



Influence des émotions sur les processus cognitifs impliqués dans le raisonnement et la prise de décision des experts

Romain Trincherini

► To cite this version:

Romain Trincherini. Influence des émotions sur les processus cognitifs impliqués dans le raisonnement et la prise de décision des experts. Psychologie. Université de Bordeaux, 2021. Français. NNT : 2021BORD0001 . tel-03205984

HAL Id: tel-03205984

<https://theses.hal.science/tel-03205984>

Submitted on 22 Apr 2021

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.

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE
**DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**

ÉCOLE DOCTORALE SP2
SPÉCIALITÉ Psychologie Cognitive

Par Romain Trinchérini

**Influence des émotions sur les processus cognitifs
impliqués dans le raisonnement et la prise de décision des
experts**

PERSPECTIVES D'APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DES APPRENTISSAGES.

Sous la direction du Professeure Virginie Postal

Soutenue le 19 mars 2021

Membres du jury :

M. BHERER, Louis,
M. DIDIERJEAN, André,
Mme MATHEY, Stéphanie,
Mme POSTAL, Virginie,

Professeur, Université de Montréal
Professeur, Université de Franche-Comté
Professeure, Université de Bordeaux
Professeure, Université de Bordeaux

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Directrice

Titre : Influence des émotions sur les processus cognitifs impliqués dans le raisonnement et la prise de décision des experts.

Résumé : Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés au raisonnement et à la capacité décisionnelle des experts. A l'exception d'une étude qui est composée de deux populations expertes différentes (Joueurs d'échecs et joueurs de Go), nous nous sommes concentrés sur la population d'expert du jeu d'échecs. Notre objectif initial était de montrer l'influence de certains processus émotionnels dans les décisions expertes. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux liens pouvant être établis entre la théorie des marqueurs somatiques et les théories en psychologie de l'expertise. Notre idée est que les marqueurs somatiques offrent un cadre intéressant afin d'étudier et de comprendre les performances expertes.

Nous avons tout d'abord étudié les capacités de prise de décision générales des experts, en dehors de leur champ d'expertise, à l'aide d'un test spécialement créé pour étudier les marqueurs somatiques (Iowa Gambling Task ; IGT) et d'autres épreuves se focalisant sur les aspects de décision ambiguë (Balloon Analog Risk Task ; BART) et en connaissance des risques (Game of Dice Task ; GDT). L'objectif était de voir si les joueurs d'échecs sont meilleurs que les novices dans ces tâches et de mieux comprendre le type de contexte décisionnel pouvant amener les joueurs experts à dépasser les capacités de la population générale. Nous observons que la prise de décision des experts est meilleure principalement dans le cadre de l'IGT. Ainsi, contrairement à ce qui apparaît parfois dans la littérature, les performances des joueurs d'échecs ne semblent pas se limiter exclusivement à leur domaine d'expertise.

Nous avons ensuite étudié les décisions des experts au sein de leur domaine de compétence. Nous avons ainsi réalisé deux études utilisant des positions d'échecs. Il s'agit d'une tâche d'amorçage et d'une adaptation de l'effet d'Einstellung (ou effet d'attitude). L'objectif de ces études était d'observer l'influence du traitement automatique des positions sur la performance des joueurs d'échecs. Nos résultats semblent indiquer que les experts procèdent à un traitement automatique des positions pouvant amener à l'activation de schémas et procédures de résolution spécifiques à la situation. Cet activation automatique peut entraîner une amélioration des performances pouvant aller jusqu'à la mise en place d'une décision intuitive pour les joueurs experts. Mais celle-ci peut également venir perturber la décision des joueurs en focalisant leur attention sur des aspects moins pertinents de la situation.

Pour ce qui concerne les compétences générales des experts, en dehors de leur champ d'expertise, les résultats obtenus semblent indiquer une utilisation efficace de la voie émotionnelle de la décision responsable de l'activation des marqueurs somatiques. Dans les études menées dans le domaine d'expertise, la théorie des marqueurs somatiques permettrait également, selon nous, d'expliquer les différents modes de décision des experts. Nous proposerons donc dans cette thèse un modèle des décisions expertes incluant la modalité somatique.

En résumé, nos résultats semblent indiquer que la théorie des marqueurs somatiques est un cadre interprétatif intéressant pour les décisions expertes. Ces marqueurs sont reliés à de précédentes situations ayant provoqué une réaction émotionnelle et pourraient venir assister les décisions experts dans et hors de leur domaine d'expertise. Néanmoins, de plus amples recherches, incluant des mesures physiologiques, doivent être menées afin de confirmer l'intérêt des marqueurs somatiques dans la décision experte.

Mots clés : Expert, prise de décision, marqueurs somatiques, échecs, apprentissage.

Title : Influence of emotions on cognitive processes involved in expert's reasoning and decision-making.

Abstract : In this thesis, we focused on expert's reasoning and decision-making capacities. Except for one study, which is composed of two different expert populations (chess and go players), we concentrated on expert chess players. Our main objective was to show the influence of some emotional processes in expert decision. This work focused specifically on the connection between somatic marker's hypothesis and theories in psychology of expertise. Our idea is that the somatic marker hypothesis is an interesting theoretical framework to investigate and understand expert performances.

We first studied the general decision-making capacities of experts through a test created specifically for somatic marker's hypothesis studies (Iowa Gambling Task ; IGT) and other tests focusing on ambiguous (Balloon Analogue Risk Task ; BART) and risky (Game of Dice Task ; GDT) situations. The purpose was to see if experts' chess players are better than novices on those tests and to better understand the kind of decisional environment leading experts to overcome normal decision-making capacities. We showed that expert's decision-making is better mainly in IGT. Thus, contrariwise to some results present in the literature, experts' chess players performances don't seem to be limited to the expert field only.

Then, we looked at the decisions of experts into their field. We conducted two studies using chess positions: a priming task and an adaptation of the Einstellung effect. These tasks' goals were to observe the influence of the

chess positions automatic treatment on chess players performances. This automatic activation could lead to increase performances and could bring an intuitive solution in expert mind. But it can also interfere with players decisions by focusing attention on less relevant situation's informations.

Concerning experts' general abilities, beyond expert field, results seem to indicate an efficient use of a decision emotional path which is in charge of somatic markers activation. For the studies which were conducted on expert field, somatic marker hypothesis could also, in our judgment, explain experts' decisions modes. Then, we proposed in this thesis an expert decisions' model involving this somatic modality.

In brief, our results seem to show that somatic marker's hypothesis is an interesting theoretical framework for expert decision making capacities. Those markers are associated to anterior emotional experiences which could assist experts' decisions within and beyond the expert field. Further research, including physiological measures, needs to be conducted to confirm the interest of somatic markers for experts' decisions.

Keywords : Expert, decision-making, somatic markers, chess, learning.

Unité de recherche

[Laboratoire de Psychologie, EA 4139, 3 ter Place de la Victoire, 33076 Bordeaux]

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice, Virginie Postal, pour nos échanges, son suivi et son écoute tout au long de cette thèse. Merci également pour toutes les opportunités que tu m'as permis d'avoir et ton implication dans la réalisation de ce projet.

Je souhaite également remercier l'ensemble des membres du jury d'avoir pris part à l'évaluation de ce travail de thèse et pour nos futures échanges sur cette thématique.

J'adresse aussi mes remerciements aux personnes et institutions ayant permis la réalisation de ce projet auprès des joueurs d'échecs. Tout d'abord un grand merci à Stéphane Pujos et Matthieu Cornette (GMI) pour leur participation, leur assistance et leurs conseils dans le cadre de ces études. Merci également à l'ensemble des joueurs ayant participé ou ayant montré de l'intérêt pour notre travail. Merci infiniment aux membres de la fédération française d'échecs, aux organisateurs du tournoi de Malakoff, des différents championnats de France et du top 12 des clubs, d'avoir pris de leur temps et d'avoir facilité la mise en place de nos expérimentations. Enfin, merci à tous les clubs de gironde et de région parisienne ayant accueilli avec intérêt nos études. Remerciements que j'adresse tout particulièrement aux clubs de l'Echiquier Bordelais et de l'AGJA-Echiquier Aquitaine, ainsi que leurs joueurs, pour leurs accueils répétés et les échanges que nous avons eus.

Mes remerciements vont également à Olivier Claverie, président du club de Go Kitani de Bordeaux pour son aide précieuse et ses conseils en ce qui concerne l'étude sur les joueurs de Go. Dans ce cadre je tiens également à remercier les organisateurs des championnats de France de Go pour leur accueil et leur intérêt.

Merci aux membres des laboratoires de Bordeaux et de Poitiers pour les discussions que nous avons eues. Merci à Stéphanie et Christelle pour leurs conseils et pour les moments passés ensemble à Tenerife. Merci également à Eric et Manu pour ce cadre de travail idéal qu'ils m'ont offert et nos échanges réguliers. Merci enfin aux chercheurs, que j'ai pu rencontrer durant ces deux années de mobilisation, pour leur grand investissement afin d'améliorer les conditions des chercheurs, enseignants et étudiants.

Je souhaite aussi remercier ma famille pour son soutien au cours de ce travail. Mon père, ma mère et ma sœur Eva, pour lesquelles j'ai trop souvent été absent durant la réalisation de la thèse. Merci aussi à tout le reste de la famille et de la belle-famille pour leur soutien. Même si chaque année certains me demandent sur quoi je travaille.

Je tiens tout particulièrement à remercier certaines personnes pour leur grande implication, que ce soit dans les conseils liés à la mise en place des études, l'écriture de cette thèse, ou tout simplement le soutien dont ils ont fait preuve à mon égard. Merci à Galaad, Manon, Bénédicte, Florent, Jean.C, Claire.A, Nicolas.P, Lisa, Hélène, Yohan, Jérôme, Matthieu, Pierrick, Louis, Yashvin, Alexis, Matthias, Célia, Camille, Magalie, Joy, Bastien, Julie, Marie, Emmanuelle, Benoit, Jean.M, Claire.L, Mathilde, Margaux, Hugo, Clara, Anna-Malika, Emilie... et ceux que j'oublie certainement.

Merci à Arthur d'avoir déjà débuté l'écriture du Tome 2 et pour son soutien.

Merci à Nicolas.V sans qui je n'aurais certainement pas réussi à aller en thèse.

Merci à Séverine pour son aide précieuse et son soutien de ces derniers mois.

Merci à Heather pour nos réunions / cafés, son aide, sa bonne humeur et pour tout ce que nos échanges m'ont apporté de meilleurs.

A Claire. B, un immense merci pour toute l'aide, le soutien et la joie de vivre que tu m'as apporté et que tu apportes aux autres constamment.

Enfin, merci infiniment à Caroline pour m'avoir supporté durant la réalisation et l'écriture de cette thèse ; pour son soutien de chaque instant ; pour son aide et ses relectures ; et pour la joie qu'elle m'apporte au quotidien.

TABLE DES MATIERES

➤ Avant-propos :.....	9
1. Etat de la recherche sur l'expertise.....	12
1.1 Définir le concept d'expertise.....	12
1.2 Objectifs de la recherche sur l'expertise et sur le jeu d'échecs.....	19
1.3 Premiers travaux sur l'expertise.....	23
1.4 Les travaux d'Adriaan De Groot.....	28
1.5 L'importance de la perception	32
A. Les recherches de Chase et Simon.....	32
B. Précisions sur le concept de chunking.....	37
1.6 Synthèse Partie 1	39
2. Comprendre la performance experte.....	40
2.1 Développement des connaissances.....	40
A. Formes d'apprentissage efficaces.....	40
B. L'importance de la répétition des situations d'apprentissage.....	42
C. La théorie de la pratique délibérée	43
D. Vers un modèle pluri-factoriel du développement des compétences expertes.....	45
2.2 Organisation des connaissances.....	47
A. Une grande quantité de connaissances	47
B. Réseau d'organisation des connaissances.....	49
C. Organisation des connaissances expertes.....	53
2.3 Processus de récupération.....	57
A. La mémoire habile des experts.....	57
B. La théorie des templates.....	60
2.4 Synthèse des recherches sur l'expertise	62
3. Résolution de problèmes et prise de décision	64
3.1 Définition des concepts.....	64
3.2 Evolution des modèles de résolution de problème / prise de décision.....	66
A. La décision par essai/erreur.....	66
B. Importance de l'insight dans la décision.....	67
C. Décisions en contexte évolutif.....	70
3.3 Prise de décision et expertise.....	72
A. L'importance du jeu d'échecs dans l'étude des décisions expertes	72
B. Facteurs pouvant faciliter la décision experte.....	73
C. Le modèle de Klein de la décision experte	76
3.4 Intuition et prise de décision chez les experts	79
3.5 Le rôle des émotions dans la prise de décision	81

A.	L'interaction émotion/cognition.....	81
B.	La théorie des marqueurs somatiques	82
C.	Fréquence des situations, augmentation des marqueurs somatiques et décision intuitive	87
3.6	Synthèse partie 3	90
4.	Intérêt de nos recherches	91
5.	Première série d'expériences ; Capacités de prise de décision générales des experts.....	94
5.1	Expérience 1 - Expertise et prise de decision : Une analyse des capacités expertes au travers de l'Iowa Gambling Task	94
A.	Introduction	94
B.	Method	101
C.	Results	105
D.	Discussion	110
E.	Conclusion en français	113
5.2	Expérience 2 - Expertise et prise de decision : Les joueurs d'échecs et de Go effectuant l'Iowa Gambling Task	113
A.	Introduction	114
B.	Méthodologie.....	126
C.	Résultats.....	129
D.	Discussion	135
5.3	Expérience 3 - Expertise et prise de décision : Evaluation des capacités décisionnelles expertes dans des contextes ambigus et de connaissance des risques	140
A.	Introduction	141
B.	Méthode	147
C.	Protocole GDT	148
D.	Protocole BART	149
E.	Résultats expérience GDT	150
F.	Résultats experience BART.....	151
G.	Discussion	152
5.4	Conclusion sur les capacités générales de prise de décision des experts	156
6.	Deuxième série d'expériences : Capacités de prise de décision des experts au sein de leur domaine.....	158
6.1	Expérience 4 - Organisation des connaissances de haut-niveau chez l'expert: Amorçage de positions d'échecs pour mettre en évidence l'importance du réseau de discrimination dans la reconnaissance des configurations de jeu.....	158
A.	Introduction	159
B.	Method	164
C.	Results	166
D.	Discussion	170

E.	Conclusion en français	174
6.2	Expérience 5 - L'effet d'Einstellung aux échecs : la solution intuitive est-elle toujours bonne à suivre ?	174
A.	Introduction	175
B.	Méthode	184
C.	Résultats	188
D.	Discussion	192
6.3	Conclusion sur les capacités décisionnelles des experts au sein de leur domaine.....	197
7.	Discussion	200
7.1	Principaux résultats	201
7.2	Prise de décision, expertise et marqueurs somatiques.....	207
A.	Interpréter les bonnes capacités décisionnelles des experts	207
B.	L'influence des marqueurs somatiques sur la décision experte	209
7.3	Perspectives d'applications	217
A.	Pour les experts	217
B.	Pour l'apprentissage.....	219
7.4	Les indicateurs directs et indirects de l'activité somatique.....	223
A.	Les indicateurs indirects de l'activité somatique	223
B.	Les indicateurs directs de l'activité somatique	226
7.5	Perspectives de recherche	228
8.	Conclusion	231
➤	Références :	233

"Les réformistes prétendent que les progrès de la théorie conduiront à la disparition des échecs, et qu'il faut, pour leur rendre vie, en remanier les règles. En réalité, qu'exprime cette affirmation ? Le mépris de l'intuition, de l'imagination et de tous les autres éléments qui font des échecs un art."

Alexandre Alekhine

Selon Gaston Bachelard (1938) se tromper est nécessaire pour réussir. C'est en rectifiant nos erreurs que l'on parvient à déceler ce qui est vrai et ce qu'il faut savoir. Pourtant, dans de nombreuses sociétés, il est attendu que l'on améliore nos performances dans quelque domaine que ce soit, mettant l'accent sur ce qui est su et non sur ce qui ne l'est pas. Dans le processus éducatif notamment, l'évaluation des performances semble être au centre des préoccupations. Quels sont les acquis des apprenants ? Quelles méthodes éducatives permettraient d'améliorer les compétences ? Qui sont les apprenants ayant le plus de facilités ?

Mais ce culte de la performance ne s'arrête pas exclusivement à l'éducation. Qu'elle soit sportive ou intellectuelle, la performance fascine et les individus performants peuvent devenir de véritables idoles pour le reste de la population. Depuis les trente dernières années, on observe d'ailleurs que la performance est d'autant plus importante dans notre société, car elle permettrait aux individus de supporter l'aliénation dans le monde du travail (Erhenberg, 1991). L'idée serait que, face au sentiment d'être dépossédé du résultat de son labeur, le travailleur se focalise sur ce qu'il développe de plus personnel : sa performance.

Qu'elle soit considérée comme une simple nécessité, un pouvoir ou une vertu, la performance suscite donc de l'intérêt. Nous allons au travers de cette thèse nous intéresser à des individus ayant développé des performances exceptionnelles au sein de leur domaine d'activité. Avec ces personnes que l'on qualifie d'expertes, nous nous intéresserons à la manière dont ces hauts niveaux de performances peuvent être atteints mais également au fonctionnement cognitif de ces individus ; notamment leur faculté à prendre des décisions, que ce soit au sein de leur domaine d'expertise ou concernant des décisions moins spécifiques. Nous verrons également, qu'à l'instar de Bachelard, nous pensons que l'erreur occupe une place prépondérante au sein du processus d'apprentissage menant à l'expertise.

A l'exception d'une étude présente dans ce document, nos expériences se limiteront à un domaine d'expertise en particulier, celui du jeu d'échecs. Les joueurs d'échecs produisent en effet de l'intérêt pour leur discipline et davantage encore pour leurs capacités depuis de nombreuses années. Au cours du prochain chapitre, nous discuterons justement des spécificités de cette population et de son intérêt dans l'étude des performances et de l'apprentissage.

Le plan que nous suivrons dans ce document sera le suivant :

- Dans le premier chapitre, nous ferons un état des lieux de la recherche sur l'expertise et notamment de celles portant sur les joueurs d'échecs.
- Dans le second chapitre, nous tâcherons de comprendre plus précisément quels sont les mécanismes qui permettent à l'expert d'obtenir un tel niveau de performances.
- Dans le troisième chapitre, nous nous intéresserons à l'importance de la prise de décision au sein de la performance experte et du point de vue des apprentissages.
- Le chapitre quatre permettra d'identifier l'intérêt de nos recherches vis-à-vis de la littérature existante.
- Dans le chapitre cinq, nous présenterons une première série d'expériences s'intéressant aux capacités décisionnelles générales des experts, c'est-à-dire non spécifiques à leur domaine d'activité.
- Le chapitre six portera également sur les décisions des experts. Mais cette fois-ci, elles seront étudiées spécifiquement au sein du domaine d'expertise, c'est-à-dire avec des expériences en lien avec le jeu d'échecs.
- Dans le dernier chapitre, nous discuterons de nos résultats et des perspectives de recherches à venir.

Au travers de ce travail, nous espérons apporter des éléments appuyant une influence somatique sur le processus de décision des experts et notamment sur les aspects intuitifs de leurs décisions. Nous proposerons également un modèle expliquant comment les différents modes de décision mis en place par les experts vont être impactés par l'utilisation de marqueurs somatiques. Au sein de celui-ci nous tâcherons également de montrer, en fonction du contexte, les degrés d'influences respectifs des processus automatiques et contrôlés sur le processus décisionnel des experts. Ce modèle et l'étude des performances décisionnelles des experts nous semblent indispensables pour deux raisons. Tout d'abord, dans de nombreux domaines, la capacité à prendre des décisions semble être un élément central de la performance des individus. Le fait de comprendre les modes de décision des personnes les plus performantes de la société permettrait selon nous d'améliorer la compréhension des capacités décisionnelles en population générale. De plus, nous savons également que les experts parviennent généralement à prendre des décisions extrêmement rapidement lorsque la situation l'exige. Une décision qui est rapide mais qui généralement sera aussi relativement efficace pour répondre à la situation. Ces décisions prises automatiquement par l'expert et qualifiées d'intuitives dans la littérature seraient caractéristiques de leurs performances. Ce point nous amène à nous questionner sur les parts respectives des processus automatiques et contrôlés sur la décision des experts.

1. ETAT DE LA RECHERCHE SUR L'EXPERTISE

1.1 DEFINIR LE CONCEPT D'EXPERTISE

Définir ce qu'est l'expertise est une tâche particulièrement difficile. Comme le dit Sternberg (1997), les critères déterminant l'expertise sont variables en fonction des domaines et la caractérisation globale de l'expert est donc une question complexe. En d'autres termes, dans un domaine d'activité donné, les experts de la discipline présenteront des caractéristiques différentes de celles des experts des autres disciplines. Néanmoins, il semble y avoir certaines caractéristiques générales de l'expertise.

Weinstein (1993) établit une distinction entre deux aspects principaux de l'expertise. Le premier est épistémique et comprends l'ensemble des connaissances que l'individu a pu acquérir sur son domaine. Selon Weinstein, on pourrait qualifier un individu d'expert épistémique s'il parvient à expliquer le processus ou la démarche menant à ses conclusions. Il a donc des connaissances précises sur la situation d'expertise et peut, selon Weinstein, apporter de fortes justifications afin de valider son opinion d'expert. Le second aspect de l'expertise est axé sur la performance des individus. L'expert doit avoir un haut niveau de performance au sein de son domaine d'activité (e.g., Ericsson & Charness, 1994). La performance consiste à "Savoir-faire" les choses efficacement. Ainsi un expert sera qualifié par Weinstein de performant, s'il parvient à faire des choses au sein de son domaine d'activité entraînant des conséquences positives. Il semble en effet évident que l'expert se doit d'être performant afin de pouvoir répondre efficacement aux problèmes qui lui sont posés (le terme de "problème" fait référence ici aux situations auxquelles l'expert doit faire face dans son domaine d'activité). Dans le domaine sportif ou artistique, un expert peut faire une erreur en résolvant un problème de son domaine. Cette erreur pourra avoir des répercussions sur sa

carrière mais aura en revanche peu de répercussions sur le reste de la population. Cependant, dans des domaines comme la médecine, les sciences, la politique..., cela peut avoir des conséquences désastreuses pour la société. Par conséquent, comment peut-on évaluer la performance de ces individus ? Et comment différencier la performance d'un expert de celle d'un amateur ?

Il faut tout d'abord comprendre que l'expertise va se définir par rapport à une norme. La performance d'un individu ou ses décisions vont être évaluées en comparaison avec celles enregistrées au sein de la société dans laquelle il évolue. Ainsi, si l'on prend par exemple le cas de la langue française, on pourrait considérer que l'ensemble des personnes parlant couramment français sont des experts dans ce domaine en comparaison avec le reste du monde. C'est la conclusion que l'on pourrait tirer en ne tenant compte que de la performance globale des individus, et en soi, un français expatrié au sein d'une communauté non francophone sera effectivement expert sur les questions qui touchent à la langue française. Cependant, au sein de la population française, sa performance n'aura rien d'exceptionnelle et sera simplement dans la moyenne des individus. Pour trouver des experts de la langue française, il faudra alors se tourner vers les linguistes. Pour qualifier un individu d'expert, il faut donc le replonger dans le contexte sociétal auquel il appartient. De la même manière, on observe que les individus vont avoir une diminution de leurs performances avec l'avancée en âge (Birren & Schaie, 1996). Mais cela veut-il dire qu'il n'existe pas d'experts de plus de 40 ans ? Cette diminution des performances est imputable à divers facteurs : des modifications biologiques (Fontaine, 1999), des déficits sensoriels (Spink, Gilmore, & Thomas, 1996), une diminution de la vitesse de traitement (Salthouse, 1991), un déclin cognitivo-moteur (Schulz & Salthouse, 1999 ; Thompson, Blair, & Henrey, 2014), etc. Dans de nombreux domaines, on observe d'ailleurs que le pic de performance des individus est obtenu entre 30 et 40 ans (Schulz & Curnow, 1988) avec un décroissement

linéaire des performances au cours du temps (Letzelter, Jungermann, & Freitag, 1986). Ces experts vieillissants présenteront donc généralement des performances amoindries par rapport aux experts plus jeunes. Leur expertise sera ainsi moins importante au sein de la population globale. Néanmoins, au sein de leur tranche d'âge ils seront toujours experts sur les questions portant sur leur domaine d'activité. Pour conclure ce point, il est intéressant de noter que les performances des experts semblent tout de même bien se maintenir au cours du vieillissement (Charness & Campbell, 1988 ; Postal, 1997), notamment du fait de mécanismes permettant de compenser les effets néfastes de celui-ci (Salthouse, 1984 ; Baltes, 1993).

L'expérience joue également un rôle particulièrement important dans l'expertise (Richman et al, 1996). Celle-ci va permettre aux experts d'engendrer des connaissances sur leur domaine et d'améliorer leurs performances mais également, comme nous venons de le voir, de compenser les effets du vieillissement (Baltes, 1993). On considère généralement qu'il va falloir environ 10 ans ou 10000 heures de pratique afin de développer une expertise dans un domaine (Chase & Simon, 1973b). Ce point est relativement débattu dans la littérature du fait que certaines personnes avec plus de 10000 heures de pratique ne soient pas devenues des experts et qu'à l'inverse il ait fallu moins de 3000 heures à d'autres pour y parvenir (Campitelli & Gobet, 2008). Selon Ericsson, Krampe et Tesch-Römer (1993) cela peut s'expliquer partiellement par le fait que la pratique seule ne permet pas de développer des performances expertes. Pour être efficace, il doit s'agir d'une pratique dite "délibérée", c'est-à-dire une pratique associée à une détermination à améliorer ses compétences et à des retours nous informant sur les bonnes ou mauvaises décisions que nous avons pris au cours de l'activité (nous reviendrons en détail sur cet aspect lors du chapitre 2.1, page 43). Mais cela ne nous renseigne pas vraiment sur ce qui va permettre à certaines personnes de développer plus rapidement et plus efficacement leurs capacités. Une explication de ce phénomène pourrait être l'accès à certaines activités ou types d'entraînement favorisant la performance. En effet,

nous ne sommes pas tous égaux face aux outils et moyens qui sont à notre disposition afin de pratiquer une activité. Avoir un professeur particulier permettra ainsi de recevoir un retour plus précis sur notre performance et de l'améliorer par la suite. C'est un avantage considérable car cela permet d'obtenir des informations fréquentes et instructives sur la situation d'apprentissage. Nous savons également qu'il existe de grandes familles d'experts dans des domaines précis. Gobet (2011) mentionne à titre d'exemple les cas de la famille Bach (musique), Bernoulli (mathématiques) et Darwin (sciences). De manière plus récente on peut également ajouter à cette liste la famille Schumacher (sports automobiles) ou encore la famille Polgar (jeu d'échecs). Bien que la thèse de l'influence génétique ait été mentionnée afin d'expliquer l'existence de ces familles d'experts (Jamison, 1993), il semble que cette transmission générationnelle soit davantage imputable à l'environnement d'apprentissage (Walberg, Rasher, & Parkerson, 1980). Ces auteurs pointent notamment l'importance du rôle des modèles dans l'acquisition des compétences. Ainsi, dans les grandes familles de musiciens, sportifs, scientifiques..., il existe des modèles pouvant influencer et diriger cette acquisition de l'expertise.

Les conditions d'apprentissage semblent donc importantes afin de développer ses performances efficacement. Mais, en plus de devoir être performant, l'expert doit également être capable de reproduire sa performance régulièrement (Ericsson, 2014). Il n'est pas infaillible et peut donc parfois réaliser de moins bonnes performances, mais celles-ci doivent tout de même être majoritairement excellentes au cours du temps. Ainsi, dans le cadre de l'étude de l'expertise, on ne traitera pas des individus ayant obtenus un record ou un résultat exceptionnel au cours d'une unique session d'activité, mais bien de ceux qui parviennent à être exceptionnels dans la majorité des cas. En effet, les performances ponctuelles peuvent être expliquées de diverses manières et en particulier par le hasard. Selon le paradoxe du singe savant par exemple, un singe qui tape au hasard sur une machine à écrire durant un temps

infini pourra parvenir à rédiger Hamlet de William Shakespeare. Cela fera-t-il pour autant de lui un expert en littérature ?

Nous avons discuté de la manière dont la performance des experts évoluait au cours du temps, au travers de conditions d'apprentissage adéquates et également du type de performance qui intéresse les chercheurs en Psychologie de l'expertise, à savoir des performances de haut-niveau, reproductibles au cours du temps. Mais revenons sur notre problème initial : comment juger et qualifier d'experte la performance d'un individu ? Dans de nombreux domaines, l'expert va naître en réponse à des besoins identifiés au sein de la société (Stein, 1997). En effet, les individus ne peuvent pas être compétents dans tous les domaines de leur vie courante. Il est donc nécessaire de se reposer sur l'avis d'experts dans de nombreux cas (médecins, scientifiques...). Mais pour la majorité des personnes, qui ne possèdent que des compétences moyennes dans un domaine d'activité, il sera difficile de juger de la performance d'un expert. Sans pour autant pouvoir comprendre cette performance, plusieurs moyens s'offrent alors à nous afin d'identifier un individu expert. Premièrement, nous pouvons nous baser sur le niveau de diplôme des individus. L'idée est, qu'au travers de l'enseignement, les experts de la discipline vont former les experts de demain. Le diplôme serait alors le signe que l'individu a atteint le niveau d'expert de la discipline. Cependant ce critère de sélection possède deux limites majeures. Tout d'abord, l'ensemble des individus ayant obtenu le diplôme est considéré comme expert, sans aucune comparaison entre eux. Le niveau d'expertise devient donc une classification catégorielle au sein de laquelle l'individu peut seulement être expert ou non. Cela va donc limiter les possibilités de comparer les individus en fonction de leurs performances réelles. Dans le même ordre d'idée, il existe également des individus qui vont se passionner pour une discipline et développer leurs compétences jusqu'à avoir des performances comparables aux personnes diplômées, sans pour autant n'avoir jamais passé aucun diplôme (Epstein, 1996). Ce sont donc des mesures

peu fiables de l'expertise, car elles ne permettent pas d'évolution (un diplôme ne peut pas être retiré) et ne classent pas les individus en fonction de leurs performances réelles (un non diplômé peut avoir des performances expertes également).

Bien que de nombreuses recherches aient été effectuées en sélectionnant les experts à l'aide de ces critères (diplômes, grades...) - notamment dans le domaine de la musique (Sloboda, 1976 ; Deutsch, 1999) - la majorité des recherches en psychologie de l'expertise vont privilégier désormais les domaines d'activités proposant une mesure objective des performances des individus. Il peut s'agir d'une mesure directe de la performance comme dans le cas d'une course à pied par exemple. Le temps mesuré pourra être comparé aux autres membres de la discipline. Ou il peut s'agir d'un système de classement, essentiellement présent dans les disciplines sportives, qui va permettre de comparer les performances en opposant les joueurs entre eux et en leur attribuant une note en fonction de leurs résultats. Plus un individu va gagner face à de bons adversaires et plus sa note sera élevée.

Concernant les différences existantes entre les experts et le reste des individus, il semble important de mentionner les différentes étapes d'acquisition de l'expertise. Selon le modèle de Dreyfus et Dreyfus (1986), il y aurait cinq étapes à franchir afin de pouvoir être qualifié d'expert dans un domaine :

- Le novice : l'individu n'a aucune expérience au sein du domaine. Ses actions dépendront des instructions qu'il a pu lire ou qui ont pu être transmises par un professeur.
- Le débutant avancé : au travers de son instruction et de sa pratique, l'individu a pu apprendre des règles de fonctionnement lui permettant d'agir sur son environnement. Il commence également à percevoir le sens de la situation auquel il fait face et à

intégrer celui-ci dans son raisonnement. En d'autres termes il ne se focalise plus exclusivement sur les règles.

- Le compétent : l'individu a pratiqué le domaine durant une longue période et est désormais capable de mettre en place des plans de résolution complexes face à des situations. De plus, ses actions deviennent plus efficaces.
- L'efficace : Les actions mises en place sont globalement positives. Cette efficacité est notamment dû au fait qu'il parvient à percevoir les éléments importants de la situation. Durant cette étape, l'individu peut commencer à faire face à des situations d'intuition dans lesquelles la meilleure option à adopter sera directement activée dans son esprit.
- L'expert : L'intuition prend désormais une place prépondérante dans la performance de l'individu. Il peut toujours analyser les situations, mais il aura généralement l'intuition instantanée de la meilleure option envisageable.

Comme nous le verrons au cours de cette thèse, l'intuition occupe en effet une place centrale dans l'élaboration des décisions expertes. C'est selon Lafrance (1989) l'une des différences principale entre les experts et les novices d'une discipline.

En résumé, l'expertise peut se caractériser par un haut niveau de performance qui sera reproductible au cours du temps et qui sera propre à un petit groupe d'individus ayant développé leurs compétences au cours de plusieurs années de pratique délibérée de leur domaine d'activité (Ericsson, 2014). Comme nous l'avons mentionné précédemment, il n'y a pas de réel consensus sur le nombre d'années nécessaires afin de développer une expertise. Néanmoins, afin de prendre en compte les critères les plus drastiques, nous avons décidé d'appliquer au cours de cette thèse la règle des 10 ans nécessaires afin de devenir expert (Chase & Simon, 1973) dans la sélection de nos participants. De la même manière, nous avons choisi de nous focaliser sur un domaine d'expertise proposant une mesure fiable et

actualisée des performances des individus. Il s'agit du domaine du jeu d'échecs disposant d'un classement objectif des joueurs selon leurs performances (Elo, 1978).

1.2 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE SUR L'EXPERTISE ET SUR LE JEU D'ECHECS

Malgré cet intérêt provoqué par les capacités expertes, une question subsiste. Pourquoi étudier l'expertise ? En effet, au vu du caractère exceptionnel de la performance experte, nous pouvons nous demander s'il est vraiment légitime d'étudier une population si restreinte. Mais nous allons voir dans les paragraphes suivants que cette thématique va nous permettre à la fois d'améliorer nos connaissances fondamentales sur le fonctionnement cérébral et de proposer des applications concrètes, autant pour les experts que pour l'ensemble de la population.

Gobet (2011) établit quatre objectifs majeurs de la recherche sur l'expertise. Premièrement, il indique qu'au travers de l'observation des experts, nous allons toucher aux limites de notre cognition et que l'observation de ces limites permettrait d'améliorer notre conception du fonctionnement cérébral des individus. En effet, selon la théorie de la rationalité limitée (Simon, 1957), un individu ne pourra pas prendre de décisions purement rationnelles car il sera limité dans son raisonnement par une multitude de facteurs tels que le manque d'informations, de temps ou plus encore par les limites de son fonctionnement cognitif. Nous savons par exemple que notre empan mnésique est en moyenne compris entre cinq et sept informations (Miller, 1956 ; Farrington, 2011). Comme le reste des individus, les experts vont être soumis à ces limites de la rationalité. Cependant, ils parviennent tout de même à réaliser des performances extraordinaires au sein de leur domaine d'activité. Leur observation permettra donc de mieux saisir comment leurs performances ont pu être acquises malgré ces limites. L'objectif du chercheur est de comprendre quelles sont ces limites du fonctionnement

cognitif et quelles sont les particularités (anatomiques ou environnementales) qui permettent à l'expert de s'en rapprocher si efficacement.

