé la condition aveugle suggèrent que la quantité de réponses itérées en composante 1 prend part de façon nécessaire à l'explication des performances en composante 2. En l'absence de ces réponses, les échantillons de temps qui avaient été nécessaires pour les émettre, lorsqu'ils sont présentés isolément, n'ont pas permis aux participants d'atteindre le critère en composante 2. On peut

donc en déduire que le temps écoulé pour compléter les programmes de renforcement RF n'est pas suffisant pour rendre compte de l'installation de la discrimination en composante 2. La principale limite à cette étude réside dans l'analyse de la variabilité des débits de réponse des participants du groupe expérimental n'ayant atteint aucun critère (SE6, SE7, SE8, SE9). En effet, pour ces participants, l'augmentation de la variabilité des TIRs n'est pas systématique (voir annexe 1.2), puisqu'elle n'apparaît que pour deux participants sur les 4. En outre pour le participant SE8, elle est même contradictoire avec les résultats présentés ici, puisqu'il exhibe une diminution de la variabilité des TIRs inférieure au 1^{er} percentile de la population de bootstrap de comparaison (habituellement observé pour les participants ayant atteint un critère en composante 2, à l'exception du participant SE2 pour la condition RF 17 – RF 19). On peut tout de même proposer une explication à ce phénomène (sauf pour SE8). En effet, tous les participants du groupe expérimental ayant exhibé dans des conditions ultérieures une augmentation de la variabilité dont l'apparition était supérieure au 99^{ème} percentile en comparaison aux populations générées via bootstrap avaient atteint au moins une fois le critère pour au moins une condition. De ce fait ils avaient tous expérimenté au moins une fois l'obtention répétée de renforcement des réponses successives en composante 2, puisque pour atteindre le critère il fallait au moins 5 réponses correctes successives pour chaque quantité de réponses itérées du couple testé dans la condition (or excepté dans la condition contrôle I, le renforcement des réponses correctes en composante 2 est continu). Ceci n'est pas vrai pour les participants du groupe expérimental n'ayant jamais atteint le critère en composante 2. On peut, à partir de cela, suggérer que l'extinction en composante 2 (au cours de laquelle des gains peuvent tout de même être perçus, comme on l'a vu, du fait qu'il n'y ait que deux possibilités de réponses dont une correcte) n'est effective pour le participant que si elle a préalablement été précédée d'une phase de renforcement de réponses successives dans cette composante (dans une même condition ou dans une condition

précédente). Ainsi, l'augmentation de la variabilité observée pour les sujets ayant atteint au moins une fois le critère en composante 2, dans les conditions où ils ne l'ont pas atteint, n'est peut-être que le résultat de cette extinction relative à l'histoire de renforcement desdits participants.

Pris dans leur ensemble, les résultats rapportés à ce stade nous apportent des informations à propos de la dynamique de l'apprentissage de la discrimination de réponses par des quantités de réponses itérées. Des analyses plus fines de cette dynamique sont donc tout à fait justifiées, pour tenter de comprendre ce qui se joue lorsqu'un organisme voit ses réponses discriminées par des quantités de réponses préalablement émises. L'objet des deux prochaines expériences sera donc d'analyser systématiquement, au moyen d'outils appropriés à cet exercice, les TIRs enregistrés pour des organismes réitérant un nombre fixe de réponses au fil du temps, et que celui-ci est systématiquement suivi d'une conséquence. En d'autres termes, nous allons désormais nous atteler à étudier la dynamique des réponses des organismes humains soumis à des programmes de renforcement à raisons fixes.

CHAPITRE II

Expérience 2 - Etude exploratoire de la dynamique des réponses de participants humains
soumis à des programmes de renforcement RF

Introduction

Cette seconde expérience va se pencher sur l'analyse de la dynamique des patrons de réponses des humains soumis à des programmes de renforcement RF. Nous avons cherché à placer les participants dans des conditions aussi proches que possibles de celles des espèces non humaines, et avons donc repris en grande partie le protocole expérimental de l'expérience 1.

Méthode

Pour cette expérience, les expérimentateurs sont les mêmes que pour l'expérience 1.

Participants et matériel

Les participants recrutés pour cette seconde expérience sont au nombre de 5 (4 de sexe féminin et un de sexe masculin). Les passations sont conduites dans le même box expérimental que pour l'expérience 1, avec exactement le même matériel, disposé de la même façon. Les codes d'expérience et d'analyses des réponses ont également été élaborés à partir du logiciel Matlab® version 2010b.

Procédure

Dans cette expérience, les participants seront confrontés à 3 ou 6 conditions. Dans chaque condition, le participant est soumis à un programme de renforcement RF tout au long de la condition. Les programmes de renforcement RF testés sont les suivants :

- Pour les participants SED11 et SE12
 - RF 11
 - RF 19
 - RF 29
- Pour les participants SED14 et SED15
 - RF 13
 - RF 17
 - RF 31
- Le participant SED13 a passé l'intégralité des 6 conditions.

Chaque condition consiste en la passation de 5 sessions de 20 minutes du même programme de renforcement RF. Les conditions ont été contrebalancées de façon incomplète, comme présenté dans le tableau 2.

		Participants				
		SED11	SED12	SED13	SED14	SED15
Ordre des conditions (taille de la raison)		29	11	29	13	31
		11	19	11	17	13
		19	29	19	31	17
		/	/	31	/	/
		/	/	13	/	/
		/	/	17	/	/

Tableau 2 : Ordre de conditions en fonction des participants

Calibration, topographie de la réponse et déroulement d'un essai

La procédure est exactement la même que pour la composante 1 de l'expérience 1. Ainsi, la calibration, la topographie de la réponse (appui sur une cellule de force), la façon dont nous avons définis le critère des réponses enregistrées, et le déroulement d'un essai restent inchangés de la composante 1 de l'expérience 1. Après l'appui sur le carré vert de l'écran, suite à la réponse de consommation, pour chaque essai, l'essai suivant démarre. Après la complétion du dernier essai après que 20 minutes soient écoulées, l'expérience s'arrête automatiquement.

Instructions

Les instructions sont, ici aussi, prononcées sur un ton neutre, elles correspondent aux instructions de l'expérience 1, sauf pour ce qui avait trait à la tâche de choix, qui n'est pas présente dans cette seconde expérience :

« Vous participez à une expérience sur le nombre. Voyez-vous le nombre en bas de l'écran ?
 Votre objectif est de le faire changer. A chaque fois qu'il change vous devez prononcer

oralement d'une voix audible le nombre qui apparaît à la place. Pour faire changer ces nombres, vous devez appuyer sur la cellule de force avec le pouce. Vous devez utiliser le même pouce tout au long de l'expérience. Au cours de l'expérience vous gagnerez des sommes de monnaie, vous devrez alors faire glisser les pièces qui apparaîtront dans la tirelire qui sera présente à l'écran en utilisant l'écran tactile. Vous devrez valider vos gains en appuyant sur un bouton vert qui apparaîtra à l'écran, mais tout ceci sera écrit à l'écran, vous n'aurez qu'à suivre les instructions le moment venu. Ensuite, le nombre vert et la jauge réapparaîtront à l'écran et l'essai suivant commencera, vous devrez alors recommencer d'appuyer sur la cellule et ainsi de suite jusqu'à la fin de la session qui vous sera signalée par la disparition de l'écran noir. A ce moment-là, vous n'aurez qu'à quitter la pièce en claquant la porte derrière vous. Je vous laisse démarrer. ». L'expérimentateur quitte alors la pièce et attend derrière la porte (toujours dans le but de vérifier que les nombres apparaissant à l'écran sont prononcés à haute voix par les participants).

Analyses des données

Pour cette expérience, deux types d'analyses seront réalisées, par condition et par participant. La première consiste en la réalisation d'une analyse par régressions linéaires multiples (e.g. Marden, 2015, p.70) et la seconde sera une analyse dynamique s'appuyant sur le théorème de plongement de Takens, qui suit le protocole présenté par Clément (1999).

Ensembles de données

Pour les deux analyses, les enregistrements cumulés des sessions 2, 3 et 4 ont été utilisées comme données brutes, à deux exceptions près (présentées plus bas). Ce choix a été fait pour deux raisons :

- Les analyses effectuées ici sont d'ordre exploratoire : elles sont conduites en premier lieu pour en vérifier la pertinence pour un ensemble de données tel que

celui qui est étudié ici. Nous n'avons donc pas cherché à analyser l'évolution de la dynamique des patrons de réponses en fonction de l'entraînement à la tâche, ni l'effet local d'un changement de la taille de la raison sur les patrons de réponses. De ce fait, partant du principe que cette dynamique s'installait de façon continue et progressive, nous avons retiré pour tous les ensembles de données, chaque première session de 20 minutes. Ceci nous permet de nous prémunir d'un éventuel changement de la dynamique dû, soit à l'entraînement à émettre la réponse lors de la 1^{ère} session, soit à l'effet de la taille de la raison précédente sur la dynamique des réponses à chaque début d'une nouvelle condition.

- Tous les participants n'ayant pas, pour toutes les conditions, réalisé les 5 sessions, préférer les sessions 2, 3 et 4, plutôt que 2, 3, 4 et 5 ou 3, 4 et 5 nous permettait de maximiser le nombre de données exploitables tout en maintenant la standardisation des ensembles étudiés.

Défauts des ensembles de données

Les passations conduites ont été très nombreuses, et ont parfois amené, en plus de la mortalité expérimentale non rapportée ici, à des défauts dans les données récoltées, essentiellement dues soit à des entorses à l'ordre prévu pour les sessions des conditions, soit à des fichiers manquants à l'issue des passations. Les deux cas sont présentés ici, pour chaque participant et session concernés.

Pour le participant SED11 : le premier ensemble de données (RF 29) est constitué des sessions 5, 6 et 7, en effet, une erreur s'est produite dans l'implémentation des sessions, et ce participant a donc effectué les sessions de la façon suivante pour les 4 premières sessions :

- Session 1 : RF 29
- Session 2 : RF 29

- Session 3 : RF 29
- Session 4 : RF 11

Nous avons donc invité celui-ci à passer 3 sessions supplémentaires que nous avons utilisées dans les analyses de données.

Pour le participant SED13 : ce participant a quitté l'expérience avant la complétion des 3 dernières passations. Il avait déjà réalisé, dans leur intégralité, 5 conditions. Les analyses conduites se faisant par condition, par participant, nous avons donc conservé ses données dans les analyses pour les 5 conditions qu'il a réalisées intégralement, et n'avons pas utilisé les données incomplètes de sa 6^{ème} condition (RF 17).

Régressions linéaires multiples

Pour les régressions linéaires multiples, nous avons conduit celles-ci pour toutes les régressions possibles pour chaque ensemble de TIRs de taille n par participant, par condition. Ainsi, si nous prenons l'exemple du participant SED11, pour la condition RF 11, le nombre de régressions multiples était de 55 :

- $TIR_2 = a_0 + a_1 TIR_1 + \varepsilon$
- $TIR_3 = a_0 + a_1 TIR_2 + \varepsilon$
- Et ainsi de suite jusqu'au 11^{ème} TIR, pour les 8 régressions à un seul régresseur non décrites ici, ce qui porte le nombre de régressions à un seul régresseur à 10, pour le cas où il y a 11 ensembles de TIRs, puis,
- $TIR_3 = a_0 + a_1 TIR_2 + a_2 TIR_3 + \varepsilon$
- Et ainsi de suite jusqu'au 11^{ème} TIR (donc 9 régressions à deux régresseurs lorsqu'il y a 11 ensembles de TIRs)
- Et ainsi de suite, pour tous les nombres de régresseurs possibles.

Nous avons obtenu ainsi un ensemble de variances expliquées (55 dans l'exemple). Nous avons ensuite regroupé en sous-ensembles cet ensemble de valeurs R^2 en fonction du nombre de régresseurs utilisés pour les obtenir. Nous avons, après cela, calculé la moyenne et l'écart-type de chaque sous ensemble (on obtient donc dans l'exemple qui précède, 10 valeurs de variances expliquées moyennes et les 9 écart-types correspondant aux 9 régressions où plus d'une régression est possible). Nous avons choisi de rapporter les données en présentant la variance expliquée moyenne et son écart-type en fonction du nombre de régresseur(s) pour chaque participant, dans chaque condition.

Analyses dynamique via le théorème de plongement de Takens

Après cela, nous avons conduit les analyses dynamiques via le théorème de plongement de Takens. Un exemple illustré de graphiques de la démarche adoptée à partir de l'enregistrement des réponses cumulées est présenté à l'appendix 4 pour une condition pour un participant. Voici le déroulement de l'analyse :

- Nous avons commencé par concaténer les données des 3 sessions à analyser, par participant et par condition.
- Nous avons, ensuite, retiré des données le temps mis à chaque essai par les participants pour émettre la réponse de consommation. L'écran étant mis à jour toutes les 100 ms, nous avons opérationnalisé cette durée comme suit :
 - Début : complétion de la dernière réponse de l'essai
 - Fin : appui sur le bouton vert de validation des gains par le participant

De ce fait, les pauses post-renforcement observées renvoient à la durée entre l'apparition à l'écran de la jauge et du nombre vert en bas de l'écran et la première réponse critère du participant sur la cellule.

- Puis nous avons récupéré les réponses au cours du temps pour chaque ensemble de données.
- Nous avons calculé à partir de celles-ci les débits instantanés (en calculant l'inverse de l'ensemble précédent).
- Ces débits instantanés discrets ont été représenté dans un portrait de phases en 3 dimensions, où chaque débit instantané sur l'axe z est représentée en fonction des deux précédents, respectivement sur l'axe y et sur l'axe x .
- Nous avons, à partir de ce graphique, réalisé les sections de Poincaré pour chaque ensemble de données. Ceci consiste en le fait de faire traverser le flot des données par un plan. Pour ce faire, nous avons calculé le lieu géométrique par lequel il y avait le plus de passage de données $n - 1$ vers des données n . Ce lieu est un plan, sur lequel la projection de l'ensemble de données initial apparaît donc en 2 dimensions.
- Nous avons ensuite réalisé une application de premiers retours (ou application de Poincaré), qui consiste en le fait de représenter en deux dimensions chaque section de Poincaré en fonction de la précédente.

L'application de premiers retours permet de capturer les propriétés de l'attracteur, s'il existe, visible dans le portrait de phases. Afin de connaître son existence, nous avons alors calculé l'ellipse circonscrite (à la probabilité d'erreur $p = 0,01$) à l'ensemble de points de l'application de premiers retours. La taille des axes de cette ellipse a été calculée. Ce choix de l'ellipse circonscrite a été fait pour obtenir une information la plus complète possible de la forme de l'ensemble de points étudiée. Ainsi, ajoutée à l'information apportée par la mesure du barycentre de l'ensemble de point, les informations apportées par la taille des axes de l'ellipse nous éclairent sur la forme précise de la figure.

Nous avons ensuite réalisé des bootstrap à partir de chaque ensemble de données (donc par condition et par participant). Nous avons comparé pour chaque ensemble la taille de chaque axe de l'ellipse aux populations générées par bootstrap des tailles de chaque axes pour connaître le rang percentile de la taille réelle de chaque axe dans la population bootstrap et ainsi savoir si l'ensemble de points obtenu en application de premiers retours était dû au hasard, où rendait bien compte de l'ordre dans lequel les données avaient été enregistrées (donc de l'ordre dans lequel les réponses des participants étaient apparues lors des passations). En effet, les populations bootstrap étant obtenues, pour chaque condition, pour chaque participant, à partir du ré-échantillonnage des débits instantanés exhibés dans le patron de réponses analysé, si la taille réelle de l'un des deux axes observée apparaît de façon très peu probable dans la population c'est que la forme de l'ensemble de points observés en application de premiers retours est due à l'ordre d'apparition des données et non au débit global moyen, facilement observable, puisqu'il correspond au coefficient directeur de la régression linéaire de la courbe d'enregistrements cumulés. Ceci constituerait donc une information pertinente pour l'élaboration d'une modélisation future. A l'inverse, si l'analyse ne nous permet pas de conclure à des formes des ensembles de points différentes des populations bootstrap, cela revient à dire que la seule information apportée par l'analyse concerne le barycentre de l'ensemble de points en application de premiers retours, directement lié au débit global, ce qui rend l'analyse obsolète, puisque cette information peut être obtenue plus facilement, sans recourir à l'outil de l'analyse dynamique non linéaire.

Résultats

Patrons de réponse

Le premier résultat présenté ici concerne l'analyse des patrons de réponses. L'analyse des enregistrements cumulés (voir exemple pour SED11, condition RF 11 en figures 3.a et 3.b), permet de voir qu'on observe les patrons de réponses habituellement obtenus pour des espèces non humaines. En effet, à la fois les débits courants hauts et constants sont présents, mais aussi les PPRs, à l'inverse de ce que Sanders (1969) rapportait, comme c'est tout particulièrement visible sur la figure 3.b qui correspond à un zoom de la figure 3.a.