Deuxièmement, ces recherches permettent d'améliorer les techniques d'apprentissage au sein du domaine d'expertise. Il semble en effet assez évident que l'on puisse parvenir à identifier certaines stratégies d'apprentissage optimales lorsque l'on s'intéresse à un domaine d'activité. Le chercheur va pouvoir identifier les capacités que les pratiquants ont besoin de développer afin de répondre aux contraintes se présentant à eux au cours de leur activité. Il va se demander quelles sont les facultés cognitives indispensables à la pratique et comment les améliorer le plus efficacement possible. On peut retrouver des exemples variés de domaines qui ont fait évoluer leurs méthodes d'apprentissage grâce aux recherches en psychologie de l'expertise : les échecs (Gobet & Jansen, 2006), le sport (Smith, McEwan, Tod, & Martindale, 2019), l'apprentissage des langues (Soo Von Esch & Schneider Kavanagh, 2018), la détection de mines (Davison, Staszewski, & Boxley (2001)...

De la même manière, le troisième objectif proposé par Fernand Gobet est de s'intéresser au développement des techniques d'apprentissage de manière générale. Existe-t-il certains invariants, entre les différents domaines étudiés, qui mènent inévitablement à développer un niveau qualifié d'expert ? L'idée serait donc de découvrir les processus qui vont mener les experts vers l'amélioration de leurs performances avec pour idée que ceux-ci seront comparables aux processus mis en places par tout apprenant dans quelque domaine que ce soit (Gobet & Wood, 1999). On peut noter par exemple l'existence de méthodes d'apprentissages basées sur l'exemple qui ont permis d'améliorer les performances en mathématiques des apprenants (Zhu & Simon, 1987). D'autres recherches ont pour ambition de découvrir si la pratique de certaines activités cognitivement intenses permettent de développer les performances éducatives des apprenants. Christiaen et Verholfstadt (1978) ont notamment montré que des enfants qui suivaient un entraînement aux échecs semblaient obtenir de

meilleures performances que leurs homologues sur diverses matières scolaires. Dans le domaine des jeux vidéo également, des méthodes par entraînements ont conduit à l'amélioration de certaines fonctions exécutives (Feng et al., 2007 ; Dye et al., 2009 ; Powers et al., 2013).

Nous pouvons également mentionner le programme CHREST (Gobet, 1993a ; Gobet & Simon, 2000), initialement créé afin de simuler le développement des performances aux échecs (pour plus de précisions voir chapitre 2.2, page 53), qui a permis de reproduire le développement des performances dans des domaines variés (Gobet, 2001). En étudiant les experts aux échecs, les auteurs ont donc pu découvrir certains facteurs permettant le développement des performances et les implémenter au sein d'un programme. Un programme qui, toujours doté du même fonctionnement, permettra par la suite d'expliquer ce développement au sein de divers domaines d'activité.

Pour finir, Gobet (2011) indique que l'étude des experts peut permettre des avancées dans les domaines de l'intelligence artificielle (IA). L'étude de l'expertise a permis de créer des "systèmes experts", c'est-à-dire des modèles d'IA prenant en compte les connaissances de haut niveau des experts. Ainsi, l'IA n'est plus seulement un système capable d'une puissance de calcul surhumaine, elle détient également certaines connaissances lui permettant de limiter ses recherches. CHREST est un exemple de système expert. Nous pouvons également mentionner le programme MYCIN (Buchanan & Shortliffe, 1984) qui avait pour objectif de diagnostiquer des maladies du sang. Bien que basé sur des connaissances expertes lors de sa conception, le programme parvenait à établir des diagnostics avec davantage de précisions que des experts du domaine.

On peut tout de même noter que cet attrait pour les "systèmes experts" s'amenuise ces dernières années avec l'évolution rapide des recherches en IA. Un bon exemple de ce

phénomène nous ait donné par la bataille entre les IA et les joueurs d'échecs qui a eu lieu ces 25 dernières années. En 1997, Deep Blue devient le premier ordinateur à battre le champion du monde Garry Kasparov au cours de plusieurs parties. Il y a eu beaucoup de polémiques autour de cette partie et Kasparov prétendait que Deep blue avait été assisté par un véritable joueur d'échecs. Quoi qu'il en soit, ce programme a été le premier à pouvoir infliger des défaites aux plus grands joueurs d'échecs du monde. Mais selon Campbell, Hoane et Hsu (2002), Deep blue est capable d'une grande capacité de recherche pure sans avoir de grandes connaissances sur le jeu en lui-même. Par la suite de nombreux programmes ont été développés, encore plus performants, en prenant en compte les connaissances expertes dans leur analyse. Ces programmes ont optimisé leurs performances au point de battre de plus en plus régulièrement les joueurs au cours de parties, grâce entre autre aux connaissances de haut niveau qu'ils ont encodées. Des connaissances qui sont basées sur la pratique des joueurs humains. Cependant, les avancées les plus récentes en IA semblent montrer que les programmes actuels deviennent plus performants lorsque l'on supprime ces connaissances humaines de l'équation. C'est le cas par exemple du programme AlphaZero (Silver et al., 2018) qui a été capable de battre les meilleurs programmes d'échecs, mais également de Go et de Shogi (autres jeux de plateau complexes) en seulement quelques heures. Il a réalisé cet exploit en mettant de côté les connaissances humaines et en apprenant par lui-même quels étaient les meilleurs coups possibles.

Cet exemple du jeu d'échecs se retrouve également au sein d'autres domaines. L'IA est en train de devenir tellement performante qu'elle ne nécessite plus autant qu'auparavant l'apport des "systèmes experts".

Concernant le cas spécifique du jeu d'échecs, il est fait mention dans la littérature de la conférence de Pittsburgh de 1966, au cours de laquelle De Groot établit les objectifs de la recherche dans ce domaine (Kleinmutz, 1966 ; Charness, 1992) :

- Découvrir comment fonctionne la perception échiquéenne.
- Etudier le rôle de la perception échiquéenne sur la performance des joueurs.
- Comprendre comment se développe la mémoire échiquéenne.
- Etablir la structure de la mémoire échiquéenne.
- Comprendre le fonctionnement de la mémoire échiquéenne.

Au cours du chapitre suivant, nous verrons ce qui fait du jeu d'échecs un domaine si prisé par les chercheurs dans la compréhension de l'expertise. Nous verrons également pourquoi la littérature a entraîné De Groot et les autres chercheurs à s'intéresser de plus près à la perception échiquéenne. Nous terminerons enfin en discutant des recherches développées suite à la conférence de Pittsburgh (1966) et de l'état des connaissances actuelles sur la perception et la mémoire échiquéenne.

1.3 PREMIERS TRAVAUX SUR L'EXPERTISE

Dès les premiers travaux sur l'expertise, le cas des joueurs d'échecs a beaucoup intéressé les chercheurs. Afin de mettre en avant l'importance de ces recherches, il est d'ailleurs mentionné dans la littérature que les travaux sur les joueurs d'échecs seraient la "drosophile" de la psychologie Cognitive (Charness, 1989). Alors comment expliquer cet intérêt pour une discipline pratiquée par si peu d'adeptes ?

La première raison est, comme nous l'avons précédemment mentionné, que les capacités mentales des joueurs d'échecs semblaient bien supérieures à celles observées dans le reste de la population. Dans "Psychologie des grands calculateurs et joueurs d'échecs", Binet (1894) décrit la perception qu'ont les chercheurs de cette population atypique. Il mentionne notamment une opposition nette entre deux éminents chercheurs: Hippolyte Taine et Henry

Bergson. Ces deux auteurs se sont particulièrement intéressés au "jeu à l'aveugle", une variante du jeu d'échecs particulièrement en vogue à l'époque. Comme son nom l'indique, l'objectif de ce type de jeu est de gagner une ou plusieurs parties sans pouvoir voir l'échiquier. Les joueurs s'exerçant à cette pratique sont généralement capables de réciter de mémoire l'ensemble des coups joués au cours de la partie et ceux pour l'ensemble des échiquiers.

L'idée de Taine (cité par Binet, 1893) était que les joueurs d'échecs bénéficiaient d'une forme de mémoire visuelle de l'échiquier qui leur venait à l'esprit spontanément. Il pensait également que cette capacité d'imagerie était variable entre les individus et que les joueurs d'échecs en bénéficiaient plus intensément. Selon Taine, la capacité à obtenir spontanément une image de l'échiquier tel qu'il est réellement est donc le point de départ de l'action visant à prévoir et anticiper l'évolution de la partie :

"Il est clair qu'à chaque coup la figure de l'échiquier tout entier, avec l'ordonnance des diverses pièces, leur est présente, comme dans un miroir intérieur, sans quoi ils ne pourraient prévoir les suites probables du coup qu'ils viennent de subir et du coup qu'ils vont commander." (Taine ; cité dans Binet, 1893, p. 80).

La démarche de Taine est plutôt inductive et il va essentiellement baser ses conclusions sur ce qui lui semble être le plus logique et sur la base d'un seul témoignage d'un de ses amis joueur d'échecs qui dit pouvoir revoir tout l'échiquier et les pièces telles qu'elles étaient au coup précédent.

A l'inverse, Bergson (1919) prétend que les compétences des joueurs résident dans ce qu'il nomme des "schémas dynamiques". Ces schémas contiendraient les processus permettant de reconstituer les images mentales. A l'inverse de Taine, Bergson pense donc que l'image est la conclusion d'une reconstruction active de la part du joueur. Dans le cas du jeu d'échecs, les

pièces et leurs relations vont composer une "composition de forces" qui va diriger le joueur dans sa reconstruction de la position et dans ses perspectives d'action.

Selon Bouriau (2004) auteur de la préface de la réédition du livre de Binet, Taine et Bergson bien qu'opposés sur leur conception du fonctionnement cognitif des joueurs d'échecs, ont un objectif similaire. Il s'agit, pour l'un comme pour l'autre, de défendre une thèse plus générale sur le fonctionnement de la mémoire humaine. Il y a en effet à l'époque de nombreuses préoccupations autour de la mémoire visuelle. Pour certains, comme pour Taine, il s'agit d'une mémoire concrète, pour laquelle l'image enregistrée au sein du système mnésique sera une copie conforme de ce qui avait été préalablement perçu. A l'inverse, pour d'autres comme Bergson, il s'agirait plutôt d'une image abstraite qui serait reconstruite en fonction des besoins relatifs à la situation actuelle.

Sur cette question du caractère concret ou abstrait de la mémoire visuelle des joueurs d'échecs, Binet (1894) propose de remettre en considération la véracité de quelques témoignages isolés au profit de l'observation et de l'expérimentation. Il invite également les chercheurs à se détacher des modèles expliquant le fonctionnement de la mémoire visuelle afin d'envisager les joueurs d'échecs comme un point de départ vers une nouvelle théorie mnésique (Bouriau, 2004). Se basant sur une enquête qu'il avait fait passer à plusieurs grands joueurs de l'époque, Binet (1894) va notamment montrer que les joueurs d'échecs semblent avoir une perception plutôt abstraite de l'échiquier. Selon lui, la mémoire des joueurs d'échecs reposerait sur ce qu'il qualifie de mémoire des idées, c'est-à-dire une forme de mémoire basée sur le raisonnement, les liens entre les idées et les sensations associées à celles-ci. Cette qualification assez vague de la mémoire des joueurs rend néanmoins compte de deux caractéristiques. Premièrement, le caractère abstrait de l'image qui serait reconstruite à partir d'un enchevêtrement d'idées que l'on va pouvoir associer afin de visualiser la position

et prévoir l'évolution de la partie. Et deuxièmement, l'implication des sensations associées à ces idées dans le raisonnement du joueur.

Pour résumer ces travaux sur le jeu à l'aveugle, il est utile de mentionner trois éléments mis en avant par Binet (1894) comme étant les grandes qualités nécessaires aux joueurs. Tout d'abord, Binet précise que le joueur d'échecs nécessite une grande capacité "d'imagination", qui se matérialise par la capacité à visualiser une position et ses évolutions. Ainsi, bien que Binet soit plutôt en accord avec Bergson en ce qui concerne le caractère abstrait des informations encodées en mémoire et l'utilisation de schémas dynamiques permettant de reconstituer les images, il postule que les joueurs d'échecs doivent également avoir une capacité de visualisation supérieure à la normale, leur permettant de garder à l'esprit l'image qui vient d'être reconstruite. Ces éléments vont conduire à améliorer la "mémoire de position" du joueur. Une bonne mémoire de position revient, selon Binet, à être capable de reconstruire l'image d'une position et à la garder à l'esprit assez longtemps pour pouvoir l'analyser et la restituer.

La deuxième qualité décrite par Binet est qualifiée tout simplement de "Mémoire". Les aspects précédemment décrits par l'auteur étant également associables au domaine mnésique, il est difficile de percevoir immédiatement à quoi celui-ci fait référence. Il s'agit en réalité d'une "mémoire de récapitulation", c'est-à-dire la capacité des joueurs à récapituler l'ensemble des positions dans l'ordre au cours d'une ou plusieurs parties. Cette qualité peut sembler assez évidente au premier abord, mais elle renseigne sur un aspect important : le joueur est capable de reconstruire l'image d'une position. Il n'est donc pas seulement capable de la maintenir en mémoire le temps de la traiter mais bien de la reconstruire en fonction des besoins.

Enfin, Binet postule que les joueurs d'échecs nécessitent une grande "érudition", ce qu'il qualifie par "une masse considérable de connaissances dans lesquelles le souvenir récent

d'une partie en cours vient se fondre". Il explique également que cette érudition provient d'une pratique intensive de l'échiquier. Son postulat étant que les nouvelles connaissances qui seront acquises viendront s'ajouter de manière logique et structurée aux éléments préalablement encodés. Il termine son étude en précisant que les recherches en Psychologie n'ont pas encore assez étudié l'influence des connaissances préalables sur la création de nouvelles connaissances. Comme nous le verrons ultérieurement, il semble que Binet avait vu juste.

Les travaux de Binet sont généralement considérés comme les premières recherches d'envergure concernant l'expertise dans le jeu d'échecs. Bien que cette étude soit focalisée sur une variante spécifique qui est le "jeu à l'aveugle", les éléments recueillis renseignent fortement sur les capacités des joueurs dans leur pratique classique du domaine. En effet, comme l'a remarqué Binet dans son ouvrage, le "jeu à l'aveugle " semble être l'apanage des meilleurs joueurs. Il ne s'agit donc pas d'une spécificité que certains ont développée au détriment d'autres, mais bien d'une qualité consécutive à leur performance exceptionnelle. Ce travail de recherche est très souvent mentionné dans la littérature et il peut sembler assez déroutant pour le lecteur qu'une étude si ancienne soit si souvent citée. D'autant plus que les éléments que nous avons mentionnés sont souvent décrits en des termes peu spécifiques par Binet. En réalité si ce travail est encore autant mis en avant, c'est parce qu'il marque un point de départ dans la recherche sur l'expertise et que son auteur a su diriger les travaux ultérieurs vers des points essentiels à étudier. Certains d'entre eux étant, comme nous le verrons, parfois encore d'actualité.

En 1946, un jeune doctorant néerlandais du nom d'Adriaan De Groot soutient sa thèse de doctorat intitulé "La pensée du joueur d'échecs" (traduction libre – De Groot, 1946). Sur le moment cette thèse n'aura pas un grand impact sur la recherche et il faudra attendre sa traduction en anglais en 1965 pour qu'elle commence à influencer les chercheurs. Tout comme les travaux d'Alfred Binet, développés dans le chapitre précédent, ses expériences, bien qu'anciennes, marquent un tournant majeur dans la recherche sur l'expertise.

De Groot était lui-même un grand expert aux échecs. Sa connaissance du domaine, bien que pouvant venir biaiser son analyse du fonctionnement cognitif des joueurs, lui a permis de mettre en place des expériences pertinentes et adaptées à la population.

Pour commencer, il a mis en place une analyse de protocole verbal de joueurs. Contrairement aux travaux mentionnés précédemment, il ne s'agit pas ici de recueillir les impressions des joueurs à posteriori, mais bien d'écouter leurs verbalisations en temps réel durant l'analyse d'une position. Cette technique présente à la fois des avantages et des désavantages (Ericsson & Simon, 1993 ; Gobet, 2009b). Il semble que ces protocoles soient efficaces pour rendre compte de processus lents prenant plusieurs dizaines de secondes entre chaque étape de raisonnement (Gobet, 2011). Mais ces protocoles verbaux sont également très incomplets puisqu'ils ne permettent pas d'accéder pleinement à l'ensemble des réflexions des joueurs. En effet, Gobet (2009b) mentionne par exemple que ces protocoles sont amputés de certaines réflexions qui n'ont pas atteint le degré de conscience nécessaire leur permettant d'être verbalisées. Il précise également que les joueurs peuvent parfois consciemment inhiber certaines informations, verbalisables, mais jugées d'un intérêt trop faible pour être mentionnées.

Quoi qu'il en soit, l'analyse de la verbalisation des joueurs, va amener De Groot à établir quatre phases différentes dans l'évaluation d'une position d'échecs. Premièrement, la phase

"d'orientation" durant laquelle le joueur va repérer les pièces, leur position et les relations qu'elles entretiennent entre elles. Cette phase est complétée par une première analyse succincte visant à identifier certaines caractéristiques de la position, comme par exemple une structure défensive ou une ouverture particulière. Dans une seconde phase dite "d'exploration", les joueurs vont identifier certaines possibilités d'action. C'est au cours de cette phase que certaines idées peuvent être rapidement inhibées par les joueurs et par conséquent ne pas apparaître dans le protocole verbal. Cette phase représente un premier tri qui sera effectué parmi les possibilités d'actions. Lors de la phase d'orientation, l'ensemble des relations entre les pièces était pris en compte et avec elles une multitude d'options était envisageable. Avec cette phase d'exploration en revanche, seules quelques options peuvent être sélectionnées. A partir de ces premières options, une analyse plus approfondie est réalisée. Il s'agit de la troisième phase dite "d'investigation". Celle-ci va alors permettre de réduire progressivement le nombre d'options en évaluant celles qui sont réellement prometteuses et celles qu'il faut rejeter. De Groot précise également que les phases 2 et 3 peuvent se succéder de manière répétée. L'évaluation d'une possibilité d'action pouvant par exemple permettre de découvrir une option qui n'avait pas été envisagée lors de la phase d'exploration. Enfin la réflexion se termine avec la phase "de la preuve" visant à confirmer les résultats des analyses précédentes.

Il est cependant important de noter que ces phases ont été identifiées lors d'une analyse des protocoles verbaux. Les informations mentionnées par les joueurs sont parfois longues à énoncer et ne concordent pas forcément avec l'instant au cours de laquelle l'idée leur est venue. Pour des positions fréquentes par exemple, l'analyse totale (comprenant ces quatre phases) prendra moins de deux secondes pour un joueur expert et il sera alors difficile d'identifier les différentes phases de réflexion. De la même manière, ce processus de réflexion ne prend pas en compte certains aspects du fonctionnement cognitif des experts, comme le

phénomène d'intuition (dont nous discuterons plus en détail dans le chapitre 3.4, page 87). A titre d'exemple, Magnus Carlsen, l'actuel champion du monde d'échecs toute catégorie précise que:

"Of course, analysis can sometimes give more accurate results than intuition but usually it's just a lot of work. I normally do what my intuition tells me to do. Most of the time spent thinking is just to double-check." Magnus Carlsen

C'est d'ailleurs ce que va observer De Groot dans la suite de son analyse des verbalisations de joueurs. Selon les informations qu'il a recueilli, il n'y aurait pas de différence sur le nombre de possibilités évaluées ou la profondeur de calcul réalisée entre des experts Grand Maîtres (GM ; $Elo > 2500$) et les experts Candidat Maîtres (CM ; $2000 < Elo < 2200$). La véritable différence viendrait du fait que plus le niveau d'expertise est élevé et plus les joueurs vont être capables de percevoir immédiatement le meilleur coup. Les GM vont ensuite pouvoir évaluer les autres possibilités, mais cette première impression sera souvent la bonne et leur permettra d'obtenir des résultats bien supérieurs à leurs homologues CM. Comme le mentionne De Groot : "Un maître ne cherche pas le bon coup, il le voit" (De Groot, 1946). Cette analyse des protocoles verbaux a donc permis de dégager certaines phases caractéristiques de la réflexion du joueur et d'alimenter les recherches futures concernant l'influence de la perception dans la réflexion des joueurs d'échecs.

Pour compléter cette analyse des protocoles verbaux, De Groot va également mettre en place une expérience de mémorisation. Durant cette étude, les participants ont pour consigne de mémoriser une position sur l'échiquier. Pour cela, ils vont pouvoir visualiser la position durant un laps de temps variable (entre 2 et 15 secondes par positions) en fonction de la difficulté de la configuration observée. L'objectif étant de parvenir à rappeler l'ensemble de la position immédiatement, soit sur un échiquier vierge, soit oralement. Dans cette étude, De

Groot va comparer les résultats de quatre experts (dont lui-même) avec ceux de joueurs amateurs. Il observe que les maîtres parviennent à mémoriser la totalité de la position dans la majorité des cas et qu'à l'inverse, les joueurs amateurs parviennent à mémoriser seulement la moitié de la position pour chacune des configurations présentées.

Ce résultat semble en accord avec ce que Binet (1894) qualifiait de "mémoire des positions" et qui serait l'apanage des meilleurs joueurs d'échecs. Cependant, cette étude montre également que les positions peuvent être encodées très rapidement par les joueurs. Afin d'expliquer pourquoi ces positions étaient si rapidement enregistrées par les joueurs, De Groot (1946) a étudié la manière dont étaient restituées les informations lors de la phase de rappel. Il a pu observer qu'il y avait des similitudes dans l'ordre de rappel choisi par les experts pour rappeler la position des différentes pièces. Ainsi, il put voir que certaines grandes structures de pièces semblaient être rappelées ensemble. De Groot étant un excellent joueur d'échecs, il s'est tout de suite aperçu que ces ensembles de pièces se regroupaient pour former des structures logiques qu'il nomme "Grands complexes" (Didierjean, Ferrari, & Marmèche, 2004). Ces structures seraient associées dans la mémoire des joueurs à des plans de jeu, c'est-à-dire des stratégies ayant pour objectif de parvenir à gagner la partie. Ainsi, lorsqu'une position est observée par un joueur, certaines caractéristiques de la position vont être perçues immédiatement et vont activer des possibilités d'actions envisageables.

Cette théorie permet d'expliquer simultanément pourquoi les experts ont de plus grandes capacités de mémorisation que les joueurs de moindre niveau et également de rendre compte de leurs meilleures performances au sein du jeu. Avec ses travaux, De Groot a donc mis l'accent sur l'importance de la perception sur la performance et la mémorisation des joueurs d'échecs. Une perception qui est elle-même fortement influencée par les connaissances préalables du joueur. Ainsi, plus un joueur pratiquera et sera confronté à certaines structures

de pièces particulières et plus il lui sera facile de l'identifier et d'activer les options de jeu qui lui sont reliées.

1.5 L'IMPORTANCE DE LA PERCEPTION

A. *LES RECHERCHES DE CHASE ET SIMON*

Suite aux travaux de De Groot, d'autres chercheurs ont commencé à s'intéresser au rôle de la perception dans la performance échiquéenne. Les plus connus sont Chase et Simon (1973) qui ont mis au point la théorie des Chunks (traduction libre :regroupement) que nous allons décrire au cours de ce chapitre.

Se basant sur la méthodologie de l'expérience mnésique proposée par De Groot, ces auteurs vont mettre en place une étude similaire à quelques exceptions près. Tout d'abord, Chase et Simon vont faire varier le niveau d'expertise des joueurs en prenant un expert de la discipline et en comparant ses résultats avec des joueurs de niveau avancé et des novices. Ils vont également proposer un protocole plus standardisé que celui de De Groot. En effet, comme nous l'avions vu, celui-ci a mis en place un protocole dans lequel le temps de présentation pouvait varier en fonction de la difficulté des positions évaluées (de 2 à 15 secondes) et du mode de rappel choisi par les participants (reproduction sur un échiquier vierge ou rappel oral). Pour remédier à ce problème, Chase et Simon vont proposer aux participants des positions qu'il faudra tenter de mémoriser en 5 secondes et de reproduire ensuite sur un échiquier vierge. Si la reproduction n'est pas parfaite, c'est-à-dire si l'ensemble des pièces n'a pas été rappelés correctement, les expérimentateurs vident l'échiquier et présentent à nouveau

la configuration aux participants. Ceux-ci vont avoir sept tentatives pour parvenir à restituer l'ensemble de la position sans erreur.

Il est également important de préciser que De Groot avait choisi des positions tirées de parties réelles sans tenir compte du nombre de pièces présent sur l'échiquier. Chase et Simon ont donc décidé de fixer ce nombre à 25. Ce nombre est idéal puisqu'il permet aux auteurs de choisir des configurations de pièces représentant une position dite de "milieu de partie". Il s'agit d'une phase de jeu dans laquelle le développement des pièces a déjà été effectué. Elle survient juste après la phase "d'ouverture" lors de laquelle les pièces se trouvent dans un agencement reposant sur des concepts théoriques. Des erreurs sont possibles lors de cette phase, mais l'essentiel de la réflexion des joueurs repose sur des études de la position tirées d'apprentissage de parties célèbres ou via des logiciels d'analyse. Il y a bien sûr d'autres éléments qui entrent en compte lors de cette phase (comme par exemple les habitudes de jeu de l'adversaire), mais cela nous permet de nous rendre compte que les positions des pièces lors de "l'ouverture" sont déjà trop bien connues par les joueurs pour permettre de réaliser une tâche de mémorisation. En ce qui concerne la dernière étape de jeu qualifiée de "finale", celle-ci repose sur un nombre de pièces relativement faible. Une tâche de mémoire pourrait donc ne pas être en mesure de discriminer les experts et les novices lors de cette phase. C'est une étape de la partie extrêmement stratégique et qui mérite d'être étudiée, mais pour laquelle le lien entre mémoire et performance semble difficile à observer.

Enfin, et c'est peut être l'élément le plus important de leur étude, Chase et Simon vont également ajouter une condition "configuration aléatoire". Cette condition contrôle, à l'inverse de la première, présente des configurations pour lesquelles la position des pièces a été choisie au hasard.

Avec ces conditions, Chase et Simon vont avoir des résultats similaires à ceux obtenus par De Groot concernant l'analyse des positions tirées de parties réelles. A savoir, que les experts vont parvenir à rappeler la position plus efficacement que les joueurs de niveau avancé et eux-mêmes plus efficacement que les novices. Pour la condition contrôle (configuration aléatoire) en revanche, il ne semble pas y avoir de différence entre les performances des trois groupes. Ces résultats nous montrent donc que les différences observées entre nos différents groupes expérimentaux sont imputables à une forme de mémoire qui serait spécifique aux échecs et non à des performances mnésiques de nature photographique. Les travaux de Sperling (1960) avaient d'ailleurs précédemment mis en évidence qu'il n'existait pas de mémoire purement photographique et que la mémoire sensorielle avait donc des limites en terme de capacité. Il est également intéressant de noter que des résultats similaires à ceux de Chase et Simon avaient été obtenus par Jongmann et Lemmens en 1964 (cité dans Vicente & De Groot, 1990), mais les auteurs auraient alors considéré les résultats comme trop évidents pour être publiés. Et en soit, si le raisonnement de Chase et Simon s'arrêtait seulement à ce constat d'une forme de mémoire échiquéenne spécialisée, les résultats n'auraient alors rien de bien surprenant. En effet, comme nous l'avons vu lors du chapitre précédent, cette notion de spécificité de la mémoire avait déjà été amorcée avec les "Grands complexes" proposés par De Groot. Mais pour compléter ce travail, Chase et Simon vont également s'interroger sur les mécanismes à l'origine de la perception des joueurs. Ils vont postuler que la mémoire à long terme (MLT) des joueurs d'échecs héberge une grande quantité de chunks, c'est-à-dire des regroupements de plusieurs pièces qui apparaissent fréquemment au cours des parties et vont avoir un sens particulier pour le joueur. A l'instar des Grands complexes proposés par De Groot, les chunks vont donc représenter une connaissance spécifique sur le jeu qui sera associée à une position particulière de plusieurs pièces. Lorsque cette position sera perçue par le joueur, elle sera reconnue immédiatement et activera des connaissances spécifiques permettant de trouver les

meilleurs coups à jouer. Comme pour leur prédécesseur, les résultats de Chase et Simon prônent donc l'existence d'une perception complexe, spécifique à l'expertise. Il n'y aurait ainsi pas de différences entre experts et novices en ce qui concerne la perception générale des individus (Helsen & Starkes, 1999). Il existe cependant des points de divergences entre le concept de Chase et Simon et celui de De Groot que nous tâcherons de développer dans les paragraphes suivants.

Premièrement, Chase et Simon vont davantage décrire la nature de ces regroupements de pièces. Ils définissent deux catégories de chunks, qui vont être nommés par Didierjean, Ferrari et Marmèche (2004) : les perceptifs et les stratégiques (voir Fig. 1). Les chunks perceptifs sont de formes diverses, mais il s'agit généralement de structures de pièces fréquemment observées au cours des parties. Selon Chase et Simon (1973), cela peut être soit une situation de roque (structure défensive), soit une chaîne de plusieurs pions, soit un ensemble de pièces composant les premiers rangs de l'échiquier et n'ayant pas encore effectué de mouvement. Ces pièces sont donc généralement rassemblées sur un espace précis de l'échiquier et composent une unité signifiante facile à percevoir pour l'expert. Les chunks stratégiques vont à l'inverse reposer comme leur nom l'indique sur des éléments stratégiques. Il s'agit d'un regroupement de plusieurs pièces, pouvant être éloignées les unes des autres sur l'échiquier, mais reliées par un objectif commun (par exemple l'attaque d'une pièce adverse).

Deuxièmement, dans la théorie de Chase et Simon, lorsqu'une configuration observée correspond à un chunk préalablement encodé, les experts vont alors pouvoir mémoriser une sorte de code symbolisant le chunk. Ce symbole permettra ensuite de réactiver le chunk et de récupérer les informations lui étant associées lors de la phase de rappel (Gobet, 2011).



Figure 1. Exemples de chunk perceptif (cercle rouge) et de chunk stratégique (cercles bleus). Le chunk perceptif est composé de six pièces (trois pions, un cavalier, une tour et le roi). Il s'agit d'une structure défensive fréquemment observée au cours d'une partie. Le chunk stratégique est composé de quatre pièces (deux fous, un cavalier et la dame). Ces pièces sont reliées entre elles par une stratégie spécifique. Ici, l'association des forces de ces quatre pièces entraînera un échec et mat en deux coups (1. Qxh5 gxh5 2. Bh7# ou 1. Qxh5 ... 2. Qh7#).

Le concept de chunking montre également que la réflexion des joueurs semble fonctionner comme un système de production (Newell & Simon, 1972). Il s'agit d'un système composé d'un couple Conditions / Action au sein duquel une action peut être réalisée si et seulement si une série de conditions est présente. Face à une position d'échecs il existerait donc autant de couples Conditions / Action que d'options de jeu possibles. L'ensemble de ces couples formant ce que Newell et Simon qualifient d'espace de problème. Ces espaces se distinguent en deux catégories. Tout d'abord, les espaces de problème externes correspondant à l'ensemble des états pouvant être pris par le problème (aux échecs cela correspondrait à l'ensemble des coups possibles). Et enfin, les espaces de problèmes internes correspondant à l'ensemble des différents états possibles que perçoit le sujet. Ainsi, l'activation d'actions potentielles par la satisfaction des conditions qui lui sont reliées (reconnaissance d'un chunk sur l'échiquier) permet de réduire l'espace de problème des experts. En plus d'expliquer les performances de mémorisation de ceux-ci, la théorie des chunks permet donc de comprendre de quelle manière les performances de jeu réelles sont améliorées.

B. PRECISIONS SUR LE CONCEPT DE CHUNKING

Le concept de chunking est antérieur à Chase et Simon. Il repose sur les travaux de Miller (1956) qui avait montré l'efficacité d'un tel regroupement des informations à l'aide du code binaire. Il postule que ce mécanisme d'association représente le fonctionnement de la mémoire dans son ensemble et donc que les nouvelles connaissances vont se créer en regroupant des unités de bas niveau en de nouvelles unités significantes. Comme nous l'avons mentionné précédemment, la mémoire à court terme aurait un empan d'environ cinq à sept informations (Miller, 1956 ; Farrington, 2011). Ainsi, en procédant par chunking, il est possible de retenir plus d'informations puisque les unités ne sont plus mémorisées individuellement mais par regroupement au sein d'unités significantes plus vastes. La taille du chunk, qu'il soit composé de trois unités ou bien de six, ne représentera qu'une seule information à mémoriser. Cela a notamment été démontré par Ehrlich (1972) avec du matériel langagier.

Dans le principe, le chunking se rapproche donc de la théorie des géons formulée par Biederman (1987). Selon lui, la construction des objets qui nous entourent repose sur des formes de base qui vont s'associer entre elles pour former de nouveaux objets ayant une signification propre. Les individus seraient alors composés d'un répertoire, estimé à environ 30000 objets qui se construisent à partir de quelques éléments de base. Nous pouvons également citer le modèle du pandémonium de Selfridge (1959) qui repose sur la reconnaissance de traits particuliers en provenance du système sensoriel pour expliquer le processus de reconnaissance des lettres.

Johnson (1970) décrit quatre caractéristiques des chunks :

- Le chunk lui-même, c'est-à-dire la nouvelle unité signifiante construite à partir d'unités de plus bas niveau.

- Le "code mnémotechnique" qui correspond au symbole enregistré par le sujet lors de la phase de mémorisation et qui est associé à un chunk spécifique.
- Le processus de recodage qui consiste à mémoriser le lien entre le "code mnémotechnique" et le chunk dont on souhaite se rappeler.
- Le processus de décodage qui permet de retrouver les informations que l'on souhaite mémoriser à partir de la réactivation du "code mnémotechnique".

Le chunking peut donc être utilisé de manière consciente, c'est-à-dire en associant explicitement (lors de la phase de recodage) un "code mnémotechnique" et l'élément que l'on souhaite mémoriser. Il peut d'ailleurs être utilisé à des fins de remédiation cognitive dans des pathologies liées à des déficiences mnésiques. C'est le cas par exemple pour les patients présentant le syndrome de Korsakoff (Haj, Kessels, Urso, & Nandrino, 2020), ou la maladie d'Alzheimer (Huntley, Bor, Hampshire, Owen, & Howard, 2011).

Mais il semble également efficace dans des domaines pour lesquelles l'amélioration des performances mnésiques n'est pas une action délibérée de l'individu, mais simplement une conséquence secondaire imputable à l'amélioration des performances. C'est le cas des échecs comme nous venons de le voir, mais également de la musique (Sloboda, 1976), du bridge (Charness, 1989), ou dans des tâches de mémoire visuelle (Nassar, Helmers, & Frank, 2018). Dans ces domaines, la question qui se pose est donc de savoir comment les individus parviennent à récupérer les informations contenus dans le chunk malgré l'absence de phase de recodage explicite entre lui et le "code mnémotechnique". Pour répondre à cela, nous allons donc devoir nous attarder sur le chunking, sur son encodage et son organisation en mémoire à long terme, ainsi que sur les mécanismes de récupération de l'information chez l'expert.