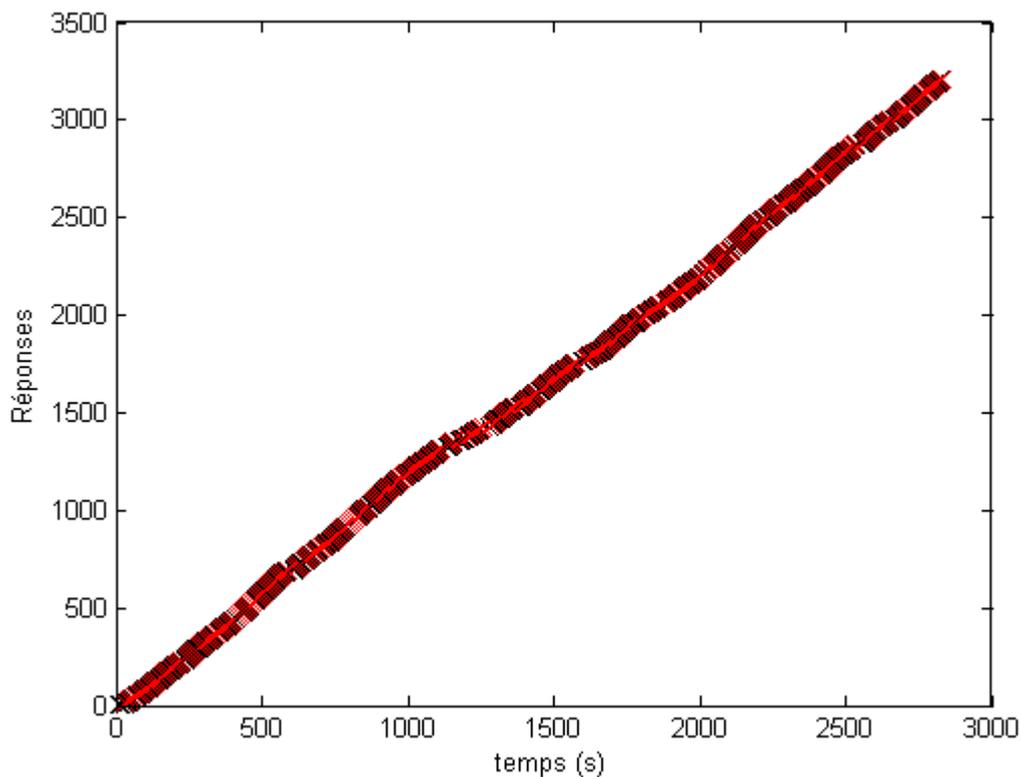


Figure 3.a : Enregistrements cumulés des réponses concaténées pour les sessions 2, 3 et 4 du participant SED11 en condition RF 11. Les croix noires correspondent aux réponses du participant, et les croix rouges à la délivrance des renforçateurs.

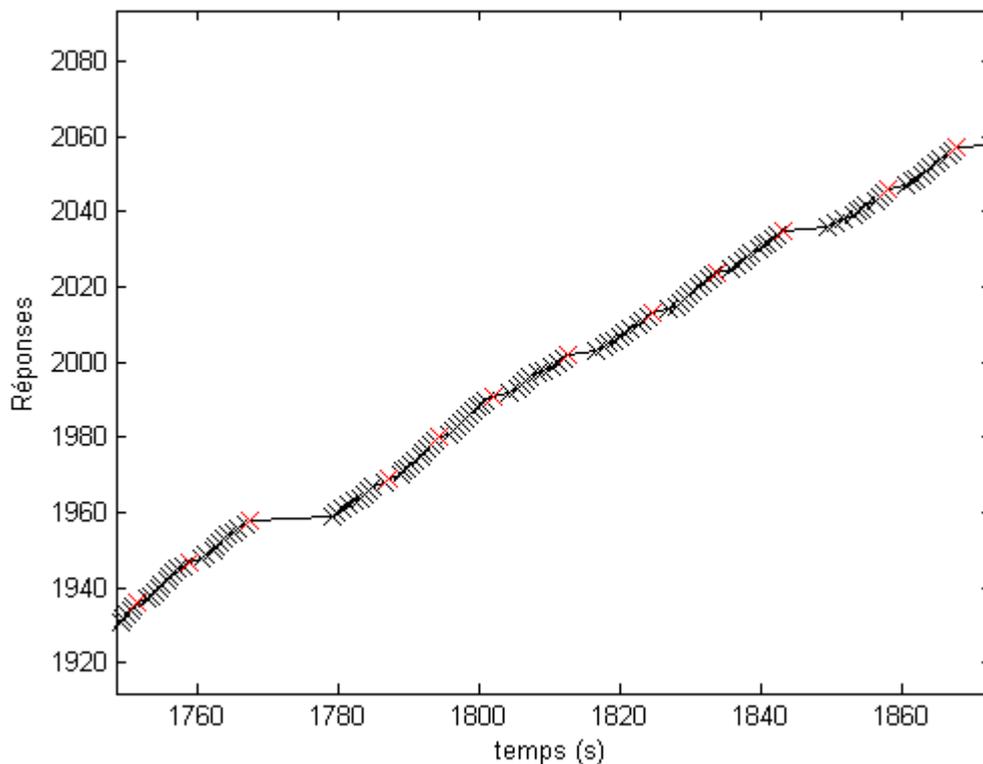


Figure 3.b : zoom de la figure 3.a. On peut observer les PPRs, le débit constant lors des phases de réponses par essai, ainsi que des pauses dans l'essai (e.g : à environ 1890 secondes).

Ce patron de réponses a été retrouvé pour tous les participants de l'expérience dans toutes les conditions.

Régressions linéaires multiples

Les figures 4.a à 4.e présentent les résultats des régressions linéaires multiples pour chaque participant, dans chaque condition. On peut y voir que la variance expliquée est faible (majoritairement inférieure à 20%). En second lieu, il est important de remarquer que le maximum de la valeur de la variance expliquée ne correspond qu'une fois sur deux (9 fois sur 17) au maximum du nombre de régresseurs. En dernier lieu, on pourra noter qu'il y a une augmentation de la valeur expliquée en fonction de la taille de la raison du programme de renforcement RF pour chaque participant.

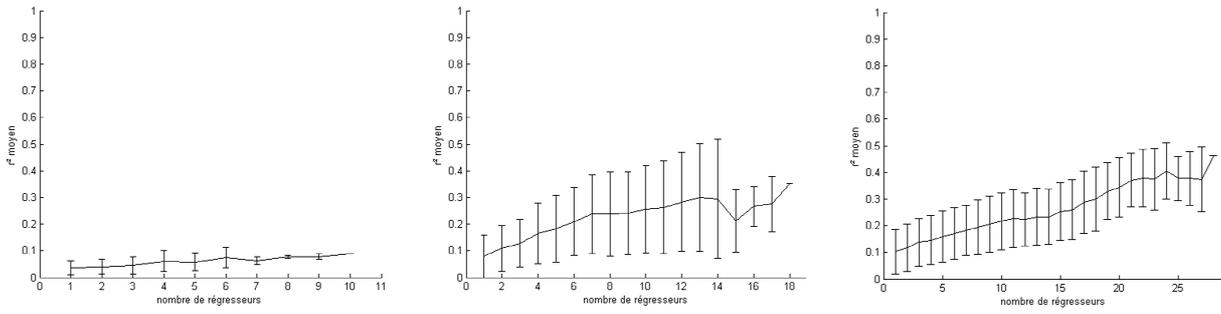


Figure 4.a.1, 4.a.2 et 4.a.3 : variance expliquée moyenne et écart-type en fonction du nombre de régresseur(s) pour le participant SED11 pour les conditions RF 11(gauche), RF 19 (milieu) et RF 29 (droit).

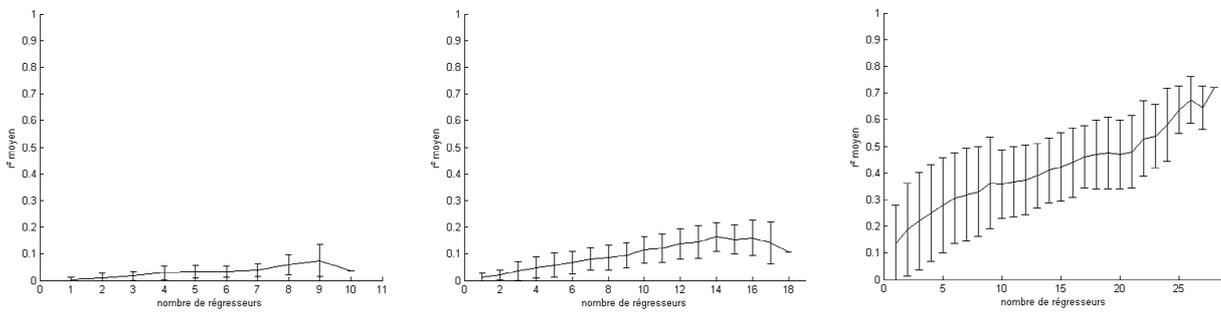


Figure 4.b.1, 4.b.2 et 4.b.3 : variance expliquée moyenne et écart-type en fonction du nombre de régresseur(s) pour le participant SED12 pour les conditions RF 11(gauche), RF 19 (milieu) et RF 29 (droit).

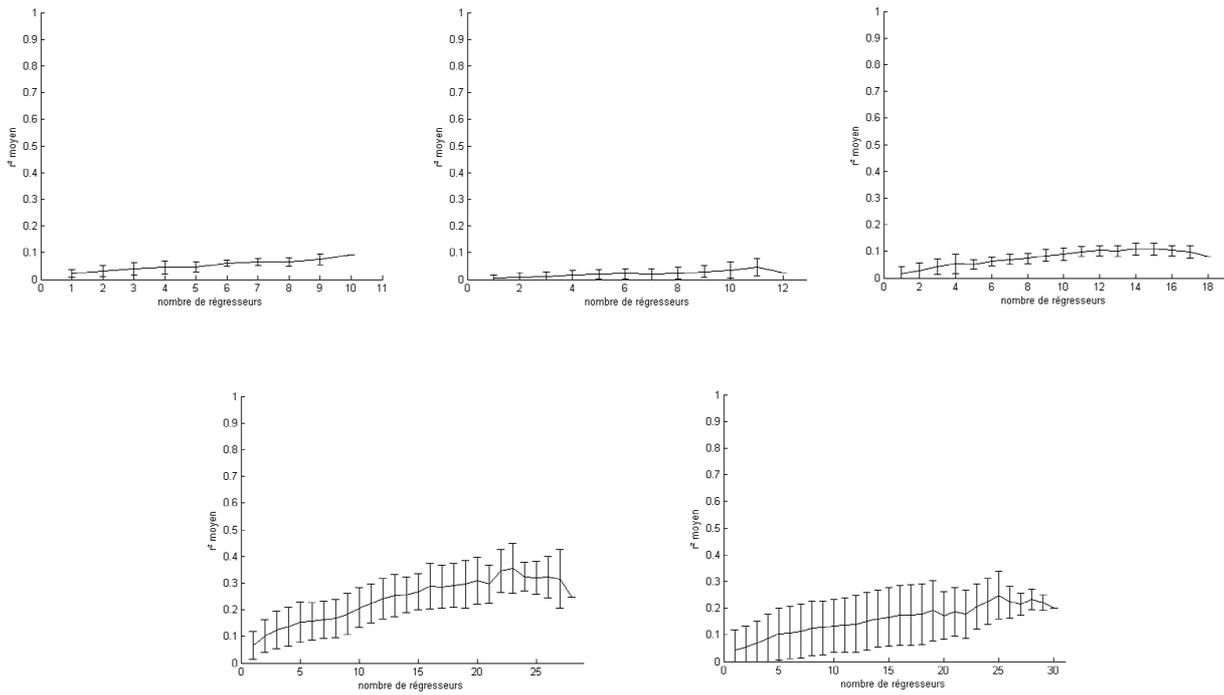


Figure 4.c.1, 4.c.2, 4.c.3, 4.c.4 et 4.c.5 : variance expliquée moyenne et écart-type en fonction du nombre de régresseur(s) pour le participant SED13 pour les conditions RF 11(haut gauche), RF 13 (haut milieu), RF 19 (haut droit), RF 29 (bas gauche) et RF 31 (bas droit).

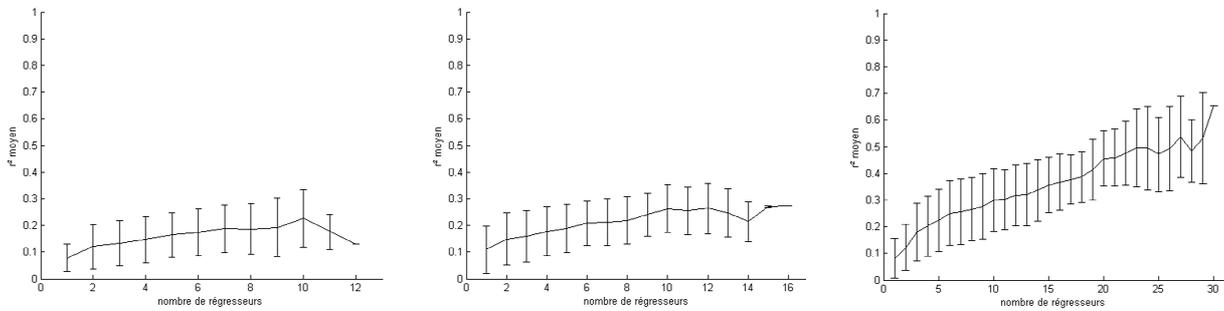


Figure 4.d.1, 4.d.2 et 4.d.3 : variance expliquée moyenne et écart-type en fonction du nombre de régresseur(s) pour le participant SED14 pour les conditions RF 13(gauche), RF 17 (milieu) et RF 31 (droit).

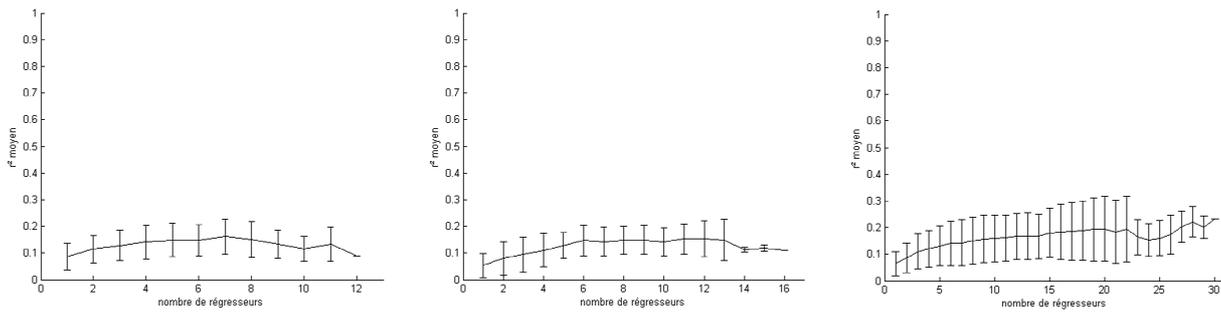


Figure 4.e.1, 4.e.2 et 4.e.3 : variance expliquée moyenne et écart-type en fonction du nombre de régresseur(s) pour le participant SED15 pour les conditions RF 13(gauche), RF 17 (milieu) et RF 31 (droit).

Analyses dynamiques via le théorème de plongement Takens

Les analyses dynamiques via le théorème de plongement de Takens, nous montrent que nous réussissons grâce à cet outil à reconstruire l'attracteur, et à en capturer les propriétés via l'application de premiers retours pour tous les participants dans toutes les conditions. En effet, le tableau 1 présente les comparaisons entre les données réelles et les populations bootstrap pour les valeurs du barycentre de l'ensemble de points de l'application de premiers retours, et pour le petit axe et le grand axe de l'ellipse circonscrite à cet ensemble de points, pour chaque participant, dans chaque condition. On peut y voir que les coordonnées du barycentre sont systématiquement supérieures au 99^{ème} percentile de la population bootstrap de comparaison. Pour ce qui concerne les ellipses circonscrites, les grands axes sont presque systématiquement plus grands que les populations bootstrap auxquelles ils sont respectivement comparés (excepté pour le participant SED13 dans la condition RF 13). Le petit axe est souvent inférieur à la population bootstrap de comparaison, excepté pour le participant SED13 pour la condition RF 11 où il est étonnamment supérieur aussi. Ce profil dénote d'une application de premiers retours écrasée sur l'axe $y = x$, comme on peut l'observer dans les figures 5.a et 5.b.

		Raison du RF	Rang percentile du barycentre		Rang percentile du petit axe	Rang percentile du grand axe
			en abscisses	en ordonnées		
PARTICIPANTS	SED11	29	> 99ème	> 99ème	1,51	> 99ème
		19	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		11	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
	SED12	11	> 99ème	> 99ème	66,9	> 99ème
		19	> 99ème	> 99ème	83,8	> 99ème
		29	> 99ème	> 99ème	27,2	> 99ème
	SED13	29	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		11	> 99ème	> 99ème	> 99ème	> 99ème
		19	> 99ème	> 99ème	2,98	> 99ème
		31	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		13	> 99ème	> 99ème	2,42	90,7
	SED14	13	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		17	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		31	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
	SED15	31	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
13		> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème	
17		> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème	

Tableau 3 : rangs percentiles des coordonnées du barycentre et des petits et grands axes des ellipses en comparaison à une population bootstrap pour chaque participant dans chaque condition.

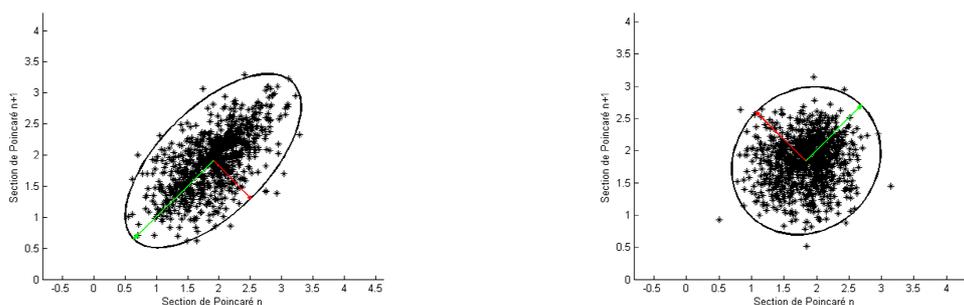


Figure 5.a et 5.b : application de premiers retours et ellipse circonscrite à partir des données ordonnées (à gauche) et exemple d'une application de premiers retours et son ellipse circonscrite pour l'un des échantillons de la population bootstrap (à droite). Les deux ensembles de points ont été calculées à partir des données du participant SED13 dans la condition RF 29.

Discussion

Les résultats récoltés et analysés sont divers et multiples. Ainsi, nous avons pu observer, fait rare dans la littérature à ce propos (Williams et a., 2011), que les patrons de réponses habituellement observés chez l'animal non humain soumis à des programmes de renforcement RF peuvent être observés chez l'humain à condition de respecter certaines conditions (blocage expérimental de la possibilité de compter, instructions minimalistes et effort de réponses). Ainsi, les participants ayant passé cette expérience ont tous exhibé des pauses post-renforcement. Nous avons pu, en outre, observer que les régressions linéaires multiples permettaient d'expliquer une certaine proportion de la variance dans les données. Néanmoins cette proportion reste faible et diffère grandement entre les ensembles de données. Nous avons montré qu'il existe bien un effet de l'ordre dans lequel sont fournies les réponses des participants au cours des programmes de renforcement RF. Cet effet peut être observé en conduisant une analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens à partir de l'ensemble de données des enregistrements cumulés en comparant l'application de premiers retours des données ordonnées, avec une population d'applications de premiers retours générées à partir des mêmes données ré-échantillonnées (bootstrap). Ce résultat est vrai pour tous les participants dans toutes les conditions. La forme de l'application de premiers retours pour chaque participant dans chaque condition semble être régulière et peut être décrite grossièrement comme un écrasement de l'ensemble de points sur l'axe $y = x$. Ainsi, l'utilisation de l'analyse géométrique suivant la méthode de Takens, a permis de reconstruire un attracteur à partir des données récoltées pour chaque participant et dans chaque condition. Ceci revient à dire que pour chaque quantité de réponses itérées, un attracteur peut être reconstruit. Ce résultat est capital, car il nous informe sur la caractéristique déterministe des systèmes étudiés : les réponses de participants humains soumis à des programme de renforcement RF. Nous pouvons désormais appréhender mieux la modélisation de telles

données, à conditions de définir les variables collectives desdits systèmes, et bien que cela ne fasse pas l'objet de la présente, l'information reste pertinente pour des études futures. A ce stade, nous ne pouvons aller plus avant dans la confrontation de ces résultats avec ceux de l'expérience 1, les participants des deux expériences étant différents. Une telle confrontation nous permettrait de comprendre si les régularités observées dans cette expérience 2 sont liées à celles de l'expérience 1, et si oui dans quelle mesure. Autrement dit, nous chercherons à savoir s'il est possible de montrer qu'il existe une correspondance entre la reconstruction d'un attracteur pour une quantité de réponses itérées donnée, et la discrimination d'un comportement par cette quantité de réponses itérées relativement à une autre quantité de réponses itérée pour laquelle un attracteur différent pourrait être reconstruit. Nous chercherons aussi à savoir, à l'inverse, si lorsque pour deux quantités de réponses itérées différentes, aucun contrôle spécifique sur une réponse subséquente n'est installé, il nous est impossible de distinguer l'un de l'autre les attracteurs reconstruits pour chaque ensemble de réponses relatif à chaque quantité. Ceci fera donc l'objet de l'expérience 3.

CHAPITRE III

Expérience 3 - Etude de la correspondance entre la reconstruction d'attracteurs via le théorème de plongement de Takens à partir des patrons de réponses de participants humains soumis à des programmes de renforcement RF avec et sans perturbation de la dynamique des réponses et les performances de ces participants lors d'une tâche de discrimination conditionnelle de quantités de réponses itérées

Introduction

Au travers de cette expérience, l'objectif est de vérifier s'il existe des liens entre les performances des participants à la tâche de discrimination conditionnelle de l'expérience 1 (composante 2) et les régularités observées par le biais des analyses dynamiques non linéaires menées au cours de l'expérience 2, lorsque des participants humains sont soumis à des programmes de renforcement RF. Pour ce faire, nous recruterons des participants de l'expérience 1 et les placerons dans les conditions de l'expérience 2. Nous mènerons ensuite les mêmes analyses qu'à l'expérience 2 pour vérifier si nous observons une correspondance entre la distinction des attracteurs éventuellement reconstruits et l'installation ou non en expérience 1 d'une discrimination conditionnelle effective entre deux quantités de réponses itérées spécifiques, pour chaque participant. En second lieu, nous chercherons ici à perturber l'installation de la dynamique des réponses, en modifiant la topographie des réponses requises pour compléter les programmes de renforcement RF. Nous pourrions observer si cette modification impacte ladite dynamique des réponses, et si cela est observable au travers de l'outil de l'analyse dynamique non linéaire des patrons de réponses, via la reconstruction d'attracteurs différents en fonction de la topographie des réponses, pour chaque raison testée.

Méthode

L'expérimentateur de cette expérience est l'auteur de la présente.

Participants et matériel

Les trois participants ayant réussi à atteindre le critère en composante 2 de l'expérience 1 pour les tâches de discrimination des quantités éloignées (id est RF 11 versus RF 19 et RF 19 versus RF 29) ont été recrutés pour passer cette expérience 3 (c'est-à-dire les participants SE2, SE4 et SE5). Le matériel utilisé est exactement le même que pour les deux expériences précédentes.

Procédure

Deux ensembles de conditions vont être menées pour cette expérience. Pour les deux ensembles de conditions, les instructions et le déroulement des essais sont exactement les mêmes que dans l'expérience précédente.

Topographie de la réponse dans chaque ensemble de conditions

Pour le premier ensemble de conditions, la topographie de la réponse requise pour compléter les programmes de renforcement RF est la même que dans l'expérience précédente (un appui entre 75% de la force maximal et $+\infty$), nous appellerons T1 cette topographie de réponse.

Le second ensemble de conditions diffère concernant la topographie des réponses requises pour compléter les programmes de renforcement RF. Dans ce second ensemble de conditions, la topographie de la réponse sera la suivante :

- Une réponse est considérée comme atteignant le critère si l'appui sur la cellule de force est supérieur à 65% de la force maximal du participant et est inférieure à

75% de cette même force maximale. Nous appellerons T2 cette topographie de réponse.

Pour les conditions de cet ensemble, la jauge est bleue au début de l'essai, elle devient rouge quand le participant dépasse 5% de la force maximale, et elle passe au vert lorsque le participant dépasse 65% de sa force maximale. Ensuite, soit :

- le participant dépasse 75% de la force maximale auquel cas la jauge redevient rouge, et ne peut repasser au bleu que si le participant passe sous la barre des 5% de la force maximale, aucune réponse n'est alors enregistrée,
- ou, le participant ne dépasse pas 75% de la force maximal avant de relâcher le capteur et de repasser sous la barre des 5% (la jauge reste verte et repasse au bleu après que la pression soit inférieure à 5% de la force maximale), auquel cas la réponse est enregistrée (réponse critère).

Lorsqu'une réponse critère est fournie, l'essai se poursuit de la même façon que pour l'expérience précédente.

Succession des conditions

Les trois participants ont passé les sessions dans le même ordre :

- RF 11 (réponse T1),
- RF 19 (réponse T1),
- RF 29 (réponse T1),
- RF 13 (réponse T1),
- RF 17 (réponse T1),
- RF 31 (réponse T1),
- RF 11 (réponse T2),
- RF 19 (réponse T2),

- RF 31 (réponse T2).

Pour chaque condition, les participants ont passé 5 sessions de 20 minutes.

A noter qu'aucune calibration n'a été faite pour cette expérience, puisque la force maximale des participants avait déjà été calibrée à l'expérience 1, nous avons repris ces données, pour pouvoir comparer ensuite les résultats des deux expériences, sans créer de par un recalibrage une éventuelle variable parasite.

Ensembles de données

Pour les deux ensembles de conditions, les sessions conservées pour les analyses de résultats sont, comme dans l'expérience précédente, les sessions 2, 3 et 4.

Pour le participant SE5, une erreur s'est produite dans l'implémentation des sessions lorsqu'il était en condition RF 13, ses résultats pour cette condition ne seront donc pas exploitables, puisqu'il n'aura passé qu'une session pour cette taille de raison (et trois autres en RF 19 non prévues, qui n'ont pas été utilisées, du fait que ses données pour cette taille de raison étaient déjà récoltées).

Analyses des données

Comparaison de l'ellipse à une population bootstrap

La première série d'analyses est exactement la même que celles décrites pour l'analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens à l'expérience 2. Nous avons ainsi reconduit les mêmes analyses pour observer si nous répliquons les résultats obtenus avec les trois participants de cette expérience, pour les différentes conditions des deux ensembles de conditions (pour les deux types de topographies de réponses requises).

Comparaison de l'aire de recouvrement à une population bootstrap

La deuxième série de données a été conduite pour vérifier si les ensembles de points obtenus via l'analyse dynamique non linéaire, dans les applications de premiers retours, pouvaient se distinguer les uns des autres, selon que les tailles des raisons des programmes RF étaient plus ou moins éloignées, et selon que les topographies de réponses différaient pour une même taille de raison testée.

Pour ce faire, nous avons calculé les ellipses circonscrites aux ensembles de points obtenus en applications de premiers retours, et mesuré les aires de recouvrement des paires d'ellipses pour toutes les conditions deux à deux, pour chaque participant. Chaque aire de recouvrement a ensuite été comparée à une population bootstrap générée à partir du ré-échantillonnage des données utilisées pour mesurer l'aire de recouvrement étudiée. Un exemple illustré est disponible à l'appendix 5. Notons que cette comparaison est orientée : une aire de recouvrement inférieure à 1% de la population bootstrap signifie que les ellipses sont éloignées l'une de l'autre sans que ce soit dû au hasard, et vice-versa.

Résultats

Réplication des résultats de l'expérience 2

Pour commencer, nous pouvons noter que les résultats obtenus à l'expérience 2 sont observables ici. Ainsi, les patrons de réponses en deux phases (débit courant élevé et constant au fil des essais, puis, pause post-renforcement) sont observés pour toutes les conditions pour les trois participants, y compris lorsque la topographie de la réponse requise était T2 comme on peut le voir aux figures 6.a et 6.b.

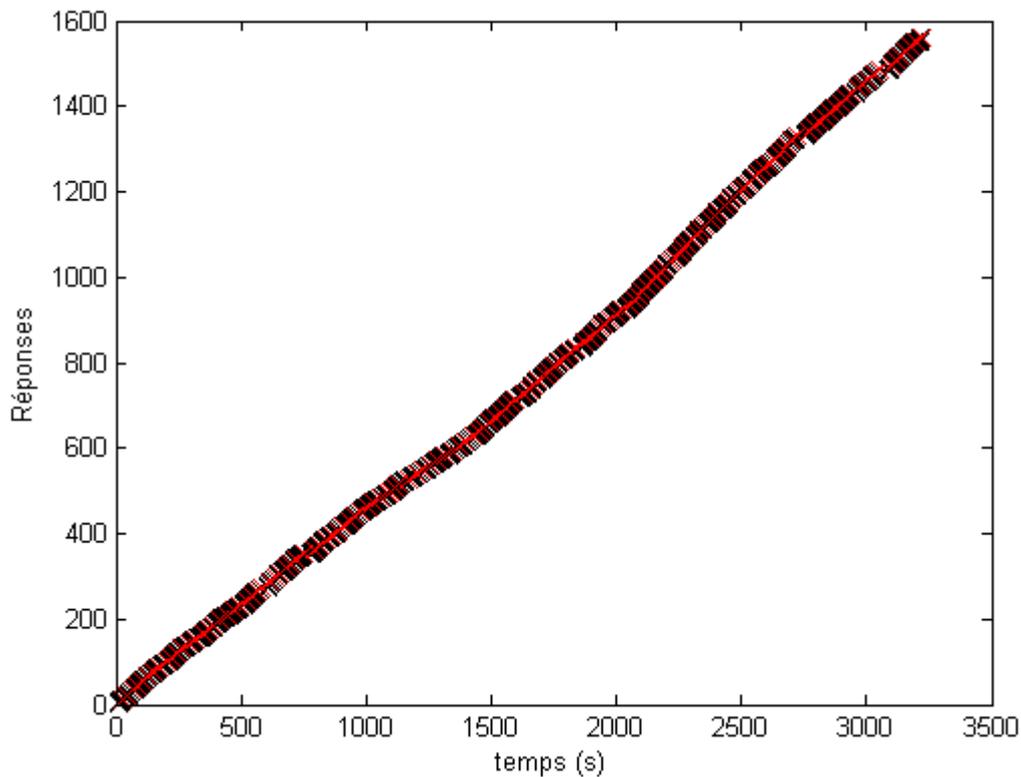


Figure 6.a : enregistrement des réponses cumulées pour le participant SE4 en condition RF 11 (T2). Les croix noires correspondent aux réponses du participant, et les croix rouges à la délivrance des renforçateurs.

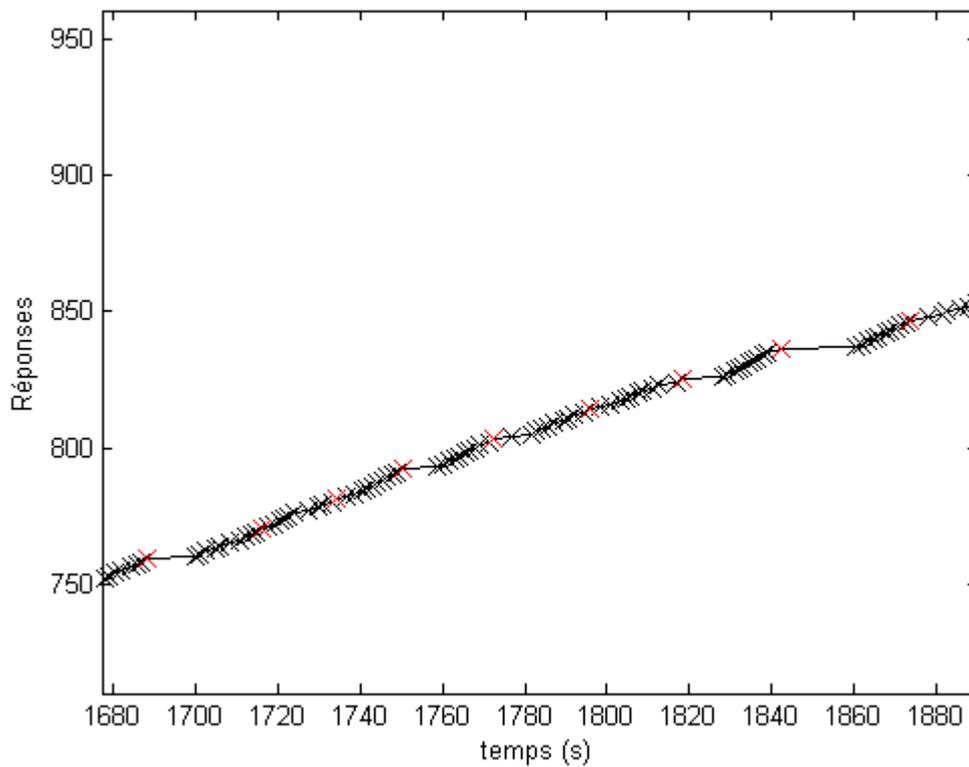


Figure 6.b : zoom de l'enregistrement des réponses cumulées pour le participant SE4 en condition RF 11 (T2) Les croix noires correspondent aux réponses du participant, et les croix rouges à la délivrance des renforçateurs.

Le second résultat répliqué concerne la dynamique des réponses des participants. Le tableau 4 présente les résultats des analyses dynamiques par application du théorème de Takens menées pour les conditions où la réponse requise était T1. On peut y voir que pour tous les participants dans toutes les conditions, à l'exception d'un cas (SE2, condition RF 31), la forme des ellipses se distingue de la population bootstrap à laquelle chacune a été comparée, soit par l'un des deux axes, soit par les deux.

		Raison du RF	Rang percentile du barycentre		Rang percentile du petit axe	Rang percentile du grand axe
			en abscisses	en ordonnées		
PARTICIPANTS	SE2	11	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		13	> 99ème	> 99ème	0,175	> 99ème
		17	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		19	> 99ème	> 99ème	0,29	> 99ème
		29	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		31	0,814	0,841	0,0159	0,805
	SE4	11	> 99ème	> 99ème	< 1er	0,466
		13	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		17	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		19	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		29	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		31	0,926	0,901	< 1er	> 99ème
	SE5	11	> 99ème	> 99ème	0,013	> 99ème
		17	> 99ème	> 99ème	0,132	> 99ème
		19	> 99ème	> 99ème	0,143	> 99ème
29		0,94	0,938	< 1er	> 99ème	
31		0,88	0,874	0,036	> 99ème	

Tableau 4 : rangs percentiles des coordonnées du barycentre et des petits et grands axes des ellipses en comparaison à une population bootstrap pour chaque participant dans chaque condition où la réponse requise était T1.

On pourra voir au tableau 5 que ceci se vérifie dans une moindre mesure pour les conditions où la réponse T2 était requise. Néanmoins, le changement de forme reste manifeste pour toutes les conditions pour tous les participants, même si dans un tiers des cas, l'augmentation du grand axe avoisine, mais n'atteint pas, le 99ème percentile de la population bootstrap spécifique.

		Raison du RF	Rang percentile du barycentre		Rang percentile du petit axe	Rang percentile du grand axe
			en abscisses	en ordonnées		
PARTICIPANTS	SE2	11	> 99ème	> 99ème	0,2	> 99ème
		19	0,905	0,92	0,598	0,947
		29	0,724	0,777	0,727	0,98
	SE4	11	> 99ème	> 99ème	< 1er	> 99ème
		19	0,988	0,988	0,0861	0,973
		29	> 99ème	> 99ème	0,436	> 99ème
	SE5	11	> 99ème	> 99ème	0,908	> 99ème
		19	0,763	0,803	0,636	> 99ème
		29	0,922	0,912	0,341	> 99ème

Tableau 5 : rangs percentiles des coordonnées du barycentre et des petits et grands axes des ellipses en comparaison à une population bootstrap pour chaque participant dans chaque condition où la réponse requise était T2.