Au cours de cette partie, nous avons pu définir ce qu'était l'expertise et les objectifs de la recherche dans ce domaine. Comme nous avons pu le voir également, cela fait de nombreuses années que les performances des joueurs d'échecs fascinent les chercheurs. Partant du postulat que ceux-ci présentaient certaines caractéristiques innées les prédisposant à la pratique de la discipline, la littérature a évolué afin de mettre en évidence plusieurs caractéristiques déterminantes de la performance experte. Les éléments mis en avant par De Groot lors du colloque de Pittsburgh (1966) ont d'ailleurs défini un cadre de recherche précis en ce qui concerne l'expertise aux échecs. Proposant de continuer sur la dynamique des travaux qu'il a lui-même entrepris, De Groot propose de s'intéresser de plus près à la perception échiquéenne et son influence sur la performance. Le concept de chunking développé par Chase et Simon (1973) a ouvert la voie à une nouvelle conception de la perception experte, qui sera discutée au cours des chapitres suivants. Mais De Groot proposait aussi de s'intéresser à la mémoire échiquéenne, son développement, sa structure et son fonctionnement. Ces éléments seront également décrits dans le prochain chapitre et donneront un cadre permettant de comprendre la performance des experts.

2. COMPRENDRE LA PERFORMANCE EXPERTE

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, la performance des experts semble être imputable à la reconnaissance de certains patterns spécifiques que l'on nomme des chunks. Aux échecs, ces chunks sont des configurations particulières de pièces qui vont être reconnues immédiatement et vont permettre l'activation de certains plans d'action spécifiques à la situation. Sheridan et Reingold (2017) expliquent que cette capacité à percevoir immédiatement certaines structures de pièces spécifiques est un composant clé de l'expertise. Nous avons ainsi présenté au cours des parties précédentes, de quelle manière fonctionnait la perception experte et son rôle décisif dans la performance échiquéenne. Ainsi, la littérature a permis de répondre aux deux premières grandes questions proposées par De Groot à la conférence de Pittsburgh (1966). Selon lui, il reste donc à comprendre comment se développe la mémoire échiquéenne, comment celle-ci est structurée et comment elle fonctionne. Nous allons donc nous intéresser à la manière dont se développent les connaissances échiquéennes, au stockage des informations en mémoire et aux processus permettant aux individus de les réactiver suite à la perception d'un chunk.

2.1 DEVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES

A. FORMES D'APPRENTISSAGE EFFICACES

Craik et Lockart (1972) postulent que plus le traitement d'une information sera profond plus celle-ci sera facilement accessible pour l'individu. Comme nous le verrons lors de ce chapitre, le développement de l'expertise semble favoriser le traitement profond de l'information. Un traitement profond qui permettrait, selon eux, la mise en place d'un processus de répétition élaborative. A l'inverse de la répétition de maintien, qui vise seulement à maintenir une

information en mémoire à court terme (MCT) assez longtemps pour être rappelée (Greene, 1987), la répétition d'élaboration permettrait de faire passer l'information en MLT en la comparant à des informations déjà encodées. Dans une méta-analyse, Dunlosky et al. (2013) ont d'ailleurs montré que la mémorisation à long terme semblait bénéficier d'une amélioration lorsque nous cherchons à établir des liens entre les informations à mémoriser et nos connaissances préalables. Cette répétition d'élaboration permettrait donc de cristalliser une information qui pourra être utilisée ultérieurement. Cela créera une modification interne et durable de l'individu qui est caractéristique du processus d'apprentissage.

Comme le mentionne DeHaene (2018) "Apprendre exige une double architecture : une immense quantité de modèles génératifs internes, et des algorithmes efficaces pour les ajuster à la réalité". En d'autres termes, les individus possèdent une grande quantité de structures internalisées (connaissances, schémas...), utiles pour faire face à l'environnement et qu'il faudra parfois modifier pour s'adapter efficacement aux contraintes de la situation actuelle. Pour apprendre, un individu doit donc se confronter à la situation d'apprentissage afin de pouvoir ajuster ses modèles internes à la réalité. Lorsqu'il est confronté à la situation, l'individu va tenter de s'y adapter en prenant une décision et recevra des retours de la part de son environnement. Si cette situation se répète régulièrement et que l'adaptation entraîne un retour positif, cela va entraîner une modification durable de l'individu. C'est cette modification durable des structures cognitives de l'individu qui compose ce que l'on nomme l'apprentissage (Astolfi, 1993).

Cette confrontation à la situation entraîne un apprentissage sans qu'il y ait forcément d'intentionnalité d'apprendre de la part de l'individu. On se trouve donc dans un apprentissage de type implicite dans lequel nous allons apprendre de nouveaux éléments sans en avoir conscience (Reber, 1967). L'avantage de ce type d'apprentissage est qu'il ne nécessite pas de définir au préalable les éléments à apprendre. Au travers de ses expériences

et des retours de son environnement, l'individu va apprendre à discerner les éléments pertinents à analyser (Reber, 1982). McGeorge et Burton (1990) ont d'ailleurs montré que l'apprentissage implicite semblait favoriser l'automatisation des processus cognitifs et l'accroissement des connaissances des individus.

B. L'IMPORTANCE DE LA REPETITION DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE

Selon la théorie de l'emboîtement des épisodes dans la mémoire sémantique (Lieury, 1979), un concept encodé en mémoire à long terme va être consolidé au travers des expériences vécues par l'individu. Le fait de vivre une situation (un épisode) concernant le concept va l'enrichir. Plus le concept sera associé à des épisodes, plus il sera fréquent pour l'individu et plus il sera facilement récupérable en mémoire à long terme. Pour apprendre un concept, il faut donc multiplier les épisodes le concernant (Lieury, 1997). Au travers de ces situations on cherche donc à rendre le concept aisément activable. Il est intéressant de noter à ce propos qu'Anderson (1983) indique que la base de l'apprentissage repose sur la procéduralisation des connaissances. En d'autres termes, l'apprenant va, au fur et à mesure de ses confrontations à la situation, automatiser une partie de son fonctionnement. Cela lui permettra donc de traiter rapidement et sans effort certains problèmes relatifs à la situation et de garder ses pleines capacités pour le traitement d'autres aspects de la situation. C'est d'ailleurs ce que postule Logan (1988) dans sa théorie des exemples. Selon lui, il n'y a pas qu'un seul exemplaire d'un événement qui serait stocké en mémoire comme représentation prototypique d'une situation donnée, mais bien une multitude d'exemples qui sont autant de traces des événements que l'individu a vécu. En multipliant les expériences, Logan explique que certaines actions deviendront automatiques. Cela permettra ainsi de focaliser les ressources cognitives sur d'autres aspects de la situation qui ne sont pas encore automatisés. Gobet et Jansen (2006) ont

d'ailleurs identifiés que l'apprentissage était amélioré lorsque l'on mettait en place une "spirale d'amélioration". Dans cette spirale, les individus sont d'abord confrontés à une version simplifiée d'une situation d'apprentissage. Lorsque cette situation est parfaitement maîtrisée et lorsque de nombreux aspects de résolution ont été automatisés par les individus, on traite à nouveau le même problème mais avec une complexité plus élevée. L'individu va donc s'améliorer au travers de cette spirale, en procédant à une automatisation progressive des éléments pertinents de la situation.

C. LA THEORIE DE LA PRATIQUE DELIBEREE

L'expertise semble favoriser cette mise en place de situations de répétition élaborative et donc d'apprentissage. En effet, selon Ericsson, Krampe et Tesch-Römer (1993) le développement de l'expertise serait imputable à un facteur qu'ils qualifient de "pratique délibérée". La pratique délibérée est la théorie selon laquelle, afin de développer ses compétences dans un domaine, un individu doit s'investir dans une pratique intensive de celui-ci. Cette pratique doit répondre à plusieurs critères :

- L'individu doit être motivé par l'envie de réussir la tâche et de progresser.
- La tâche d'apprentissage doit répondre au niveau de l'individu. Elle ne doit être ni trop facile, ni trop difficile.
- L'individu doit recevoir un retour sur les actions qu'il réalise.
- La tâche réalisée doit être répétée à de nombreuses reprises.

Comme nous l'avons vu en introduction de cette thèse, Ericsson (2014) explique également que cette sorte de pratique particulière doit être réalisée durant un temps relativement long (10000 heures) afin de développer une expertise. Selon lui, la pratique délibérée expliquerait une grande part de la variance liée au développement des performances. Plus récemment, il a

également soutenu que la pratique délibérée associée à un entraînement adapté pourrait permettre à n'importe quel individu de développer ses performances jusqu'à un niveau que l'on pensait alors atteignable seulement par des individus ayant des prédispositions génétiques (Ericsson & Pool, 2016).

Cette théorie a depuis été fortement critiquée au sein de la littérature. Certains chercheurs lui reprochent justement de trop négliger l'influence des facteurs génétiques sur le développement de l'expertise (Plomin, Shakeshaft, McMillan & Trzaskowski, 2014). On peut citer par exemple les travaux de Wilmer et al. (2010) qui montrent l'importance de l'influence génétique dans les performances de reconnaissance des visages. Ou encore l'étude de Luria (1968) sur Solomon Shereshevsky qui était un mnémotechnicien dont l'habileté serait totalement innée dans la mémorisation d'éléments divers. Furniss (2008) mentionne également le cas de Stephen Wiltshire, un homme qui serait né avec la capacité de dessiner avec une précision photographique des lieux qu'il a brièvement observés.

De la même manière, Ackerman (2014) met en garde sur les conclusions d'Ericsson et notamment sur le rôle trop important qu'il accorde à la pratique délibérée dans le développement des performances. En effet selon lui, afin de pouvoir conclure sur l'effet de cette pratique délibérée sur l'amélioration des performances, il faudrait pouvoir mettre en place une expérience randomisée. En l'absence de ce type de procédure, Ackerman privilégie la prudence afin que des individus ne se lancent pas en vain dans une pratique intensive qui ne leur apportera pas forcément d'effets bénéfiques. Mais l'expertise étant un processus particulièrement long à se développer, ce type d'expérience randomisée est difficile à mettre en place. Nous pouvons néanmoins citer les travaux de Bilalic, McLeod et Gobet (2007) qui ont étudié le développement des performances aux échecs chez des enfants sélectionnés de manière randomisée. Les auteurs ont observé sur une durée de trois ans que le taux de pratique délibérée semblait être un bon prédicteur du développement des performances.

Cependant, cette durée n'est pas suffisante pour investiguer la totalité du processus de développement de l'expertise.

D'autres auteurs mentionnent également l'influence du QI (Grabner, Neubauer, & Stern, 2006; De Bruin, Kok, Leppink & Camp, 2014), de la motivation (De Bruin, Rikers, & Schmidt, 2007), de la personnalité (Chamberlain, McManus, Brunswick, Rankin, & Riley, 2015) de la capacité en mémoire de travail (Hambrick & Meinz, 2011; Ruthsatz, Ruthsatz-Stephens, & Ruthsatz, 2014)... sur le développement de l'expertise. Dans une méta-analyse, Burgoyne et al. (2016) ont également montré que ce développement semblait être influencé par une multitude de facteurs cognitifs. Et finalement, lorsque l'on prend en compte la pratique délibérée dans l'équation, il semble que celle-ci n'explique qu'une part restreinte de la variance expliquant l'acquisition de l'expertise (Hambrick et al., 2014 ; Macnamara, Moreau, & Hambrick, 2016).

D. VERS UN MODELE PLURI-FACTORIEL DU DEVELOPPEMENT DES COMPETENCES EXPERTES

Sans venir totalement rejeter l'influence de la pratique délibérée sur le développement des capacités, ces auteurs proposent plutôt d'en relativiser l'impact au profit d'un modèle plurifactoriel. C'est ce que proposent Ullén, Hambrick et Mosing (2016) en associant divers facteurs génétiques et environnementaux recensés dans la littérature pour expliquer ce développement au sein de leur Multifactorial gene-environment interaction model (MGIM ; voir Fig. 2).

Nous pouvons voir que la pratique délibérée y occupe une place très importante. Agissant à la fois sur les propriétés physiques et les mécanismes neuronaux de l'individu, elle va permettre le développement de l'expertise. Comme le précisent Ullén et al. (2016), la pratique délibérée

a depuis longtemps montré son importance. Le MGIM et la pratique délibérée sont également en accord sur le fait que le développement de l'expertise est essentiellement imputable à une spécialisation des individus au sein du domaine. Le transfert de capacités vers d'autres domaines étant considéré comme entièrement négligeable par les auteurs.

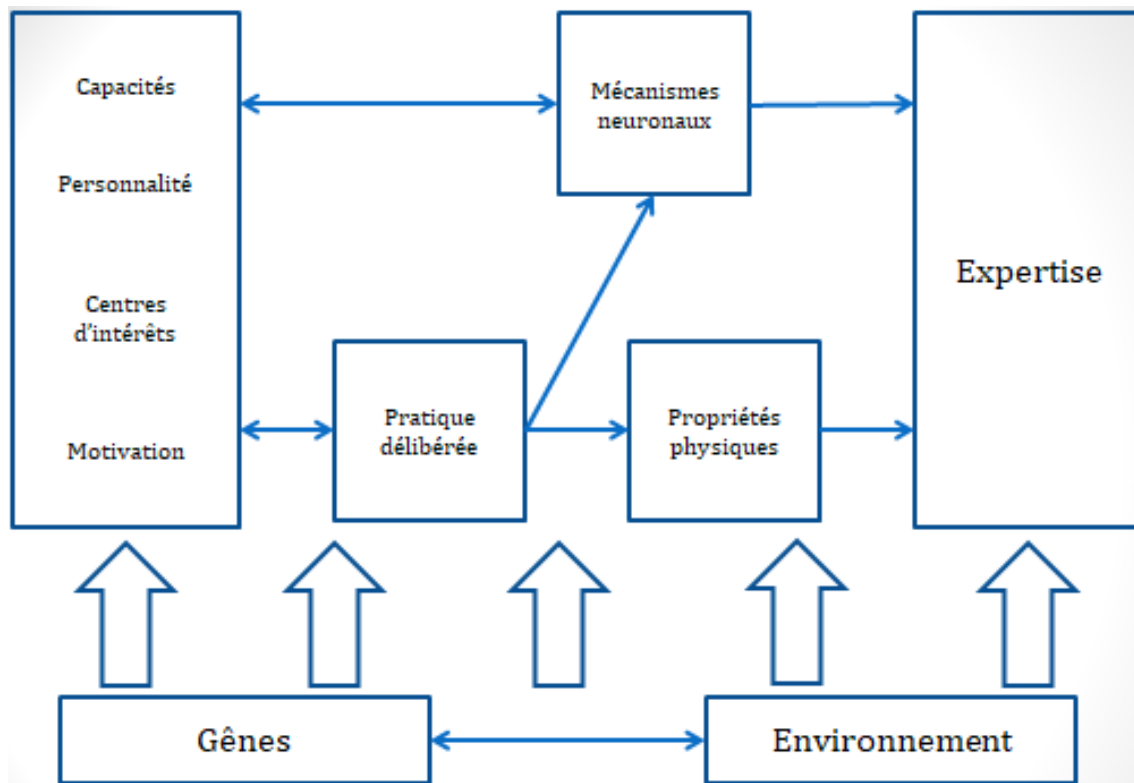


Figure 2. Modèle d'interaction gène-environnement du développement de l'expertise (d'après Ullén et al., 2016).

Néanmoins d'autres facteurs vont pouvoir influencer ce développement, soit par action directe sur les compétences de l'individu, soit par action indirecte en agissant sur leur pratique délibérée. Ainsi, des différences en termes de capacités individuelles, de personnalité, de centres d'intérêts ou de motivation peuvent avoir une influence. Le MGIM propose de sortir de la vision purement environnementaliste proposée par la théorie de la pratique délibérée. Avec ces facteurs, les auteurs indiquent leur souhait de voir la littérature s'intéresser aux

différences interindividuelles sur le développement de l'expertise et notamment à l'influence des aspects génétiques. Les auteurs citent notamment le cas de l'intelligence des individus, qui serait grandement imputable à la génétique (Plomin & Spinath, 2004) et qui aurait une forte influence sur l'expertise (Grabner, 2014). Hambrick et Tucker-Drob (2015) ont d'ailleurs montré l'importance de la génétique sur la performance en musique. En étudiant la performance musicale de 800 paires de jumeaux, les auteurs sont parvenus à montrer l'importance des gènes sur la performance. Cette influence génétique était en revanche bien plus forte pour les individus pratiquant le domaine.

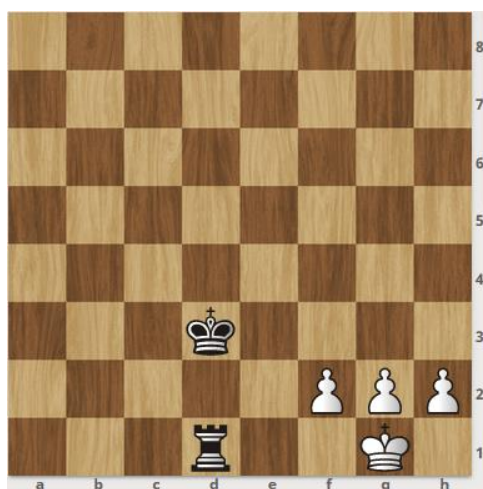
Le MGIM propose donc d'expliquer le développement de l'expertise au travers d'une interaction entre des facteurs environnementaux et des facteurs génétiques. Il ne fait cependant aucun doute que la pratique répétée de la discipline soit un élément essentiel du développement des performances. Celle-ci permettant en effet d'accroître les connaissances indispensables à la compréhension du domaine d'activité. Nous verrons lors du chapitre suivant que cette quantité importante d'informations doit également être correctement organisée afin de permettre aux individus de performer efficacement.

2.2 ORGANISATION DES CONNAISSANCES

A. UNE GRANDE QUANTITE DE CONNAISSANCES

La performance des experts va de pair avec un accroissement des connaissances de haut-niveau et par conséquent du nombre de chunks (Gobet & Simon, 1996c). On considère généralement que 50000 chunks en MLT sont nécessaires afin de reproduire les performances d'un expert du jeu d'échecs (Simon & Gilmarin, 1973). Les spéculations sur ce nombre sont

néanmoins très larges, allant pour la proposition la plus basse de seulement 2500 chunks (Holding, 1985) à la spéculation la plus haute de 300000 chunks (Gobet & Simon, 2000). La proposition de Holding semble néanmoins plutôt inappropriée. En effet, l'auteur postule qu'un chunk peut être encodé en mémoire sans tenir compte de sa localisation sur l'échiquier, réduisant ainsi drastiquement leur nombre. L'idée d'Holding est que le joueur va se focaliser davantage sur les relations entre les différentes pièces qui composent le chunk plutôt que sur leurs positions. Ainsi, il estime que le sens global du chunk étudié peut être défini au travers des pièces qui le composent et des diverses relations entre celles-ci. Gobet (2011) propose néanmoins un exemple de problème échiquéen pour lequel la position d'une même structure de pièces aura une signification bien différente en fonction de sa position sur le plateau de jeu (Figure 3).



Condition A



Condition B

Figure 3. Exemple de positions représentant deux patterns de pièces ayant une structure similaire mais dont la position sur l'échiquier varie (d'après Gobet, 2011).

Sur cette figure, on peut voir que dans la condition A, les noirs ont gagné la partie. En effet, le roi blanc est attaqué, n'a plus de possibilité de mouvement et aucune autre pièce ne peut venir bloquer l'attaque. Il est donc en situation d'échec et mat. A l'inverse, la condition B montre

un roi blanc en position d'échec, mais celui-ci peut encore fuir l'attaque en se réfugiant sur la ligne 5 du plateau. Dans ce second cas de figure, les blancs vont facilement gagner la partie, ayant la possibilité de faire plusieurs dames en amenant leurs pions sur la ligne 8. Cet exemple proposé par Gobet est extrêmement simplifié afin de faciliter la compréhension du phénomène, mais il en serait de même avec des situations plus complexes, comprenant davantage de pièces sur l'échiquier. Cette spéculation basse a donc été mise de côté au sein de la littérature, privilégiant un nombre plus important de chunks nécessaires à la performance experte.

Face à un nombre d'informations aussi important, il est donc indispensable d'organiser tout ce matériel (Chi, Feltovich, & Glaser, 1981).

B. RESEAU D'ORGANISATION DES CONNAISSANCES

Selon le modèle connexionniste, la mémoire fonctionnerait selon un réseau associatif. Cela est déterminé à partir de plusieurs résultats obtenus en étudiant les performances de participants dans des tâches de rappel. Il a notamment été montré que le fait de catégoriser les éléments à apprendre permettait aux individus d'accroître leur capacité de rétention (Wood, 1969) et que ces derniers vont avoir tendance à catégoriser automatiquement lorsqu'on leur demande de mémoriser une liste d'items désorganisée (Bousfield, 1953). De la même manière lorsque l'on présente à des participants des mots à identifier précédés d'une amorce reliée sémantiquement, on observe un temps de réaction beaucoup plus rapide que pour des mots associés à des amorces n'ayant aucun lien sémantique (Quaireau, 1995). McClelland et Rumelhart (1985) vont d'ailleurs postuler que cet effet d'amorçage serait expliqué au travers de la diffusion d'une activation au sein du réseau associatif. Ainsi, l'activation d'un nœud (point de convergence de plusieurs liaisons) du réseau associatif permettrait de faciliter

l'activation ultérieure des nœuds qui lui sont reliés. Ce phénomène de diffusion est particulièrement important dans la théorie connexionniste pour laquelle les connaissances seraient organisées sous forme d'une arborescence composée de plusieurs nœuds reliés entre eux. Elle postule également que la représentation finale que l'on se fera d'une connaissance ne dépend pas simplement de la somme des activations des différents nœuds mais bien de l'ensemble des connexions qui s'effectuent entre eux.

Plusieurs modèles d'arborescence ont été développés dans la littérature afin d'expliquer ce mode d'organisation. Le modèle le plus connu est certainement celui de Collins et Quillian (1969). Selon ce modèle (Figure 4), les nœuds qui composent l'arborescence constitueraient des concepts généraux. Ces concepts vont ensuite s'associer les uns aux autres afin de créer une représentation plus précise de l'élément dont l'on cherche à se rappeler.

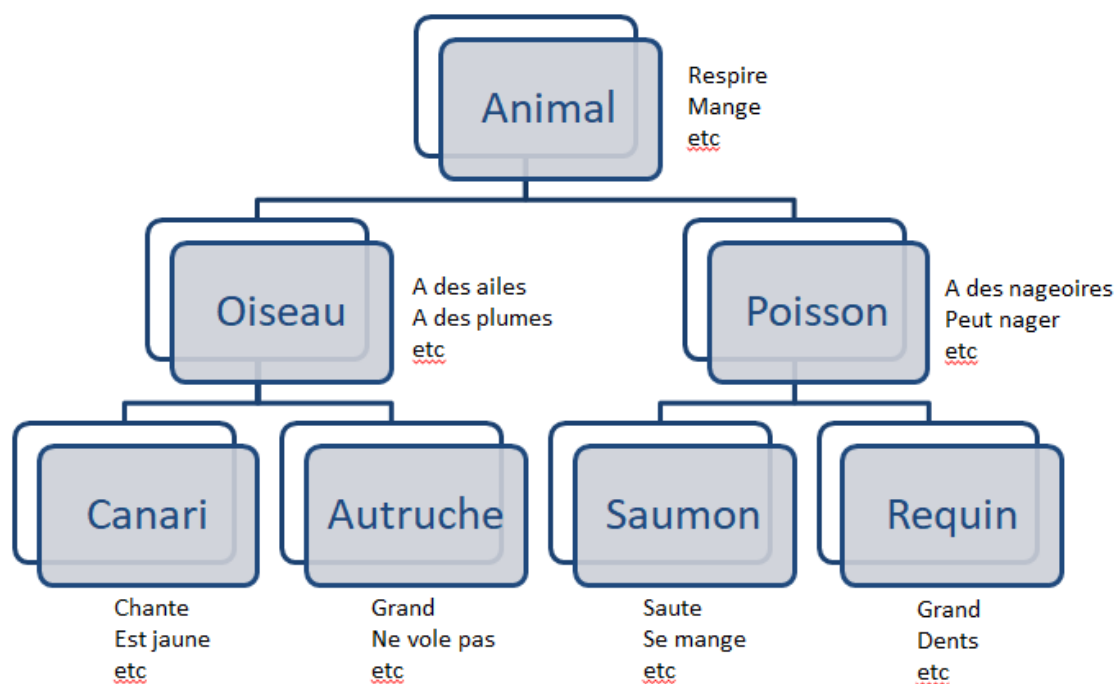


Figure 4. Exemple d'arborescence proposé par Collins et Quillian (1969) pour expliquer le fonctionnement de la MLT.

Ce modèle fonctionne selon deux principes essentiels : une hiérarchie catégorielle et une économie cognitive. Selon le principe de hiérarchie catégorielle, les concepts composant le réseau sont organisés hiérarchiquement et s'emboîtent les uns dans les autres. En d'autres termes, les étages supérieurs de l'arborescence propose des concepts très généraux (exemple : concept d'animal) associés à certaines caractéristiques. Les étages inférieurs en revanche se spécialiseront de plus en plus en séparant cette supra-catégorie en différentes sous-composantes. Le principe d'économie cognitive propose d'économiser l'occurrence des caractéristiques dans l'arborescence. Ainsi, si une caractéristique est propre à plusieurs éléments, celle-ci pourra être retrouvée au sein d'un nœud du réseau présent dans les étages supérieurs de l'arborescence et commun à l'ensemble de ces éléments.

Prenons un exemple largement référencé dans la littérature (Figure 4). Si je souhaite retrouver les caractéristiques du concept de "canari", une activation se diffusera au sein de mon réseau associatif jusqu'à parvenir au nœud permettant de récupérer les caractéristiques spécifiques du canari. La diffusion de l'activation au sein de l'arborescence permettra également d'activer les caractéristiques de l'ensemble des nœuds qu'elle aura traversé. Ainsi, par économie cognitive, des caractéristiques très générales et communes à tous les oiseaux (a des ailes, des plumes...) pourront être retrouvées dans les nœuds des étages supérieurs du réseau et les spécificités du canari (est jaune, chante...) se retrouveront au sein des étages inférieurs. Pour valider cette conception de l'organisation mnésique, Collins et Quillian (1969) ont évalué les temps de réactions des individus en fonction des caractéristiques qui leurs étaient présentées. Le principe était de décider si une phrase était vraie ou non. En concordance avec leur théorie, les auteurs ont montré que les temps de réaction, permettant de décider de la véracité d'une phrase, était en moyenne moins longs lorsque la distance sémantique entre les concepts sont moins importants.

Une révision de ce modèle a été proposée par Collins et Loftus (1975). En effet, dans l'étude de Collins et Quillian (1969), certains exemples ne supportaient pas la théorie de l'organisation hiérarchique des éléments. Par exemple, le concept de "chien" entraînait des temps de réaction moins longs lorsqu'il était associé au concept "d'animal" en comparaison avec le concept de "mammifère". Pourtant en prenant en compte l'organisation hiérarchique de ces auteurs, le concept "d'animal" est supra-ordonné à celui de "mammifère" et devrait entraîner des temps de réaction plus long. Dans ce nouveau modèle (Collins & Loftus, 1975), le principe hiérarchique est totalement abandonné. Les relations entre les nœuds du réseau sont plus fortement dépendantes de leur distance sémantique, c'est-à-dire du degré de connexion qui va unir deux éléments du réseau. Plus des éléments vont être reliés sémantiquement et moins leur distance sémantique sera grande. Ainsi, lorsqu'un élément du réseau sera activé, il produira une diffusion de l'activation vers des éléments partageant de forts liens sémantiques avec celui-ci. Et plus la distance sémantique augmentera moins l'activation des nœuds sera importante. Ce mode d'activation est totalement différent de celui proposé par Collins et Quillian (1969). Mais il permet d'expliquer certains phénomènes qui restaient jusque-là impossibles à appréhender.

Reprenons l'exemple du "canari" proposé dans le paragraphe précédent (Figure 4). Dans le modèle de Collins et Quillian (1969), l'activation du concept de canari permettra d'en retrouver les caractéristiques et de diffuser une activation facilitant l'accès à des concepts qui lui sont associés dans le réseau hiérarchique (exemple : d'autres types d'oiseaux). Mais ce modèle ne permet pas d'établir de lien entre une caractéristique précise du canari (exemple : sa couleur jaune) et d'autres concepts. Le modèle de Collins et Loftus (1975) permet en revanche d'expliquer ce phénomène au travers de leur notion de distance sémantique. En fonction du contexte certains concepts vont pouvoir être plus ou moins reliés. Par exemple, si le contexte nécessite de retrouver plusieurs éléments de couleur jaune les concepts de "canari"

et de "citron" auront une très faible distance sémantique et donc une forte probabilité d'association. En revanche, si le contexte nécessite de retrouver des éléments produisant des sons, les concepts de "canari" et de "citron" auront une distance sémantique très élevée et il sera impossible de les associer. Ces deux modèles ne sont en aucun cas en contradiction et peuvent, comme nous venons de le voir, permettre d'expliquer différents phénomènes mnésiques.

Ainsi, l'idée générale de ces deux modèles serait que les nœuds du réseau représentent des caractéristiques particulières qu'il sera possible de récupérer afin d'alimenter le concept que l'on souhaite se représenter. Le concept global de "canari" n'est pas disponible en un endroit précis du réseau, mais pourra être reconstruit au travers de la diffusion de l'activation au sein de celui-ci. Les nœuds représentent donc des caractéristiques pouvant s'associer entre elles et avec celles de nœuds adjacents afin de produire une représentation ayant un sens précis pour l'individu. Ce type d'organisation est, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, très important à prendre en compte dans la compréhension de l'organisation des connaissances expertes. Au travers de ses expériences, l'individu va construire un réseau organisé de connaissances. Ces connaissances sont séparées par des distances sémantiques variables en fonction de la proximité des concepts qui leurs sont associés. Une distance sémantique qui est dépendante des caractéristiques propres à ces concepts mais également du contexte en amenant l'activation.

C. ORGANISATION DES CONNAISSANCES EXPERTES

En psychologie de l'expertise, le modèle CHREST (Chunk Hierarchy and REtrivial STructures ; Gobet, 1993a) propose que les chunks soient organisés à la manière du réseau hiérarchique de Collins et Quillian (1969). Il s'agit d'une architecture cognitive construite afin

de reproduire et d'expliquer le fonctionnement de la mémoire des joueurs d'échecs. Comme le concède Gobet, ce modèle représente une synthèse de trois modèles précédents qui s'étaient concentrés sur des aspects différents du fonctionnement cognitif des experts :

- Le modèle MATER (Baylor & Simon, 1966) : qui était capable de prévoir des combinaisons de coups menant à un avantage. Ce programme ne pouvait pas réellement jouer aux échecs, mais il permettait de mettre en place une stratégie de recherche et d'analyse à partir d'une position donnée.
- Le modèle PERCEIVER (Barenfeld & Simon, 1969) : qui reproduisait les mouvements de recherche oculaire mis en places par les experts lors de l'analyse d'une position. Le programme peut ainsi définir quels sont les patterns de pièces à prendre en considération ainsi que les relations qu'elles entretiennent entre elles.
- Le modèle MAPP (Gilmartin & Simon, 1973) : qui avait pour but de reproduire les performances de rappel de position des experts. Pour cela, le programme encodait un grand nombre de chunks et les organisait au sein d'un réseau de discrimination. Dans un second temps, lors de la phase de rappel, le programme était capable d'identifier les chunks sur le plateau en cherchant au sein du réseau de discrimination, puis de stocker l'information jusqu'à la phase de rappel.

L'architecture cognitive proposée par le programme CHREST (Figure 5) va reprendre plusieurs éléments de ces modèles afin de reproduire la performance experte de manière globale. Il est composé d'un espace visuel duquel vont être extraites les informations importantes en utilisant une procédure similaire au programme PERCEIVER ; d'une MCT ayant une capacité de sept informations maximum afin de reproduire le fonctionnement réel de la mémoire humaine ; d'une MLT qui permet de récupérer l'information au travers d'un réseau de discrimination ; et enfin des structures de récupérations qui servent à encoder rapidement l'information et à la récupérer efficacement lorsque l'on en a besoin.

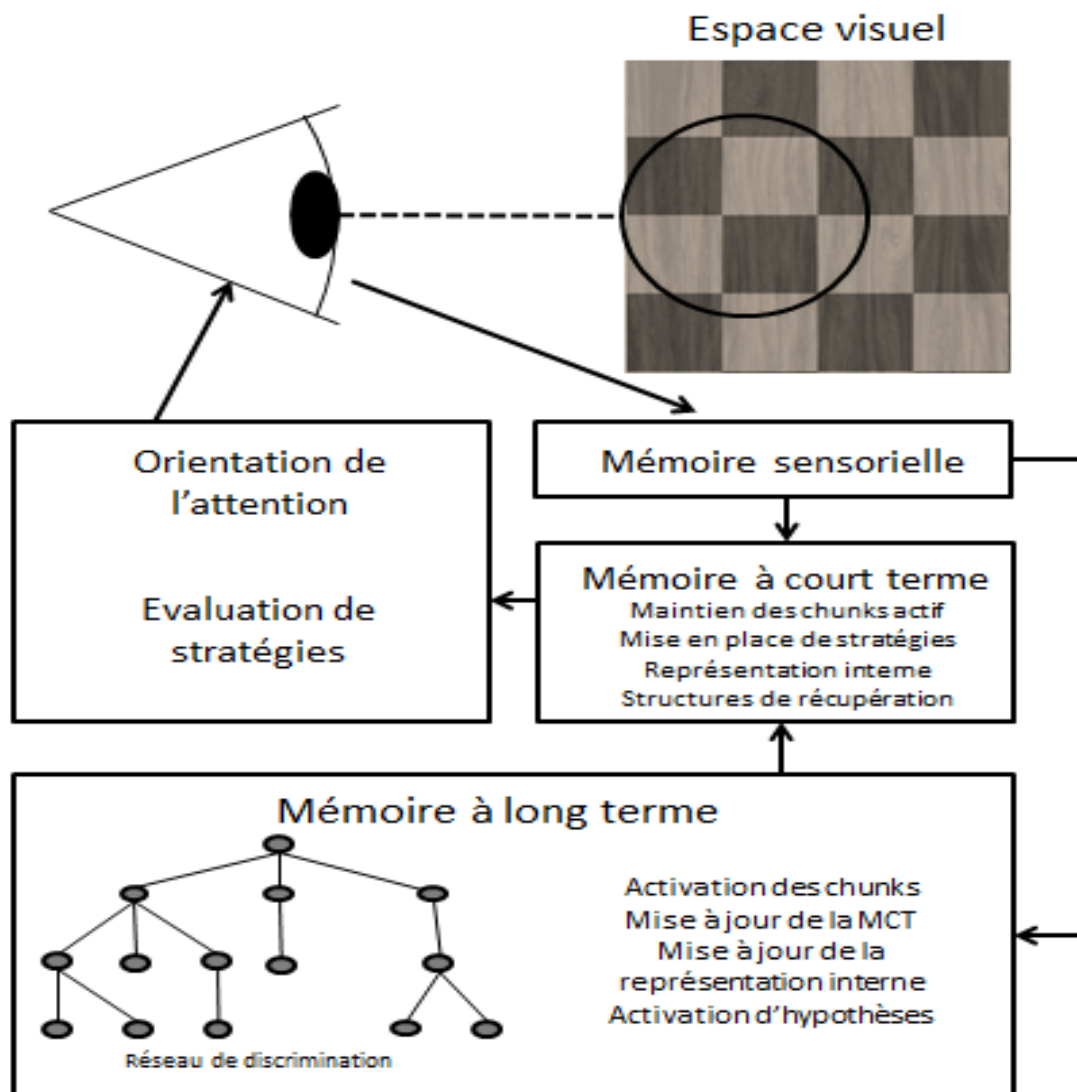


Figure 5. Fonctionnement du modèle d'architecture cognitive CHREST (d'après Gobet, 1993a).

Dans ce modèle, l'information en MLT est donc organisée selon une arborescence permettant de hiérarchiser l'information et de la retrouver efficacement. Comme dans le cas des modèles de Collins et Quillian (1969) et de Collins et Loftus (1975), l'information présente aux nœuds du réseau ne représente pas directement les concepts (ici il s'agirait de la position et des possibilités d'actions) que l'on souhaite se représenter. Au niveau des nœuds, l'information qui va être récupérée est stockée sous forme de schémas et productions. La notion de schémas représente ici l'ensemble des caractéristiques disponibles en un nœud du réseau de

discrimination mais également les liens potentiels que ce nœud entretient avec des nœuds adjacents. L'activation d'un schéma inclue donc l'activation d'autres schémas reliés sémantiquement (Rumelhart & Ortony, 1977) et pouvant donner des informations supplémentaires sur l'évolution de la partie. Il a d'ailleurs été montré dans la littérature que les schémas permettraient aux joueurs d'échecs de se projeter dans les coups suivants en se représentant la situation telle qu'elle risque d'évoluer (Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006). Ce sont les connaissances des experts qui permettraient aux schémas d'être activés et de mieux définir le problème présent sur l'échiquier, parfois même en décomposant les problèmes en plusieurs sous-composantes bien définies (Greeno & Simon, 1988). D'après Gobet (1993a), les schémas incorporés dans CHREST sont des représentations de chunks indépendants. Le programme va alors procéder à une recherche au sein du réseau de discrimination afin de retrouver le chunk possédant le plus d'informations en rapport avec la situation. L'activation du schéma correspondant permettra ainsi de retrouver les caractéristiques de ce chunk et les caractéristiques présentes dans les nœuds du réseau qui lui sont associés. Pour ce qui est des productions, ou systèmes de production, nous en avons déjà parlé dans les chapitres précédents. Il s'agit d'un couple Condition / Action permettant à une procédure de s'activer si et seulement si, l'ensemble des conditions nécessaires à son activation sont correctement validées (Newell & Simon, 1972). Ainsi, dans le cas spécifique du jeu d'échecs, ce sont les caractéristiques spécifiques de la position qui pourront s'activer, si et seulement si certains patterns sont correctement identifiés au sein de l'espace visuel. Un exemple très simple de production échiquéenne est donné par Gobet (2002). Si une colonne est ouverte sur le plateau de jeu et qu'une tour est disponible, alors il faut essayer de venir occuper cette colonne avec la tour. Ici, l'action "déplacer la tour sur la colonne vide" dépend de deux conditions : "la colonne est ouverte" et "une tour est disponible".

Le modèle CHREST a permis de reproduire avec succès les performances des joueurs d'échecs (e.g., Gobet, 1993a ; Gobet & Simon, 2000a ; Waters & Gobet, 2008). Des variantes du modèle ont également permis d'expliquer et de reproduire les performances au sein d'autres domaines (Gobet et al., 2001). Ce type d'organisation semble donc être corroboré à la fois par les recherches en modélisation et par comparaison avec les données empiriques. Néanmoins, il reste encore à comprendre comment, suite à l'identification d'un chunk spécifique, le joueur sera capable de diffuser une activation au sein de ce réseau de discrimination afin de retrouver les caractéristiques de la position.

2.3 PROCESSUS DE RECUPERATION

A. *LA MEMOIRE HABILE DES EXPERTS*

Nous avons donc maintenant un matériel organisé en mémoire à long terme. Cette organisation hiérarchique permet de retrouver efficacement les caractéristiques d'une position après avoir identifié certains chunks au sein de la position. Les joueurs experts n'ont d'ailleurs besoin que de quelques secondes pour retrouver les caractéristiques principales d'une position (De Groot, 1946 ; De Groot & Gobet, 1996). Mais comment, à partir de la reconnaissance d'un pattern spécifique, l'individu est-il capable de créer, parfois presque instantanément, une association avec des informations en MLT ?

Pour amorcer cette question, il est important de parler rapidement de la théorie de la Mémoire de Travail à Long Terme (MDT-LT) proposée par Ericsson et Kintsch (1995). L'idée générale de cette théorie, comme mis en avant par Guida, Tardieu et Nicolas (2009), est qu'avec l'expertise dans un domaine, les individus acquièrent la capacité d'utiliser une partie de leur

MLT comme mémoire de travail (Postal, 2004). Cela leur permet d'utiliser leur MLT comme lieu de stockage de l'information. Ericsson et Kintsch (1995) indiquent que cet attribut de la MLT est observable uniquement au sein d'activités pour lesquelles l'individu aura suivi un entraînement intensif. Le rôle de maintien de l'information normalement assumé par la MCT est donc maintenant endossé par la MLT ce qui permet à l'individu de pouvoir dépasser les limites de stockage classiquement observées chez les individus. De son côté, la MCT est alors utilisée uniquement pour maintenir des indices de récupération permettant d'accéder à l'information en MDT-LT.

Ce sont ces indices de récupération qui vont particulièrement nous intéresser au cours de cette partie. Ils permettent aux individus de retrouver efficacement une information qu'ils souhaitent mémoriser en utilisant des indices présents dans leur environnement ou qu'ils ont préalablement internalisés. La plus connue des méthodes de récupération d'information est la méthode des lieux. Le principe est très simple, il vous suffit de mémoriser un trajet que vous connaissez particulièrement bien et d'identifier des lieux permettant de vous repérer au travers de ce trajet. Ces lieux deviennent alors des indices permettant de mémoriser ce que vous souhaitez apprendre. Au cours de la phase d'apprentissage il vous suffira d'associer chacun des éléments que vous souhaitez mémoriser avec un aspect particulier de ce lieu vous permettant de vous en rappeler. Bien que cette technique soit très ancienne (attribuée à Simonide de Céos, 556 av-JC), elle est toujours appliquée et semble améliorer les performances de mémorisation (McCabe, 2015). Selon Ericsson et Kintsch (2000), les structures de récupérations sont totalement différentes d'un domaine à l'autre et se construisent au travers de la confrontation répétée à un environnement donné.

Etant donné que les structures de récupération diffèrent en fonction des domaines, il est particulièrement difficile d'en donner une image précise. A titre d'exemple, Donnerborg et Gaarskjaer (2016) dressent le portrait d'un champion de la mémoire, Mark Aaroe Nissen, qui

nous livre l'un des innombrables indices de récupération qu'il a utilisé lors d'un championnat de mnémonistes. L'épreuve réalisée consiste à mémoriser, en deux heures, le plus grand nombre de paquets de cartes (paquets composés de 52 cartes) dans l'ordre. Mark Aaroe Nissen aura réussi à retenir 520 cartes lors de cette compétition. Voici un exemple de phrase lui permettant de retenir une série de quatre cartes consécutives :

"Dans la salle d'honneur, Ross de la série télé Friends est installé à une longue table où il déjeune d'un être humain, tandis que la première ministre danoise, Helle Torning-Schmidt, prend un bain de soleil en attrapant des grappes de raisins."

Cela n'a aucun sens pour le lecteur, mais pour ce mnémoniste qui a internalisé ces lieux, personnages et relations comme des indices spécifiques, le fait de les percevoir lui permettra de récupérer les informations qu'il souhaite mémoriser. De la même manière, il sera impossible de pleinement comprendre les indices utilisés par les joueurs d'échecs. En utilisant cette technique avec son modèle CHREST, Gobet (2013) a pu reproduire efficacement les performances de rappel des joueurs. Ericsson et Kintsch (1995) ont développé la notion de structure de récupération pour expliquer les performances des individus à récupérer des informations en MLT. Mais leur théorie permet simplement d'expliquer comment des experts parviennent à mémoriser consciemment certaines informations, comme la position des pièces sur un échiquier (Gobet, 2016). En revanche, lorsque l'augmentation de la mémoire est non délibérée, et consécutive à l'amélioration des performances comme dans le cas du jeu d'échecs, les structures de récupération décrites par Ericsson et Kintsch (1995) ne semblent pas pertinentes (Gobet & Simon, 1996).

B. LA THEORIE DES TEMPLATES

Gobet et Simon (1996) vont proposer une amélioration de la théorie des chunks permettant d'expliquer à la fois certains problèmes identifiés dans la théorie de Chase et Simon (1973) et la manière dont les informations sont récupérées en MLT. La théorie des chunks a en effet subie certaines critiques. Tout d'abord, la capacité de MCT des experts semble trop élevée (Cooke, Atlas, Lane, & Berger, 1993 ; Gobet & Simon, 1996). De la même manière, des tâches interférentes positionnées entre la phase de mémorisation et de rappel de position devraient entraîner une forte diminution des performances de rappel. Or, Charness (1974) observe que les performances des experts ne semblent pas diminuer avec de telles tâches interférentes. Ces éléments poussent à penser qu'à l'instar de la théorie de la MDT-LT (Ericsson & Kintsch, 1995), les informations ne peuvent pas être encodées simplement en MCT. La théorie des templates (Gobet & Simon, 1996), traduite au départ sous le terme de théorie des gabarits mais dont la désignation a été abandonnée par Gobet lui-même dans ses articles en français, va être développée afin de répondre à ces critiques.

Cette nouvelle conception de la performance experte reprend la plupart des caractéristiques de la théorie des chunks. La perception de certains patterns de pièces qui va guider la recherche d'information en MLT ; la MLT qui est organisée selon un réseau de discrimination permettant d'accéder aux caractéristiques des chunks identifiés ; les connaissances qui sont encodées sous forme de schémas et de productions ; et qu'un lien soit établi entre les chunks identifiés et les caractéristiques qui lui sont associées. En revanche, Gobet et Simon (1998a) montrent également que les experts mettraient en place des chunks bien plus importants que ceux identifiés par Chase et Simon. En réalité, la taille des chunks identifiés par Chase & Simon (environ 5 pièces) serait imputable au fait que la main du joueur puisse saisir seulement un petit nombre de pièces. Dans une expérience visant à corroborer cette hypothèse, Gobet et Clarkson (2004) ont montré que la reconstitution d'un échiquier présenté

en version informatique entraînait un rappel composé de chunks plus larges (environ 12 pièces), ce qui est concordant avec la théorie des templates. La perception de ces super-chunks permettrait d'expliquer à la fois pourquoi ces positions sont encodées si rapidement et comment l'information est récupérée en MLT avec autant de facilités.

Comme le mentionnent Guida, Gobet, Tardieu et Nicolas (2012), les templates sont des configurations de pièces présentant des caractéristiques similaires aux chunks de Chase et Simon avec la possibilité d'inclure des variations. En effet, le template est composé de deux parties distinctes (Gobet, 2016). Un noyau, qui correspond généralement à une structure de pièce permettant de récupérer immédiatement de l'information sur la position. Et également des "slots" permettant d'encoder des informations variables pouvant être associées au noyau du template. Ainsi, plusieurs positions ayant une signification similaire pour le joueur mais présentant des dispositions légèrement différentes pourront être encodées de la même manière. L'activation du noyau du template activera automatiquement les variantes envisageables et permettra de récupérer les informations spécifiques à la position observée. Gobet (2016) explique que la récupération d'une information doit passer par la validation de certaines conditions d'applications du noyau du template. Si les conditions sont validées, alors le noyau est activé et les variantes le sont également. Il s'agit d'une réaction en chaîne ayant pour point de départ la reconnaissance d'un pattern particulier de pièces. Lors de la phase d'apprentissage, le joueur a réalisé un apprentissage explicite de ce couple Condition / Action. Ce type d'apprentissage focalisé à la fois sur les conditions et les actions à réaliser a d'ailleurs montré son efficacité dans le domaine des mathématiques (Zhu & Simon, 1987). Cela permettrait aux structures de récupérations de se créer et d'être utilisées implicitement. La construction d'un tel réseau d'association expliquerait, selon Gobet (2016), pourquoi l'acquisition de l'expertise prends en moyenne une bonne dizaine d'années.

En conclusion, la reconnaissance de pattern fonctionnerait comme des indices de récupérations permettant de retrouver la trace du noyau du template dans le réseau de discrimination. L'activation de ce noyau permettrait ensuite d'identifier avec plus de précisions dans quelle variante de position le joueur se trouve et d'activer les caractéristiques de la position. Cela serait permis par un apprentissage élaboratif permettant d'associer efficacement des conditions d'applications et des actions spécifiques. Néanmoins, à notre connaissance, il n'y a pas encore d'explication précise dans la littérature concernant les mécanismes cognitifs permettant d'associer avec autant de précision et de rapidité, un pattern qui va être reconnu, avec les informations de haut-niveau le concernant. Il semble cependant que l'expérience et la confrontation répétée à des situations similaires favorisent la mise en place de ce type d'apprentissage élaboratif.

2.4 SYNTHÈSE DES RECHERCHES SUR L'EXPERTISE

Nous venons de donner un aperçu de l'évolution des recherches sur l'expertise, en particulier concernant la manière dont les experts parviennent à performer au sein de leur domaine. Les grands objectifs de la recherche sur le jeu d'échecs, proposés par De Groot lors de la conférence de Pittsburgh en 1966, ont dirigé les recherches jusqu'à aujourd'hui. Concernant les aspects de compréhension et d'influence de la perception sur la performance échiquéenne, la littérature dispose désormais d'une grande quantité de références. Les recherches de Chase et Simon (1973) ont en effet ouvert la voie vers une compréhension approfondie de la perception experte. Pour ce qui est de la mémoire échiquéenne, De Groot souhaitait que les recherches s'intéressent à la fois à son développement, à sa structure et à son fonctionnement. Les perspectives développées au travers de la théorie de la pratique délibérée (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993) ou plus récemment du modèle MGIM (Ullén, Hambrick, &

Mosing, 2016) ont permis de mieux comprendre les mécanismes de développement de l'expertise. La structure hiérarchique de la MLT des experts a également reçu un intérêt conséquent de la part des chercheurs, et ce notamment dans le cadre de modélisations informatiques (Gilmartin & Simon, 1973 ; Gobet, 1993a). Enfin concernant le fonctionnement de cette MLT, un travail considérable a été débuté afin d'expliquer de quelle manière la reconnaissance de certains chunks pouvait entraîner la récupération d'informations spécifiques en mémoire. Les travaux réalisés en modélisation ont notamment permis de montrer l'importance des structures de récupérations, qu'elles soient construites explicitement par l'individu ou qu'elles soient la simple conséquence d'un entraînement favorisant l'apprentissage élaboratif.

Il reste néanmoins encore beaucoup de choses à élucider sur ce fonctionnement. La question que l'on pourrait se poser est notamment de savoir quels sont les mécanismes qui permettent aux individus de percevoir automatiquement les éléments clés d'une position et ainsi de retrouver rapidement les possibilités d'actions à entreprendre. A titre d'exemple, Chassy (2013) indique que la théorie des templates semble bien expliquer la manière dont fonctionne le raisonnement stratégique des experts mais précise également qu'il reste à voir si ce mode de fonctionnement permet d'expliquer les processus de décision intuitifs. Pour ce faire, nous allons nous intéresser au cours de la partie suivante à la manière dont les experts parviennent à prendre des décisions face à une multitude d'options qui s'offrent à eux.

3. RESOLUTION DE PROBLEMES ET PRISE DE DECISION

3.1 DEFINITION DES CONCEPTS

La résolution d'un problème ou la prise de décision sont deux concepts souvent confondus dans la littérature (Huitt, 1992). Pourtant en psychologie de l'expertise, ces concepts vont généralement être différenciés en fonction des caractéristiques de la situation et des objectifs du chercheur. Selon Gobet (2015), les recherches en résolution de problème serviraient à étudier les processus cognitifs mis en place par les participants afin de parvenir à une décision. Cette décision interviendrait dans un contexte pour lequel les solutions possibles ne sont pas directement identifiables. A l'inverse, une étude sur la prise de décision comportera plusieurs options possibles, clairement identifiées, parmi lesquelles le participant devra sélectionner l'option qui lui semble la plus avantageuse. Gobet précise également que ces études sont moins centrées sur les processus cognitifs en œuvre lors de la décision.

Cependant, les études relatives à la résolution de problème proposent de différencier les problèmes en deux types distincts (Holyoak, 1990). Premièrement, les "problèmes mal définis" (ill-defined problems) qui ont la particularité de ne pas définir concrètement les objectifs à atteindre, ni proposer de possibilités d'actions. Ce sont des types de problème que l'on peut rencontrer généralement dans notre vie courante. Et à l'inverse, les "problèmes bien définis" (well-defined problems) qui proposent des situations dans lesquelles les objectifs et les possibilités d'actions peuvent être clairement identifiés. Le jeu d'échecs est un parfait exemple de ce type de problème.

De la même manière, Mayer (1985) décrit la résolution de problème comme un mécanisme cognitif reposant sur des processus et des connaissances internes visant à obtenir une solution à un problème. Avec cette définition, la présence de possibilité d'actions clairement

identifiées semble tout de même répondre aux critères de la résolution de problème. Polya (1968) précise également que toute activité visant à trouver le moyen d'atteindre un objectif qui n'est pas directement atteignable peut être assimilée à de la résolution de problème. Toute activité pour laquelle la solution à entreprendre n'est pas absolument évidente dans l'état initial de la situation rentre donc dans ce cadre (Krulik & Rudnick, 1980 ; Carson, 2007) et ce même lorsque certaines options sont clairement identifiées. C'est justement dans cette dernière affirmation que réside toute la complexité du lien entre résolution de problème et prise de décision. Une situation de prise de décision peut en effet être décomposée en deux sous situations (Brand, Recknor, Grabenhorst, & Bechara, 2007). Tout d'abord, la situation de décision en connaissance des risques qui implique de faire un choix parmi plusieurs options en ayant connaissance des gains potentiels de chacune d'elles. Généralement les recherches évaluant le risque vont proposer d'un côté des options à faibles gains mais forte probabilité d'obtention et d'un autre côté des options à forts gains mais faible probabilité d'obtention. A l'inverse, les situations de décision en contexte d'ambiguïté sont construites de telle sorte que le participant n'aura pas connaissance des probabilités de gain associées à chacune des options. Ce dernier type de décision repose donc sur des objectifs qui ne pourront pas être atteints par l'activation immédiate d'une option évidente à mettre en application. La décision en contexte d'ambiguïté peut donc bien être assimilée à un processus de résolution de problème. Pour le contexte de risque, cela reste plus discutable.

Ces caractéristiques emmènent généralement les chercheurs à considérer le mécanisme de prise de décision comme étant similaire au processus de résolution de problème (Huitt, 1992). Quoi qu'il en soit, les recherches dans ces domaines nous semblent être pertinentes afin d'analyser les performances décisionnelles des joueurs d'échecs. Nous reviendrons donc rapidement sur l'évolution des modèles de résolution de problème et de prise de décision afin de comprendre l'importance des modèles décisionnels actuels.

3.2 EVOLUTION DES MODELES DE RESOLUTION DE PROBLEME / PRISE DE DECISION

A. LA DECISION PAR ESSAI/ERREUR

Les premiers modèles de résolution de problème sont nés avec le courant béhavioriste. Thorndike (1898) montre que l'apprentissage fonctionne par un processus d'essai erreur. Les comportements adoptés par l'individu face à son environnement vont, par le fait du hasard, pouvoir mener à des conséquences plus ou moins positives pour lui. Progressivement, les actions menant à des conséquences positives vont être privilégiées. C'est donc au travers de la répétition que l'individu sera capable de percevoir les décisions les plus efficaces pour lui. Cela va amener Thorndike (1932) à formuler deux lois permettant d'expliquer cet apprentissage progressif de l'action à entreprendre : la loi de l'exercice et la loi de l'effet. La première loi signifie que plus une situation sera associée à une réponse spécifique et plus celle-ci sera appliquée de manière fréquente. En d'autres termes, la répétition d'une situation favorisera l'apparition de la réponse adéquate. La seconde loi signifie quant à elle que le lien stimulus / réponse sera d'autant plus renforcé lorsque la réponse sera suivie d'une récompense. A l'inverse, une punition provoquera un affaiblissement de la survenue de la réponse. La résolution de problème se limite donc, dans la pensée béhavioriste, à une reproduction des décisions ayant permis de résoudre la situation de manière adéquate.

Le béhaviorisme propose un cadre intéressant afin d'expliquer certains processus de résolutions de problème. Pourtant nous ne pouvons pas mettre en place des stratégies d'essais / erreur dans toutes nos situations de décisions. Nous devons parfois prendre des décisions rapides ou dans des situations ne nous permettant pas de tester plusieurs options possibles. Qui plus est, la théorie béhavioriste rejette totalement l'importance de l'insight sur la décision. Ce sont les chercheurs de la Gestalt qui vont finir par s'intéresser à ce phénomène.

B. IMPORTANCE DE L'INSIGHT DANS LA DECISION

Pour les théoriciens de la Gestalt, la résolution de problème est plutôt un processus productif. Le problème ne sera pas résolu par le hasard des essais, mais plutôt par la reconstruction active de celui-ci par le sujet (Wertheimer, 1945). Cette reconstruction permettra ainsi de percevoir le problème sous un angle nouveau favorisant l'apparition de ce que l'on nomme : l'insight. Il s'agit de l'état qui permet à l'individu de passer d'une situation dans laquelle il ne sait pas résoudre un problème à une situation où il sait comment le résoudre (Mayer, 1995). De plus, cette situation d'insight est accompagnée d'une sensation de plaisir associée à la certitude que la solution trouvée est la bonne à entreprendre (Topolinski & Reber, 2010). L'expérience la plus connue de ce phénomène d'insight est celle menée par Kohler (1921) auprès de chimpanzés. Ils ont plusieurs outils (bouts de bois) à leur disposition et doivent s'en servir afin d'obtenir de la nourriture. Les chimpanzés vont alors commencer à se servir des outils pour essayer de l'atteindre. Cependant, la nourriture a été placée à une distance suffisante pour ne pas permettre de l'atteindre en utilisant un seul bout de bois. Il s'agit donc d'une situation dans laquelle l'apprentissage par essai / erreur ne pourra pas mener à une résolution du problème. Après plusieurs essais infructueux, les singes vont entrer dans une phase d'incubation, c'est-à-dire une phase de réflexion (consciente ou non) éloignée de la situation de résolution de problème (Smith & Dodds, 1999). Cette période d'incubation mènera parfois à une situation d'insight consistant à parvenir à une solution adéquate pour répondre au problème. Dans l'expérience de Kohler (1921), les chimpanzés vont vivre cette situation d'insight en comprenant qu'ils peuvent associer plusieurs bouts de bois pour en créer un plus long.

Cette fois-ci le phénomène d'insight est pris en compte par les chercheurs. De plus, la théorie gestaltiste propose également une alternative à la résolution reproductive proposée par les behavioristes. Il manque cependant encore certains aspects essentiels afin d'avoir une

représentation concrète du processus de résolution de problème. De l'aveu de Kohler lui-même (1959), la théorie gestaltiste a parfois été relativement vague sur ce que représente concrètement le phénomène d'insight et sur son fonctionnement. Les chercheurs qui vont suivre auront donc pour objectif de découvrir les mécanismes à l'œuvre dans le processus d'insight.

Ohlsson (1992) va expliquer la survenue du phénomène d'insight selon deux processus distincts. Premièrement, l'insight pourrait apparaître lorsque l'individu parvient à modifier la représentation interne qu'il se fait du problème. En effet, comme nous l'avons montré dans le chapitre 1.5 (page 36), il existe une distinction entre l'espace de problème externe et l'espace de problème interne (Newell & Simon, 1972). L'espace de problème interne étant propre à chaque individu. Par conséquent, lorsque l'on ne trouve pas de solution à un problème, le fait de modifier la représentation que l'on se fait de celui-ci peut permettre l'apparition de l'insight. Dans l'idée d'Ohlsson (1992), la manière dont le problème est représenté va influencer la recherche d'informations pertinentes à prendre en compte en MLT telles que des stratégies à entreprendre. Dans les situations où le problème est mal représenté, cela mènera à une recherche infructueuse des opérations nécessaires afin de résoudre le problème et donc à une situation de blocage (Keane, 1989). Selon Ohlsson (1992), l'une des manières de dépasser ce blocage sera de se figurer une nouvelle représentation du problème. Il propose deux contextes d'amélioration de la représentation. Tout d'abord "l'élaboration" qui consiste à enrichir la représentation déjà présente à l'esprit de l'individu. Cet enrichissement nécessite une recherche active au sein de l'espace de problème afin d'essayer de percevoir certaines subtilités qui n'ont pas encore été perçues. Et enfin le "Réencodage" qui a pour objectif de venir modifier l'espace de problème déjà existant afin d'éliminer les erreurs potentielles qui se sont glissées dans la représentation initiale.

Ohlsson (1992) propose également qu'un relâchement des contraintes permettrait de dépasser le blocage et d'aboutir à un insight. Selon lui, dans de nombreux problèmes, l'individu va se fixer lui-même des contraintes supplémentaires qui n'étaient pas stipulées par la consigne. Il cite en exemple le problème des neuf points de (Maier, 1930 ; Scheerer, 1963) dans lequel le participant doit parvenir à relier neuf points assemblés sous forme d'un carré en seulement quatre lignes et ce sans pouvoir relever le crayon ou repasser sur les points précédents. Dans cet exercice, la plupart des participants vont considérer les limites du carré formé par l'ensemble des neuf points comme un espace à ne pas dépasser afin de résoudre le problème. Cependant cette règle n'a jamais été établie par la consigne ou l'expérimentateur. Il s'agit donc ici d'une contrainte supplémentaire que les participants vont se fixer. Sur la base de ce test, Burnham et Davis (1969) ont étudié l'effet de l'atténuation des contraintes sur la résolution du problème. Dans leur expérience, ils ont manipulé plusieurs éléments. Pour le participant l'objectif était toujours de relier les neuf points mais avec des consignes ou des indices différents en fonction des conditions. Certains par exemple avaient simplement la consigne de base du problème de Scheerer tandis que d'autres étaient informés du fait qu'ils pouvaient dépasser les limites du carré. Enfin, les chercheurs ont également créé des procédures distinctes en proposant à certains participants une représentation classique du problème et une variante composée de onze points (la consigne étant toujours de relier les neuf points de base) ayant pour objectif d'atténuer la contrainte du carré. Dans leur expérience, Burnham et Davis vont observer une amélioration des performances de leurs participants qui avaient reçu l'information leur permettant de dépasser les limites du carré (effet tendanciel) et de ceux ayant réalisé la version du problème composée de onze points. Ces éléments semblent aller dans le sens d'un bénéfice lié à l'atténuation des contraintes dans la résolution de problème, et ce, que l'atténuation prenne la forme d'une information explicitement mentionnée ou simplement indicée.

C. DECISIONS EN CONTEXTE EVOLUTIF

Comme nous l'avons mentionné, les problèmes ne peuvent pas être tous résolus par des processus essai / erreur. Nous avons vu également comment le phénomène d'insight fonctionnait et pouvait efficacement rendre compte de la résolution de problème dans certains cas. En revanche, certains problèmes plus complexes ne pourront être résolus par aucune de ces deux méthodes.

La théorie du traitement de l'information va postuler que les individus reçoivent l'information nécessaire à la résolution d'un problème, l'interprètent et la stockent le temps d'arriver à une solution (Miller, 1956). Mais ce fonctionnement en terme de stockage et de traitement de l'information va être limité chez l'être humain (Simon, 1957). Cette théorie implique donc que les individus vont devoir mettre en place des solutions leur permettant de résoudre les problèmes malgré les limites de leur fonctionnement cognitif. Ils vont par exemple devoir user d'heuristiques pour régler les problèmes liés au trop grand nombre d'informations ou d'opérations mentales à réaliser (Tversky & Kahneman, 1974). MacGregor, Ormerod et Chronicle (2001) proposent également que pour résoudre un problème il existe deux aspects essentiels. Le premier est de maximiser l'utilisation des heuristiques. Leur utilisation simplifiera le problème mais permettra également de se rapprocher de la solution. Le second point à prendre en compte selon les auteurs est de constamment évaluer la progression. Ainsi, si le problème semble arriver dans une impasse, le sujet pourra alors changer de stratégie et recommencer le processus. A titre d'exemple, une heuristique permettant de résoudre efficacement les problèmes est la méthode de "l'escalade" (hill-climbing) proposée par Newell et Simon (1972). Selon cette méthode, la stratégie la plus adéquate serait de toujours choisir l'action qui semble le plus se rapprocher de l'objectif à atteindre. Comme nous l'avons vu précédemment, cette recherche s'effectue au sein d'un espace de problème composé d'un ensemble de nœuds qui font le lien entre un état initial de la situation et un état final qu'il

faudra chercher à atteindre. La stratégie proposée par Newell et Simon (1972) vise donc à choisir par défaut les nœuds de ce réseau qui semblent se rapprocher de l'état final de l'espace de problème. Cette méthode et la théorie du traitement de l'information de manière générale rendent bien compte des stratégies employées dans des contextes évolutifs.

Le dernier aspect de résolution de problème dont nous voudrions rapidement discuter est l'utilisation d'analogies. Une analogie étant la prise de conscience de la similitude existant entre deux éléments pourtant distants. Son importance dans la capacité des individus à prendre des décisions a bien été représentée dans la littérature (Gentner, Bowdle, Wolff, & Boronat, 2001 ; Markman & Moreau, 2001). Selon Hadamard (1954) par exemple, les nouvelles théories scientifiques reposent souvent sur la découverte d'analogies entre deux domaines de recherches distincts. Gick et Holyoak (1980) ont étudié ce processus et ont montré que les analogies étaient particulièrement efficaces dans les problèmes nécessitant de la créativité. Ils indiquent également (Gick & Holyoak, 1983), que le raisonnement analogique permettrait de transférer les connaissances d'un domaine à un autre. Ils ont observé que ce transfert d'une solution ayant fonctionné dans un domaine, vers un autre domaine, semblait particulièrement fonctionner lorsque celui-ci était indicé. En d'autre terme, l'efficacité du transfert reposait à la fois sur la possibilité d'appliquer la solution à ce nouveau domaine, mais également sur le fait que les sujets parviennent à percevoir le lien unissant le premier et le second problème. De plus, selon les auteurs, le transfert analogique ne serait possible que dans les cas où un schéma abstrait a pu être créé au sein du premier domaine.

Ces modèles mettent en avant différents éléments permettant de résoudre des problèmes avec succès. Nous avons discuté de l'apprentissage par essai / erreur de la théorie behavioriste, du phénomène d'insight, des problèmes liés aux limitations du système cognitif dans le traitement de l'information et de l'utilisation d'analogies afin de parvenir à des solutions.

Nous verrons dans la partie suivante que la prise de décision des experts est également dépendante de ces modèles et de ces processus.

3.3 PRISE DE DECISION ET EXPERTISE

A. *L'IMPORTANCE DU JEU D'ECHECS DANS L'ETUDE DES DECISIONS EXPERTES*

Dans de nombreux domaines d'expertise, et en particulier dans le cadre du jeu d'échecs, la capacité à choisir la meilleure option parmi l'ensemble des possibles représente un avantage évident. Cela a notamment été montré par les recherches de Salthouse (1991) qui a décidé d'étudier l'expertise dans divers domaines en basant ses recherches sur les difficultés ressenties par les novices face à la tâche. Selon lui, ceci devrait forcément être le point de départ des recherches sur l'expertise. Suite à quoi seulement, le chercheur pourra tenter d'identifier comment ces difficultés sont dépassées et quels sont les mécanismes à l'origine de ces changements.

Pour le jeu d'échecs, comme nous pouvions nous y attendre, l'une des difficultés principale recensée par les novices est de ne pas savoir quelle est le meilleur choix à faire face à la multitude d'options possibles. Cela fait de la prise de décision un sujet majeur de la recherche sur les joueurs d'échecs. En effet, avec plus de 10^{120} parties possibles (Shannon, 1950), le jeu d'échecs est parmi les activités proposant le plus de possibilités d'actions. Les chercheurs se sont donc naturellement intéressés aux individus performants dans ce domaine. De plus, avec l'avènement récent de programmes tels que AlphaGo (Silver et al., 2016) ou AlphaZero (Silver et al., 2018), l'intérêt pour les performances décisionnelles des experts a été relancé. En effet, la puissance de calcul nécessaire à un ordinateur afin de battre des joueurs de Go ou

joueurs d'échecs est phénoménale. Ainsi, la performance de décision humaine, limitée en termes de puissance, reste particulièrement intéressante à étudier.

B. FACTEURS POUVANT FACILITER LA DECISION EXPERTE

Nous résolvons des problèmes constamment dans notre vie quotidienne. Cependant, le jeu d'échecs, comme d'autres domaines d'activités, présente la particularité d'être maîtrisé par des individus que l'on qualifie d'experts. Ceux-ci vont parvenir à prendre des décisions adéquates dans la majorité des cas et il est important de comprendre comment une telle performance peut être réalisable. Car, comme nous l'avons précédemment mentionné, les experts, comme n'importe quel individu, sont limités en termes de rationalité (Simon, 1957).

La première différence notable entre experts et population générale dans une situation liée au domaine d'expertise est que les experts vont se faire une meilleure représentation de la tâche (Chi, Feltovich, & Glaser, 1982). Cette meilleure représentation serait due à la reconnaissance immédiate de certains patterns que l'on nomme chunks (Chase & Simon, 1973 ; voir chapitre 1.5, page 32). Larkin, McDermott, Simon et Simon (1980) vont également préciser que la reconnaissance d'un chunk familier permettra l'activation automatique des connaissances et des possibilités d'actions qui lui sont reliées. Ils vont également préciser qu'ils conçoivent ce phénomène comme un système de production qui va délivrer à l'individu l'idée de l'action à entreprendre, si et seulement si, les conditions nécessaires (caractéristiques du chunk) sont bien respectées. Selon les auteurs, l'action à entreprendre sera alors stockée en mémoire de travail sous la forme d'une idée consciente pour l'individu. La performance décisionnelle des experts dépend ainsi d'une grande quantité de connaissances récupérable instantanément lorsqu'un problème familier se présente.

On sait également que les individus sont sujets à un certain nombre d'heuristiques leur permettant de faciliter le traitement de l'information (Tversky & Kahneman, 1974). Et il semble que les experts soient également sujets à celles-ci (Dawes, 1988 ; cité par Gobet, 2011). Reynolds (1982) a réalisé une recherche afin d'observer les différentes heuristiques mises en place par des joueurs d'échecs de niveaux variables. Il va notamment s'apercevoir que la perception des experts est tournée vers les cases de l'échiquier pouvant être affectées par les mouvements de pièces. Tandis que les joueurs de moindre niveau vont davantage se focaliser sur les structures de pièces. Une explication de ce phénomène serait que le chunking mis en place par les experts va directement diriger leur attention vers les positions à observer et donc vers les évolutions probables de la partie (Chase & Simon, 1973). Tout comme les heuristiques décrites par Tversky et Kahneman (1974), les chunks vont permettre à l'expert de sélectionner rapidement une option "satisfaisante" pour faire face à son adversaire. Ceci est un exemple d'heuristique permettant généralement de réduire efficacement l'espace de problème auquel sont confrontés les individus.