Confrontation des résultats des analyses dynamiques non linéaires avec les performances des participants à l'expérience 1

Les tableaux 6.a et 6.b présente les résultats de la comparaison deux à deux des ellipses circonscrites aux ensembles de points obtenus via les applications de premiers retours. Lorsqu'on observe si les ellipses en fonction des raisons complétées par les participants peuvent se distinguer les unes des autres, on s'aperçoit que ça peut être le cas. Toutefois, contrairement à ce qui était attendu, on ne trouve pas de correspondance avec les performances des participants à l'expérience 1. En premier lieu, le tableau 6.a montre qu'il existe des cas où les performances des participants dans la composante 2 de l'expérience 1 avaient permis de conclure à une discrimination conditionnelle par les raisons complétées et où l'aire de recouvrement des ellipses n'est pas en deçà du 1er percentile de la population bootstrap spécifique, voire est au-delà du 99ème percentile (voir SE5 pour la comparaison des ellipses obtenues via les conditions RF 11 et RF 19). A l'inverse, il est des cas où les ellipses semblent distinctes puisque l'aire de recouvrement est inférieure au 1er percentile de la population bootstrap de comparaison, tandis que le critère n'avait pas été atteint par les participants (tableau 6.b). Nous pouvons noter que ces divergences avec les attentes des expérimentateurs se vérifient également pour des comparaisons entre des couples de raisons non testées à l'expérience 1 (voir annexe 2) mais dont on aurait pu déduire une atteinte du critère par les participants (e.g. RF 11 versus RF 29 puisque les participants de cette expérience 3 ont atteint le critère à la fois pour RF 11 versus RF 19 et RF 19 versus RF 29 à l'expérience 1).

Critère atteint à l'expérience 1			
Participants	Raison 1	Raison 2	Rang percentile de l'aire de recouvrement
SE2	11	19	3,77E-01
SE2	19	29	< 1er
SE4	11	19	< 1er
SE4	19	29	4,52E-01
SE4	11	13	< 1er
SE4	17	19	< 1er
SE5	11	19	> 99ème
SE5	19	29	9,19E-01
SE5	17	19	8,78E-02

Tableau 6.a : rang percentile de l'aire de recouvrement des ellipses des ensembles de points des applications de premiers retours comparées deux à deux pour les couples de raisons pour lesquels les participants avaient atteint le critère en composante 2 de l'expérience 1.

Critère non atteint à l'expérience 1			
Participants	Raison 1	Raison 2	Rang percentile de l'aire de recouvrement
SE2	11	13	< 1er
SE2	17	19	< 1er
SE2	29	31	< 1er
SE4	29	31	< 1er
SE5	29	31	7,24E-01

Tableau 6.b : rang percentile de l'aire de recouvrement des ellipses des ensembles de points des applications de premiers retours comparées deux à deux pour les couples de raisons pour lesquels les participants n'avaient pas atteint le critère en composante 2 de l'expérience 1.

Effet de la perturbation de la dynamique des réponses via la modification de la topographie des réponses

Le tableau 7 présente les comparaisons deux à deux des aires de recouvrement des ellipses pour les mêmes raisons complétées dans les programmes de renforcement RF par un même participant, pour des topographies de réponses différentes. Dans deux tiers des cas, les aires de recouvrement sont en deçà du 1er percentile des populations bootstrap auxquelles elles sont respectivement comparées. Ce résultat va dans le sens de l'installation d'une dynamique propre à la topographie de la réponse, bien que la taille de la raison soit identique dans les

deux conditions, pour un même participant. Ce résultat valide la modification de la dynamique des réponses via la modification de la topographie des réponses.

Participants	Condition T1 (raison)	Condition T2 (raison)	Rang percentile de l'aire de recouvrement
SE2	11	11	< 1er
SE2	19	19	0,864
SE2	29	29	< 1er
SE4	11	11	< 1er
SE4	19	19	< 1er
SE4	29	29	< 1er
SE5	11	11	< 1er
SE5	19	19	0,011
SE5	29	29	0,68

Tableau 7 : rang percentile de l'aire de recouvrement des ellipses des ensembles de points des applications de premiers retours comparées deux à deux pour les couples de raisons identiques mais des topographies différentes (T1 versus T2).

Discussion

Cette 3ème expérience nous permet d'en apprendre plus quant à la dynamique des réponses des participants humains soumis à des programmes de renforcement RF. Ainsi, en plus de répliquer les résultats obtenus à l'expérience 2, on peut observer que la modification de la topographie de la réponse requise pour compléter lesdits programmes ne bloque pas l'installation d'une dynamique des réponses, mais que celle-ci se développe et s'installe spécifiquement à la topographie des réponses requises. La modification de la topographie des réponses requises n'a, en outre, pas empêché l'exhibition de patrons de réponses habituellement enregistrés chez les espèces non humaines et jusqu'ici très peu observés dans la littérature. Les résultats de la comparaison des aires de recouvrement des ellipses obtenues à partir de l'analyse dynamique non linéaire de patrons de réponses enregistrés à partir de programmes de renforcement RF différents nous indique qu'il est à ce stade difficile de conclure à une correspondance entre la distinction desdites ellipses et la discrimination conditionnelle par les participants telle qu'elle a été considérée comme effective à l'expérience 1. Ainsi, les résultats issus de la comparaison des ellipses pour les couples de raisons fixes pour lesquels les participants n'avaient pas atteint le critère suggère qu'une dynamique propre à chaque taille de raison existe bel et bien, malgré les performances enregistrées à l'expérience 1. Il pourra être intéressant, désormais, d'étudier l'effet de la modification de la topographie des réponses telle qu'elle a été effectuée dans cette 3ème expérience, sur les performances de participants naïfs soumis à une procédure de discrimination conditionnelle du type de celle de l'expérience 1, ce qui nous amène à la 4ème et dernière expérience de cette étude.

CHAPITRE IV

Expérience 4 - Etude de l'effet de la modification de la dynamique des réponses lors d'une tâche de discrimination conditionnelle des comportements par des quantités de réponses itérée sur l'évolution de l'entropie des TIRs

Introduction

Cette 4^{ème} expérience vise à étudier l'effet de la modification de la dynamique des réponses sur les performances des participants humains soumis à une procédure de discrimination conditionnelle des comportements par des quantités de réponses itérées. Cette expérience conserve exactement le même paradigme que l'expérience 1, mais le protocole est modifié, tant au niveau du temps permis aux participants pour atteindre le critère, qu'au niveau de la topographie de la réponse requise pour compléter les programmes de renforcement RF en composante 1.

Méthode

L'expérimentateur de cette expérience est l'auteur de la présente.

Participants et matériel

Dix participants naïfs ont été recrutés pour cette expérience (9 de sexe féminin, et 1 de sexe masculin). Le matériel utilisé est le même que pour les expériences précédentes.

Procédure

La procédure est exactement la même que pour l'expérience 1, tant au niveau du déroulement d'un essai, que pour ce qui concerne la calibration et les instructions. Les trois différences qu'il existe avec l'expérience 1 sont les suivantes :

- Une seule condition a été testée pour cette expérience : RF 11 versus RF 19.
- La topographie des réponses requises pour compléter les programmes de renforcement RF en composante 1 est la même que celle décrite à l'expérience 3, à savoir T2.
- Le temps imparti aux participants pour atteindre le critère a été doublé, au regard du fait que la topographie de la réponse ait été jugée plus difficile à émettre. Les participants ont donc passé au maximum 4 sessions de 30 minutes.

Les analyses réalisées sont les mêmes qu'à l'expérience 1, tant pour ce qui a trait à l'évolution de l'entropie, que pour ce qui concerne la différence relative des médianes des TIRs cumulés par essai.

Résultats

La figure 7 nous montre l'évolution de l'entropie pour tous les participants pour la condition testée (excepté SCD7 qui a rapporté avoir suivi une règle verbale à propos de l'emplacement des stimuli pour répondre en composante 2, règle erronée au regard de son rapport, et dont les données n'ont donc pas été analysées). On peut y observer que pour les 8 participants n'ayant pas atteint le critère, l'entropie ne baisse jamais en deçà du 1er percentile de la population bootstrap spécifique à laquelle elle est comparée. Pour trois d'entre eux, celle-ci augmente même au-delà du 99ème percentile, ce qui rejoint les résultats obtenus à l'expérience 1. Le seul participant à avoir atteint le critère dans cette expérience est également le seul pour qui l'entropie de ses TIRs s'est vue réduire en deçà du 1er percentile entre le début et la fin de la condition. La figure 8 nous permet de voir que les différences relatives sont similaires pour cette expérience à celles de l'expérience 1 pour les conditions où les couples de programmes de renforcement RF présentés avaient une différence de taille de raison large (RF 11 versus RF 19 et RF 19 versus RF 29).

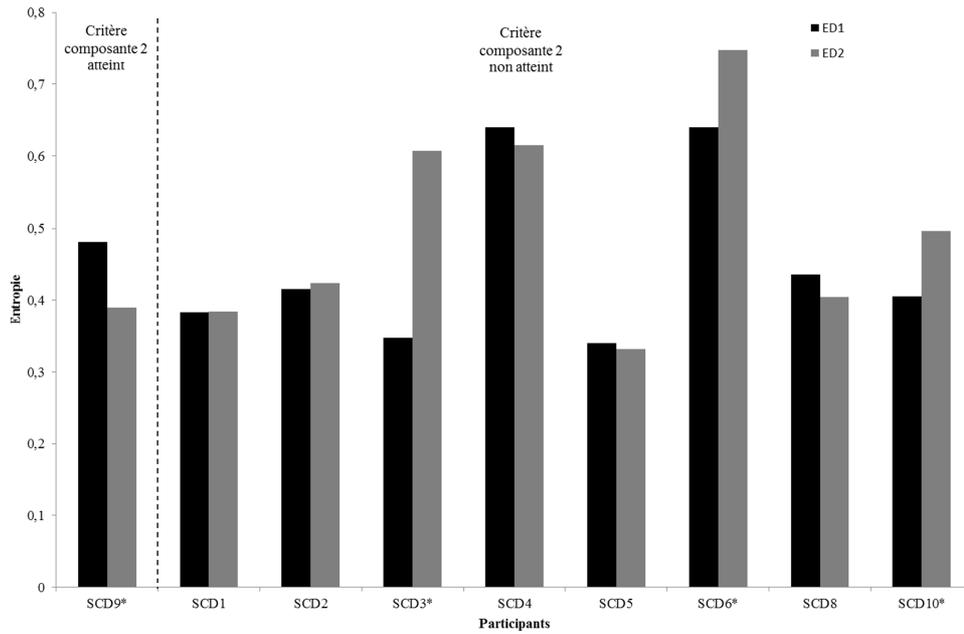


Figure 7 : Valeur de l'entropie pour chaque participant. Les astérisques indiquent une différence entre les entropies des ensembles ED1 et ED2 en deçà du 1^{er} percentile ou au-delà du 99^{ème} en comparaison à la population bootstrap de comparaison.

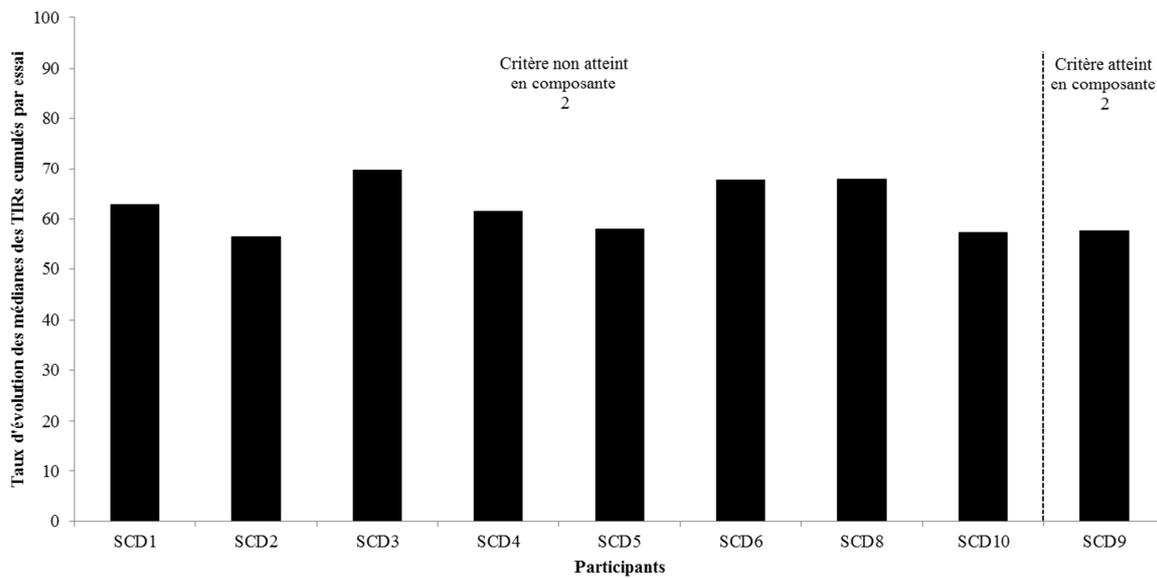


Figure 8 : taux d'évolution des médianes des sommes des TIRs par essai pour chaque raison des couples testés pour chaque participant.

Discussion

Les résultats enregistrés pour cette expérience viennent appuyer l'idée que la stabilisation des TIRs (opérationnalisé ici par la réduction de l'entropie des TIRs entre le début et la fin des conditions) permet l'installation de la discrimination conditionnelle par des quantités de réponses itérées différentes. En effet, ici la perturbation de la dynamique des réponses opérée via la modification de la topographie des réponses requises a entraîné une baisse importante des performances puisqu'un seul participant sur les 9 a réussi à atteindre le critère dans cette expérience, contre 4 sur 9 dans l'expérience 1, bien qu'ici, dans cette expérience 4, le temps imparti pour atteindre le critère ait été doublé par rapport à l'expérience 1. Il reste important de noter que pour les résultats du seul participant à avoir atteint le critère, on enregistre une réduction de l'entropie des TIRs entre les ensembles ED1 et ED2, ce qui conforte également les résultats enregistrés à l'expérience 1, et va dans le sens d'une correspondance entre la réduction de l'entropie des TIRs lors de la complétion des essais en composante 1 et l'atteinte du critère en composante 2.

On peut voir à la figure 8 que l'analyse des différences relatives des médianes des TIRs cumulés par essai appuie l'idée que le temps écoulé au cours de la complétion des composantes 1 de chaque essai ne peut à lui seul expliquer les performances, à la fois dans cette expérience, mais aussi dans l'expérience 1. En effet, ici les différences relatives sont toutes importantes, pourtant seulement 1 participant sur les 9 a réussi à atteindre le critère.

DISCUSSION GENERALE

L'objectif de l'ensemble de l'étude ici menée était de se pencher sur la discrimination des comportements par les quantités discrètes. Nous avons, de façon argumentée, choisi de le faire par le biais de l'étude de la discrimination des comportements par des quantités de réponses itérées chez l'humain, lorsqu'il est placé dans des conditions où une quantification précise desdites quantités de réponses itérées en comptant celles-ci est rendue difficile.

I. Dynamique des réponses itérées

Le premier résultat, encourageant quant à la possibilité de généraliser les résultats enregistrés, concerne l'analyse descriptive des patrons de réponses des participants soumis à des programmes de renforcement RF. En effet, les propriétés singulières des patrons de réponses habituellement retrouvées chez les espèces non humaines soumises à des programmes de renforcement RF, et rarement observées chez l'humain pour ces programmes, ont été retrouvées ici. Ainsi, quelles que soient les raisons fixes présentées, et pour des topographies de réponses différentes, nous pouvons observer que les participants des expériences 2 et 3 exhibent des patrons de réponses où des débits courants élevés constants sont entrecoupés de pauses. Ceci nous permet de suggérer l'existence d'une régularité entre les espèces humaines et non humaines lorsqu'elles sont soumises à ces contingences de renforcement.

Les analyses menées quant à la dynamique des réponses en composante 1 dans les expériences 1 et 4 soulignent l'existence d'une correspondance entre la diminution de la variabilité des TIRs dans cette composante et la discrimination des comportements en composante 2 par les quantités de réponses itérées. L'évolution de l'entropie des TIRs des participants de la condition contrôle I de l'expérience 1 semble exclure la possibilité que cette diminution de la variabilité des TIRs soit liée au taux de renforcement.

L'analyse de l'évolution de l'entropie des TIRs enregistrés pour les conditions où les participants n'avaient atteint aucun critère pour les expériences 1 et 4 nous apprend que l'augmentation de l'entropie des TIRs n'est pas systématique. A contrario, les mêmes analyses de l'évolution de l'entropie des TIRs menées pour les conditions où les participants avaient atteint au moins une fois le critère en composante 2 de l'expérience 1, pour les données récoltées dans les conditions pour lesquelles ils n'ont pas atteint le critère, montre une augmentation de l'entropie plus régulière. Ces deux ensembles de résultats suggèrent que l'histoire de renforcement influence l'augmentation de l'entropie des TIRs, comme il l'a été discuté au point discussion de l'expérience 1.

L'analyse dynamique non linéaire des patrons de réponses de participants soumis à des programmes de renforcement RF montre qu'il existe une dynamique des réponses, mesurable, et que celle-ci est fonction de la quantité de réponses itérées requises par la raison des programmes (expérience 2).