On peut également proposer un parallèle entre l'apprentissage par essai / erreur proposé par le courant behavioriste et la théorie de la pratique délibérée d'Ericsson et al. (1993). En effet, comme nous en avons discuté lors du chapitre 2.1 (page 43), la théorie de la pratique délibérée postule que le développement de l'expertise se matérialiserait au travers de la pratique intensive de la discipline et de la possibilité d'obtenir un retour sur les actions entreprises. Selon Baker & Buckley (1996), ce retour (qu'ils qualifient de "connaissance du résultat") prend généralement la forme des mécanismes de punition et récompense du behaviorisme.

Mais la performance des experts peut également s'expliquer au travers des analogies. En effet, comme nous l'avons mentionné, les problèmes nécessitant de la créativité sont fortement influencés par celles-ci (Gick & Holyoak, 1980). Mednick (1962) définit d'ailleurs la

créativité comme la capacité à trouver des liens entre des idées différentes. Il précise également que les personnes créatives seraient celles capables d'associer efficacement leurs connaissances au travers d'un réseau complexe. Les individus les plus créatifs auraient selon l'auteur un modèle d'association hiérarchique plat (flat associative hierarchy) tandis que les individus les moins créatifs auraient un modèle d'association hiérarchique raide (steep associative hierarchy). La différence entre les deux modèles serait que dans le premier, l'élément associatif le plus saillant (le lien se faisant le plus rapidement) n'a pas une force associative bien supérieure aux autres associations potentielles et ne va donc pas inhiber les autres possibilités de réponse.

Le jeu d'échecs est vu comme un domaine nécessitant une grande créativité (Lord, 1984 ; Iqbal & Yaacob, 2007 ; Gobet, 2011). Dans ces domaines, l'analogie peut parfois venir aider la décision en effectuant simplement une comparaison avec des parties précédentes (Kokinov, 2003). Lafrance (1989) montre par exemple que les experts disposent d'une mémoire épisodique spécifique à leur domaine bien plus riche que les novices. Cela formerait un répertoire d'exemples qui peut être utilisé afin de résoudre les problèmes. De plus, Didierjean et Marmèche (2003) montrent que dans le jeu d'échecs, des sujets novices vont être capables de résoudre des problèmes en se basant sur des schémas abstraits ou en adaptant directement une procédure qu'ils viennent d'apprendre. Précédemment, Didierjean, Cauzinille-Marmèche et Savina (1999) avaient mis en évidence l'importance de la similarité perceptuelle entre la condition présente et la condition analogue pour résoudre un problème. Encore une fois, la performance des joueurs semble donc pouvoir être expliquée par la reconnaissance d'indices perceptifs.

C. LE MODELE DE KLEIN DE LA DECISION EXPERTE

Klein (2003) montre que, dans des situations de temps limité, les experts vont avoir tendance à agir rapidement en se basant sur leur première idée. Gobet (2015) précise néanmoins que ce type de comportement ne peut être observable que pour des situations familières. Klein est un représentant du courant naturaliste de la décision. Parmi les éléments importants à prendre en compte dans la décision naturaliste, Cannon-Bowers, Salas et Pruitt (1996), notent notamment la présence de contextes à la fois dynamiques, incertains et souvent limités dans le temps. Ils montrent aussi que la décision en contexte naturel est souvent composée d'une multitude de petits choix qui se succèdent et qui vont avoir des conséquences bien concrètes pour les individus. Ce courant vient compléter l'approche classique en laboratoire en prônant que certains aspects de la cognition ne peuvent être clairement observés et étudiés qu'en contexte naturel. Pour les chercheurs naturalistes, les performances expertes nécessiteraient parfois d'être étudiées de cette manière.

Klein (1993 ; 1999) va proposer un modèle (Recognition-primed Decision-making model ; RPD) permettant d'expliquer comment des individus expérimentés sont capables de prendre des décisions adéquates dans ce type de contexte (Figure 6). Une nouvelle fois, l'aspect essentiel, mis en avant par l'auteur, est la capacité des experts à reconnaître immédiatement les spécificités de la situation. Mécanisme que Klein (1993) comparera au chunking de Chase et Simon (1973). Selon son modèle, trois types de contextes de décisions peuvent être observés chez les individus :

- La simple reconnaissance (figure 6a) : La situation est reconnue comme étant familière et une décision est prise instantanément. Aucun contrôle particulier n'est effectué sur l'action envisagée et celle-ci est donc exécutée immédiatement.
- Le diagnostic de la situation (figure 6b) : La situation est plus complexe que la précédente et peu familière. Les individus vont donc devoir établir un diagnostic de la

situation et adapter leurs réponses en fonction de celui-ci. Le diagnostic va permettre de déterminer des actions potentielles sur la base de situations antérieures. L'individu va reconnaître des similitudes entre la situation actuelle et une situation passée, va analyser leurs différences et établir un diagnostic sur les implications de ces différences sur la décision à prendre. Si le diagnostic s'avère positif, l'action est exécutée immédiatement, sinon une autre option sera envisagée.

- L'évaluation des possibilités d'action (figure 6c) : L'action est encore plus complexe. L'individu n'a plus vraiment de certitude sur les actions possibles à entreprendre. Il va donc réaliser une évaluation consciente de la situation en imaginant mentalement les répercussions possibles de l'action qu'il envisage. Si la simulation qu'il réalise semble fonctionner, il va exécuter l'action immédiatement. En revanche, s'il perçoit un problème il tentera d'adapter la réponse jusqu'à ce que la simulation fonctionne. Si rien ne marche, cette option sera rejetée et une autre option sera envisagée jusqu'à parvenir à une solution adéquate.

Dans les trois contextes, les aspects de la situation perçus comme similaires à des éléments déjà rencontrés par le passé vont être évalués selon quatre caractéristiques (Klein, 1993). Premièrement l'expert doit être capable de bien percevoir les objectifs qui peuvent être atteints. Dans son étude Klein a montré cette importance auprès de sapeurs-pompiers. Bien définir la situation permet de bien définir les objectifs que l'on souhaite atteindre. De la même manière, aux échecs, il sera important pour un joueur de pouvoir percevoir quand son objectif initial n'est plus atteignable et quelles sont les objectifs potentiels restants. Le deuxième point est de déterminer quels sont les indices les plus pertinents à prendre en compte pour faire face à la situation. La reconnaissance de certains aspects de la situation, comme les chunks aux échecs, permet de déterminer facilement certaines caractéristiques de la situation. Néanmoins, il faut encore parvenir à effectuer un tri parmi tous ces éléments pour trouver les plus

pertinents. Le troisième aspect est de voir si la décision que l'on a prise semble cohérente avec les attentes que l'on a face à la situation. Si ce n'est pas le cas, alors il y a eu un problème lors de l'interprétation de la situation et il faut donc revoir la procédure. Cela est notamment le cas pour les contextes de décision nécessitant un diagnostic ou une évaluation. Enfin, ce traitement va également mener à l'identification de réponses appropriées face à la situation. Ces quatre caractéristiques de l'évaluation sont réalisées automatiquement sans forcément que l'individu n'en ait conscience.

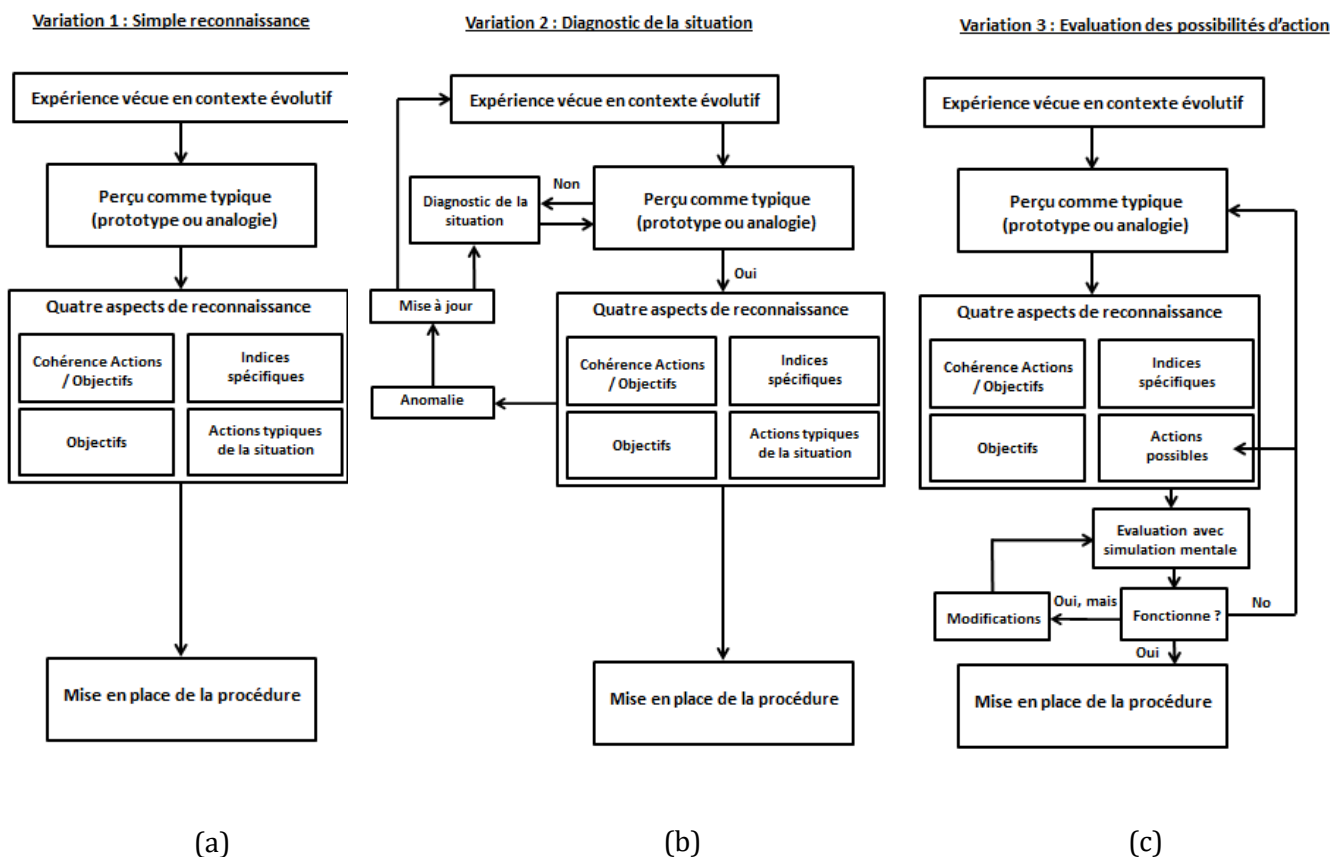


Figure 6 – a, b, c. Le modèle de la décision experte (d'après Klein, 1993).

Ce modèle permet à la fois d'expliquer comment les experts vont être capables d'analyser rapidement une situation évolutive et comment ils vont évaluer les options potentielles (Klein, 1998). Selon Klein (2003), ce mode de décision serait intuitif et permettrait à l'individu de

décider rapidement et efficacement de la bonne option à mettre en application. Selon lui, la grande majorité des actions entreprises par les experts qu'il a étudiés ne semblent d'ailleurs pas être le fruit d'une décision active de leur part.

Au cours de cette partie, nous avons pu discuter de quelle manière les experts parvenaient à prendre des décisions efficaces face à leur environnement. La pratique délibérée du domaine va permettre à l'expert de parvenir à maîtriser les situations auxquelles il se confronte. Il sera alors capable de percevoir les éléments les plus pertinents à prendre en compte dans ces situations et activera ainsi un ensemble de procédures lui permettant d'agir efficacement. Nous avons également montré dans les paragraphes précédents que cette reconnaissance permettait parfois d'activer de manière intuitive la meilleure option possible et d'exécuter l'action rapidement.

3.4 INTUITION ET PRISE DE DECISION CHEZ LES EXPERTS

Selon la littérature, le modèle RPD proposé par Klein (1993) pourrait s'apparenter à un contexte de résolution intuitive (Klein, 2003 ; Klein, 2004 ; Danial, Smith, Veitch, & Khan, 2019). L'intuition peut être définie comme la capacité des individus à obtenir immédiatement la solution à un problème sans avoir conscience du traitement cognitif responsable de la survenue de cette solution (Rosenblatt & Thickstun, 1994). Selon Perkins (1977), l'intuition serait le résultat de l'expérience. Plus un individu sera expérimenté dans un domaine et plus celui-ci pourra avoir l'intuition des actions qu'il doit entreprendre. Cette vision est partagée par Dreyfus et Dreyfus (1986) puisque le phénomène d'intuition est vu comme la dernière étape d'acquisition de l'expertise. La mise en place d'une solution intuitive est également décrite par Lafrance (1989) comme un phénomène robotique permettant à l'expert d'agir automatiquement en outrepassant les processus conscients.

Il a été avancé dans la littérature que ce phénomène intuitif reposerait sur la reconnaissance de patterns tels que les chunks (Chase & Simon, 1973, Richman, Gobet, Staszewski, & Simon, 1996). Richman et al. (1996) précisent que cette reconnaissance automatique permettrait d'activer immédiatement les connaissances associées à la position et ainsi de parvenir à une conclusion adéquate. Dans leur article, les auteurs ont d'ailleurs montré l'efficacité d'une telle reconnaissance afin de produire une situation de résolution par intuition avec leur modèle EPAM. Selon Fitts (1964), la reconnaissance de tels patterns, activant automatiquement le comportement à adopter face à une situation, serait le résultat d'un travail en trois phases. La première phase sert à l'individu à apprendre les règles et procédures lui permettant d'agir. Celle-ci est exécutée consciemment et de manière plutôt laborieuse car elle nécessite un effort constant de la part de l'apprenant et une répétition des situations d'apprentissages. Selon Fitts, ce qui est particulièrement difficile durant cette phase est de parvenir à coordonner différents sets de réponses préalablement appris individuellement. Il prend l'exemple d'étudiants en musique qui essaieraient de produire pour la première fois différents rythmes avec leurs deux mains simultanément. Pour la seconde phase, les règles ont déjà été apprises. L'apprenant va maintenant associer les procédures qu'il a apprises aux indices présents dans son environnement. Ainsi, lorsqu'un indice spécifique apparaîtra il saura le reconnaître et l'associer à un ensemble d'actions potentielles. Enfin, c'est lors de la troisième phase que l'apprenant pourra automatiquement obtenir le comportement à adopter. L'association entre le stimulus et la réponse s'est renforcée au fil des essais, les indices sont maintenant perçus immédiatement et le comportement adéquat est exécuté aussitôt.

L'entraînement et la répétition semblent donc fortement influencer la mise en place de situation de résolution intuitive chez les experts. Nous allons désormais montrer au cours de la partie suivante comment les émotions, au travers de ces répétitions de situations familières, peuvent parvenir à guider la décision experte vers les meilleures options envisageables.

A. L'INTERACTION ÉMOTION/COGNITION

Le rôle positif que pourraient avoir les émotions au sein du fonctionnement cognitif des individus est un sujet plutôt récent sur le plan scientifique. La vision dualiste émotion / cognition développée par Descartes ne semble plus être aujourd'hui d'actualité. Il concevait en effet qu'il puisse y avoir des liens entre le système émotionnel et le système cognitif, mais l'action du premier ne pouvait avoir que des conséquences négatives sur le second. Les émotions n'étaient alors perçues que comme un élément perturbateur du raisonnement qu'il allait falloir apprendre à maîtriser afin de raisonner de manière optimale. La pensée dualiste incluait également que la raison (la cognition) qui siégeait dans le cerveau pouvait contrôler le cœur, siège des émotions. Nous savons cependant aujourd'hui que cette vision était erronée et que le cerveau joue un rôle primordial dans l'expérience émotionnelle. On connaît depuis longtemps le rôle du système limbique (MacLean, 1952) dans le fonctionnement émotionnel. A titre d'exemple, l'amygdale (Klüver & Bucy, 1937) ou bien encore le lien unissant l'hypothalamus et le cortex cérébral (Papez, 1937) seraient impliqués dans le mécanisme physiologique de l'émotion. Mais contrairement à ce que les chercheurs ont pu penser durant plusieurs décennies, le fonctionnement émotionnel ne se limite pas seulement au système limbique et ses noyaux sous-corticaux. Pessoa (2008) a notamment montré l'importance de nombreuses structures corticales dans le fonctionnement émotionnel. On connaît par exemple le rôle du cortex préfrontal dans la génération et la régulation des émotions (e.g., Dixon, Thiruchselvam, Todd, & Christoff, 2017 ; George & Koob, 2017), mais également dans la prise de décision émotionnelle (Greene, Sommerville, Nystrom, Darley, & Cohen, 2001).

Il existe de nombreux articles s'intéressant à la manière dont il est possible de gérer ses émotions afin d'améliorer ses performances. On retrouve notamment beaucoup de travaux

portant sur les milieux où la performance est activement recherchée par les individus, comme dans le monde du travail (Kluemper, DeGroot, & Choi, 2011) ou le sport (Friesen et al., 2013). Mais les émotions ne peuvent se réduire à ces aspects négatifs sur la cognition humaine. Frijda (1986) considère par exemple que le rôle des émotions pourrait être de faire face à la situation en mettant en évidence les aspects les plus importants que l'individu doit prendre en compte. Toujours selon elle (Frijda, 1993), l'émotion agirait comme un moteur de tendances à adopter, c'est-à-dire comme un facteur influençant les décisions à entreprendre.

B. LA THEORIE DES MARQUEURS SOMATIQUES

La dimension prospective de l'émotion dont nous venons de parler a depuis été étudiée par Damasio au travers de la théorie des marqueurs somatiques (Damasio, Tranel, & Damasio, 1991 ; Damasio, Everitt, & Bishop, 1996). Cette théorie postule que les individus, à force de se confronter à une situation donnée, vont être à même de filtrer les informations pertinentes à analyser. Le corps va produire une réaction somatique indiquant à l'individu les conséquences possibles de l'évènement auquel il fait face et des options qu'il envisage face à la situation. Il est important de noter que la première mention d'une réaction somatique guidant la perception mentale avait été amorcée par William James (1884). Cette théorie a été établie sur la base de l'étude de Saver et Damasio (1991) concernant le cas de patients présentant des lésions dans la partie Ventro-Médiane du cortex préfrontal (patients VM). D'après les tests cognitifs et notamment de nombreux tests de prise de décision qu'ils ont effectués, ces patients ne semblent pas présenter de troubles particuliers. Pourtant on observe qu'ils présentent, dans leur vie quotidienne, de nombreuses perturbations sur le plan émotionnel et social et qu'ils ne semblent plus capable de prendre les décisions les plus simples. Cependant, tout comme les tests cognitifs, les tests de prise de décision s'avèrent incapables de mettre en évidence ce

déficit. Le même type d'effet avait été obtenu auprès d'un patient qui présentait une lésion bilatérale des lobes frontaux par Eslinger et Damasio (1985).

Cela serait dû, selon Damasio (1994), au fait que ces tests n'impliquent pas de choix réels impliquant émotionnellement le sujet. En d'autres termes, il invite ici le lecteur à envisager la prise de décision, parfois considérée comme purement rationnelle, comme un processus sujet aux émotions. Il précise également que l'émotion joue un rôle particulièrement important dans l'intuition, un aspect de la décision qui, comme nous l'avons vu précédemment, est décisif dans la performance des experts (Dreyfus & Dreyfus, 1986 ; Lafrance, 1989). L'émotion peut en effet être considérée comme un indice spécifique permettant de parvenir à une décision (Mosier & Fischer, 2010). Zeelenberg, Nelissen, Breugelmans et Peters (2008) précisent d'ailleurs que l'émotion représente une part importante du phénomène d'intuition.

Damasio décide donc de mettre en place avec ses collègues un test de prise de décision répondant aux caractéristiques que l'on vient de citer afin de mettre en évidence le déficit des patients VM et par la même occasion l'importance des émotions dans le processus de prise de décision (Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994). Ce test a pour nom l'Iowa Gambling Task (IGT) et va pour la première fois montrer qu'il existe un déficit de prise de décision des patients VM grâce à un design expérimental favorisant l'implication émotionnelle de ces derniers.

Dans cette tâche, les participants vont devoir sélectionner des cartes (présentées au verso cachant leurs valeurs) parmi quatre tas possibles. Ces tas sont équilibrés différemment en termes de gain, perte et fréquence de perte. L'objectif pour les participants est de gagner le plus d'argent possible (représenté par la valeur des cartes). Pour cela, ils doivent découvrir, au fur et à mesure des sélections, quels sont les tas les plus avantageux et ainsi de maximiser leurs gains. Dans cette expérience, le design expérimental est tel, que les participants auront

tendance à sélectionner majoritairement les tas désavantageux en début de tâche. Les tas sont en effets différenciés en fonction de leur caractère avantageux ou désavantageux pour le participant. Les tas avantageux proposeront des gains qui semblent à première vue moins importants, mais le rapport gain / perte sera positif et leur sélection sur le long terme entraînera un bénéfice pour les individus. A l'inverse, les tas désavantageux présenteront des gains plus élevés mais finiront sur le long terme par entraîner des pertes. La grande majorité des personnes sans lésion montre un apprentissage progressif des risques potentiels associés à chacun des tas. Ils vont donc augmenter leurs gains en se désintéressant des tas désavantageux. A l'inverse, les patients qui sont cérébrolésés dans la partie ventro-médiane du cortex préfrontal ne semblent pas pouvoir appréhender ces bénéfices ou ces pertes à long terme. Ils vont ainsi continuer à sélectionner les tas leur faisant perdre de l'argent en se focalisant sur les gains à court terme. Bechara, Tranel, Damasio et Damasio (1996) ont également observé que les patients VM présentaient une réaction physiologique différente de celle des membres du groupe contrôle. En effet, grâce à des mesures de réponse électrodermale, les auteurs ont pu observer que les participants contrôle développaient au cours de la tâche une réaction physiologique particulière qu'ils ont appelé "réponse anticipatoire". Cette réponse anticipatoire est différente en fonction du type de tas qui va être sélectionné par le participant et on observe qu'elle est plus élevée dans le cas de sélections sur des tas désavantageux. C'est une réaction physiologique mesurable avec des électrodes que l'on pose généralement sur la paume de la main ou la plante du pied des participants. Les électrodes captent alors un signal électrique qui va varier en fonction de la conductance de la peau des participants. Cette conductance refléterait l'activité de plusieurs zones cérébrales impliquées dans les émotions tel que le cortex préfrontal ventro-médian ou les structures limbiques (Grapperon, Pignol, & Vion-Dury, 2011). Ces zones cérébrales seraient en effet impliquées dans la sudation des glandes sudoripares eccrines. L'idée serait que l'activation de

ces zones entraînerait la sudation de parties du corps ayant une forte concentration de ces glandes, comme c'est le cas pour certaines zones de la paume de la main ou de la plante du pied.

Bechara, Damasio, Tranel et Damasio (1997) ont mis au point un modèle de prise de décision basé sur ces résultats, expliquant comment les émotions, sous couvert des marqueurs somatiques, vont pouvoir guider le raisonnement et mener l'individu vers la décision (Figure 7).

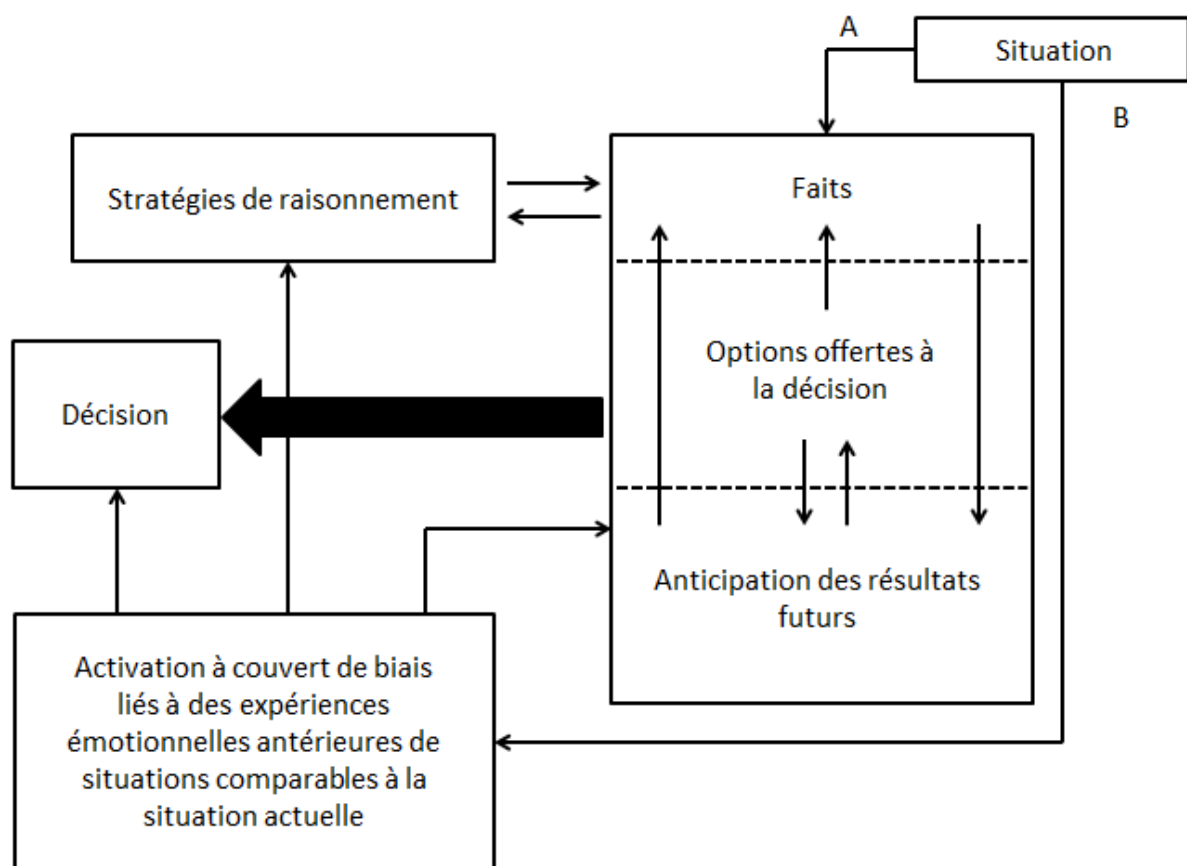


Figure 7. Modèle de prise de décision impliquant les marqueurs somatiques (d'après Bechara et al., 1997).

Ce modèle repose sur deux voies distinctes. La première (voie A), que l'on pourrait qualifier de "voie de la raison", va analyser les faits consécutifs à une situation et évaluer les options offertes à la décision. Pour effectuer son choix, elle va tester les options une à une, faire évoluer mentalement la situation et anticiper les résultats potentiels. La nouvelle situation

mentale ainsi construite offre tout un panel d'options qu'il faudra également prendre en compte et évaluer. Ce processus est proche du fonctionnement d'un ordinateur qui va calculer l'ensemble des possibilités et pouvoir décider quelle est la solution qui présente le plus d'avantages. Mais comme nous l'avons vu, le cerveau humain à une rationalité limitée (Simon, 1957) et son fonctionnement ne peut être comparable à celui d'un ordinateur. Cela implique qu'il nous est difficile de découvrir des solutions optimales et que nous sommes sujets à beaucoup d'erreurs. Mais Simon note néanmoins que cette limite de la rationalité humaine nous permet d'avoir un temps de décision plus rapide et que cela serait permis par une attention qui va se porter directement sur les éléments les plus pertinents à analyser. Il a d'ailleurs été montré dans la littérature, que le fait de diriger explicitement l'attention des apprenants sur des aspects précis de la situation, pouvait améliorer les performances de mémorisation (Jarodzka et al., 2013). Moriya et Nittono (2011) ont également montré qu'un état émotionnel positif pouvait améliorer le focus attentionnel. Dans leur étude, les participants ayant reçu une induction d'humeur positive (par une diffusion d'images) semblaient en effet montrer des bénéfices dans les premiers stades du focus attentionnel. Bien qu'elle ne soit pas directement relié à l'utilisation de marqueurs somatiques, cette étude montre que le focus attentionnel des individus n'est pas indépendant du fonctionnement émotionnel de ces derniers.

La seconde voie de ce modèle (voie B), que l'on nommera "voie émotionnelle", indique que les expériences émotionnelles antérieures vécues par l'individu pourraient être à l'origine de cette attention sélective et donc de l'efficacité de la rationalité humaine. Ces expériences émotionnelles vont se synthétiser afin de provoquer une réaction somatique venant marquer l'évènement analysé (marqueurs somatiques). L'évènement et toutes les options envisagées face à celui-ci posséderont alors une "note émotionnelle", négative ou positive, venant guider le processus de prise de décision. Cela peut être rapproché du processus de valuation décrit

par Anderson (1996), qui consiste en une conversion des éléments importants de l'environnement en valeurs subjectives permettant de réagir de manière adéquate à la situation. Il est également important de noter que la réaction somatique dont il est question ici va guider le raisonnement sans que l'individu n'ait besoin d'avoir conscience de son existence. Cette seconde voie va pouvoir agir sur la décision de trois manières différentes. Premièrement, elle va permettre d'adapter les stratégies de raisonnement. Faut-il privilégier la précision ou la rapidité ? Faut-il chercher à affronter la situation ou bien la fuir ? Concernant ce dernier point, il a notamment été montré que la décision d'affrontement ou de fuite (fight or flight theory ; Cannon, 1915) était dépendante du déchargement du système nerveux sympathique qui est impliqué dans le fonctionnement émotionnel des individus. La deuxième manière d'agir de cette voie émotionnelle est de limiter le nombre d'options offertes à la décision. Les options qui ont été marquées négativement par la réponse somatique sont automatiquement rejetées par l'individu afin qu'il puisse se concentrer sur des aspects plus pertinents à analyser. Enfin, lorsque la situation est parfaitement connue par l'individu, la décision sera prise automatiquement sans qu'un traitement conscient ne soit nécessaire.

C. FREQUENCE DES SITUATIONS, AUGMENTATION DES MARQUEURS SOMATIQUES ET DECISION INTUITIVE

Le modèle en deux voies proposé par Bechara et al. (1997) renvoie également aux deux systèmes de pensée décrits par Kahneman (2011) :

- Le système 1 : qui représente le fonctionnement rapide, automatique et intuitif. Ce système se base sur la reconnaissance de patterns et sur les expériences passées des individus.

- Le système 2 : qui représente le fonctionnement lent et nécessitant la mise en place d'un raisonnement analytique.

Le système 1 est celui qui s'activera en premier lorsqu'une tâche sera perçue comme familière. En revanche, lorsqu'un évènement ne semble pas assez familier, le système 2 s'activera afin de réaliser un diagnostic de la situation. Selon l'auteur, le système 1 est donc généralement privilégié par les individus, mais mène souvent à des erreurs. En effet, celui-ci est particulièrement sensible à de nombreuses heuristiques de jugement, décrites par Tversky et Kahneman (1974).

Différents niveaux d'analyses reprenant une logique similaire sont également proposés au sein du modèle de Rasmussen (1986). Ce modèle a été mis en place afin d'expliquer le processus décisionnel dans des environnements dynamiques, c'est-à-dire dans des situations dans lesquels le système évoluera constamment sans intervention de l'individu. Rasmussen distingue trois types de contrôles pouvant s'opérer dans ces situations :

- Niveau 1 : Les habiletés, qui définissent une décision entreprise très rapidement, suite à la détection d'indices dans l'environnement.
- Niveau 2 : Les règles, assimilables à des schémas, qui lorsqu'elles s'activent enclenchent une procédure de résolution.
- Niveau 3 : Les connaissances, qui sont fondées sur une recherche active du sujet afin de trouver une solution en organisant les connaissances préalablement acquises.

Les entrées sensorielles se feraient au niveau 1 et les caractéristiques principales de l'environnement sont extraites. Si la situation est perçue comme familière par l'individu des comportements automatisés (réflexes) vont s'activer. Comme pour le système 1 décrit par Kahneman (2011), ce niveau 1 est rapide et peu coûteux mais peut parfois entraîner des erreurs. Si la situation semble plus complexe et moins familière, les caractéristiques de la

situation seront traitées au niveau 2. A ce niveau, le traitement s'effectue en parallèle, et toujours avec relativement peu d'efforts cognitifs de la part de l'individu. La situation est décomposée en sous-composants que l'on va chercher à comparer avec des schémas déjà internalisés et pouvant mener à la mise en place d'une procédure adéquate. Enfin, le niveau 3 va s'exécuter lorsque la situation semble vraiment inhabituelle. L'individu devra alors effectuer un traitement séquentiel des caractéristiques de la situation. Ce processus est lent et extrêmement coûteux cognitivement.

Ces deux modèles semblent corroborer le fait que des situations fréquemment observées par un individu amène à une décision immédiate de celui-ci. Comme le décrivent Kahneman (2011) et Rasmussen (1986) ce mécanisme de décision mène souvent à des erreurs de la part des individus. En revanche, dans le cadre du modèle RPD (Klein, 1993 ; 1999), nous avons vu que ce mécanisme de décision intuitif semblait relativement fiable dans le cas des experts. Nous pensons que le modèle développé par Bechara, Damasio, Tranel et Damasio (1997) offre un cadre intéressant afin d'expliquer à la fois, les performances décisionnelles des joueurs au sein de leur domaine d'expertise et le fait que les intuitions expertes soient aussi efficaces. La confrontation répétée à un type d'évènement amènerait à la création de multiples marqueurs somatiques pouvant influencer le processus décisionnel des experts. Bechara et Damasio (2005) ont en effet défini que les marqueurs somatiques, qui avaient été préalablement encodés dans des situations similaires à la situation actuelle, étaient impliqués dans le processus de décision. Ces marqueurs vont pouvoir soit venir renforcer la mise en place de certaines actions, soit venir les inhiber. Les réactions physiologiques produites par les marqueurs somatiques sont donc comparables à des indices servant à guider le processus décisionnel de l'individu. Damasio (2004) a d'ailleurs montré que le fait de percevoir ces indices physiologiques permettait à l'individu de décider plus efficacement quand s'investir ou se retirer d'une situation donnée.

Les modèles de décision dont nous avons discuté au cours de cette partie semblent indiquer qu'il existe une pluralité de modes de décisions en fonction du contexte et des individus. Le développement de l'expertise semble favoriser la reconnaissance de patterns spécifiques à des situations fréquemment perçues. Suite à la reconnaissance de ces patterns fréquents, un processus décisionnel automatique peut alors s'enclencher. Ce phénomène est défini dans la littérature sous le terme d'intuition. Celle-ci est indiquée dans la littérature comme étant le dernier niveau d'acquisition de compétence lié au développement de l'expertise (Dreyfus & Dreyfus, 1986). Le modèle RPD (Klein, 1993 ; 1999) indique également que dans la majorité des cas, les experts baseront leurs performances sur ce type de décision intuitive basée sur la reconnaissance de patterns spécifiques dans leur environnement. Ceci est particulièrement observable dans des situations dans laquelle la décision doit être prise rapidement. Cependant, il n'y a eu que peu d'intérêt porté aux mécanismes responsables de ces intuitions expertes au sein de la littérature. Le modèle des marqueurs somatiques proposé par Bechara, Damasio, Tranel et Damasio (1997) semble constituer un cadre d'analyse intéressant afin d'évaluer les performances décisionnelles expertes et expliquer le phénomène d'intuition.

4. INTERET DE NOS RECHERCHES

Au cours des parties suivantes, nous développerons les expériences que nous avons menées dans le cadre de cette thèse. Nous avons plusieurs objectifs au début de ce travail de recherche :

- Evaluer les capacités de prise de décision générales des experts.
- Définir si les performances de décision des experts peuvent être expliquées par les marqueurs somatiques.
- Mettre en évidence et approfondir la compréhension de l'organisation hiérarchique et de la récupération des informations en MLT chez les experts.
- Evaluer l'influence des marqueurs somatiques sur le processus de décision au sein du domaine d'expertise.

L'évaluation des performances décisionnelles des experts semble intéressante, puisque comme nous l'avons vu avec le modèle MGIM (Ullén, Hambrick, & Mosing, 2016) de nombreuses caractéristiques individuelles semblent influencer le développement de l'expertise. Or il se trouve que la capacité à prendre des décisions est un élément clé de la performance experte aux échecs (Salthouse, 1991). L'évaluation de cette capacité chez les joueurs semble donc tout à fait appropriée. Néanmoins, la perception et la mémoire des joueurs ne semblent supérieures que dans des tâches spécifiques au domaine d'expertise. La prise de décision pourrait donc également être améliorée seulement au sein du domaine et non en ce qui concerne l'ensemble des compétences générales des joueurs. Dans ce cas, la performance décisionnelle des experts pourrait être expliquée par la théorie des marqueurs somatiques. En effet, la confrontation répétée à une situation donnée devrait favoriser l'élaboration de tels marqueurs qui pourront, par la suite, se réactiver afin de guider le raisonnement et la décision des experts.

Dans la prochaine partie nous évaluerons donc les performances décisionnelles des experts au cours d'une série de trois expériences. Reprenant la tâche de l'IGT développée par Bechara et al. (1994) nous évaluerons les performances décisionnelles des experts au jeu d'échecs en comparaison avec des joueurs de moindre niveau et des non-joueurs. Par la suite une seconde tâche proposera une réplication auprès de joueurs d'échecs et de joueurs de jeu de Go (un jeu de plateau présentant des caractéristiques similaires au jeu d'échecs). Enfin, nous présenterons les résultats d'une troisième expérience qui vise à étudier les performances décisionnelles des experts dans deux contextes différents : le contexte de décision en connaissance des risques et le contexte de décision ambigu.

Par la suite nous nous intéresserons également à la manière dont les experts parviennent à prendre des décisions au sein de leur domaine d'expertise. L'organisation hiérarchique de l'information au sein d'un réseau de discrimination semble appropriée afin d'expliquer les performances expertes. Cependant, les données dont nous disposons afin de corroborer ce type d'organisation sont essentiellement issues de modèles mathématiques et informatiques (Gobet, 1993a ; Gobet & Simon, 2000). Nous souhaitons également au cours de cette thèse évaluer l'influence des marqueurs somatiques sur la récupération des informations en MLT et notamment lors de phases de récupération instantanées et intuitives.

La cinquième partie de cette thèse présentera donc les travaux que nous avons entrepris dans cette optique. La première expérience présentera une tâche d'amorçage de positions d'échecs. En fonction de différents types d'amorces qui seront présentés dans l'expérience, nous évaluerons si ceux-ci auront provoqué un effet facilitateur ou inhibiteur dans le traitement d'une position cible. Dans la seconde expérience nous travaillerons sur l'effet d'Einstellung (ou effet d'attitude) qui a été adapté pour le jeu d'échecs par Bilalic, McLeod et Gobet (2008). Dans cette étude, les résultats de deux expériences distinctes seront présentés. La première visant à répliquer le protocole de l'expérience de Bilalic et la seconde proposant une variante

de celui-ci. L'expérience d'amorçage et les expériences sur l'effet d'Einstellung auront pour objectif de mieux définir l'organisation de la mémoire des joueurs d'échecs.

Nous concluons en proposant une ouverture vers un dispositif expérimental permettant de valider cette théorie. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'influence somatique dans la décision intuitive des experts avec des indicateurs physiologiques tels que la réponse électrodermale ou la fréquence cardiaque. La mise en œuvre de ce dispositif nécessite cependant d'avoir accès aux joueurs en dehors de toute crise sanitaire. Il nous a donc été impossible de mener à bien cette dernière expérience au cours des derniers mois. En effet, la totalité des expériences menées au cours de cette thèse ont été réalisées lors de tournois d'échecs. Cependant ces tournois ont depuis été annulés, reconvertis en tournois en ligne ou réalisés dans des conditions trop strictes pour permettre la réalisation d'une expérience.

Nous espérons néanmoins que la présentation de nos résultats d'expériences amènera le lecteur à s'intéresser à l'influence potentielle des marqueurs somatiques sur la performance experte. Ces résultats permettent en effet selon nous de considérer la théorie des marqueurs somatiques comme un cadre de référence pour rendre compte de la performance des experts et plus précisément de la nature de leur processus décisionnel.

5. PREMIERE SERIE D'EXPERIENCES ; CAPACITES DE PRISE DE DECISION GENERALES DES EXPERTS

5.1 EXPERIENCE 1 - EXPERTISE ET PRISE DE DECISION : UNE ANALYSE DES CAPACITES EXPERTES AU TRAVERS DE L'IOWA GAMBLING TASK

Dans cette première série d'expérience, nous tâcherons d'évaluer les capacités décisionnelles des joueurs d'échecs. Notre objectif sera également d'étudier l'influence des marqueurs somatiques sur ces performances. Pour ce faire, nous avons commencé par évaluer les capacités des joueurs au travers de l'Iowa Gambling Task. En résumé, nous montrons ici que les résultats des experts du jeu d'échecs sont supérieurs à ceux des joueurs amateurs et des novices de la discipline. Nous proposons également un cadre interprétatif de ces résultats au travers de la théorie des marqueurs somatiques. Notre idée est que les capacités décisionnelles des experts seraient supérieures du fait d'une meilleure intégration de la voie émotionnelle dans leur processus décisionnel (Bechara et al., 1994). A l'inverse des patients VM, les experts seraient ainsi capables de dépasser efficacement la perspective des gains à court terme et de se focaliser sur l'espérance à long terme de leurs gains. La méthode employée, les résultats et la discussion de cette recherche sont présentés dans l'article suivant. Celui-ci est actuellement en révision et sera donc proposé en version anglaise.

Trincherini, R., & Postal, V. (in revision). Expertise and decision-making : An analysis of expert capacities through the Iowa Gambling Task.

A. INTRODUCTION

An influential theory in the field of expertise in cognitive psychology is the deliberate practice framework of Ericsson, Krampe et Tesch-Romer (1993). These authors stated that to become an expert in a domain, an individual should invest within a personal development

perspective. Obviously, that individual needs to practice, but with the intention of developing his capacities within a given domain. This theory also postulates that abilities acquired in a field of expertise cannot be generalized. In other words, it cannot be used in other fields. According to a literature synthesis by Ericsson (2014), expertise can be characterized by exceptional abilities in a field, frequently reproducible by a narrow group of people practicing it for at least 10 years.

In accordance with Salthouse (1991), we believe that before trying to understand the mechanisms underlying the development of expertise, researchers need to list the difficulties novice individuals face when they are confronted with a task and have to find a way to overcome them. Indeed, Salthouse depicted expertise development as a circumvention of limitations by an individual. These limitations differ according to field needs and have to be clearly identified in order to understand how they can be overcome. Salthouse's thinking is worth bearing in mind because it forces the researcher to pinpoint precise constraints that are observed in his domain of interest. In other words, Salthouse defines experts by comparison with what novices don't know how to do. In many fields (e.g. Ericsson & Smith, 1991; Drury-Hudson, 1999; Postal, 2012), the problem facing novices will be "not knowing what to do during the task". This is especially the case when it comes to chess, in which novices will not be able to make a decision when faced with all available options. Indeed, in chess, players are confronted with real choices. In addition to making these choices, they have to execute the action, which requires focusing their cognitive resources to answer correctly under environmental constraints. Consequences that arise from their actions are immediate and the context changes constantly, preventing the player from having total control over the situation. A new decision is expected at each turn, which requires them to re-evaluate the situation, including their opponent's next move. In this respect, goals are simultaneously the origin and

the output of this shifting context. In view of this description, decision-making seems to be an essential ability for chess players.

One of the most commonly used tasks in decision-making is the Iowa Gambling Task (IGT; Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994). Originally, it was a clinical task used to reveal difficulties observed by patients that conventional neuropsychological tests failed to demonstrate.

This task found certain decision-making deficits that were not observed with other tests. In their paper of 1991, Saver and Damasio analyzed a clinical case population with lesions in the ventro-median (VM) part of the prefrontal cortex. These patients did not have any problem in tests measuring the social cognition factors involved in decision-making evaluated in classical neuropsychology tests (e.g. “The means-ends problem-solving procedure”; “the cartoons ends predictions test”), but were actually unable to make consistent decisions in their daily lives. However, Damasio showed that these tests did not explore the choice component of decision-making because participants did not need to execute the action themselves. The inefficiency of these tests in discriminating VM patients among the general population could be imputed to their lack of engagement in decision-making. The author argues for a more ambiguous and involving task to evaluate the deficit of VM patients, one which should include a better integration of the emotional component in the decision-making process. In the IGT (Bechara et al., 1994) participants have to make a choice faced with four decks of cards at each turn. Participants begin the task with 2000 dollars and have to win as much money as possible by choosing one card a time from any of the four decks. Some cards win them money and other cards lose them money. The cards are organized in such a way that some decks are advantageous (more gain in the end) and others are disadvantageous (decks C and D versus decks A and B). Participants discover the value of the card (gain or loss) after turning it. In the classical version of IGT, there are a total of 100 trials (Bechara et al., 1994). The purpose

is for the participant to understand which of the decks are advantageous over the long term and to pick them in order to maximize profits. Indeed, two decks (A and B) offer immediate high gains but also future high losses (called disadvantageous decks by Bechara et al., 1994) while the other decks (C and D) offer immediate low gains but future low losses (called advantageous decks by Bechara et al., 1994). Each deck's gains are constant along the task, which means that participants will win the same amount of money in each selection. The frequencies of losses fluctuate according to the deck. For example, with ten selections in a row in deck A participants will win 100 dollars at each selection and lose 250 dollars for half of them. The final outcome of those ten selections is a global loss of 250 dollars. In terms of expected value, decks A and B will lead to a loss of money whereas decks C and D will result in a gain. In short, to perform this task well, participants have to pick the advantageous decks C and D and neglect decks A and B (see table.1 for a more detailed description of decks).

Table 1
Description of deck characteristics in the Iowa Gambling Task.

	Deck A	Deck B	Deck C	Deck D
Gains	100€	100€	50€	50€
Losses	250€	1250€	50€	250€
Loss frequency	05/10	01/10	05/10	01/10
Earnings for 10 trials	-250€	-250€	250€	250€

However, the two advantageous decks and the two disadvantageous decks are not identical. Thus earnings in IGT are not sufficient to fully understand the strategies employed by participants and for this reason account needs to be taken of other differences between the

decks in analyses. In fact, the decks also differ according to the frequency of gains and losses. Based on an average of ten trials, decks A and C will offer a low gain frequency (5 gains / 5 losses) and decks B and D a high gain frequency (9 gains / 1 loss). Some authors have demonstrated that at the beginning of the task, participants are influenced firstly by short-term benefits and will pick decks A and B to reap greater gains. From then on, selections will turn to decks B and D which are the high gain-frequency decks (Chiu, Lin, Huang, Lin, Lee, & Hsieh, 2008). This implies that decision-making is influenced by the values of the gains and losses but also by the frequency of the gains, and that the strategy used by participants evolves during the task. A longer version of IGT than the original task (Bechara et al., 1997) is suggested by Steingrover, Wetzels, Horstmann, Neumann and Wagenmakers (2013) to study this evolution of strategies. They showed that 100 trials are not sufficient to explore each deck and learn the most advantageous choices. They recommend a longer version of the task. For a better understanding of how the task works and the need for an extended version, we will give an example of participant selections. At the beginning of the task, there is no difference between decks for participants. They look the same and participants have to begin by picking cards to identify the best strategies. But, by the coincidence of their initial choices, some participants will focus on the disadvantageous decks (A and B) longer than others. They may unfortunately incur a loss when they try one of the advantageous decks (decks C and D) first, leading them to reject those decks. In the task, it is possible to make as many selections as one wishes on the same deck, so participants may focus for too long on certain decks despite good selection strategies. With an increase in the number of trials, by contrast, participants will have time to overcome this issue and try to pick advantageous decks.

Horstmann, Villringer and Neumann (2012) identified different strategies corresponding to three different response patterns (called “clusters”) within the healthy population. Two strategies are right and one was qualified as wrong (loss at the end of the task). In their article,

the authors showed that two clusters, Clusters 1 and 3, correspond to a right strategy through the exclusive selection of one of the two advantageous decks (respectively decks C and D). Conversely, Cluster 2 is wrong and shows a selection of high gain-frequency decks (decks B and D). Quite surprisingly, only 25% of the healthy general population performed well in this task by choosing the positive clusters 1 and 3. In other words, 75% of them were not able to overcome their conception of high gain-frequency established at the beginning of the task.

Lastly, according to Gansler, Jerram, Vannorsdall and Schretlen (2011), the transition between the high gain-frequency conception and the right solution can be identified. Relying on Brand, Recknor, Grabenhorst and Bechara's research (2007) and the distinction established between decision-making under uncertainty and decision-making under risk, Gansler et al. (2011) showed that, in the IGT, the transition point identified is this changeover from uncertainty to risk-informed decisions. In the literature, this turning point is called the inflexion point (Gansler, Jerram, Vannorsdall, & Schretlen, 2011). This awareness of risk is particularly important in the decision-making task and may explain the performance and the strategy used by participants.

Some research has underlined a greater influence of cognitive abilities, measured by the intellectual quotient (IQ), rather than a benefit related to an emotional component to explain IGT performances (Demaree, Burns, & DeDonno, 2010; Webb, DelDonno, & Killgore, 2014). However, in a wide-ranging meta-analysis, Toplak, Sorge, Benoit, West and Stanovic (2010) reported that the majority of studies on this topic do not show any significant effect of IQ on IGT performances. Even though some executive functions seem to have a major influence on the score at the end of IGT (Brand et al., 2007), the majority of the variability explaining this score cannot be credited to IQ differences (Toplak et al., 2010). Furthermore, according to expert research there seems to be no consensus about the question of the influence of IQ on expertise development. Older paper indicate that there is no correlation

between general IQ and expertise level (Djakow, Petrowski, & Rudik, 1927, cited by Gobet & Campitelli, 2002) and many researchers consider the influence of intelligence as entirely negligible (Ericsson, Roring, & Nandagopal, 2007; Ericsson & Ward, 2007). Furthermore, while correlations were established by Bilalic, McLeod and Gobet (2007) with young chess players, they were only for the first practice steps, so deliberate practice is a much more efficient explanatory factor. More recently, a meta-analysis (Burgoyne, Sala, Gobet, Macnamara, Campitelli, & Hambrick, 2016) showed that certain cognitive characteristics are positively correlated with expertise (e.g. fluid reasoning, processing speed...). These considerations seem to indicate that intelligence is a tricky question in expertise development investigations and one that needs to be considered. But recent studies mainly indicate that there is a link between IQ and expertise (Grabner, 2014). Most of these studies highlight that differences between experts and the rest of the population are concentrated on particular cognitive aspects (Burgoyne et al., 2016). It seems important to find other aspects that could be more developed in the expert population. In this respect, the thinking of Salthouse (1991), who described expertise as a circumvention of limitations, seem extremely reliable. He compiled a summary of the main limitations of novices in many fields and observed that, in many of them, decision-making seems to be a clear bound (in particular when it comes to chess). Therefore, we will focus on decision-making in an experimental evaluation, for the reasons given above.

In this study, we address the decision-making capacity of chess players. Our study also offers new evidence showing that better performances in IGT can be related to good decision-making capacities and not only to a good understanding of the task, as proposed by Maia and McClelland (2004).

The main objective is to show that, as well as deliberate practice, some internal factors are worth observing in expert performance. We focused on one of them in view of its relevance to

our theory and its significance in chess. Nevertheless, we remain confident in the existence of many other executive and cognitive functions which may influence expertise development (e.g. Burgoyne et al, 2016). Moreover, we show the transitional aspect of expert capacities in other fields that allows their use in several constraint situations that are remote from the expert domain. According to these assumptions, we postulate that success in IGT will be greater with an increasing level of expertise in chess. Experts will select the advantageous decks (C and D) more readily and will reach the inflexion point earlier than other groups. This means that they will implement better strategies during the task. As in Horstmann et al. (2012), we postulate that experts will be more strongly represented in Clusters 1 and 3, which represent the selection of one of the two advantageous decks (respectively decks C and D).

B. METHOD

Participants: We assessed decision-making capacities within a sample of 29 subjects (males exclusively to avoid sex influence) divided into three groups according to their level of expertise in chess.

The first group is composed of expert chess players with more than ten years of practice ($n_1 = 9$), selected from among players with an ELO (ranking of chess players) currently exceeding 2300 points or having gained the FIDE Master Title (players having already exceeded 2300 points in their career). In this population, we have a range of players with between 2280 (with the FIDE Master Title) and 2627 points (Mean = 2378). Some of the participants in this group were recruited during the Malakoff chess tournament and others in the Paris and Bordeaux areas.

Another group in our study includes amateur chess players who practice regularly ($n_2 = 10$) and who were selected from among players with an ELO below 2100 points with no lower

bound. This choice was based on a particular assumption about the ELO rating. Indeed, it is commonly accepted that a difference of 200 ELO points is enough to separate different levels of players. This is accepted in the literature, whereby a standard deviation (SD) of 200 points is used to compare different groups of players (e.g., Ericsson & Charness, 1994; Charness, Tuffiash, Krampe, Reingold, & Vasyukova, 2005; Gobet & Charness, 2006), and is also accepted by the players themselves. They consider that a difference of 200 points between two players is enough to predict the result of a game before it starts. To sum up, this population was constructed with a 200 point cut off below our Expert group. We selected a very high-level Expert group (Mean = 2378) and, with our criteria, some of the Amateurs may have had an ELO rating higher than 2000. For many studies, 2000 points is sufficient to be qualified as an expert (e.g., Bilalic, McLeod, & Gobet, 2009) and this methodological choice could have impacted our study. Fortunately, none of the amateurs selected had a ranking above 1886. Participants in this group were recruited during the Malakoff chess tournament in France and from a chess club in Bordeaux called “l’échiquier bordelais”.

Finally, the last group comprises chess novices with little or no experience in chess ($n_3 = 10$). Participants in this group were recruited from the University of Bordeaux in France.

A possible influence of age in our study was also duly noted. The Expert and Amateur chess players are older (respectively 35.8 and 38 years old on average) than our Novice group (29.9 years old on average) and this could influence our data. However, results in the literature suggest that IGT performances show a u-inverted relation with age (Cauffman et al., 2010). This means that, even if age did influence IGT performances, the results would be better for younger than older participants. This research by Cauffman et al. (2010) was conducted on a population between 10 and 30 years old; for older people, we can only speculate by drawing on the trend in these results. Another study (Wood, Busemeyer, Koling, Cox, & Davis, 2005) compared young adults (between 18 and 35 years old) and older adults (over 65 years old)

and shows that, despite a difference in the strategies employed, both populations were able to perform well in IGT. Given these considerations, we can affirm that the difference in age in our sample will not bias our results. In addition, our experimental groups were controlled for educational level.

Material and procedure: Our evaluation was done with a computerized version of IGT using E-prime (version 2.0.10) that was longer than the classical one (300 trials instead of 100). The task was also adapted for French participants (dollars become euros). Using their mouse, participants have to pick one of the four decks which appear on the screen. After each selection, feedback is sent to participants to inform them about their gains and losses. During the experiment, participants are also informed of their earnings from the beginning of the task with a crossbar and a square which show the total gains from all past trials. At the end of the 300 trials, we also asked participants which deck was the most advantageous in their opinion.

We compare participants' choices according to their level in chess (Novices, Amateurs or Experts). We have several hypotheses concerning these choices. Firstly, we think that Experts will select more advantageous decks (C and D) than Amateurs, themselves more than Novices, so Experts will win more money than Amateurs and themselves more than Novices. We also hypothesize that the inflexion point (which is the point where individuals begin to select more advantageous than disadvantageous decks) will be reached fastest by Experts, then Amateurs and finally Novices. Lastly, Experts are expected to be more strongly represented in Clusters 1 and 3, as identified by Horstmann et al. (2012), than Amateurs or Novices.

We measured not only the earnings at the end of the IGT (first dependent variable) but also the strategy used by the chess players all along the task. To do so, we conducted different analyses. First, we compared the selection of advantageous decks and disadvantageous decks

(second dependent variable) and the inflexion point (third dependent variable) during the first hundred trials according the level of expertise of the participants. Next, we analyzed more precisely the selection of the decks, considering each deck individually (fourth dependent variable) throughout the task (for the three hundred trials). Finally, we analyzed the clusters selected (fifth dependent variable) according to the different levels of chess players.

Analyses were conducted with the Rstudio software (version 3.3.0) with which we performed a variance analysis (ANOVA and Kruskal-Wallis) on the IGT final gains (earnings at the end of the IGT), on the number of selections of each deck and on the inflexion point. Post-hoc analyses were performed with the T-test or Wilcoxon test. We applied the Bonferroni-Holm correction on the significance threshold due to the repeated tests. The inflexion point was identified by the intersection of two lines respectively representing the increasing selection of advantageous decks and the decreasing selection of disadvantageous decks. For greater precision in the trial relative to the inflexion point, we used Excel's "IntersectComplex" function to associate this graphic coordinate point with its trial. Clusters were formed by visual analysis, as recommended by Venables and Ripley (2013). This visual analysis offered a new technique to identify strategies at the end of IGT, whereby we asked participants "what was the most advantageous deck in their opinion" and calculated when they picked it (or them, sometimes) in more than 90% of cases.

For ease of reference, the term "groups" represents the independent variable comparing chess expertise (Novices, Amateurs and Experts), the term "deck selection" represents the independent variable comparing selections according to deck differences (example: advantageous decks vs. disadvantageous decks) and "time" represents the third independent variable, the blocks of trials (5 blocks of 20 trials for the 100 trials analysis or 6 blocks of 50 trials for the 300 trials analysis).

C. RESULTS

In the first instance, we conducted an analysis of the total earnings obtained by each group at the end of IGT. Due to the non-normality of the data, we conducted a Kruskal-Wallis test. We obtained a trend effect of groups on total earnings, $H(2) = 5,54$, $p = .062$, $(1-\beta) = .12$. Post-hoc analysis showed that Experts' earnings ($M = 6533.33$; $SD = 1402.45$; $IC [5455.12, 7611.54]$) were significantly higher than Amateurs' earnings ($M = 4995$; $SD = 2338.41$; $IC [3322.2, 6667.8]$; $p = .013$) and Novices' earnings ($M = 4212.5$; $SD = 2484.04$; $IC [2435.53, 5989.48]$; $p = .002$). No difference was found between Amateurs and Novices.

For the following analyses, we considered the other two independent variables, named "time" and "deck selection", in order to study the strategies employed by the three groups. The dependent variable for all further analyses will not be earnings but the participants' selection of cards (sum of number of cards selected from each deck).

To begin with, we conducted an analysis of the first 100 trials (Fig. 1), as has been done in the literature, by comparing precisely the selection of decks A and B (disadvantageous) and decks C and D (advantageous) over time (five blocks of 20 trials), and by determining the inflexion point in these first 100 trials.

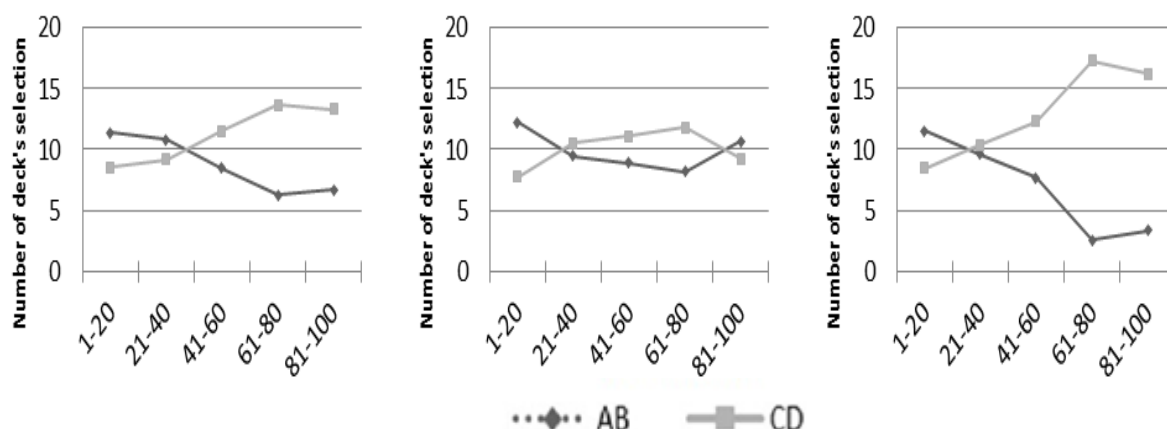


Figure 1 (a, b, c). Number of selections of advantageous (CD) and disadvantageous (AB) decks by Novice (a), Amateur (b) and Expert (c) groups and representation of the inflexion point at the intersection of curves (respectively in trials 47, 36 and 36).

An ANOVA was conducted on participants' choices according to their group (Novices, Amateurs or Experts), deck selections (advantageous by summing the number of cards selected from decks C and D vs. disadvantageous by summing the number of cards selected from decks A and B), and time (trials 1-20, trials 21-40...).

Firstly, we found a significant interaction effect between deck selection (advantageous vs. disadvantageous) and time, $F(4,26) = 14.85$, $p < .001$, indicating a change in selections during the first 100 trials. Indeed, the advantageous decks were more often selected than the disadvantageous decks over time. The interaction between groups and deck selections is also significant, $F(2,26) = 4.92$, $p < .01$. The selection of advantageous decks is greater for the Experts ($M = 12.98$; $SD = 4.96$; $IC [11.49, 14.47]$) than for the Novices ($M = 11.26$; $SD = 4.06$; $IC [10.11, 12.41]$) and Amateurs ($M = 11.08$; $SD = 5.71$; $IC [9.46, 12.70]$). The results concerning the disadvantageous decks are reciprocal to those for advantageous decks (see Table. 1).

A significant interaction was found between groups, time and deck selection, $F(8,26) = 2.60$, $p < .01$, $\eta^2p = .074$. This means that during the task, participants' selections over time evolved differently as a function of the group. The three groups began the task by picking more disadvantageous decks than advantageous decks; rapidly the trend reversed and all groups began to select fewer disadvantageous decks and more advantageous decks, but the difference between the advantageous and disadvantageous decks was very marked according to the group and the time. As early as block 4 (trials 61-80), Novices ($M = 13.70$; $SD = 3.95$) and Experts ($M = 17.33$; $SD = 2.83$) selected significantly more advantageous than disadvantageous decks (respectively, $t(9) = -2.96$, $p = .015$ and $t(8) = -7.77$, $p < .001$). By contrast, no significant differences were noted for Amateur selections over the first 100 trials and the curve indicated that Amateurs' selections were again reversed, with a tendency to pick disadvantageous decks at the end of the first 100 trials.

We determined the inflexion point with Excel's "IntersectComplex" function, and an ANOVA was conducted on it according to the group and the time. This point is located at the intersection between the upward advantageous decks line and the downward disadvantageous decks line. Excel's function identified the graphic coordinates of this point and we then associated them with a trial. The difference in rapidity reaching the inflexion point for each group was calculated (see also Fig. 1). In this respect, Novices obtained a value of 2.34, corresponding to trial 47. Likewise, Amateurs and Experts reached the inflexion point near trial 36 (respectively 1.81 and 1.78 with the function). There is a group effect, indicating that Amateurs and Experts reached the inflexion point significantly earlier than Novices, $F(2,26) = 8.27, p = .0016$.

To evaluate the strategy employed by the groups during the IGT, we conducted the analyses over 300 trials (distributed into 6 blocks of 50, see Fig. 2) according to the level of expertise and the selection of decks, considering all 4 decks and not only the difference between the advantageous and disadvantageous decks.

There is a significant interaction effect between deck selection and time, $F(5,31) = 25.99, p < .001$, pointing to a change in selection during the task, with decks C and D being more and more frequently selected as time progressed. The interaction between groups and deck selection is also significant, $F(2,31) = 13.61, p < .001$. The selection of advantageous decks (C and D) was greater for the Experts ($M = 40.78; SD = 10.67$) than for the Amateurs ($M = 37.05; SD = 13.55$), which was greater than the Novices ($M = 33.65; SD = 11.05$). There is no interaction between decks, time and group.

Further, we performed analyses for each deck independently, because they are different from the others in terms of frequency and long-term outcomes, with the groups and the time as independent variables. There is a significant group effect for deck A, $F(2,15) = 3.80, p = .024$,

for deck B, $F(2,15) = 9.60$, $p < .001$, for deck C, $F(2,15) = 10.63$, $p < .001$ and for deck D, $F(2,15) = 6.34$, $p = .002$. Analyses were performed with a T-test for a pair-wise comparison of groups in each deck. We showed that the differences were significant for deck B from which Experts ($M = 4.37$; $SD = 6.86$) made fewer selections than Amateurs ($M = 9.02$; $SD = 10.63$; $p = .05$) and Novices ($M = 10.08$; $SD = 7.26$; $p < .001$). For deck C, we showed that Novices ($M = 12.92$; $SD = 11.61$) made fewer selections than Amateurs, ($M = 23.70$; $SD = 17.73$; $p < .001$) and Experts, ($M = 24.70$; $SD = 15.98$; $p < .001$). For decks A and D we observed that Novices selected significantly more cards from these decks (for deck A: $M = 6.27$; $SD = 6.27$; for deck D: $M = 20.73$; $SD = 15.26$) than Amateurs (for deck A: $M = 3.93$; $SD = 5.15$; $p < .05$; and for deck D: $M = 13.35$; $SD = 15.12$, $p < .001$). There is no interaction between decks, time and group, $F(10,31) = 1.20$, $p > .10$.

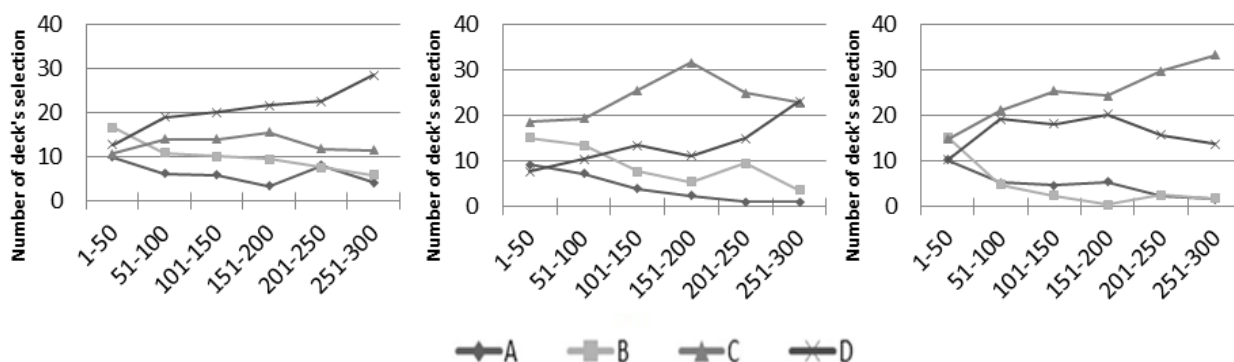


Figure 2 (a, b, c). Number of selections as a function of decks (A, B, C, D), block (each block represented 50 trials) and for each level of expertise (a = Novices, b = Amateurs, c = Experts).

To better understand the task in its entirety, we compared the difference between the three groups for each of the six blocks of 50 trials. For the first block (trials 0-50), the number of cards selected from each deck (A, B, C or D) did not differ significantly according to the groups and deck selections (Novices: $M = 23.40$; $SD = 4.01$; Amateurs: $M = 26.00$; $SD = 10.90$; Experts: $M = 24.78$; $SD = 5.07$). As early as the second block (50-100), the Experts ($M = 40.00$; $SD = 9.25$) differed from the Amateurs ($M = 29.50$; $SD = 13.46$), $p = .039$ (effect of

groups and deck selection is significant, $F(5,52) = 10.77$, $p < .001$) and from the Novices for the third block (100-150; Experts: $M = 43.33$; $SD = 8.03$; Novices: $M = 34.10$; $SD = 10.00$), $p = .018$ (effect of groups and deck selection is significant, $F(5,52) = 27.61$, $p < .001$). By comparing the selections for each group according to the block, we observed that the Novices rapidly stopped progressing and selections remained steady. The Amateurs showed an improvement in their performance from the third block ($M = 38.80$; $SD = 9.15$). At the end of the 300 trials, their selections ($M = 45.70$; $SD = 7.83$) were similar to those of the Experts ($M = 46.90$; $SD = 6.31$), who selected the advantageous deck from the second block and showed a slight improvement through to the end.

Finally, we are interested in the clusters used by the different groups. To determine the types of clusters, we asked participants what was the most advantageous deck in their opinion and calculated when they picked it (or them, sometimes) in more than 90% of cases. In this way, we identified four clusters (see table 2).

Table 2
Percentage of selection from each deck at the end of IGT and percentage of participants in each cluster according to their expertise level.

	Cluster 1				Cluster 2				Cluster 3				Cluster 4			
Decks	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Selection of decks	1	2	95	2	16	21	27	36	0	1	6	93	1	2	46	51
Novices			10				50				40				0	
Amateurs			44				11				44				0	
Experts			44				11				22				22	

Cluster 1 corresponded to the selection almost entirely of deck C (considered as advantageous and low gain-frequency). Cluster 3 corresponded to the selection almost entirely of deck D (advantageous and high gain-frequency). Cluster 2 showed a distribution among decks B, C

and D (with the selection of the two advantageous decks and the deck with high gain-frequency). The last cluster, the fourth, corresponded to the selection of decks C and D (considered as advantageous decks). Fifty percent of Novices still preferred the wrong Cluster 2 at the end of the task. In contrast, only eleven percent of Experts and Amateurs preferred this one (significant difference with novices, $X^2(2) = 24,93$, $p < .001$). The rest of our Novice group accounted for ten percent of the sample in Cluster 1 (selection of deck C) and forty percent in Cluster 3 (selection of deck D). Twenty-two percent of Experts accounted for Cluster 4, which, we noticed, contained no Amateurs or Novices.

D. DISCUSSION

Our main objective was to study the decision-making capacities of chess experts. In line with the literature, we put forward the hypothesis that decision-making capacities increase with the level of expertise. We used a computerized modified version of the IGT to study the decision-making capacity of three groups of chess players. We observed higher earnings in IGT according to expertise. To explain this, we studied the different strategies used by each group by means of certain indicators (deck selections, inflexion point, and cluster analysis). In the first place, although we observed no difference between the three groups at the beginning, disengagement from disadvantageous decks seems to be more efficient with higher expertise levels. Furthermore, the inflexion point was reached earlier by Experts and Amateurs and hence they seemed to be aware of the risk associated with certain decks earlier than Novices. However, the Amateurs appeared unconfident in their choices and extensively investigated other decks. Like Experts, but with less efficiency, Novices constantly disengaged from disadvantageous decks starting from the inflexion point. Our Cluster analysis identified several strategies engaged by each group. Three of them were nearly the same as in the study

by Horstmann et al. (2012). Cluster 2 represents a wrong strategy with the selection of high gain-frequency rather than advantageous decks. Clusters 1 and 3 show a practically exclusive selection of one of the two advantageous decks, respectively deck C and deck D. In contrast, our new identified cluster (cluster 4) is characterized by a switch between the advantageous decks (C and D). For the Experts and Amateurs, the distribution between Clusters 1 and 3 seemed to be equal and participants' engagement in one of them could be related to first-trial chance. Half of the Novices were still engaged in Cluster 2 and did not establish a good strategy. The last interesting point of our cluster analysis was the discovery of Cluster 4, in which only some Experts engaged. The other groups were not represented in it. The Experts and Amateurs were consequently more strongly represented in clusters in which selections turned toward advantageous decks. Thus, an increasing level of expertise in chess seems to offer a greater chance of overcoming the difficulties faced in the IGT. But how can we explain this ?