La soumission au cours de l'expérience 3 des participants de l'expérience 1 à des programmes de renforcement RF dont les raisons sont les mêmes que celles auxquelles ils ont été exposés lors de la procédure de discrimination conditionnelle en composante 1 de cette expérience 1 apporte des informations plus difficiles à interpréter. Nous y retrouvons l'existence de dynamiques de réponses propres aux quantités de réponses requises par les programmes de renforcement RF présentés, ce qui réplique le résultat général de l'expérience 2. Néanmoins, nous ne pouvons conclure à une correspondance entre l'atteinte du critère en composante 2 de l'expérience 1 et l'existence d'une dynamique des réponses itérées spécifique à la taille de chaque raison du couple. Nous ne retrouvons pas non plus de correspondance entre la non atteinte de ce critère et une dynamique des réponses itérées commune aux deux tailles de raisons du couple. On peut légitimement se demander ici si l'entraînement inhérent à la passation des 100 minutes pour chaque raison n'a pas permis

l'installation de cette dynamique propre à chaque raison. Dans cette perspective, un tel entraînement aurait pu influencer, si ces passations avaient été implémentées avant l'expérience 1, sur les performances des participants, dans le sens où ceux-ci auraient réussi là où ils ont échoué à atteindre le critère. L'autre possibilité pourrait résider en le fait que le critère a été fixé arbitrairement pour la composante 2 des expériences 1 et 4, et qu'il ne soit pas représentatif de la discrimination à proprement parler, du fait qu'il ne soit pas aussi fin qu'une analyse de la dynamique des réponses, telle qu'elle a été conduite aux expériences 2 et 3, pourrait l'être. L'expérience 3 et les analyses qui y sont menées nous permettent toutefois d'apprendre que la modification de la topographie des réponses requises pour compléter le programme de renforcement RF entraîne l'installation d'une dynamique de ces réponses propre à cette topographie et différente de la dynamique des réponses exhibées pour une même taille de raison ayant une topographie différente.

La perturbation de la dynamique des réponses via la modification de la topographie des réponses requises pour compléter la composante 1 de l'expérience 4 entraîne une diminution des performances en composante 2 des participants. Ce résultat appuie l'hypothèse d'une correspondance entre la stabilité de la dynamique des réponses itérées en composante 1 et les performances en composante 2.

Lorsqu'on se penche sur les analyses de la dynamique des réponses des participants de l'expérience 3 pour la topographie de réponse T2, on s'aperçoit qu'il y a moins de cas où l'ensemble des points formés par l'application de premiers retours est distinct de la population normale (générée via bootstrap). Néanmoins, la forme des ensembles de points pour les cas où cette distinction avec la population normale n'atteint pas le critère établi (grand axe supérieur à 99% de la population bootstrap et / ou petit axe inférieur à 1% de la population bootstrap) semble approcher la forme des ensembles de points pour lesquels la distinction atteint le critère (voir tableau 5). Si l'on s'intéresse, en parallèle, aux performances des participants en

composante 2 de l'expérience 4, on s'aperçoit que la perturbation de la dynamique des réponses en composante 1 semble entraîner la perturbation de l'installation de la discrimination en composante 2 par les quantités de réponses itérées en composante 1. En effet, la perturbation de la dynamique des réponses induite expérimentalement a entraîné des performances basses pour tous les participants, y compris pour le participant SED9, seul à avoir atteint le critère à l'expérience 4, qui ne l'a atteint qu'à la 4^{ème} session. Ces deux résultats, pris ensembles, peuvent nous laisser penser que pour cette topographie de réponse (T2), la dynamique des réponses est plus longue à se stabiliser, mais que c'est bien la stabilisation de ladite dynamique des réponses qui permet la discrimination par des quantités de réponses itérées, plutôt que la discrimination par des quantités de réponses itérées qui entraîne l'installation d'une dynamique des réponses spécifiques à chaque quantité.

II. Quantités de réponses itérées et temps

Bien que nous nous intéressions à la discrimination des comportements par les quantités discrètes et plus particulièrement par les quantités de réponses itérées, nous ne pouvons faire l'économie de l'analyse de l'effet du temps écoulé durant la complétion des essais en composante 1 des expériences 1 et 4 sur les performances enregistrées. Cette confusion des variables indépendantes que sont le nombre de réponses et le temps nécessaire à leur émission dans les programmes de renforcement RF sur les patrons de réponses a déjà suscité des investigations expérimentales. Ainsi, Neuringer et Schneider (1968) cherchent à définir quel aspect de l'environnement, du nombre de réponses requises ou du temps inter renforcement, contrôle les réponses des animaux dans les programmes de renforcement. Pour ce faire, ils étudient l'évolution des latences de réponses dans des programmes de renforcement RF et IF lorsque des temps d'indisponibilité (TI) de la clé de réponse suivent chaque réponse après lesquelles aucun renforçateur n'est délivré. Autrement dit, les réponses 1 à N-1 de chaque essai dans un programme de renforcement RF N, et toutes les réponses

émises avant la fin de l'intervalle dans un programme de renforcement IF sont suivies d'un TI. Ils font varier la longueur des TI dans chacun des deux programmes. La durée des TI dans les programmes de renforcement IF sont incluses dans le décompte de l'intervalle, le temps inter renforcement dans ces programmes est donc constant, quelle que soit la valeur des TI. A contrario, du fait du nombre de réponses requis par la contingence d'un programme de renforcement RF, l'ajout des TI après chaque réponse non suivie de renforcement entraîne un allongement de la durée inter renforcement dans les programmes RF. Les résultats montrent que les latences de réponses augmentent proportionnellement à la longueur des TI dans les programmes de renforcement RF mais qu'elles restent constantes, quelle que soit la longueur des TI dans les programmes de renforcement IF. Les auteurs en concluent que c'est la durée inter renforcement qui contrôle les patrons de réponses, plutôt que le nombre de réponses exhibées par les animaux entre les renforçateurs. Cette conclusion est néanmoins hâtive au regard du protocole expérimental utilisé, puisqu'une seule valeur de raison a été utilisée dans cette étude (RF 15). On peut tout à fait interroger l'effet de la variation de la taille de la raison sur les résultats obtenus. Le problème de cette manipulation expérimentale réside en le fait que les variables indépendantes que sont le nombre de réponses et le temps sont confondues : faire varier les tailles des raisons entraîne une augmentation des temps inter renforcement. On trouve peut-être un élément de réponse en s'intéressant à l'étude de Mazur et Kralik (1990), à propos de l'effet du nombre de réponses sur une tâche de choix entre des programmes concurrents. Les alternatives présentées aux animaux dans leur expérience, sont des programmes de renforcement RF en concurrence avec des programmes de renforcement à temps variables. Dans ces derniers programmes, le renforçateur est délivré après un temps variable dont la moyenne et l'écart-type ont été préalablement définis par l'expérimentateur, indépendamment des réponses de l'animal. En manipulant le délai dans les programmes de renforcement à temps variables et le nombre de réponses requis dans les programmes de

renforcement RF, ils observent que le point d'indifférence (correspond au fait que les deux programmes soient paramétrés de telle façon à ce que les animaux choisissent de façon équiprobable les deux alternatives) évolue de façon non linéaire à mesure qu'on augmente le délai et la taille de la raison. Ceci semble valider l'existence d'un effet du nombre de réponses requises par le programme de renforcement RF qui soit isolé du temps inter renforcement dans ce type de contingences. Ces deux résultats, contradictoires, montrent toute la difficulté de la communauté scientifique à distinguer précisément l'effet du nombre de réponses requis par les programmes de renforcement RF de celui du temps écoulé pour émettre ces réponses. La présente recherche n'a pas pour vocation d'apporter une solution précise et définitive à ce problème. Néanmoins, plusieurs données récoltées appuient l'idée d'un effet du nombre de réponses, isolé du temps écoulé pour émettre ces réponses. Les résultats des participants SE4 et SE5 en condition aveugle de l'expérience 1 montrent qu'ils n'ont pas réussi à atteindre le critère en composante 2 quand les échantillons de temps étaient présentés isolément en composante 1. Pourtant, ces mêmes participants avaient atteint le critère dans les conditions expérimentales (nombre de réponses requis), desquelles ont été récupérés les échantillons de temps présentés dans la condition aveugle. Inclure les quantités de réponses émises en composante 1 dans l'explication apparaît être la seule alternative pour justifier de cette différence entre les performances dans les deux ensembles de conditions (expérimentales et aveugles). Le deuxième argument allant dans ce sens concerne la comparaison des performances entre l'expérience 1 et l'expérience 4. La seule variable manipulée entre ces deux expériences est la topographie de la réponse. En effet, tandis que les différences relatives entre les médianes des TIRs cumulés par essai sont constantes pour les couples de quantités éloignées (RF 11 – RF 19 et RF 19 – RF 29), les performances des participants en composante 2 des deux expériences sont différentes. Il semble donc justifier de considérer que la dynamique des réponses en composante 1 rend compte ici de cette différence entre les

performances des deux expériences en composante 2 plutôt que le temps écoulé pour émettre ces réponses.

III. Limites et ouvertures

La principale limite de cette ensemble d'expériences réside dans l'incapacité, déjà mentionnée, à trouver une correspondance entre les régularités des dynamiques des réponses observées par le biais des analyses dynamiques non linéaires conduites à l'expérience 3 et les performances des mêmes participants en composante 2 de l'expérience 1. Ces résultats contradictoires ouvrent la voie à de futures recherches. D'une part, ils questionnent la définition des critères utilisés pour conclure à l'établissement effectif d'une discrimination conditionnelle par des quantités de réponses itérées. D'autre part, les critères de décision choisis dans la présente pour conclure à la distinction ou non d'une dynamique des réponses via la comparaison des ensembles de points en application de premiers retours (le rang percentile de l'aire de recouvrement des ellipses circonscrites à ces deux ensembles, lorsque celle-ci est comparée à une population bootstrap) peut aussi être interrogée, et pourrait faire l'objet d'investigations plus poussées. Cette étude se veut exploratoire, et à ce titre, n'a pu pousser certaines questions aussi loin qu'il aurait fallu. Ainsi, il aurait pu être pertinent de poursuivre les passations des participants pour au moins toutes les conditions de l'expérience 1 où les couples de raisons présentés étaient éloignés et pour tous les participants de l'expérience 4 jusqu'à ce que ceux-ci atteignent le critère. Nous aurions pu, ce faisant, obtenir des informations sur la durée nécessaire à l'installation de la discrimination conditionnelle par des quantités de réponses itérées, en fonction de la topographie des réponses requises. Nous aurions, de surcroît, eu plus d'informations pour confronter les résultats des analyses des expériences 2 et 3 avec les performances des participants en composantes 2 des expériences 1 et 4. Toutefois, la difficulté pour ce faire n'est pas uniquement due à un choix des expérimentateurs, mais a également trait à la faisabilité de recruter des participants humains à-

mêmes de participer assez longtemps, pour un nombre de sessions non défini au départ, à une expérience somme toute coûteuse, à la fois en temps et en effort (pour rappel, les participants doivent appuyer avec le pouce à une force au moins égale à 65% de leur force maximale tout au long des sessions). Une étude similaire, adaptée à des animaux non humains, serait peut-être plus judicieuse pour explorer plus avant ces questions. En dernier lieu, la présente étude n'a pu permettre de proposer une modélisation des patrons de réponses des participants humains soumis à des programmes de renforcement RF. Cependant, la reconstruction d'attracteurs à partir des patrons de réponses étudiés, permet de conclure que notre objet d'étude (les patrons de réponses de participants humains soumis à des programmes de renforcement RF) apparaît être un système dynamique déterministe et peut donc être modélisé. Pour ce faire, la détermination des variables collectives agissant sur ce système aura encore à être effectuée, mais la voie vers l'élaboration d'une modélisation de ce système a pu être précisée.

CONCLUSION

L'étude de la discrimination des comportements par les quantités discrètes de réponses itérées chez l'humain a permis de découvrir l'existence de propriétés quant à l'évolution de l'entropie des TIRs. Elle a également permis de suggérer à une correspondance entre cette évolution de l'entropie des TIRs et l'installation d'une discrimination conditionnelle des comportements par lesdites quantités de réponses itérées. Des propriétés déterministes de la dynamique de ces réponses ont pu être montrées et ouvrent ainsi la voie sur de futures recherches pour compléter ces connaissances et aboutir, peut-être, à une modélisation précise et juste des patrons de réponses d'animaux humains et non humains soumis à des programmes de renforcement RF. Les résultats rapportés ici semblent suggérer qu'une telle modélisation pourrait éventuellement nous permettre de comprendre mieux les liens qui existent entre ces patrons de réponses et la discrimination des comportements par les quantités discrètes de réponses itérées, et les quantités discrètes quelles qu'elles soient plus généralement.

REFERENCES

- Al Aïn, S., Giret, N., Grand, M., Kreutzer, M., & Bovet, D. (2009). The discrimination of discrete and continuous amounts in African grey parrots (*Psittacus erithacus*). *Animal cognition*, *12*(1), 145-154.
- Alling, K., & Poling, A. (1995). The effect of differing response-force requirements on fixed-ratio responding of rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *63*(3), 331-346.
- Almeida, A., Arantes, J. & Machado, A. (2007). Numerosity discrimination in preschool children. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *88*(3), 339-354.
- Biro, D., & Matsuzawa, T. (1999). Numerical ordering in a chimpanzee. *Pan troglodytes*.
- Bizo, L. A., & Killeen, P. R. (1997). Models of ratio schedule performance. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *23*(3), 351.
- Boysen, S. T., & Berntson, G. G. (1995). Responses to quantity: perceptual versus cognitive mechanisms in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *21*(1), 82.
- Capaldi, E. J., & Miller, D. J. (1988). Counting in rats: Its functional significance and the independent cognitive processes that constitute it. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *14*(1), 3.
- Cheney, C. D., & Pierce, W. D. (2004). *Behavior Analysis and Learning*. Mahwah, NJ: Laurence Erlbaum Associates, INC., Publishers.
- Clarke, E. J., & Barton, B. A. (2000). Entropy and MDL discretization of continuous variables for Bayesian belief networks. *International Journal of Intelligent Systems*, *15*(1), 61-92.

- Clément, C. (1999). *L'ontogenèse du contrôle temporel du comportement humain envisagé comme un système dynamique non linéaire* (Doctoral dissertation, Lille 3).
- Crossman, E. K. (1968). Pause relationships in multiple and chained fixed-ratio schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *11*(2), 117-126.
- Crossman, E. K., & Silverman, L. T. (1973). Altering the proportion of components in a mixed fixed-ratio schedule. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *20*(2), 273-279.
- Crossman, E. K., Trapp, N. L., Bonem, E. J., & Bonem, M. K. (1985). Temporal patterns of responding in small fixed-ratio schedules. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *43*(1), 115-130.
- Crossman, E. K., Bonem, E. J., & Phelps, B. J. (1987). A comparison of response patterns on fixed-, variable-, and random-ratio schedules. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *48*(3), 395-406.
- Davison, M. C. (1969). Successive interresponse times in fixed-ratio and second-order fixed-ratio performance. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *12*(3), 385-389.
- Derenne, A., & Baron, A. (2002). Preratio pausing: effects of an alternative reinforcer on fixed and variable-ratio responding. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *77*(3), 273-282.
- Efron B. Jolivet E. Hordan R. (1995). *Le bootstrap et ses applications: Discrimination & régression*. Saint-Mandé, France: CISIA.
- Felton, M., & Lyon, D. O. (1966). The post-reinforcement pause. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *9*(2), 131-134.

- Ferster, C. B., & Skinner, B. F. (1957). Schedules of reinforcement. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Gott, C. T., & Weiss, B. (1972). The development of fixed-ratio performance under the influence of ribonucleic acid. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 18(3), 481-497.
- Grunow, A., & Neuringer, A. (2002). Learning to vary and varying to learn. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(2), 250-258.
- Herrnstein, R. J. (1961). Relative and Absolute strength of Response as a Function of Frequency of Reinforcement¹, 2. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 4(3), 267-272.
- Honig, W. K. (1993). Numerosity as a dimension of stimulus control. In S. T. Boysen, & E. J. Capaldi (Eds.), *The development of numerical competence: Animal and human models* (pp. 3–37). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hoyert, M. S. (1992). Order and chaos in fixed-interval schedules of reinforcement. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 57(3), 339-363.
- Kaplan, M. (1956). The maintenance of escape behavior under fixed-ratio reinforcement. *Journal of comparative and physiological psychology*, 49(2), 153.
- Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological review*, 95(2), 274.
- Killeen, P. R. (1994). Mathematical principles of reinforcement. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(01), 105-135.

- Lau, B., & Glimcher, P. W. (2005). Dynamic response-by-response models of matching behavior in Rhesus monkeys. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 84(3), 555-579.
- Lautrey, J., Mullet, E., & Paques, P. (1989). Judgments of quantity and conservation of quantity: The area of a rectangle. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47(2), 193-209.
- Lindsay, W. L. (1880). *Mind in the lower animals, in health and disease* (Vol. 1). D. Appleton and Company.
- Machado, A., & Rodrigues, P. (2007). The differentiation of response numerosities in the pigeon. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 88(2), 153-178.
- McDowell, J. J., Bass, R., & Kessel, R. (1992). Applying linear systems analysis to dynamic behavior. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 57(3), 377-391.
- Malott, R. W. (1966). The effects of prefeeding in plain and chained fixed ratio schedules of reinforcement. *Psychonomic Science*, 4(7), 285-286.
- Marden, J. I. (2015). *Multivariate Statistics*. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Matsuzawa, T. (1985). Use of numbers by a chimpanzee. *Nature*, 315(2), 57-59.
- Matthews, B. A., Shimoff, E., Catania, A. C., & Sagvolden, T. (1977). Uninstructed human responding: sensitivity to ratio and interval contingencies. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 27(3), 453-467.
- Mazur, J. E. (1982). A molecular approach to ratio schedule performance. *Quantitative analyses of behavior*, 2, 79-110.