A good explanation could be provided by Bechara et al. (1997) on this point. In their opinion, decision-making takes two parallel paths. The first one is a "reasoning" path that directly confronts facts (extracts from the actual situation) with available options that will be considered to test the possible consequences offered by each. The other path is "emotional" and provides pieces of information related to previous emotional experiences of comparable situations. These experiences work on the reasoning strategies to guide the process leading to the decision. In some cases, they also can limit the number of available options. In much narrower situations the decision can even pop into the mind through the mere activation of anterior emotional experiences. In accordance with this model, we think that a greater integration of anterior emotional experiences in the steps involved in decision-making could explain the better results of experts in IGT. Indeed, as we have seen, IGT was created to distinguish VM patients from the healthy population (Saver & Damasio, 1991). VM patients

are unable to take suitable decisions in ambiguous situations requiring emotional involvement, as in the IGT. Therefore, the good decision-making capacity of experts in IGT could conversely be attributed to this integration of emotion in reasoning strategies.

Our results do not provide sufficient elements to confirm this theory, but we think that it is an important aspect to emphasize. These results need to be considered in future studies in which further analyses of emotional components are required. A wide range of measurements is necessary to fully understand the potential importance of emotions in the expert's reasoning, from self-reported measures to physiological analyses (e.g. electrodermal response, heartbeat dynamics...). It also seems important to replicate our results with other decision-making tasks and expert populations.

In conclusion, IGT results improve with an increase in level of expertise in chess. There is every reason to believe that either chess may develop decision-making capacities or good decision-making capacities may engage people in the development of expertise. These better results are achieved through the rapid implementation of better strategies and especially the specific strategies of experts. Our study shows that as well as deliberate practice, decision-making could also be involved in expertise development. Decision-making capacities are very important in chess, and the abilities developed in this field could be transferable to other fields. Our proposal of a better integration of anterior emotional experiences in the process of experts' decision-making needs to be tested in other studies. But this assumption is potentially the reason why the human brain is and always will be better than computers. In future studies we will also have to identify whether it is possible to generalize these results to experts in many fields or whether they are limited to our expert chess population.

E. CONCLUSION EN FRANÇAIS

Les résultats comportementaux recueillis dans cette expérience semblent en effet indiquer que les décisions prises par les experts sont particulièrement intéressantes afin de performer à la tâche. Nous avons d'ailleurs pu identifier la mise en place d'une nouvelle stratégie, non représentée au sein de la littérature, dans notre population experte. Ces résultats laissent à penser qu'à l'inverse des patients VM étudiés par Damasio, les experts sont capables de performer efficacement à l'IGT. De plus, notre protocole a également permis de démontrer que leurs performances sont bien supérieures à une population contrôle.

5.2 EXPERIENCE 2 - EXPERTISE ET PRISE DE DECISION : LES JOUEURS D'ECHECS ET DE GO EFFECTUANT L'IOWA GAMBLING TASK

Suite à cette première expérience, nous avons décidé de continuer notre investigation des processus décisionnels des experts au travers de l'Iowa Gambling Task. Cette décision est motivée principalement par la volonté de répliquer les résultats obtenus précédemment. Ceci tout d'abord au sein de la même population d'experts que dans l'expérience 1, afin de confirmer nos résultats. Et également dans une seconde population experte, composée de joueurs de Go, qui est une discipline ayant des caractéristiques similaires au jeu d'échecs. Cette seconde population nous permettra de montrer que les marqueurs somatiques peuvent être un cadre de référence pour la compréhension des processus décisionnels de divers domaines d'expertises et non seulement des joueurs d'échecs. Le jeu de Go présentant un nombre de possibilités encore plus important que le jeu d'échecs, nous faisons également l'hypothèse que la décision des experts de cette discipline sera meilleure que celle des joueurs d'échecs. Notre objectif est également de mettre en place un protocole nous permettant de recueillir les données de réponse électrodermale des participants afin de pouvoir ajouter des éléments physiologiques aux données comportementales précédemment recueillies. Ces

données physiologiques sont utilisées dans la littérature concernant les marqueurs somatiques. Leur recueil permettra ainsi d'obtenir une mesure plus directe de ces marqueurs sur le processus décisionnel des experts.

Trincherini, R., & Postal, V. (en préparation). Expertise et prise de décision : Les joueurs d'échecs et de Go effectuant l'Iowa Gambling Task.

A. INTRODUCTION

Les capacités des joueurs d'échecs sont étudiées depuis de nombreuses années (Charness, 1989). Les performances des joueurs ont d'abord été associées à une mémorisation prodigieuse des positions de pièces sur l'échiquier qui serait acquise par l'expérience (De Groot, 1946, cité dans Didierjean, Ferrari, & Cauzinille-Marmèche, 2004). Chase et Simon (1973) découvriront ensuite que cette capacité de mémorisation n'est observable que lorsque les positions présentes sur l'échiquier correspondent réellement à des configurations de jeu possibles. En d'autres termes, un positionnement aléatoire des pièces ne permettrait pas aux experts de mieux mémoriser leurs positions. Ce dernier point a depuis été contesté notamment par Gobet et Simon (1996) qui ont observé que les experts avaient tout de même de meilleures performances dans cette tâche qu'une population non experte. Selon eux, cette performance serait attribuable au fait que les experts parviennent à distinguer certaines configurations spécifiques au sein d'une globalité aléatoire. Ces différents éléments ont amené Gobet et Simon (1998) à établir la théorie des "Templates". Cette théorie postule que les configurations de pièces sont regroupées en mémoire, mais surtout que les experts vont leur associer un sens qui leur permettra à la fois de reconstruire l'histoire de la position observée (se souvenir des coups précédents) et de déterminer les possibilités les plus intéressantes qu'offre la position. Cet aspect sémantique permet également de prendre en compte les variantes de positions de jeu. Ainsi des positions ne variant que par une ou deux infimes différences sont encodées de

la même façon en mémoire. L'importance de ces aspects mnésiques et sémantiques est communément acceptée dans la littérature. Néanmoins l'interprétation de leur développement chez les experts porte encore aujourd'hui à débat et deux théories distinctes en ont émergé.

La première de ces deux théories a été introduite par Ericsson, Krampe et Tesch-Romer (1993) et met l'accent sur l'importance de la pratique délibérée. Selon cette théorie, afin de développer efficacement ses capacités jusqu'à un niveau expert, l'individu doit pratiquer intensivement le domaine en question avec l'objectif de progresser au sein de celui-ci. Elle postule également que les compétences développées ne sont pas généralisables, mais seulement applicables au domaine d'expertise. Les experts auraient donc à la fois des compétences spécifiques exceptionnelles, mais un fonctionnement cognitif général relativement normal. Selon Ericsson (2016), ces capacités expertes peuvent être atteintes par n'importe quelle personne, la seule chose qui importe étant de trouver le bon entraînement afin de développer ses compétences. Cette théorie a depuis été critiquée. Plomin, Robert, Shakeshaft, McMillan et Trzaskowski (2014) reprochent notamment à Ericsson de négliger de nombreux facteurs génétiques, en particulier dans les disciplines nécessitant un niveau physique élevé. Des recherches ont notamment montré l'influence de certains gènes sur la performance (Ma et al, 2013, cité dans Plomin et al, 2014). De plus, il a été observé que certaines facultés cognitives générales étaient corrélées positivement avec le niveau d'expertise. Les recherches de Grabner, Stern et Neubauer (2007) ou De Bruin, Kok, Leppink et Camp (2014) ont notamment montré des corrélations positives entre le niveau d'expertise et le QI. Le même type de lien a été observé avec le niveau de motivation (De Bruin, Rikers, & Schmidt, 2007) qui viendrait agir indirectement sur le niveau d'expertise en favorisant la mise en place d'une pratique délibérée du domaine. Cette mise en place pourrait également selon Chamberlain, McManus, Brunswick, Rankin et Riley (2015) être expliquée par des différences en termes de personnalité. Ackerman (2014) précise, quant à lui, qu'il serait

dangereux de négliger les facteurs individuels au sein du développement de l'expertise et de laisser croire que nous sommes tous égaux face au développement de nos compétences. Une récente méta-analyse a d'ailleurs mis en évidence l'existence d'une corrélation positive entre certaines habilités cognitives et l'expertise aux échecs (Burgoyne et al 2016).

Hambrick et al. (2014) et plus récemment Macnamara, Moreau et Hambrick (2016) ont par ailleurs montré que la pratique délibérée n'explique qu'une infime partie de la variance concernant les performances expertes dans divers domaines. Ericsson (2016) a critiqué la méthodologie utilisée dans plusieurs expériences comprises dans cette dernière étude afin d'évaluer la pratique délibérée. Selon lui, Macnamara et al. (2016) se sont contentés de rassembler le nombre total d'heures passées à s'entraîner sans prendre en compte le type d'entraînement réalisé. Les auteurs traiteraient donc de manière égale les heures passées à pratiquer avec un professeur et le temps passé en compétition ou à regarder d'autres personnes jouer. Selon Ericsson, la pratique délibérée ne peut pas être évaluée en mettant ces différents aspects de la pratique sur un même pied d'égalité. Il précise notamment qu'un entraînement spécifique (conseillé par un professeur) comprenant un but précis à atteindre et un retour immédiat sur les réponses données est un type de pratique délibérée primordial pour bon nombre de domaines d'expertise. Macnamara, Hambrick et Moreau (2016) répondent à Ericsson en lui disant que bon nombre de ses propres études ne prennent en compte que ce nombre total d'heures passées à pratiquer. Ils lui rappellent également que la pratique sous contrôle d'un professeur n'est qu'un type particulier de la pratique délibérée et non une condition nécessaire. Néanmoins, afin de répondre aux critiques qui leurs sont adressées, Macnamara et al. (2016) ont montré qu'il n'existait aucune différence concernant la variance expliquée par la pratique délibérée quelle que soit la mesure utilisée dans les différentes études.

Cela a mené Ullén, Hambrick et Mosing (2016) à créer un modèle prenant en compte de multiples facteurs dans le développement de l'expertise (Multifactorial gene-environment interaction model ; MGIM). Ce modèle dans sa forme la plus simple explique que les performances vont se développer grâce à des facteurs génétiques et environnementaux. Bien qu'au sein de ce modèle, la pratique délibérée occupe une place centrale, celle-ci n'est pas exclusive et le modèle prend en compte de nombreux facteurs, tel que la motivation, la personnalité... Ces facteurs généraux pourront avoir une influence directe sur le développement de l'expertise ou indirecte en influençant la mise en place d'une pratique délibérée.

L'objectif de ce modèle et des recherches que nous venons de présenter n'est pas de remettre en question le fait que la pratique délibérée soit un facteur explicatif du développement de l'expertise, mais seulement son statut de facteur principal. Au vu de ces résultats, il nous semble que bon nombres de facteurs et notamment des facteurs cognitifs pourraient avoir une part explicative importante concernant les performances expertes. Nous nous sommes donc questionnés sur la population à étudier ainsi que sur le facteur que nous allions évaluer.

Salthouse (1991) postule que toute recherche concernant l'expertise doit être composée de trois étapes distinctes. La première étape consiste à découvrir et lister les difficultés ressenties par un novice lorsqu'il est confronté à la tâche. Ce travail préliminaire est selon lui nécessaire afin de trouver les besoins des novices qui sont spécifiques à la tâche réalisée. La deuxième étape nécessite de trouver de quelle façon ces difficultés sont dépassées. Cette étape est justement au cœur du débat que nous avons vu précédemment concernant l'importance de la pratique délibérée. Pour terminer, la troisième étape propose de tenter de comprendre quels sont les mécanismes permettant ces modifications de performance.

Dans notre étude, nous avons tout d'abord décidé de sélectionner une population d'experts aux échecs qui est largement étudiée et acceptée au sein de la littérature. Salthouse a établi que le problème majeur des novices dans ce domaine était de "ne pas savoir quoi faire face à la tâche". Ils ne sont donc pas capables de prendre des décisions face à la multitude de choix qui s'offrent à eux. Au contraire, dans de nombreux cas, les experts semblent avoir une facilité presque intuitive à décider quelle est la meilleure option parmi l'ensemble des possibles (Klein, 2003 ; Chase et Simon, 1973). Suite à cela, nous nous sommes demandés si un domaine comprenant davantage d'options possibles nécessitait également de meilleures capacités décisionnelles. Nous avons donc décidé d'inclure dans notre étude une population de joueurs de go. Le Go est une discipline encore peu connue en occident mais réputée pour avoir un nombre de possibilités largement supérieur à celui des échecs. A l'instar de ce dernier, il s'agit également d'un jeu de plateau défini comme un jeu de réflexion et de décision qui dispose d'informations complètes et parfaites (Mycielski, 1992). Un jeu à information complète est un jeu qui permet à chacun des participants de connaître à n'importe quel moment ses possibilités d'actions et celles de son ou ses adversaires. Les joueurs peuvent également être conscients des bénéfices de chacune de leurs options de jeu et des motivations des autres joueurs. Le jeu d'échecs et le jeu de Go sont également des domaines à information parfaite, c'est-à-dire que les joueurs disposent des informations concernant l'évolution de l'entièreté de la partie et peuvent en reconstruire l'histoire. Enfin, ces jeux sont à somme nulle, ce qui veut dire que les bénéfices obtenus par un participant entraîneront une perte proportionnelle sur les autres joueurs (Bowles, 2004). Ainsi, il est impossible pour un joueur de se rapprocher de la victoire sans diminuer les probabilités de victoire de ses adversaires. La théorie des jeux permettrait de définir encore plus précisément les caractéristiques de ces deux domaines, mais nous avons préféré nous limiter à la description de ces quelques aspects

présentant les similitudes entre Go et échecs. Ces aspects étant particulièrement intéressants à prendre en compte dans le cadre de l'étude de la décision des experts de ces domaines.

Nous pensons donc que le jeu d'échecs et le jeu de Go devraient être composés d'experts présentant des capacités de prise de décision encore plus performantes que le reste de la population, ceci incluant également la population d'experts du jeu d'échecs. Dans l'optique du modèle MGIM proposé par Ullén, Hambrick et Mosing (2016), nous tâcherons de voir si ces performances décisionnelles en plus d'être observées au sein du domaine d'expertise sont également observables dans des tâches plus générales. Les capacités de prise de décision de nos deux groupes d'experts vont donc être évaluées et ce dans un contexte éloigné de leur domaine d'expertise.

De nombreuses tâches évaluant les capacités de prise de décision existent, mais Saver et Damasio (1991) ont montré que celles-ci présentaient certains problèmes. En effet, ils se sont aperçus que des patients présentant des lésions dans la partie ventro-médiane du cortex préfrontal (patients VM) avaient de bons résultats à ces tests (e.g., “The means ends problem-solving procedure”; “the cartoons ends predictions test”) alors qu'ils étaient pourtant incapables de prendre des décisions dans leur vie de tous les jours. Cette incapacité à prendre des décisions serait liée selon les auteurs à un déficit émotionnel (Bechara, 2004). Par ailleurs Damasio postule que si ces tâches sont inefficaces pour mettre en évidence ce déficit, c'est parce qu'elles n'impliquent pas que la décision prise soit suivie d'une action à exécuter et ayant une réelle implication pour eux. Bechara, Damasio, Damasio et Anderson (1994) vont donc mettre en place une tâche de prise de décision répondant à ces critères: l'Iowa Gambling Task (IGT). Dans celle-ci, le sujet fait face à quatre tas de cartes parmi lesquels il va devoir effectuer cent tirages. A chaque carte tirée, il reçoit simultanément des pertes et des gains dont le total octroiera une perte d'argent, un gain d'argent ou alors ni perte, ni gain. Il commence la tâche avec 2000 euros (2000 dollars dans la version originale) et doit tenter de maximiser ses

gains tout en sachant que certains tas (qu'il lui faudra découvrir) sont plus avantageux que d'autres.

Tableau 1
Structure de l'IGT, adapté pour des participants français (dollars modifiés en euros) d'après Bechara et al (1994)

	Tas A	Tas B	Tas C	Tas D
Gain	100€	100€	50€	50€
Perte	250€	1250€	50€	250€
Fréquence de Perte	05/10	01/10	05/10	01/10
Gains pour 10 tirages	-250€	-250€	250€	250€

Dans le tableau 1, nous pouvons voir que les quatre tas diffèrent en fonction de plusieurs facteurs. Pour commencer, les gains obtenus à chaque tirage restent fixes, 100€ pour les tas A et B et 50€ pour les tas C et D. Les pertes associées à ces gains en revanche vont varier d'un tirage à l'autre de sorte que la fréquence des gains ainsi que la valeur des tas sur 10 tirages varient également. Pour être plus précis, les tas A et C ont une faible fréquence de gains (5 gains / 5 pertes), tandis que les tas B et D ont une haute fréquence de gains (9 gains / 1 perte). Du point de vue de la valeur des tas sur 10 tirages, en accord avec l'article de Bechara et al. (1994), les tas A et B sont appelés tas "désavantageux" et feront perdre 250 euros tandis que les tas C et D sont appelés tas "avantageux" et feront gagner 250 euros. Afin de maximiser ses gains, il faut donc sélectionner les tas C et D.

Dans la littérature, il a été identifié que des participants "sains" réalisant cette tâche sont d'abord influencés par les gains et les tout premiers tirages vont donc se tourner vers les tas A et B qui ont les gains les plus élevés. Cependant, au bout de quelques tirages seulement, le tas

A est délaissé du fait de sa faible fréquence de gain. Les sélections se tournent alors essentiellement vers les tas à haute fréquence de gain B et D (Chiu et al, 2007). A la fin des 100 tirages en revanche Horstmann, Villringer et Neumann (2012) ont identifié trois stratégies différentes au sein de leur population (figure 1).

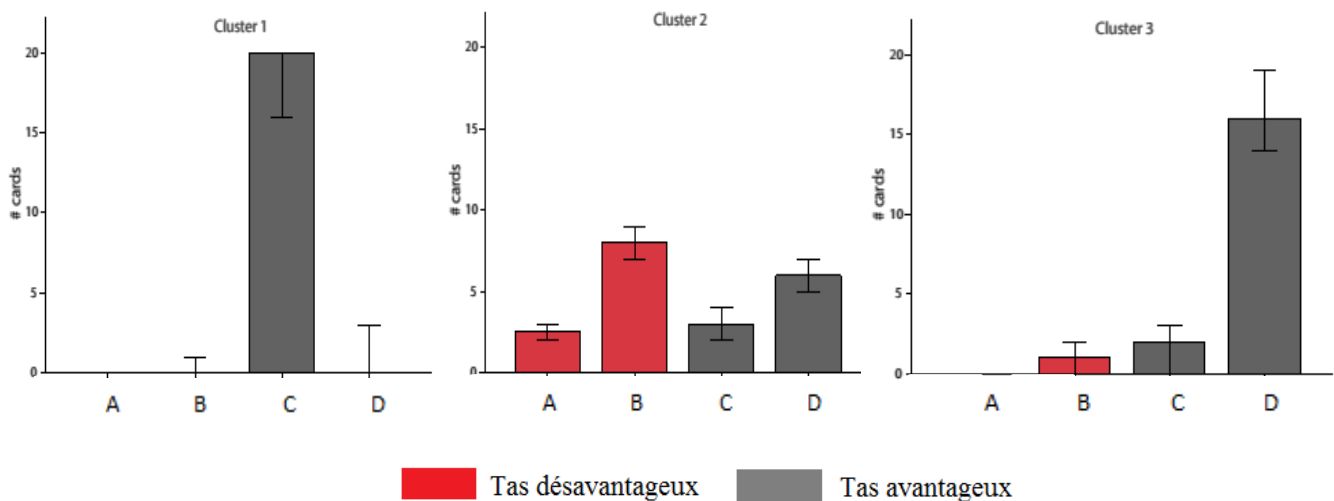


Figure 1. Les trois clusters identifiés en fin d'IGT, d'après Horstmann et al. (2012).

Les personnes présentant des stratégies similaires ont été réunies en différents Clusters. Les Clusters 1 et 3 montrent la mise en place d'une stratégie adéquate face à la tâche. Cette stratégie consiste à focaliser ses sélections sur l'un des deux tas avantageux (C ou D). En revanche, le Cluster 2 démontre une difficulté à mettre en place une stratégie adéquate. Les sélections sont encore effectuées sur l'ensemble des tas et plus particulièrement sur les tas à haute fréquence de gain. De manière assez surprenante, 75% de la population "saine" est pourtant représentée dans ce Cluster 2. D'après Steingroever, Wetzels, Horstmann, Neumann et Wagenmakers (2013), ceci s'explique par le fait que 100 tirages ne sont pas suffisants afin d'évaluer chacun des tas et trouver les plus avantageux. Lin, Song, Chen, Lee et Chiu (2013) ont d'ailleurs observé, dans une version de l'IGT comprenant 300 essais, que pour la plupart

des individus la valeur des tas à long terme devenait primordiale après les 200 premiers essais seulement. En d'autres termes, 200 à 300 sélections semblent nécessaires afin de prendre pleinement conscience du bénéfice lié à la sélection des tas avantageux (C et D).

Pour terminer, Maia et McClelland (2005) ont conclu que l'IGT était trop facilement compréhensible pour une population "saine" et que la différence réelle avec les patients VM résidait justement dans cette compréhension de la tâche. Sur ces dires et à partir des travaux de Brand, Recknor, Grabenhorst et Bechara (2007) qui avaient établi la distinction entre prise de décision en contexte ambigu et prise de décision en connaissance du risque, Gansler, Jerram, Vannorsdall et Schretlen (2011) établissent le concept de point d'inflexion. Le point d'inflexion représenterait justement le passage de ce contexte ambigu dans lequel l'individu n'a pas de connaissance concernant l'espérance de chaque tas à un contexte où celui-ci commence à cerner les différences entre les tas. Dans ce cadre, le problème de la compréhension de la tâche pour les patients VM soulevé par Maia et McClelland (2005) serait dû au fait qu'ils aient davantage de difficultés à passer le point d'inflexion. Au vu des nombreux indicateurs dont elle dispose, l'IGT semble donc être un outil idéal pour mesurer les capacités de prise de décision de nos experts, mais qu'en est-il de l'aspect émotionnel dont nous parlions ?

Comme nous l'avons dit précédemment, le problème des patients VM proviendrait d'un déficit émotionnel. Bechara, Damasio, Tranel et Damasio (1997) ont établi un modèle de prise de décision incluant les émotions dans son processus. Ce modèle postule que lorsqu'un individu est confronté à une situation, deux voies de traitement de l'information vont se mettre en place (figure 2).

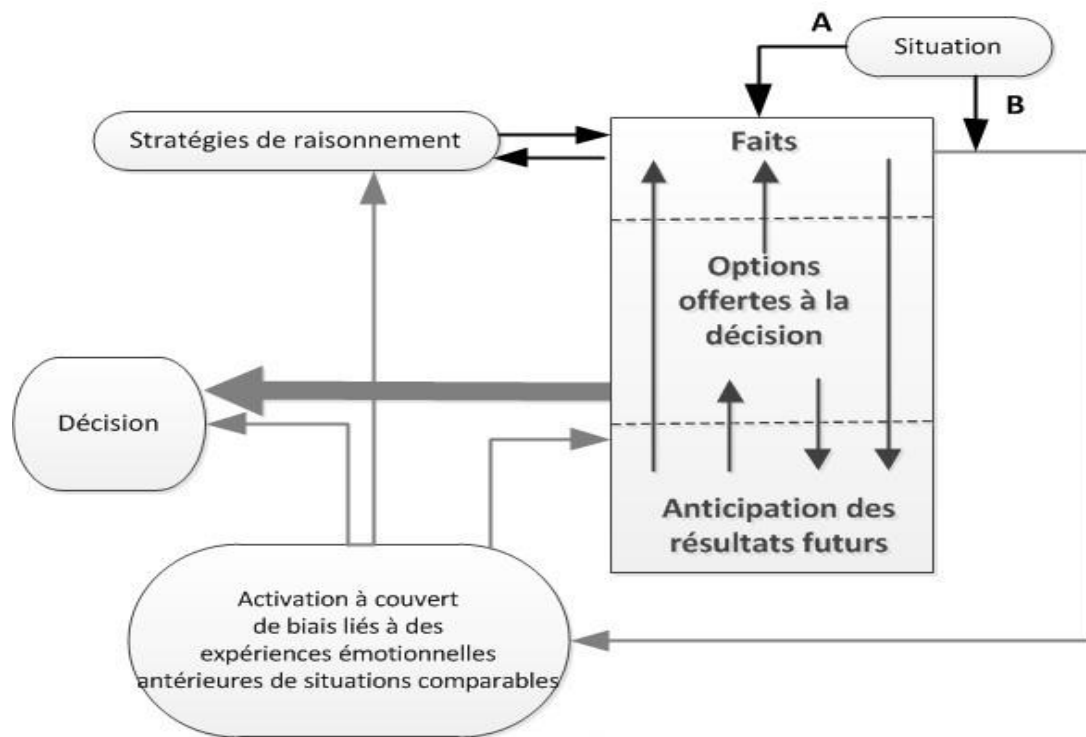


Figure 2. Modèle intégratif des émotions dans la prise de décision, d'après Bechara et al. (1997).

Une première voie que l'on pourrait qualifier de "voie de la raison" (voie A), s'attarde sur les faits actuels, caractéristiques de la situation en cours. A partir de ces données et des stratégies de raisonnement mises en place, elle tentera alors de prendre en considération l'ensemble des options qui sont offertes à l'individu et d'anticiper le résultat de ces différentes options. Cette voie représente le processus de décision tel qu'il est communément accepté dans la littérature. La seconde voie est dite "émotionnelle" (voie B), elle postule que des expériences émotionnelles antérieures enregistrées dans des situations comparables à la situation actuelle vont influencer le raisonnement menant à la prise de décision. Bechara et al. (1997) ont identifié trois types d'influences distinctes de cette voie émotionnelle sur la prise de décision. La première entraîne une action directe sur la décision à prendre qui expliquerait notamment les phénomènes d'intuition liés à certaines situations familières. L'intuition est d'ailleurs selon Dreyfus et Dreyfus (1986) la dernière étape du développement de l'expertise. La seconde influence est davantage de nature prospective. Elle permet à l'individu d'évaluer

émotionnellement les options qui s'offrent à lui et d'anticiper les résultats futurs de ses actions. Par conséquent le nombre de possibilités envisagées face à la situation est réduit. Dans un troisième cas, ces expériences émotionnelles antérieures sont intégrées aux stratégies de raisonnement. Ce dernier point peut être mis en lien avec la théorie des marqueurs somatiques développés par Damasio, Everitt et Bishop (1996). Cette théorie postule en effet que les marqueurs somatiques représentent des réactions physiologiques pouvant s'activer afin de guider les décisions que doit prendre un individu. Ces réactions physiologiques seraient créées par les expériences émotionnelles antérieures vécues par l'individu dans des contextes semblables au contexte actuel comme dans le modèle de Bechara et al. (1997).

La mesure de la réponse électrodermale (RED) semble être appropriée afin d'évaluer cette intégration émotionnelle. La RED est une mesure physiologique que l'on peut capter en plaçant des électrodes sur la paume de la main d'un individu (pour des recommandations concernant le branchement des électrodes et l'acquisition des données, voir Boucsein et al., 2012). Les électrodes captent un signal électrique reflétant l'activité de plusieurs zones cérébrales impliquées dans les émotions tel que le cortex préfrontal ventro-médian ou les structures limbiques (Grapperon, Pignol, & Vion-Dury, 2011). Ce signal électrique peut alors être évalué au travers de différents indicateurs. Concernant la prise de décision, le niveau de conductance cutanée (SCL : "skin conductance level") semble être un bon indicateur (Figner & Murphy, 2011). Cette SCL représente la moyenne des niveaux de conductances mesurés à différents moments de l'acquisition des données (Boucsein, 1992 ; cité dans Figner & Murphy, 2011). Dans le cadre de l'IGT, il semble intéressant de réaliser ces acquisitions pour chaque tirage de carte. Dans une analyse de conductance, un très faible courant (communément 5 micro siemens) est envoyé dans l'une des deux électrodes. Les pores de la peau séparant les deux électrodes vont alors fonctionner de la même manière que des résistances en limitant ou en favorisant le passage du courant en fonction de la sudation

présente sur cette parcelle de peau (Fowles, Christie, Edelberg, Grings, Lykken, & Venables, 1981). Une sudation importante favoriserait donc la conductivité de la peau et ce haut niveau de conductivité serait indiqué par une SCL élevée.

Notre étude tentera donc de confronter les théories vues précédemment concernant le développement de l'expertise. L'approche proposée par Salthouse (1991) nous a permis de constater que les capacités de prise de décision étaient intéressantes à étudier chez nos experts aux échecs et au go. Il ne nous est pas possible d'identifier si ces capacités, que l'on postule être plus performantes dans nos groupes d'experts, se sont développées parallèlement ou préalablement au développement de l'expertise. Néanmoins, dans tous les cas les capacités de prise de décision ne seraient pas simplement limitées au domaine d'expertise, mais bien transférables à d'autres domaines. Concernant l'IGT, plusieurs indicateurs sont disponibles afin d'apprécier les qualités de prise de décision de nos sujets (gain obtenu en fin d'IGT, sélections effectuées et identification des clusters). De plus, cette tâche a été créée afin de mettre en évidence le déficit de prise de décision des patients VM qui serait relié à un déficit des marqueurs somatiques. L'IGT semble donc nécessiter une intégration des émotions dans le processus de prise de décision. Or si cette intégration émotionnelle déficitaire est la cause de la mauvaise performance des patients VM à l'IGT, la performance supérieure des experts à ce même test pourrait quant à elle être liée à une meilleure intégration émotionnelle et donc une meilleure utilisation des marqueurs somatiques. Une précédente étude menée par Trinchini et Postal (en révision) semble effectivement corroborer cette hypothèse. Dans cette étude, les performances de joueurs d'échecs experts ont été évaluées sur la tâche de l'IGT et comparés aux résultats de joueurs de moindre niveau et de novices. Ils ont obtenu de meilleures performances à la tâche, consécutives à la mise en place plus rapide de stratégies efficaces.

Nous faisons donc l'hypothèse que les experts aux échecs et au jeu de Go auront de meilleurs résultats à l'IGT que les non-experts. Ces résultats pourront être appréciés grâce à la comparaison des gains amassés par nos différents groupes d'études, mais également au travers de l'analyse des sélections effectuées sur chacun des tas indépendamment et en les regroupant en fonction de leur espérance à long terme (avantageux Vs désavantageux). Le point d'inflexion de chacun des groupes est lui aussi calculé avec l'hypothèse que les experts l'atteindront plus précocement que les non-experts. Les experts devraient également mettre en place des stratégies plus efficaces que les non-experts. Enfin, nous voulions mesurer la réponse électrodermale (RED) de nos participants avec pour hypothèse que les experts présenteraient un niveau de conductance cutanée (SCL) plus élevé que les non-experts durant toute la partie de la tâche précédant le point d'inflexion, c'est-à-dire durant la phase de prise de décision en contexte ambigu. Sur l'ensemble de ces points, nous faisons également l'hypothèse que les experts au Go auront des performances supérieures à celles des experts aux échecs. Nous faisons cette hypothèse en nous basant sur le fait qu'un domaine proposant un nombre de possibilités supérieur à celui des échecs devrait également comporter des individus avec des capacités décisionnelles supérieures. Cependant, à titre exploratoire nous regarderons également les différences existantes entre les stratégies employées par les deux groupes d'experts. Malgré leurs similitudes évidentes ces domaines présentent également des dynamiques différentes sur lesquels l'étude des stratégies employées à l'IGT pourra nous renseigner.

B. MÉTHODOLOGIE

Population : Notre population est composée de 49 participants répartis en 3 groupes distincts. Un groupe d'experts aux échecs ($n_1 = 12$) sélectionnés parmi un panel de joueurs ayant un

classement ELO (Elo, 1978) supérieur à 2000 (selon la fédération internationale d'échecs ; e.g., Gerdes et al., 2010 ; Rennig et al., 2013) et un groupe d'experts du jeu de Go ($n_2 = 19$) dont le classement Kyu est inférieur à 6 (ces classements représentant le niveau des joueurs au sein de leur discipline). Le classement Kyu étant dégressif, contrairement au classement ELO. Cependant il est impossible d'établir une correspondance exacte entre les classements Elo et le classement Kyu. La fédération européenne de Go considère les joueurs dont le classement est inférieur à 6 kyu comme des pratiquants confirmés et expérimentés. A l'inverse du classement Elo pour les joueurs d'échecs (joueurs ayant un classement Elo supérieur à 2000) il n'est pas déterminé de limite dans la littérature proposant un niveau précis à partir duquel le joueur de Go peut être qualifié d'expert. Nous avons donc décidé de sélectionner les individus les plus expérimentés et performant possible nous permettant tout de même d'obtenir un échantillon assez important de la population de joueurs. Nous avons également fait attention au fait que ceux-ci aient bien au minimum dix années de pratique comme le préconise Ericsson (2014). Notre groupe contrôle ($n_3 = 18$) est quant à lui composé de personnes ne jouant pas aux échecs ou au Go et de manière plus générale à aucun jeu de stratégies. L'ensemble des participants de notre étude a été sélectionné parmi la population française quel que soient leur âge, leur sexe, leur niveau éducatif ou leur domaine d'activité professionnel. Nous avons également exclu de nos analyses les personnes étant sous traitement médicamenteux.

Matériel et procédure : Nous avons décidé de faire passer aux participants une version informatisée de l'IGT composée de 300 tirages que nous avons créée avec le logiciel E-prime (version 2.0.10). Ces expériences ont été réalisées auprès de divers clubs d'échec de la Gironde et durant le tournoi de Malakoff 2017 en ce qui concerne les joueurs d'échecs. Pour les joueurs de Go, les passations se sont déroulées durant les championnats de France 2017. Nous mesurons la réponse électrodermale des participants à l'aide de capteurs reliés à un

Biopac MP150 qui sont fixés sur la paume de la main. Suite à cela, un questionnaire sociodémographique est adressé à nos participants afin d'évaluer divers aspects de leur pratique du domaine d'expertise, de leur vie courante, mais également concernant leur analyse de la tâche qu'ils viennent d'effectuer. Le point d'inflexion est identifié lorsque le nombre de sélections des tas avantageux devient supérieur à celui des tas désavantageux. La fonction `intersectcomplex` de Excel nous permet ensuite d'associer les coordonnées relevées graphiquement au tirage correspondant concernant l'IGT et ainsi être plus précis dans la détermination du point d'inflexion. L'analyse de cluster se fait tout d'abord par analyse visuelle comme il l'a été recommandé par Venables et Ripley (1994) dans des cas similaires. Afin d'être certains que les modes de réponse identifiés chez nos participants soient réellement le signe de la mise en place d'une stratégie, nous leur demandons (en fin d'IGT) de nous dire quel tas était pour eux le plus avantageux. Nous considérons que la personne s'est inscrite dans un cluster et donc a mis en place une stratégie lorsque celle-ci va sélectionner le tas qu'elle considère le plus avantageux dans plus de 90% des cas.