- Mazur, J. E., & Hyslop, M. E. (1982). Fixed-ratio performance with and without a postreinforcement time out. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 38(2), 143-155.
- Mazur, J. E. (1983). Steady-state performance on fixed-, mixed-, and random-ratio schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 39(2), 293-307.
- Mazur, J. E., & Kralik, J. D. (1990). Choice between delayed reinforcers and fixed-ratio schedules requiring forceful responding. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 53(1), 175-187.
- Mechner, F. (1958). Probability relations within response sequences under ratio reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 1, 109–122.
- Miller, L. K. (1968). Escape from an effortful situation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11(5), 619-627.
- Neuringer, A. J., & Schneider, B. A. (1968). Separating the effects of interreinforcement time and number of interreinforcement responses. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11(6), 661-667.
- Pear, J. J., & Rector, B. L. (1979). Constituents of response rate. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 32(3), 341-362.
- Perone, M., & Courtney, K. (1992). fixed-ratio pausing: Joint effects of past reinforcer magnitude and stimuli correlated with upcoming magnitude. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 57(1), 33-46.
- Perone, M. (2003). Negative effects of positive reinforcement. *The Behavior Analyst*, 26(1), 1.
- Powell, R. W. (1968). The effect of small sequential changes in fixed-ratio size upon the post-reinforcement pause. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11(5), 589-593.

Powell, R. W. (1969). The effect of reinforcement magnitude upon responding under fixed-ratio schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *12*(4), 605-608.

Rayburn-Reeves, R. M., Miller, H. C., & Zentall, T. R. (2010). "Counting" by pigeons: Discrimination of the number of biologically relevant sequential events. *Learning & Behavior*, *38*(2), 169-176.

Rilling, M. (1967). Number of responses as a stimulus in fixed interval and fixed ratio schedules. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *63*, 60-65.

Rilling, M. (1993). Invisible counting animals: A history of contributions from comparative psychology, ethology, and learning theory. In S. T. Boysen, & E. J. Capaldi (Eds.), *The development of numerical competence: Animal and human models* (pp. 3-37). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Sanders, R. M. (1969). Concurrent fixed-ratio fixed-interval performances in adult human subjects. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *12*(4), 601-604.

Schlinger, H. D., Derenne, A., & Baron, A. (2008). What 50 years of research tell us about pausing under ratio schedules of reinforcement. *Behavior Analyst*, *31*(1), 39.

Shalizi, C. R. (2006). Methods and techniques of complex systems science: An overview. In *Complex systems science in biomedicine* (pp. 24-27). Springer US.

Tatham, T. A., Wanchisen, B. A., & Hineline, P. N. (1993). Effects of fixed and variable ratios on human behavioral variability. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *59*(2), 349-359.

Wade-Galuska, T., Perone, M., & Wirth, O. (2005). Effects of past and upcoming response-force requirements on fixed-ratio pausing. *Behavioural processes*, *68*(1), 91-95.

Wanchisen, B. A., Tatham, T. A., & Hineline, P. N. (1988). Pigeons choices in situations of diminishing returns: fixed- versus progressive-ratio schedules. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 50(3), 375-394.

Wanchisen, B. A., Tatham, T. A., & Hineline, P. N. (1992). Human choice in “counterintuitive” situations: fixed- versus progressive-ratio schedules. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 58(1), 67-85.

Williams, D. C., Saunders, K. J., & Perone, M. (2011). Extended pausing by humans on multiple fixed-ratio schedules with varied reinforcer magnitude and response requirements. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 95(2), 203-220.

Winograd, E. (1965). Escape behavior under different fixed ratio and shock intensities. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 8(2), 117-124.

Zarcone, T. J., Chen, R., & Fowler, S. C. (2007). Effects of differing response-force requirements on food-maintained responding in CD-1 mice. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 88(3), 381-393.

ANNEXES

Annexe 1.1 : tableau des données pour tous les participants des expériences 1 et 4 ayant atteint le critère en composante 2

Critère atteint en composante 2							
Participants	RF 1	RF 2	Nombre de classes	Entropie ED1	Entropie ED2	ED2 - ED1	Rang percentile
SE1	11	19	24	0,47588	0,38266	-0,09322	3,05E-06
SE2	11	19	14	0,65336	0,53017	-0,12319	3,09E-14
SE4	11	19	19	0,53848	0,45613	-0,08235	2,18E-05
SE5	11	19	16	0,47446	0,26857	-0,20589	2,74E-13
SE2	19	29	16	0,52889	0,46946	-0,05943	9,17E-03
SE4	19	29	15	0,53202	0,37575	-0,15627	3,30E-08
SE5	19	29	15	0,46492	0,42732	-0,0376	6,48E-02
SE2	11	13	15	0,62426	0,53259	-0,09168	8,36E-04
SE4	11	13	25	0,45439	0,35553	-0,09886	3,22E-05
SE5	11	13	17	0,43201	0,40093	-0,03108	2,37E-01
SE4	17	19	24	0,37469	0,38205	0,00736	5,76E-01
SE5	17	19	23	0,55571	0,42128	-0,13443	9,28E-07
SCRR1	11	19	14	0,68903	0,46113	-0,2279	6,88E-19
SCRR2	11	19	17	0,37072	0,23174	-0,13898	1,52E-08
SCD9	11	19	22	0,48038	0,38997	-0,09041	1,39E-08

Annexe 1.2 : tableau des données pour tous les participants des expériences 1 et 4 n'ayant pas atteint le critère en composante 2

Critère non atteint en composante 2							
Participants	RF 1	RF 2	Nombre de classes	Entropie ED1	Entropie ED2	ED2 - ED1	Rang percentile
SE1	19	29	11	0,50346	0,66577	0,16231	1,00E+00
SE1	11	13	19	0,5249	0,76377	0,23887	1,00E+00
SE1	17	19	6	0,74667	0,85203	0,10537	1,00E+00
SE2	17	19	16	0,62211	0,54365	-0,07846	4,00E-04
SE1	29	31	8	0,75563	0,91013	0,1545	1,00E+00
SE2	29	31	12	0,45066	0,64814	0,19747	1,00E+00
SE4	29	31	18	0,56683	0,61448	0,04765	9,98E-01
SE5	29	31	14	0,5534	0,55908	0,00568	6,89E-01
SE6	11	19	15	0,43905	0,53008	0,09102	9,99E-01
SE7	11	19	20	0,31325	0,43821	0,12497	1,00E+00
SE8	11	19	16	0,57004	0,46182	-0,10822	2,70E-06
SE9	11	19	23	0,41887	0,41804	-0,00082	5,82E-01
SCD1	11	19	27	0,38368	0,38445	0,00077	6,32E-01
SCD2	11	19	23	0,41541	0,4237	0,00829	8,25E-01
SCD3	11	19	20	0,34686	0,60723	0,26037	1,00E+00
SCD4	11	19	15	0,64062	0,61569	-0,02493	7,26E-02
SCD5	11	19	16	0,33992	0,33165	-0,00827	3,50E-01
SCD6	11	19	13	0,64072	0,74788	0,10716	1,00E+00
SCD8	11	19	18	0,43579	0,40489	-0,0309	2,42E-02
SCD10	11	19	21	0,40581	0,49619	0,09038	1,00E+00

Annexe 2 : comparaisons deux à deux pour toutes les conditions où la réponse T1 était requise pour chaque participant (expérience 3)

Participants	Raison 1	Raison 2	Rang percentile de l'aire de recouvrement
SE2	11	13	< 1er
SE2	11	17	< 1er
SE2	11	19	3,77E-01
SE2	11	29	< 1er
SE2	11	31	< 1er
SE2	13	17	2,51E-01
SE2	13	19	< 1er
SE2	13	29	< 1er
SE2	13	31	< 1er
SE2	17	19	< 1er
SE2	17	29	< 1er
SE2	17	31	9,54E-02
SE2	19	29	< 1er
SE2	19	31	< 1er
SE2	29	31	< 1er
SE4	11	13	< 1er
SE4	11	17	< 1er
SE4	11	19	< 1er
SE4	11	29	< 1er
SE4	11	31	< 1er
SE4	13	17	< 1er
SE4	13	19	< 1er
SE4	13	29	< 1er
SE4	13	31	< 1er
SE4	17	19	< 1er
SE4	17	29	< 1er
SE4	17	31	< 1er
SE4	19	29	4,52E-01
SE4	19	31	< 1er
SE4	29	31	< 1er
SE5	11	17	< 1er
SE5	11	19	> 99 ème
SE5	11	29	2,23E-01
SE5	11	31	< 1er
SE5	17	19	8,78E-02
SE5	17	29	9,91E-01
SE5	17	31	> 99ème
SE5	19	29	9,19E-01
SE5	19	31	< 1er
SE5	29	31	7,24E-01

APPENDIX

Appendix 1 : la capture par l'analyse dynamique non linéaire de la variabilité du système étudié

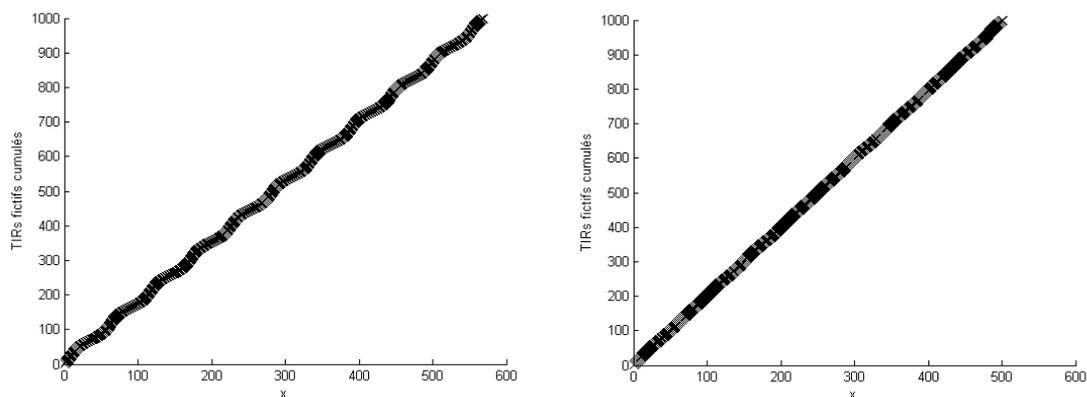
Pour comprendre comment l'analyse dynamique non linéaire apporte de l'information à propos de la variabilité, partons de fonctions connues, et observons comment en rend compte l'analyse dynamique non linéaire. L'objectif ici va être de comparer deux fonctions incluant du bruit, pour étudier comment l'analyse menée peut apporter de l'information au-delà de ce que peut apporter l'analyse des pentes de régressions linéaires des courbes issues de ces fonctions. Pour ce faire, créons deux tableaux de 1000 TIRs fictifs à partir de deux fonctions, l'une sinusoïdale (FS) et l'autre double-sinusoïdale (F2S) :

$$FS = TIR_m + TIR_m(1/2) \sin(x), \quad (A1.1)$$

$$F2S = TIR_m + TIR_m(1/10) \sin(x) + TIR_m * (1/20) \sin(x), \quad (A1.2)$$

Où TIR_m est fixé à 0,5.

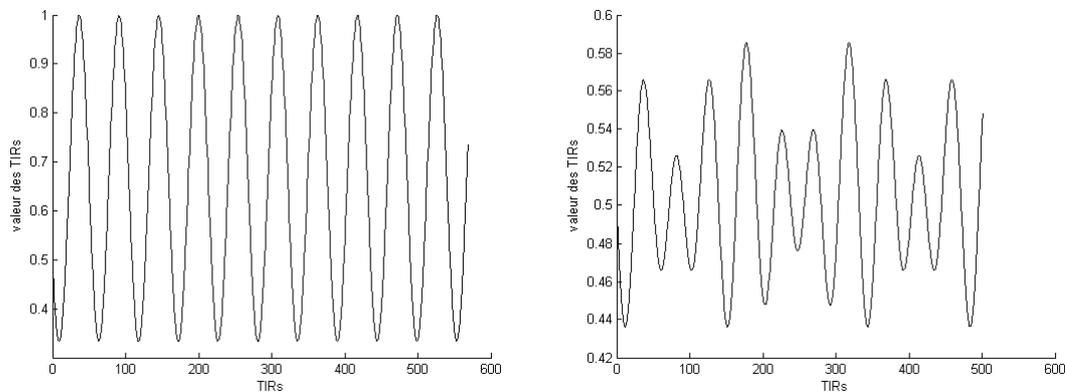
En cumulant les TIRs on obtient les courbes des figures A1.1 et A1.2, correspondant aux enregistrements cumulés classiques récoltés en analyse du comportement. Considérons désormais ces courbes de départ comme des systèmes dont nous souhaitons étudier la dynamique naïvement.



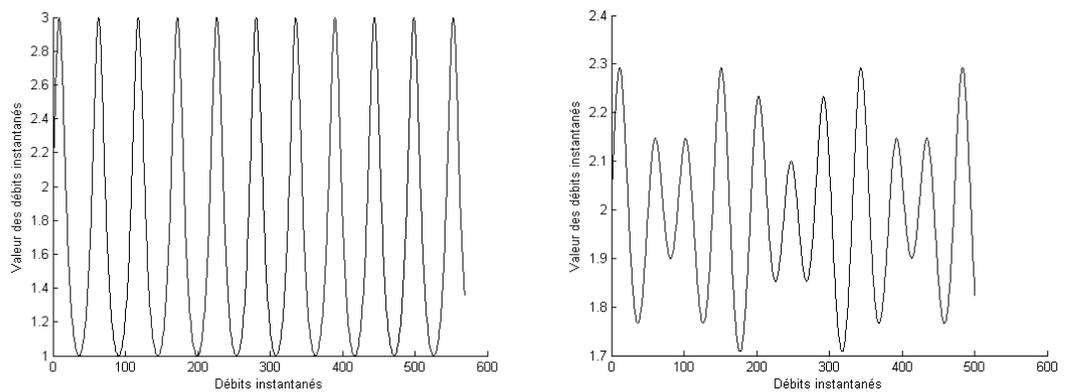
Figures A1.1 et A1.2 : TIRs fictifs cumulés générés à partir de la fonction FS (à gauche) et $F2S$ (à droite) en fonction de x .

Notons que les coefficients directeurs des droites des régressions linéaires des deux courbes représentées dans ces figures A1.1 et A1.2 sont égaux.

Les figures A1.3 et A1.4 présentent les TIRs successifs pour chacune des deux fonctions. Les figures A1.5 et A1.6 les débits instantanés obtenus en prenant les inverses des TIRs, à partir desquels nous conduirons les analyses dynamiques non linéaires pour chaque ensemble de données. On observe désormais nettement la différence dans la variabilité entre les deux ensembles issus des deux fonctions en comparant les deux couples de figures.



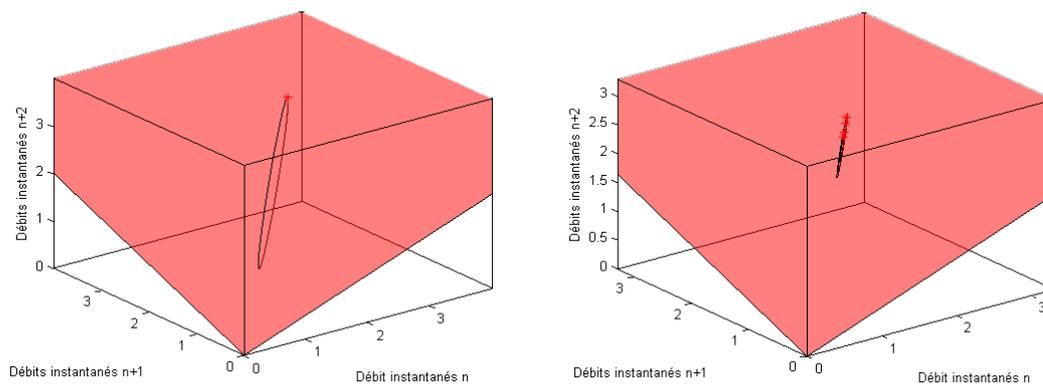
Figures A1.3 et A1.4 : TIRs fictifs générés à partir des fonctions FS (à gauche) et $F2S$ (à droite).



Figures A1.5 et A1.6 : débits instantanés calculés à partir des TIRs fictifs générés par les fonctions FS (à gauche) et $F2S$ (à droite).

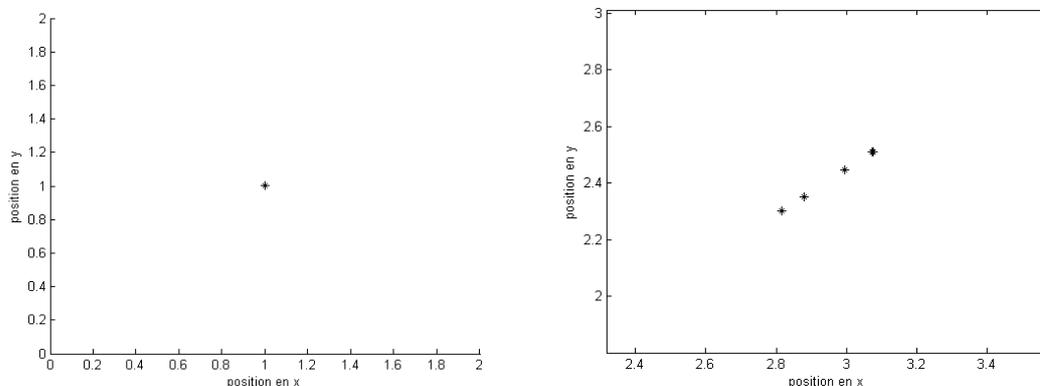
Désormais, nous allons représenter dans l'espace chaque ensemble de débits instantanés. Nous les représentons dans un espace à 3 dimensions pour obtenir ce qu'on nomme le portrait de phases (voir figure A1.7 et A1.8). Chaque débit instantané est représenté en fonction des

deux précédents. Nous avons donc sur l'axe x les valeurs des débits instantanés n , en y les valeurs des débits instantanés $n + 1$ et en z les valeurs des débits instantanés $n + 2$. La figure obtenue est appelée un système. Ensuite, nous coupons le flot du système par un plan (le plan tranche le système de telle façon à ce que le nombre de points de passages de l'orbite effectuée par le système dans ce plan soit maximal).



Figures A1.7 et A1.8 : portraits de phases des ensembles de données issus de FS (à gauche) et $F2S$ (à droite). Le plan est représenté en rouge transparent. Les points en rouges sont les points du plan où les orbites des systèmes traversent ces plans.

Les figures A1.9 et A1.10 sont les représentations dans l'espace les sections de Poincaré. Ceci est obtenu en utilisant comme plan orthonormé le plan qui traversait le système dans le portrait de phases. Les sections de Poincaré sont les points de passage de l'orbite du système dans le plan (en rouge sur les figures A1.7 et A1.8).



Figures A1.9 et A1.10 : sections de Poincaré des ensembles de données issus de FS (à gauche) et $F2S$ (à droite).

On note ici que la complexité relative aux deux systèmes est capturée par l'analyse en cours. La fonction sinus, utilisée une fois dans la fonction FS , étant une fonction périodique à deux dimensions, lorsque nous projetons sa représentation en 3 dimensions dans un espace à deux dimensions (opération effectuée via les sections de Poincaré), nous obtenons un point dans l'espace (figure A1.9). A contrario, nous utilisons deux variables sinusoïdales dans la fonction $F2S$, la projection de telles fonctions dans un espace à deux dimensions, est une forme géométrique plus complexe (une droite). L'analyse dynamique non linéaire ici menée permet, à son issue de capturer les propriétés de l'attracteur (espace sur lequel évolue le système dans le portrait de phases) en représentant les sections de Poincaré les unes par rapport aux autres. Cette opération s'appelle une application de premiers retours. Pour ce faire, chaque section de Poincaré est représentée par rapport à celle qui lui précède dans un espace à deux dimensions (voir figure A1.11). Nous ne présenterons pas l'application de premiers retours pour l'ensemble des données issus de la fonction FS , puisqu'il n'existe qu'un point sur la section de Poincaré.

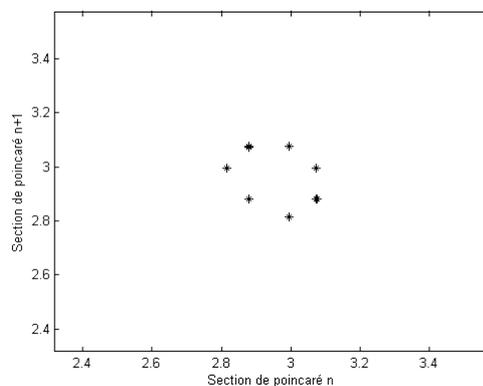


Figure A1.11 : application de premiers retours pour l'ensemble de données issu de la fonction $F2S$.

La forme géométrique de l'ensemble de points de l'application de premiers retours est ici remarquable. Elle montre l'existence d'un attracteur dit cyclique et implique une évolution du système étudié sur un espace toroïdal. Ainsi, si son espace d'évolution est un tore, alors il évolue en fonction d'une double fonction sinusoïdale (ce que nous savions, mais nous

partions du principe que nous cherchions à le savoir). En effet, il est aisé de comprendre que si le système évolue autour d'un tore, alors deux fonctions sinusoïdales sont en jeu (l'une du fait du rayon de l'anneau, et l'autre du fait du rayon du tore, allant de son centre au centre de l'anneau). Connaissant désormais les fonctions remarquables à l'origine des données initiales, une modélisation des données devient possible, où le nombre de paramètres du modèle dépendra desdites fonctions (e.g. 3 paramètres pour une fonction sinusoïdale, que sont l'amplitude, la pulsation et la phase).

L'objectif de cet appendix était double. D'une part il a visé à présenter la démarche suivie pour mener une analyse dynamique non linéaire via le théorème de plongement de Takens. D'autre part, il s'est voulu présenter la pertinence de l'utilisation de l'analyse dynamique non linéaire pour appréhender des ensembles de données présentant de la variabilité. Ainsi, nous avons pu voir que la seule information apportée par la pente de la courbe n'est pas suffisante, puisque pour des pentes de courbes égales, l'analyse présentée ici a montré l'existence de fonctions sous-jacentes différentes en complexité. Ajoutons, qu'on ne peut pas à partir d'une pente donnée, aboutir à la construction d'un système d'équation décrivant un système complexe donné.

Appendix 2 : détermination du nombre de classes pour mesurer l'entropie : méthode de discrétisation de données continues basée sur l'entropie (Clarke & Barton, 2000)

Pour déterminer le nombre de classes à utiliser afin de calculer l'entropie des ensembles de débits instantanés des participants aux expériences 1 et 4, nous avons suivi la méthode proposée par Clarke et Barton (2000). Cette technique permet de déterminer le nombre de classes optimal à utiliser pour l'ensemble de données étudié. Le nombre de classes est donc spécifique à l'ensemble de données. Il y a un nombre de classes spécifique à chaque ensemble de données, donc à chaque condition pour chaque participant. Les données utilisées ici sont celles du participant SE1 pour la condition RF11 versus RF 19.

Nous commençons par mesurer l'entropie des données pour chaque nombre de classe, jusqu'à ce que la valeur de l'entropie atteigne une asymptote (voir figure A2.1). Ensuite, nous représentons le segment allant du point où la courbe évolue ensuite de façon monotone au maximum de la courbe, ce segment est appelé corde (voir figure A2.2).

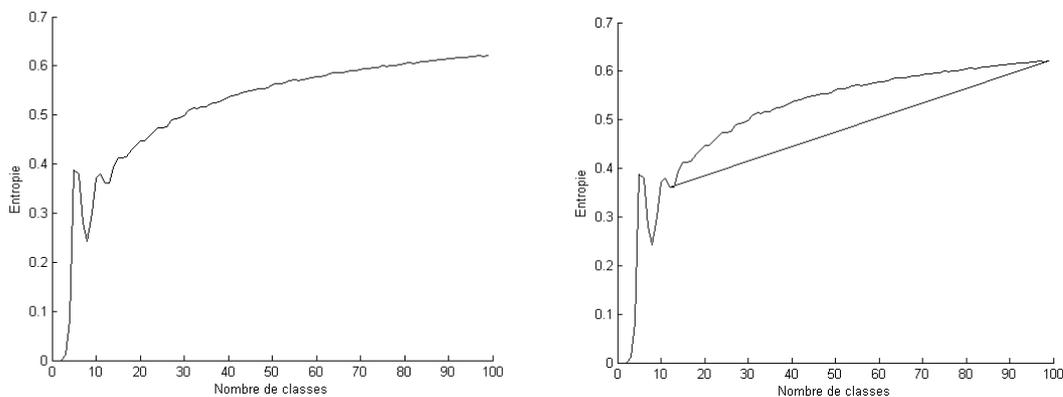


Figure A2.1 et A2.2 : valeur de l'entropie en fonction du nombre de classes (à gauche) et la même représentation où la corde est aussi représentée (à droite).

Les auteurs rapportent que le compromis optimal pour préserver un maximum de l'information apportée par l'entropie et conserver un nombre de classes acceptable est de choisir le nombre de classes pour lequel le changement du nombre de classes devient plus grand que le changement de l'entropie en fonction du nombre du nombre de classes. C'est le

point de la courbe le plus éloigné de la corde. L'évolution de la valeur de la distance entre la courbe et la corde est proportionnelle au score $S = x_{max}y - y_{max}x$. La coordonnée en abscisses du maximum de ce score représenté en fonction du nombre de classes renvoie donc le nombre de classes optimal (voir figure A2.3).

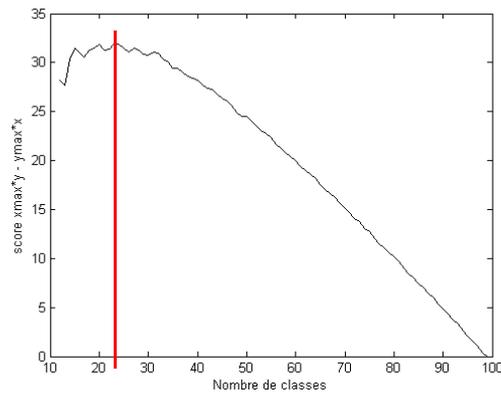
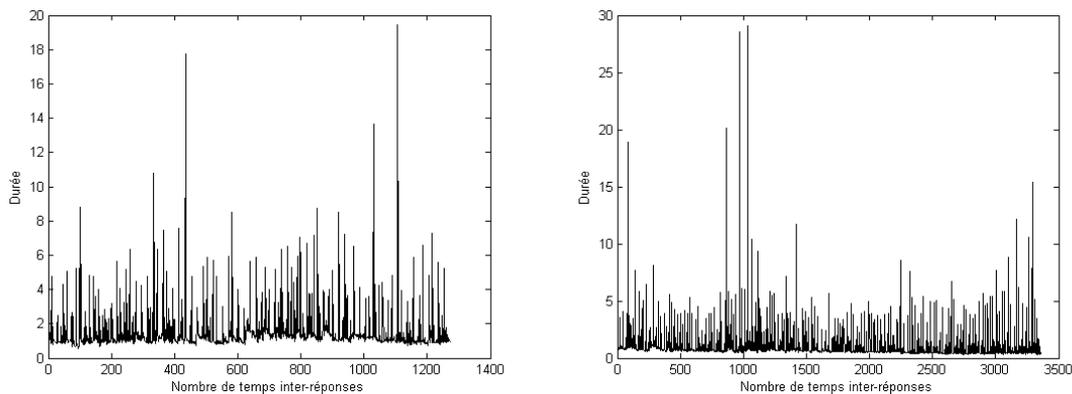


Figure A2.3 : évolution du score S en fonction du nombre de classes et coordonnées en abscisses du maximum de la courbe (en rouge) correspondant au nombre de classes optimal pour l'ensemble de données étudié.

Appendix 3 : illustration de l'analyse de l'évolution de l'entropie des débits instantanés de réponses

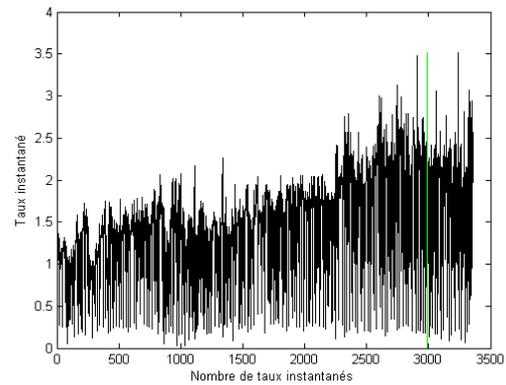
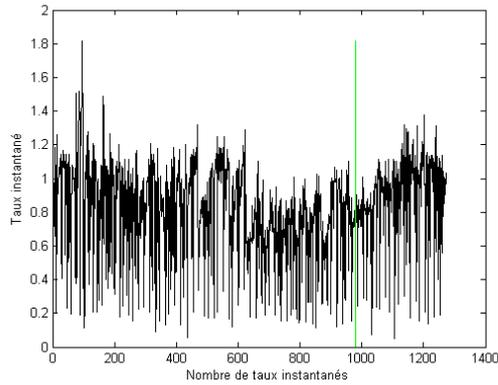
Pour réaliser l'analyse de l'évolution de l'entropie des débits instantanés des participants aux expériences 1 et 4, nous commençons par concaténer les TIRs en composante 1 des sessions d'une même condition pour un même participant, en soustrayant les temps de consommation du renforçateur et le temps passé en composante 2. Les deux analyses présentées ici utilisent les données du participant SE1 pour la condition où il a atteint le critère (RF 11 versus RF 19) et une condition où il n'a pas atteint le critère (RF 19 versus RF 29).

Les figures A3.1 et A3.2 présentent les TIRs concaténés des sessions en composante 1 pour chaque condition.



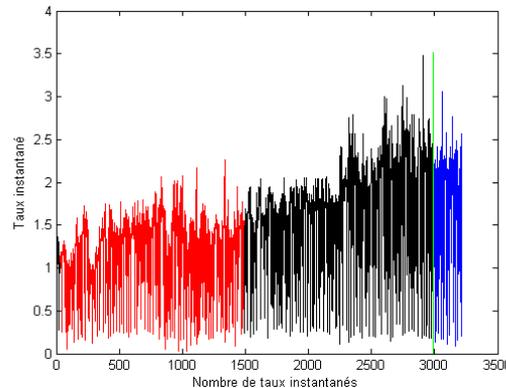
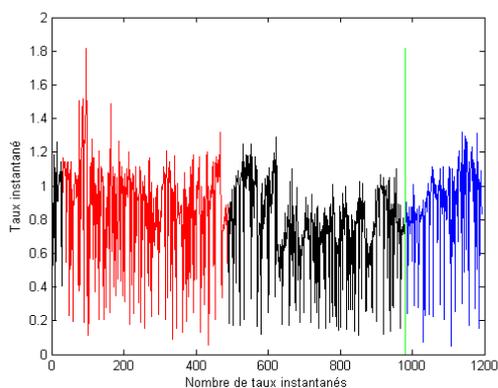
Figures A3.1 et A3.2 : représentation des TIRs pour un cas où le critère a été atteint (à gauche) et un autre où il n'a pas été atteint (à droite).

En calculant l'inverse des TIRs, nous obtenons les débits instantanés de réponses, représentés au figures A3.3 et A3.4.



Figures A3.3 et A3.4 : débits instantanés de réponses pour un cas où le critère a été atteint (à gauche) et un cas où il n'a pas été atteint (à droite). Le trait vert indique le débit instantané en composante 1 à partir duquel les réponses suivantes en composante 2 ont été correctes (à gauche) ou l'ensemble des débits instantanés en composante 1 correspondant au nombre d'essais en composante 1 qu'il aurait été nécessaire de compléter pour atteindre le critère si toutes les réponses en composante 2 en partant de la dernière étaient correctes (à droite).

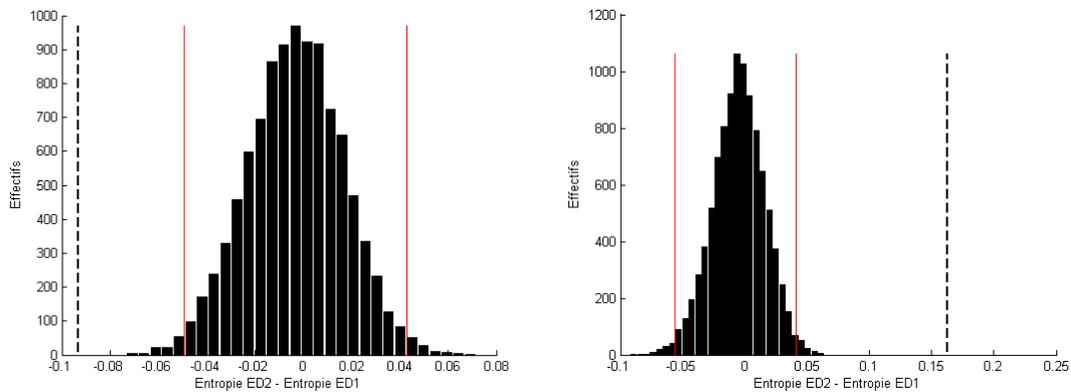
Il est intéressant de noter qu'on peut observer dans les données une dynamique qui semble différente. A partir de cet ensemble de débits instantanés, nous avons défini les sous-ensembles ED1 et ED2 (voir figures A3.5 et A3.6).



Figures A3.5 et A3.6 : débits instantanés et sous-ensembles ED1 (en rouge) et ED2 (en bleu) pour la condition où le participant a atteint le critère (à gauche) et une où il ne l'a pas atteint (à droite).

Nous avons ensuite calculé l'entropie U de chaque sous ensemble et calculé la valeur $DU = U_{ED2} - U_{ED1}$, pour chaque condition pour chaque participant. Nous obtenons ainsi une valeur DU réelle pour chaque condition pour chaque participant.

Suite à cela, nous avons ré-échantillonné chaque ensemble de débits instantanés pour chaque condition, pour chaque participant, redéfini deux sous-ensembles de la même façon qu'ici (en adoptant la même façon de procéder pour définir ED2 que pour les conditions où les participants n'avaient pas atteint le critère en composante 2) et recalculé de la même façon DU . Ce ré-échantillonnage a été effectué 10000 fois pour chaque participant, dans chaque condition (technique dite de bootstrap). Nous avons ainsi obtenu pour chaque participant dans chaque condition une population normale de valeurs DU à laquelle nous avons pu comparer la valeur réelle mesurée à partir des données ordonnées (voir figures A3.7 et A3.8).



Figures A3.7 et A3.8 : population bootstrap (histogrammes) et valeurs réelles de DU (courbes pointillées) pour une condition où le participant a atteint le critère (à gauche) et une condition où il nne l'a pas atteint (à droite). Les courbes rouges représentent le 1^{er} percentile (à gauche de l'histogramme) et le 99^{ème} percentile (à droite de l'histogramme) des populations bootstrap.

Appendix 4 : analyse dynamique via le théorème de plongement de Takens à partir des patrons de réponses des participants et conclusions à propos des applications de premiers retours

Nous avons pu présenter et illustrer la façon dont est conduite l'analyse dynamique non linéaire à l'appendix 1. Nous allons ici présenter, pour un participant pour une condition, une analyse dynamique non linéaire de réponses itérées, afin de bien illustrer ce qui est fait à partir de données empiriques réelles dans les expériences 2 et 3. Les données du participant SED11 pour la condition RF 11 ont été utilisées ici.

Nous commençons à partir de la courbe d'enregistrements cumulés des réponses (figure A4.1) des réponses du participant dans toutes les sessions de la condition, de laquelle ont été soustraites les durées de consommation du renforçateur et le premier TIR de chaque session.

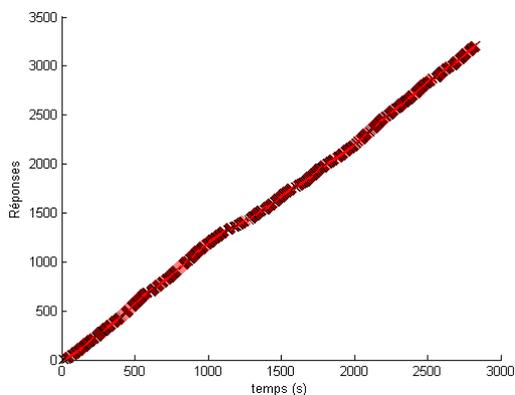


Figure A4.1 : enregistrement cumulé des réponses

A partir de ces données, nous représentons les TIRs, desquels nous déduisons les débits instantanés de réponses (figures A4.2 et A4.3).

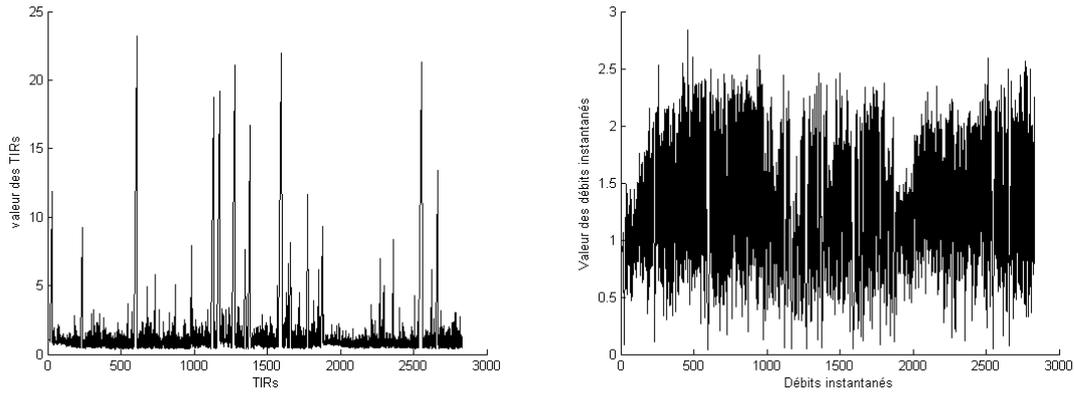


Figure A4.2 et A4.3 : TIRs (à gauche) et débits instantanés (à droite)

Nous construisons ensuite le portrait de phases en 3 dimensions à partir des débits instantanés dans lequel nous tranchons le flot du système par un plan (figure A4.4).

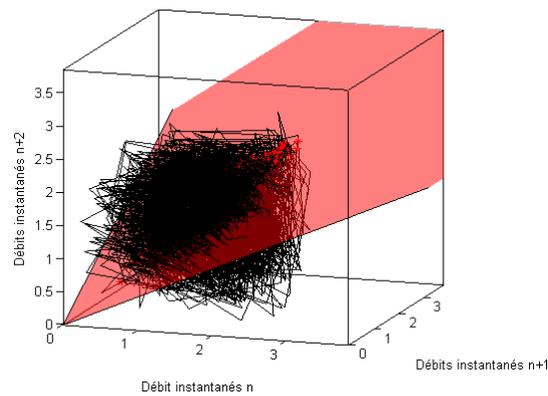
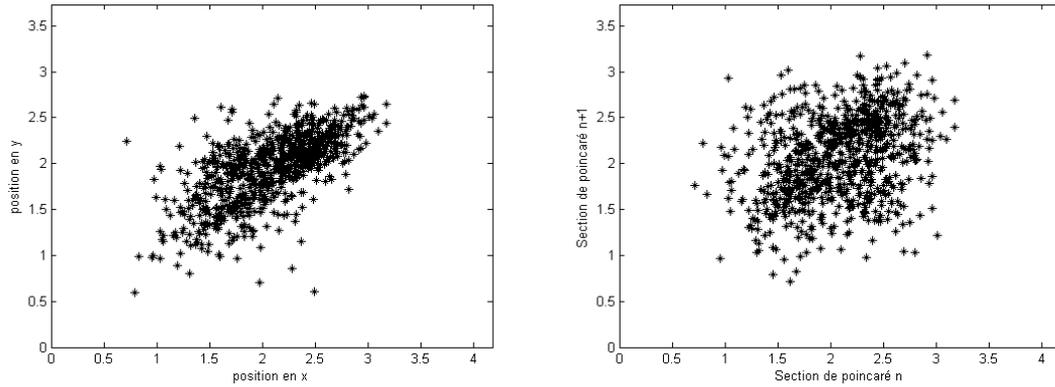


Figure A4.4 : portrait de phases. Le plan est représenté en rouge transparent. Les points rouges correspondent aux points du plan traversés par l'orbite du système.

Nous représentons ensuite les sections de Poincaré obtenues, et nous les distribuons chacune par rapport à celle qui la précède pour obtenir l'application de premiers retours (figures A4.5 et A4.6).



Figures A4.5 et A4.6 : sections de Poincaré (à gauche) et application de premiers retours (à droite)

Nous construisons l'ellipse circonscrite à l'ensemble de points de l'application de premiers retours (figure A4.7).

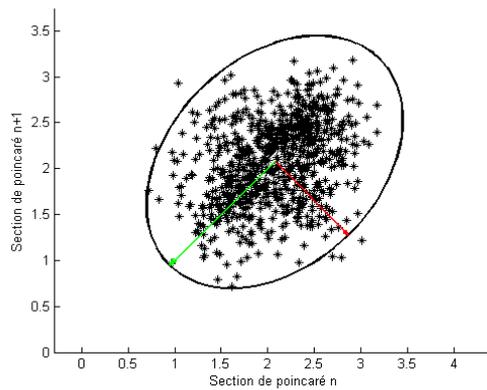


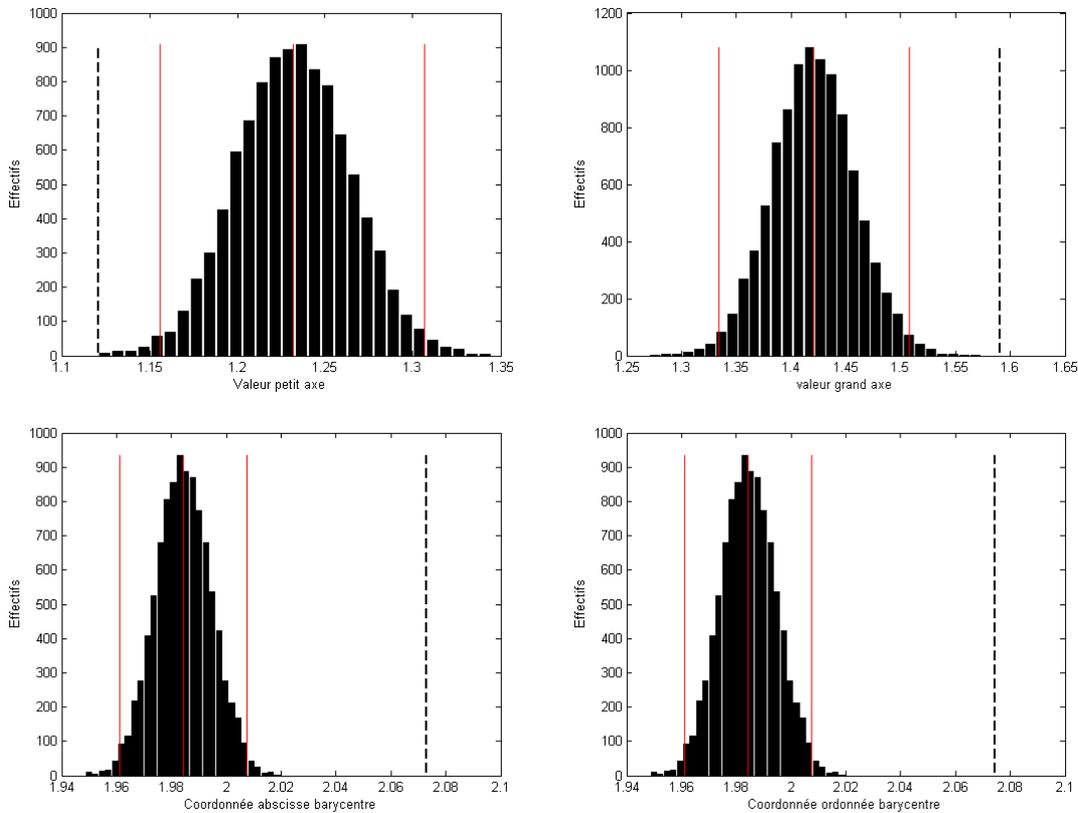
Figure A4.7 : ellipse circonscrite à l'ensemble de points de l'application de premiers retours.

Les valeurs du grand axe de l'ellipse et du petit axe de l'ellipse ainsi que les coordonnées du barycentre de l'ensemble de points sont enregistrées et conservées.

Après quoi, nous ré-échantillons les débits instantanés et reconduisons cette analyse. Ce ré-échantillonnage et la reconduite de l'analyse sont effectués 10000 fois afin d'obtenir 4 populations normales (une population de valeur de grand axes, une population de valeurs de petit axes, et une population pour chaque coordonnée du barycentre de l'ensemble de points).

Nous comparons chaque valeur réelle à la population normale qui y correspond (figures A4.8

à A4.11) et obtenons ainsi le rang percentile de la valeur réelle dans la population bootstrap qui lui correspond.



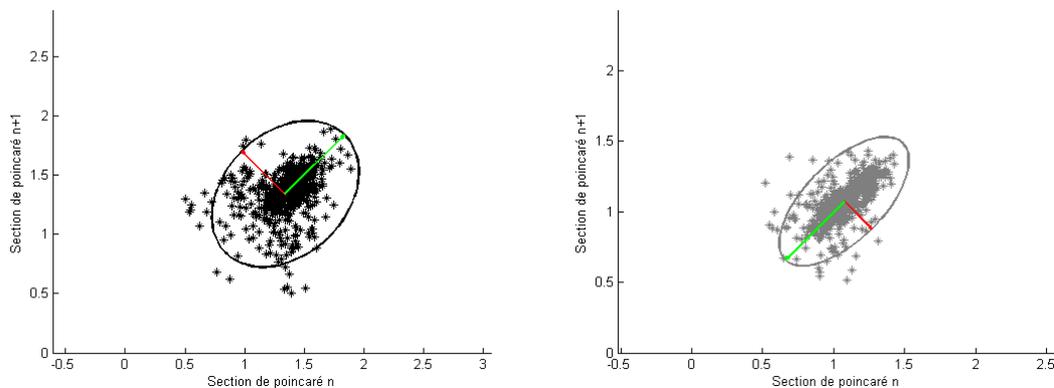
Figures A4.8 à A4.11 : populations bootstrap (histogrammes) et valeurs réelles (courbes pointillées) pour le petit axe de l'ellipse (haut gauche), le grand axe de l'ellipse (haut droite), la coordonnée en abscisses du barycentre de l'ensemble de points (bas gauche) et sa coordonnée en ordonnées (bas droite).

Si les rangs percentiles d'une ou plusieurs caractéristiques de l'ensemble de points sont en deçà du 1^{er} percentile ou au-delà du 99^{ème}, nous pouvons conclure que la forme de l'ensemble de point obtenue n'est pas due au hasard, mais est bien représentative d'une dynamique propre au système, et que ce système est déterministe.

Appendix 5 : comparaisons des applications de premiers retours pour un même participant
dans des conditions différentes

Pour comparer les applications de premiers retours pour un participant donné (expériences 3), dans des conditions différentes, afin de déterminer si la dynamique des réponses itérées dans ces conditions est différente ou non, nous procédons en comparant les aires de recouvrement des ellipses circonscrites aux ensembles de points des applications de premiers retours des deux conditions à une population bootstrap. Voici un exemple illustré de graphiques, réalisé à partir des données du participant SE4 pour les conditions RF 11 et RF 19.

A partir des applications de premiers retours obtenues de la façon dont ça a été présenté à l'appendix précédent, nous construisons les ellipses circonscrites à chacun des ensembles de points (voir figure A5.1 et A5.2).



Figures A5.1 et A5.2 : applications de premiers retours pour l'analyse des réponses de la condition RF11 (à gauche) et RF19 (à droite) pour le participant SE4.

Pour mieux illustrer, nous allons ici regrouper ces deux ensembles dans un même graphique, en conservant le code couleur (figure A5.3). On peut y voir l'aire de recouvrement des ellipses. Cette valeur est conservée. Nous ré-échantillonons les ensembles et reproduisons l'analyse 10000 fois pour comparer cette valeur à une population normale (figure A5.4).

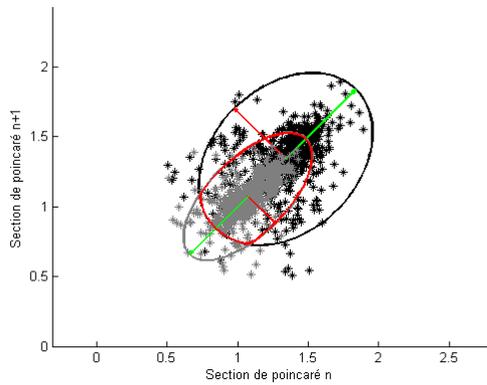


Figure A5.3 : regroupement des deux graphiques précédents dans un seul graphique. L'aire de recouvrement des deux ellipses est représentée en rouge.

Si le rang percentile de l'aire de recouvrement des deux ellipses réelle est en deçà du 1^{er} percentile, nous concluons à une dynamique des réponses itérées spécifique à chaque condition.

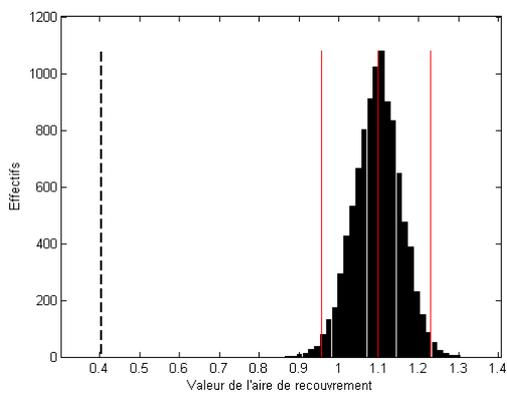


Figure A5.4 : population bootstrap (histogramme) et valeur réelle de l'aire de recouvrement.

Résumé

Cette thèse se propose d'étudier la discrimination des comportements par les quantités de réponses itérées. Ce champ de recherche s'inscrit dans celui, plus large, de la discrimination des comportements par les quantités. Nous avons tout d'abord cherché à explorer la façon dont les comportements peuvent être discriminés par des quantités différentes d'itérations de réponses et de quelle façon l'installation ou non de cette discrimination peut être mise en correspondance avec une évolution de l'entropie du débit des réponses itérées. Ensuite, nous avons exploré la dynamique des réponses itérées en fonction de la quantité des itérations requises. Après cela, nous avons cherché à savoir s'il était possible de mettre en correspondance l'existence de dynamiques de réponses propres à des quantités avec l'installation ou non d'une discrimination des comportements par des couples différents composés de ces mêmes quantités. Enfin, en vue d'explorer en quoi l'installation d'une dynamique des réponses permettait l'installation d'une discrimination des comportements, nous avons perturbé, en modifiant la topographie des réponses requises, l'installation de cette dynamique de réponses, et en avons mesuré les effets sur l'installation de la discrimination de comportements par ces quantités de réponses itérées. Les résultats montrent que l'évolution de l'entropie des débits de réponses itérées est orientée en fonction de l'installation ou non d'une discrimination des comportements par des quantités différentes d'itérations de réponses requises : l'entropie diminue lorsque la discrimination par des quantités de réponses itérées est installée, et augmente dans le cas contraire. Ce résultat n'est vrai que pour les participants ayant atteint au moins une fois le critère de décision que nous nous étions fixé pour juger de l'installation de la discrimination. L'analyse de la dynamique des réponses itérées en fonction de chaque quantité d'itérations requise montre qu'il existe presque systématiquement une dynamique propre à chaque quantité d'itérations de réponses requise, pour tous les participants, cette dynamique de réponses étant également propre à la topographie de la réponse requise. La perturbation de l'installation de la dynamique des réponses a, en outre, un effet sur l'installation de la discrimination des comportements par les quantités d'itérations de réponses. Au regard de ces résultats, nous pouvons conclure qu'il existe une correspondance entre l'installation ou non de la discrimination par des quantités de réponses itérées et l'évolution de l'entropie des débits de ces réponses itérées. Néanmoins, tandis que nous pouvons conclure à la pertinence d'analyser la dynamique des réponses itérées pour en étudier la complexité, la mise en correspondance entre celle-ci et la façon dont chaque quantité d'itérations de réponses prend ou non le contrôle de comportements spécifiques n'est pas possible à ce stade, bien que des pistes vers de futures études aient été proposées, pour explorer plus avant cette relation.

Mots clés : discrimination par les quantités, programme de renforcement à raisons fixes, entropie, dynamique de réponses itérées, analyse dynamique non linéaire.