Nous avons réalisé des analyses de variance (ANOVA) afin d'évaluer les différences entre nos groupes d'étude concernant le total des gains obtenus à l'IGT et les sélections effectuées. L'analyse des sélections a été conduite sur chacun des tas indépendamment, mais également en réunissant les tas en fonction de leur espérance à long terme (Tas avantageux VS Tas désavantageux). Les analyses post-hoc ont été réalisées avec une correction de Bonferroni. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio.

L'identification du point d'inflexion a été réalisée par l'identification graphique du point de croisement des courbes des tas désavantageux et tas avantageux (moment où les tas avantageux commencent à être davantage sélectionnés). Ces coordonnées graphiques sont alors associées à un tirage précis à l'aide de la fonction `IntersectComplex` de Excel.

Concernant les analyses liées à l'activité émotionnelle, nous avons recueilli la SCL des participants. Ces données ont été analysées grâce au logiciel AcqKnowledge.

C. RÉSULTATS

La première analyse réalisée concerne le total des gains obtenus à l'IGT et nous révèle une différence significative entre nos groupes, $F(2,46) = 4,56$, $p = .016$. Notre population contrôle obtient en effet un gain plus faible ($M = 4025$) que les groupes d'experts aux échecs ($M = 6300$), $p = .046$ et d'experts au Go ($M = 6568,42$), $p = .010$. Nous ne constatons aucune différence entre nos deux groupes d'experts.

Nous avons ensuite réalisé l'étude des 100 premiers tirages (figure 3, a-b-c), telle qu'elle peut être effectuée dans la littérature, c'est-à-dire en comparant les sélections des tas avantageux (C et D) et des tas désavantageux (A et B). Ces sélections sont évaluées sur l'ensemble des 100 tirages mais également par bloc de 20 tirages (annexes 2, 3 et 4). Nous avons ainsi mis en évidence qu'il existait une interaction double concernant le type de sélection effectuée (avantageuse VS désavantageuse) en fonction de nos groupes expérimentaux et de ces blocs de 20 tirages, $F(8,450) = 2,00$, $p = .045$.

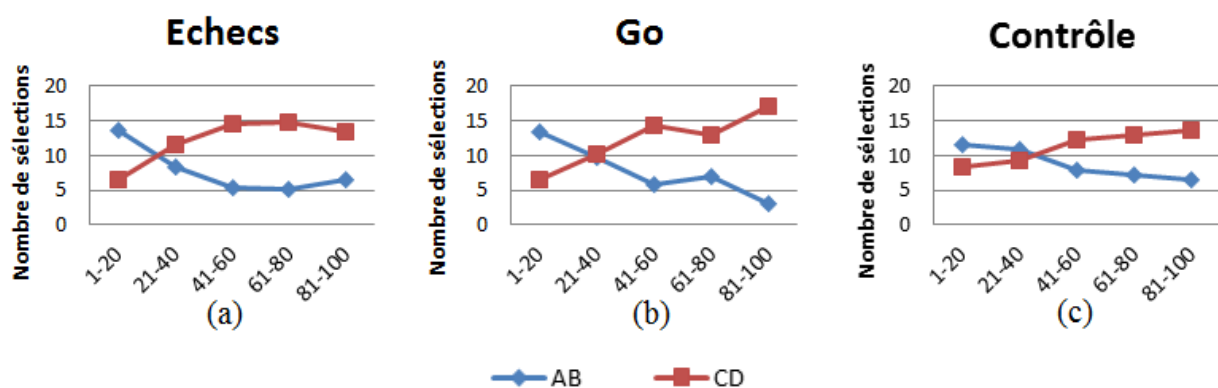


Figure 3 (a, b, c). Sélection des tas désavantageux (AB) et avantageux (CD) par les experts aux échecs (a), au Go (b) et le groupe contrôle (c) par bloc de 20 tirages.

Des analyses en sous-plan ont montré que la différence entre les groupes concernant le type de sélection était significative dès le début de la tâche (tirages 1-20), $F(5,90) = 9,93, p < .001$. Durant les tirages 21-40 en revanche les différences entre les groupes concernant les sélections de tas n'est plus significative, $F(5,90) = 0,66, p > .10$. L'écart entre nos groupes redevient significatif à partir des tirages 41-60, $F(5,90) = 7,13, p < .001$. Dès les tirages 61-80, les experts aux échecs sélectionnent significativement plus les tas avantageux que les tas désavantageux, $F(1,94) = 11,11, p = .0012$, tandis que les experts au go, $F(1,142) = 3,06, p = .08$ et le groupe contrôle, $F(1,142) = 2,16, p > .10$ ne différencient pas encore totalement les sélections des deux types de tas. A partir des tirages 81-100, les experts aux échecs, $F(1,118) = 16,92, p < .001$, les experts au go, $F(1,178) = 17,58, p < .001$ et le groupe contrôle, $F(1,178) = 8,62, p = .004$ ont commencé à sélectionner plus avantageusement (plus de sélection des tas C et D). Nous avons ensuite déterminé où se situait le point d'inflexion pour chacun de nos groupes. Les experts aux échecs ont en moyenne atteint le point d'inflexion au tirage 34 (coordonnée graphique : 1,68), les experts au Go au tirage 38 (coordonnée graphique : 1,92) et le groupe contrôle au tirage 45 (coordonnée graphique : 2,26). Nous observons une différence significative entre ces trois groupes en ce qui concerne l'atteinte du point d'inflexion, $F(2,45) = 13,85, p < .001$. Le groupe contrôle atteignant celui-ci plus tardivement que les experts aux échecs, $p < .001$ et les experts au go, $p = .004$. En revanche, les deux groupes experts ne diffèrent pas de manière significative.

Nous avons ensuite analysé les sélections sur l'ensemble de l'IGT (300 tirages) mais également en séparant les sélections par bloc de 50 tirages (annexes 5 et 6). La première analyse que nous avons effectuée concerne une nouvelle fois la sélection des tas avantageux et désavantageux de chacun des groupes au cours de la tâche. La figure 4 présente la différence de sélection entre les tas désavantageux (A et B) et les tas avantageux (C et D). Un

score positif indique donc une sélection plus importante de tas désavantageux, tandis qu'un score négatif indique une sélection plus importante des tas avantageux.

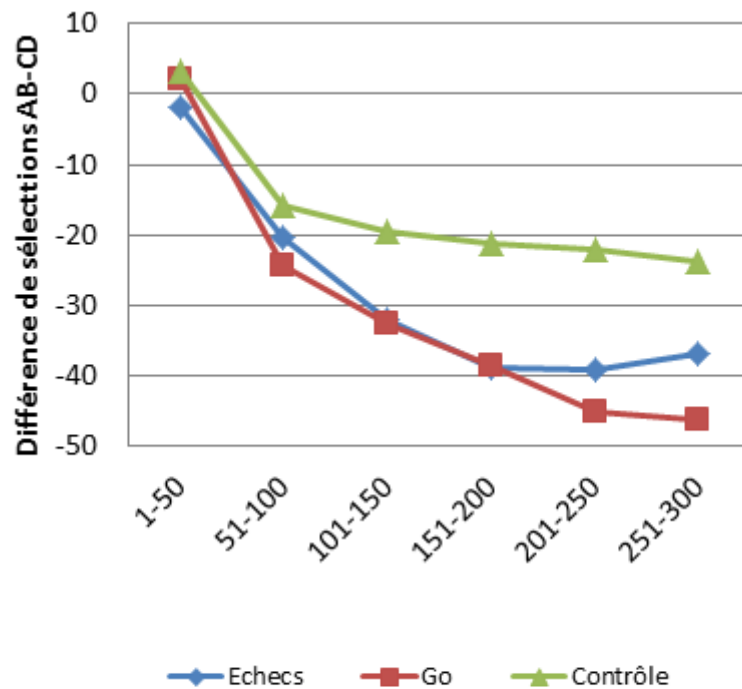


Figure 4 – Différence entre les sélections des tas désavantageux (AB) et avantageux (CD) par les experts aux échecs, au Go et le groupe contrôle par bloc de 50 tirages.

Nous n'avons pas trouvé d'interaction double concernant le type de sélection (avantageuse VS désavantageuse) en fonction de nos groupes et des blocs de 50 tirages, $F(10,54) = 1,30$, $p > .10$. Néanmoins, il existe tout de même des différences entre les groupes concernant la sélection du type de tas, $F(2,29) = 8,52$, $p < .001$, le groupe contrôle sélectionnant significativement moins les tas avantageux que les experts aux échecs, $p = 0.013$ et les experts au go, $p < .001$. Des analyses en sous-plan montrent que la différence est tendancielle entre les groupes pour les tirages 150-200, $F(2,45) = 2,83$, $p = .069$ et significative ensuite, $F(2,45) = 5,35$, $p = .008$.

Afin de voir plus en détail les stratégies des joueurs, nous avons ensuite analysé les sélections pour chaque tas indépendamment (figure 5, a-b-c).

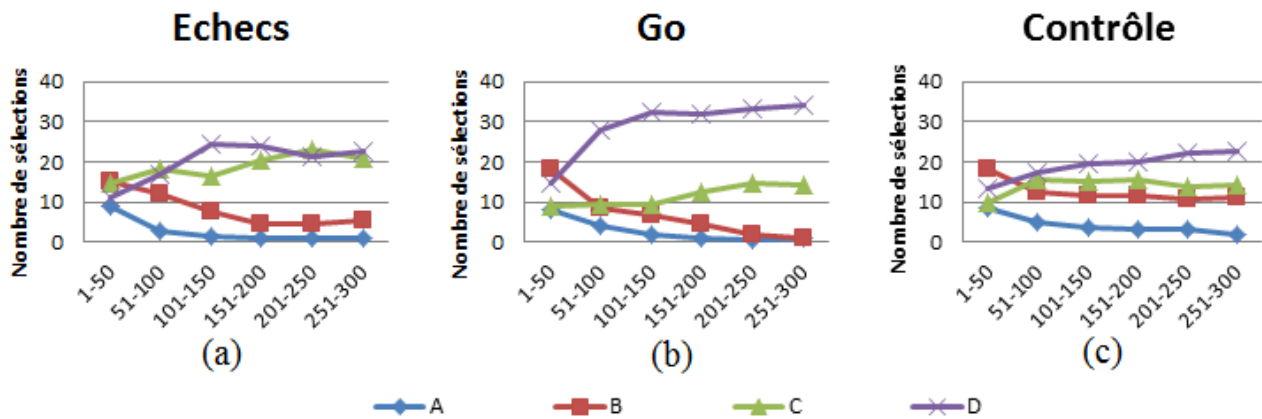


Figure 5 (a, b, c). Nombre de sélections effectuées par tas par les experts aux échecs (a), au Go (b) et le groupe contrôle (c) par bloc de 50 tirages.

Il existe des différences entre les groupes pour chacun des tas. Le tas A est davantage sélectionné par le groupe contrôle que par les experts aux échecs, $p = .037$ et les experts au go, $p = .037$ (effet de groupe significatif, $F(2,29) = 4,71$, $p = .009$). Le groupe contrôle sélectionne également davantage le tas B que les experts aux échecs, $p = .023$ et les experts au go, $p < .001$ (effet de groupe significatif, $F(2,29) = 10,71$, $p < .001$). Les tas désavantageux sont donc tous les deux sélectionnés principalement par le groupe contrôle. Pour les tas avantageux en revanche, les groupes experts effectuent plus de sélections que le groupe contrôle. Les experts aux échecs sélectionnent significativement plus le tas C que les experts au go, $p = .009$ et on observe également un effet tendanciel avec le groupe contrôle, $p = .098$ (effet de groupe significatif, $F(2,29) = 6,46$, $p = .0018$). Le tas D est quant à lui davantage sélectionné par les experts au Go que par les experts aux échecs, $p = .006$ et le groupe contrôle, $p < .001$ (effet de groupe significatif, $F(2,29) = 6,67$, $p = .0015$).

Le dernier point de l'analyse des sélections consiste à voir au sein de chaque groupe le type de sélection qui a été effectué. Ainsi, nous avons observé qu'il existait des différences significatives concernant le nombre de sélections effectuées sur chacun des tas pour les experts aux échecs, $F(1,29) = 63,29$, $p < .001$, les experts au go, $F(1,43) = 161,55$, $p < .001$ et

le groupe contrôle, $F(1,43) = 65,3$, $p < .001$. Les experts aux échecs sélectionnent davantage le tas C que les tas A et B ($p < .001$) et davantage le tas D que les tas A et B également ($p < .001$). Cette différence devient significative dès les tirages 50-100, $F(1,46) = 6,8$, $p = .012$. Les experts au Go en revanche sélectionnent davantage le tas D que les tas A, B et C ($p < .001$). Le tas C est également davantage sélectionné que le tas A ($p < .001$), mais pas plus sélectionné que le tas B ($p > .10$). Les différences deviennent significatives à partir des tirages 50-100, $F(1,70) = 24,63$, $p < .001$. Pour le groupe contrôle, le tas D est davantage sélectionné que le tas A ($p < .001$) et le tas B ($p = .0017$) et le tas C est davantage sélectionné que le tas A ($p < .001$). Il n'existe pas de différence de sélection entre les tas B et C au sein de ce groupe, néanmoins les différences constatées deviennent significatives à partir des tirages 50-100, $F(1,70) = 10,10$, $p = .002$.

Ces analyses de sélection nous ont permis de mettre en évidence qu'il existait des différences dans les sélections effectuées par nos groupes expérimentaux. Nous avons pu ainsi découvrir l'existence de 4 Clusters (représentants les stratégies appliquées en fin d'IGT) au sein desquelles s'intègrent nos participants (tableau 2).

Tableau 2

Pourcentage de sélections effectuées au sein de chacun des tas et répartition de notre population au sein des Clusters identifiés en fonction de leur groupe d'appartenance (experts aux échecs, experts au Go et groupe contrôle).

	Cluster 1				Cluster 2				Cluster 3				Cluster 4			
Tas	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Sélection des tas	1%	0%	98%	1%	9%	43%	14%	34%	1%	3%	5%	91%	0%	0%	80%	20%
Echecs	33,3%				16,7%				50%				0%			
Go	22%				5,5%				67%				5,5%			
Contrôle	22%				50%				28%				0%			

Nous pouvons ainsi constater que les Clusters représentant des sélections avantageuses (Clusters 1, 3 et 4) sont sélectionnés par 83,3% des experts aux échecs, par 94,5 des experts au Go et par seulement 50% de notre groupe contrôle. Nous observons également que les experts au Go vont essentiellement être représentés au sein du Cluster 3 (67%) dont la stratégie va être de sélectionner quasi exclusivement le tas D (tas avantageux et à haute fréquence de gains). De plus, 5,5% de ce groupe a mis en place une stratégie visant à sélectionner des cartes au sein des deux tas avantageux (tas C et D).

Pour terminer, notre dernière analyse concernait la RED des participants. Le recueil des données électrodermales a malheureusement été perturbé par un dysfonctionnement des électrodes utilisées. Les résultats suivants sont donc indiqués à titre purement exploratoire. Nous avons commencé par une analyse de la SCL en fonction des Clusters que nous venions d'identifier. Aucune différence n'ayant été trouvée entre les Clusters, $F(1,35) = 0,74$, $p > .10$, nous avons également analysé les différences en fonction des groupes. Nous observons un effet tendanciel concernant la moyenne des SCL (niveau de conductance cutanée) de nos groupes expérimentaux sur l'ensemble de la tâche, $F(2,34) = 2,48$, $p = .09$. Lorsque la SCL est mesurée après le point d'inflexion, l'effet est également tendanciel, $F(2,34) = 2,73$, $p = .079$. En revanche, les différences sont significatives seulement entre les deux groupes d'experts. Nous avons également décidé de faire le rapport de la différence entre la SCL avant le point d'inflexion et après le point d'inflexion sur la moyenne des SCL de chaque participant et nous obtenons également un effet tendanciel, $F(2,34) = 2,82$, $p = .073$, $1-\beta = .56$. Cette mesure nous permet de prendre en compte le niveau de SCL moyen des participants dans notre calcul des différences entre les SCL enregistrées avant et après le point d'inflexion.

D. DISCUSSION

Dans notre recherche, nous nous intéressions aux capacités de prise de décision générales d'individus ayant développé une expertise dans un domaine. Les experts considérés sont des joueurs d'échecs et de go, deux jeux de stratégie au sein desquelles les possibilités sont nombreuses et où la prise de décision semble être un facteur essentiel. Notre premier objectif était donc de mettre en évidence que les bonnes capacités de prise de décision de ces experts ne se limitaient pas uniquement à leur domaine d'expertise, mais pouvaient également leur donner un avantage dans d'autres contextes. Nous voulions également savoir si les résultats obtenus dans l'expérience de Trinchérini et Postal (en révision) se retrouvaient une nouvelle fois auprès de la population de joueurs d'échecs et si ceux-ci étaient répliquables au sein de la population de joueurs de Go. De plus, nous souhaitions observer des différences entre ces deux populations expertes. Ces différences sont postulées selon deux critères. Premièrement le fait que le jeu de Go présente un nombre de possibilités bien supérieur à celui des échecs. Et deuxièmement, car bien que ces deux domaines partagent des caractéristiques similaires, les divergences existantes devraient entraîner la mise en place de stratégies différentes. Dans cette discussion, nous commencerons par analyser les résultats que nous venons de décrire. Nous pourrions ensuite proposer un cadre interprétatif de ces résultats, ainsi que les perspectives de recherche envisagées.

Nous avons commencé notre analyse par le gain obtenu par chacun des groupes à la fin de l'IGT. Nous avons observé qu'effectivement nos deux groupes d'experts obtenaient davantage de gains que notre groupe contrôle. Les analyses de sélections réalisées ensuite sur les 100 premiers tirages nous ont montré que les groupes d'experts atteignaient plus précocement le point d'inflexion que le groupe contrôle. En d'autres termes, ils parviennent à s'extraire plus rapidement du mode de prise de décision ambigu au profit du mode de prise de décision en connaissance du risque. Les résultats montrent également que les experts aux

échecs sont les premiers à parvenir à sélectionner significativement plus de tas avantageux (C et D) que de tas désavantageux (A et B). Les experts au Go et le groupe contrôle en revanche mettront davantage de temps afin d'y parvenir. Néanmoins, nous pouvons également observer que les experts aux échecs semblent par la suite effectuer de nouvelles sélections sur les tas désavantageux, tandis que les experts au Go continuent d'augmenter rapidement l'écart existant entre leurs sélections des tas avantageux et désavantageux.

L'analyse réalisée sur les 300 tirages montre en effet que nos groupes expérimentaux ne sont pas égaux dans la distinction des tas avantageux et désavantageux sur l'ensemble de la tâche. Les groupes d'experts sont caractérisés par un engagement plus rapide que le groupe contrôle dans la sélection des tas avantageux. Jusqu'au tirage 100 tous les groupes semblent pourtant s'engager rapidement dans cette sélection des tas avantageux. Suite au tirage 100, le groupe contrôle se sépare des deux autres groupes en augmentant peu ses sélections des tas avantageux. Les deux groupes experts continuent conjointement leur engagement rapide dans les tas avantageux jusqu'au tirage 200 à partir duquel les joueurs d'échecs commencent à limiter leur progression. Les experts au Go semblent néanmoins eux aussi commencer à limiter leur sélection des tas avantageux avant la fin des 300 tirages. Cela semble montrer que nous sommes parvenus à un point d'équilibre concernant les sélections de chacun des groupes, montrant ainsi l'efficacité d'une tâche composée de 300 tirages (contrairement aux 100 tirages habituels). L'ensemble des 300 tirages semble donc avoir été nécessaire afin que la totalité des sujets de l'expérience puissent effectuer les sélections qui leurs semblaient adéquates.

Au niveau des sélections, nous observons que la population experte aux échecs semble s'investir à part égale dans la sélection des deux tas avantageux (C et D). Le groupe contrôle augmente également sa sélection des deux tas avantageux au cours de la tâche, néanmoins seul le tas D parvient à se différencier significativement des deux tas désavantageux (A et B).

Le nombre de sélections du tas C (tas avantageux à faible fréquence de gain) augmente tout au long de la tâche mais reste similaire au nombre de sélections du tas B (tas désavantageux à forte fréquence de gains). Notre population d'experts au Go en revanche se désengage de la sélection des tas A, B et C au profit de la sélection du tas D uniquement. Pour bien comprendre ces résultats, il faut se souvenir qu'en début d'IGT les individus sont particulièrement influencés par le gain à court terme et la fréquence des gains. Les tas A et B, en plus d'être désavantageux sur le long terme, sont ceux dont les gains sont les plus importants sur le court terme. Le tas A est rapidement désinvesti, car sa fréquence de gains est faible. Le tas B en revanche possède une fréquence de gain élevée et les individus s'investissent alors majoritairement dans la sélection de celui-ci et dans la sélection du tas D (tas avantageux à haute fréquence de gains). Les individus ayant de bonnes capacités de prise de décision parviennent ensuite à passer outre cette fréquence de gain afin de sélectionner avantageusement. L'engagement des experts au Go dans la sélection quasi exclusive du tas D pourrait par conséquent être lié au fait que ce tas a davantage de chance d'être sélectionné durant les premiers tirages de la tâche. Leur stratégie serait alors de s'investir dans la sélection d'un tas avantageux lorsque celui-ci est trouvé. Au contraire, il semble que les experts aux échecs aient quant à eux besoin de rechercher la solution optimale (trouver le tas le plus avantageux). L'engagement plus important de certains joueurs d'échecs dans la sélection du tas C, ainsi que le nombre plus élevé (comparativement aux joueurs de Go) de sélections effectuées dans les tas désavantageux suite au dépassement du point d'inflexion, semble aller dans ce sens. Ces éléments nous donnent un premier aperçu des différences de stratégie pouvant exister entre nos groupes expérimentaux

Nous avons ensuite réalisé des Clusters afin de découvrir quelles étaient les différentes stratégies employées et combien d'individus s'investissaient dans ces clusters pour chacun de nos groupes expérimentaux. Nous avons notamment identifié des clusters identiques à ceux de

la littérature (clusters 1, 2 et 3). Les clusters 1 et 3 sont avantageux puisque la stratégie associée consiste à sélectionner majoritairement l'un des deux tas avantageux (respectivement C et D). Le Cluster 2 en revanche est désavantageux puisque les sélections sont majoritaires au sein des tas à haute fréquence de gains (B et D). Par conséquent, en mettant en place cette stratégie, les individus vont amasser des gains avec l'un des tas (tas D) et le perdre immédiatement avec l'autre tas (tas B). Nous avons également identifié une stratégie qui n'est pas décrite dans la littérature (Cluster 4) consistant à effectuer des sélections au sein des deux tas avantageux. Ce Cluster avait préalablement été trouvé au sein de la population d'experts du jeu d'échecs (Trincherini & Postal, en révision). Seuls les joueurs de Go sont représentés cette fois-ci au sein de ce cluster. Il est important également de noter que les individus composant le groupe contrôle sont moins représentés au sein des clusters avantageux que nos populations expertes. En revanche, nos groupes d'experts diffèrent peu en ce qui concerne le pourcentage de population investi dans les clusters avantageux. La différence entre ces groupes se situe dans le type de stratégie avantageuse qui a été choisi. Leurs capacités semblent donc être aussi bonnes l'une que l'autre, mais des différences stratégiques sont observées. Celles-ci pourraient être liées aux modalités spécifiques des prises de décisions exécutées au sein de leur domaine d'expertise respectif.

L'ensemble de ces éléments corrobore les résultats obtenus précédemment par Trincherini et Postal (en révision) sur une population d'experts aux échecs. Les recherches en psychologie de l'expertise étant généralement menées sur un nombre limité de sujets, il nous semblait important de pouvoir répliquer cet effet. De plus, en ajoutant une seconde population experte, présentant des caractéristiques similaires à celles des joueurs d'échecs, notre recherche permet également de généraliser ces résultats à diverses populations.

La dernière partie de notre analyse avait pour ambition de mettre en évidence des différences d'intégration émotionnelle au sein du raisonnement menant à la prise de décision. Nous

voulions constater ces différences au travers de l'analyse de la SCL (niveau de conductance cutanée) des participants avec, pour hypothèse que plus l'intégration émotionnelle serait élevée et plus le niveau de conductance le serait également. Ce haut niveau de conductance serait un facteur facilitant la prise de décision en contexte ambigu (avant le point d'inflexion) et nous devrions donc mesurer de plus hauts niveaux de conductance cutanée au sein des clusters avantageux (1, 3 et 4). Cependant, un dysfonctionnement des électrodes identifié post expérience a perturbé le recueil de données. Celles-ci sont donc malheureusement inexploitable. De futures recherches intégrant des mesures physiologiques seront donc à prévoir.

Afin d'étudier ce phénomène d'intégration émotionnelle, la RED devrait sans doute être associée à d'autres recueils de données physiologiques (encéphalographie, fréquence cardiaque...), et des données subjectives auto-rapportées par les participants. Nous pourrions par exemple demander aux participants d'évaluer directement les différents retours sur leurs performances qui sont présents dans la tâche, en termes de ressenti émotionnel et de l'importance perçue de ceux-ci dans leur processus de prise de décision. Ces éléments pourront être mis en place dans de futures expériences visant à évaluer les capacités décisionnelles des experts en utilisant l'IGT.

Notre étude semble donc montrer que les experts aux échecs et au Go présentent de meilleures capacités de prise de décision que la population générale. Ces deux groupes sont caractérisés par la mise en place de stratégies plus avantageuses et parfois même de nouvelles stratégies. Notre évaluation n'étant pas spécifique aux domaines d'expertise des participants, il se pourrait donc que les capacités de prise de décision développées au sein de leurs domaines respectifs puissent être transférables à d'autres domaines. Il se pourrait également que ces personnes aient de meilleures capacités de prise de décision en amont de leur développement de l'expertise.

Quoi qu'il en soit, la performance réalisée par ces deux groupes pourrait être imputable à une plus grande intégration des émotions au sein du raisonnement menant à la prise de décision. En effet, à l'inverse des patients VM décrits par Damasio, les bonnes performances de la population experte à l'IGT pourraient traduire une meilleure intégration des expériences émotionnelles antérieures au processus décisionnel. Afin de mesurer cette intégration, les recherches futures devront sans doute associer à la fois des données comportementales, physiologiques (tel que la RED ou la fréquence cardiaque) et des données auto-rapportées par le participant. Il serait également intéressant d'étudier les capacités de prise de décision de ces populations au sein d'expériences n'impliquant qu'une des deux catégories de prise de décision présentes dans l'IGT (ambiguë et en connaissance du risque).

5.3 EXPERIENCE 3 - EXPERTISE ET PRISE DE DECISION : EVALUATION DES CAPACITES DECISIONNELLES EXPERTES DANS DES CONTEXTES AMBIGUS ET DE CONNAISSANCE DES RISQUES

Les deux études précédentes ont permis de mettre en évidence les bonnes capacités de prise de décision de deux populations expertes. Néanmoins, l'IGT est considérée comme une tâche présentant à la fois des caractéristiques de décisions ambiguë et en connaissance des risques (Gansler, Jerram, Vannorsdall, & Schretlen, 2011). Or il a été montré dans la littérature que les difficultés décisionnelles pouvant être associées à un déficit des marqueurs somatiques étaient particulièrement observées dans la phase de décision ambiguë (Starcke, Tuschen-Caffier, Markowitsch, & Brand, 2008 ; Trotzke, Starcke, Pedersen, Müller, & Brand, 2015). L'étude suivante a donc été menée afin d'observer les performances décisionnelles d'experts aux échecs en différenciant les contextes de décisions ambiguë et de connaissance des risques dans deux tâches différentes.

A. INTRODUCTION

La recherche sur l'expertise propose un cadre d'étude pour les performances supérieures que démontrent certains individus au sein de leur domaine de compétences (Gobet, 2001). Ces domaines sont très variés et les critères qui font d'une personne un expert dépendent fortement du contexte et de la discipline en question (Agnew, Ford, & Hayes, 1997). Ces auteurs précisent notamment qu'en fonction des domaines, les profils liés au concept d'expertise peuvent fortement différer. Ainsi, ils indiquent dans leur article que le terme peut aussi bien désigner des personnes jugées comme compétentes en tant que scientifiques ou comme vendeurs d'huile de serpent. Cela vient du fait que dans certains domaines, le qualificatif est simplement octroyé par d'autres individus l'ayant préalablement obtenu. D'autres exemples, moins extrêmes, existent également. Mais l'aspect principal de la critique d'Agnew, Ford et Hayes (1997) est qu'il est difficile de définir l'expertise, d'autant plus lorsque les performances réelles des individus ne sont pas objectivement mesurables. Ainsi, dans la littérature scientifique, l'étude de l'expertise va se focaliser sur des domaines présentant au moins certaines caractéristiques préalables. Premièrement, afin d'être qualifié d'expert, l'individu doit s'investir dans une pratique intensive de son domaine durant environ dix ans (ou 10000 heures de pratique) et avoir des performances exceptionnelles et reproductibles au cours du temps (Ericsson, 2014).

Les autres caractéristiques qui découlent de l'expertise dépendront des besoins des différentes tâches. En d'autres termes, un expert sera performant car il aura su dépasser les problématiques liées à son domaine. Salthouse (1991) préconise d'ailleurs que les recherches sur l'expertise devraient débuter en listant les difficultés recensées par les novices face à la tâche. Cela permettrait au chercheur de découvrir les difficultés liées au domaine étudié et

ainsi de pouvoir découvrir comment ces limites sont dépassées par les individus. Pour les échecs, la difficulté majeure recensée par les novices était de "Ne pas savoir quoi faire et à quoi s'attendre". Cela peut facilement s'expliquer au travers du nombre incroyable de 10^{120} parties possibles aux échecs (Shannon, 1950). Face à un nombre si élevé de possibilités il est normal de ne pas savoir quelle action effectuer et quelles en seront les conséquences.

Les échecs sont l'un des domaines les plus étudiés en psychologie de l'expertise (Charness, 1989 ; Gobet, Retschitzki, & De Voogt, 2004). L'une des raisons principales de cet intérêt massif des chercheurs repose sur les caractéristiques de la discipline. Premièrement, il s'agit d'un jeu de plateau donc il est relativement facile de mettre en place des expériences dans des caractéristiques proches des caractéristiques de jeu réel tout en gardant un environnement manipulable. Et deuxièmement, le jeu d'échecs possède, comme bon nombre de jeux de plateaux et de sports, un classement qui permet d'obtenir une mesure objective des performances des joueurs (Elo, 1978).

Dans un contexte de jeu présentant un nombre incroyable de possibilités, les experts de la discipline sont paradoxalement capables de prendre de bonnes décisions. En effet, on pourrait pourtant s'attendre à ce que la performance décisionnelle des individus diminue considérablement lorsque le nombre d'options envisageables augmente. Selon la littérature, ces bonnes décisions seraient possibles grâce à de multiples facteurs (Ullén, Hambrick, & Mosing, 2016). Les performances des experts se seraient tout d'abord développées au travers de la pratique délibérée du domaine (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993). Il s'agit d'une pratique intensive, adaptée au niveau de l'individu et pour laquelle celui-ci doit recevoir un retour sur les actions qu'il entreprend. Les auteurs précisent également que l'individu doit être motivé à progresser et s'investir dans la discipline. Ce type d'apprentissage mènerait alors à la reconnaissance automatique de certains patterns dans l'environnement (nommés chunks ; Chase & Simon, 1973). Cette reconnaissance de pattern entraînant, au travers de la répétition

des situations d'apprentissage, la mise en place de procédures adéquates pour répondre aux caractéristiques de l'environnement. Ainsi, les experts n'ont pas à traiter l'ensemble des possibilités offertes par le jeu. Leur perception du plateau leur permet de prêter attention directement aux éléments essentiels de la position. Cet aspect est essentiel à la performance experte car il lui permet de dégager les éléments clés de la position et permettent d'activer immédiatement certains plans d'action potentiels.

La pratique délibérée est donc un facteur primordial du développement de l'expertise. Cependant, comme cela a été montré à de nombreuses reprises, celui-ci ne permet pas d'expliquer à lui seul l'ensemble des spécificités du développement de l'expertise (Hambrick et al., 2014 ; Macnamara, Hambrick, & Oswald, 2014 ; Macanamara, Moreau, & Hambrick, 2016). Les recherches de Ullén et al. (2016) montrent que ce développement repose sur un modèle permettant une interaction entre des caractéristiques génétiques et environnementales. Les auteurs indiquent également que certains facteurs généraux semblent importants dans le développement de l'expertise comme la motivation ou la personnalité. De plus, Burgoyne et al. (2016) ont montré que certaines caractéristiques cognitives plus générales sont corrélées avec l'expertise, tel que le raisonnement fluide ou la vitesse de traitement.

Il est impossible de déterminer avec certitude si ces caractéristiques se sont développées parallèlement au développement de l'expertise ou si elles leurs sont préalables. Ceci représente d'ailleurs un aspect fortement débattu au sein de la littérature (e.g., Gobet, 2013). Néanmoins, il semble qu'il y ait certaines différences en termes de capacités générales entre les experts et les novices d'une discipline qui doivent être prises en compte. Alors, si comme le constate Salthouse (1991), la capacité à prendre des décisions semble être particulièrement difficile pour les novices aux échecs, il semble donc intéressant d'investiguer les capacités décisionnelles des experts de cette discipline.

Cela a été réalisé par Trinchérini et Postal (en révision et en préparation) dans deux études distinctes. La première étude se focalise sur les joueurs d'échecs et a permis de montrer que les experts de la discipline parvenaient à mieux performer à l'Iowa Gambling Task (IGT) que des joueurs de moindre niveau et des novices. La seconde étude a été conduite auprès d'un second échantillon d'experts aux échecs et auprès d'experts du jeu de Go. L'IGT est un test de prise de décision largement répandu dans la littérature ces vingt dernières années (Bechara, Damasio, Tranel, & Anderson, 1998 ; Whitney, Fastenau, Evans, & Lysaker, 2004 ; Meshi, Elizarova, Bender, & Verdejo-Garcia, 2019) afin de tester les capacités décisionnelles. Et ceux notamment auprès de patients présentant un déficit décisionnel associé à des lésions ou un dysfonctionnement cérébral (Brand et al., 2007).

Cependant, ce test a également subi certaines critiques au sein de la littérature. Maia et MacClelland (2005) reprochent notamment à l'IGT d'être trop facilement compréhensible par les individus sains. Ce point expliquerait, selon les auteurs, pourquoi leurs performances sont supérieures à celles de patients présentant des pathologies diverses. Les études menées par Trinchérini et Postal (en révision et en préparation) vont à l'encontre de cette idée puisque il est possible de différencier experts et novices en fonction de leurs résultats à l'IGT. Ces populations étant toutes deux considérées comme saines. De plus, Gansler et al. (2011) montrent que l'IGT est composée de deux phases de décisions distinctes, une phase de décision en contexte ambigu et une phase de décision en connaissance des risques.

Cette distinction qui est faite entre les deux contextes décisionnels repose sur la capacité de percevoir les probabilités associées à chacun des choix possibles dans la situation (Brand, Labbuda, & Markowitsch, 2006 ; Brand, Recknor, Grabenhorst, & Bechara, 2007). Une prise de décision en connaissance des risques permettra d'associer des gains ou pertes potentielles à des probabilités exactes d'obtention. Ainsi, l'individu pourra choisir de prendre ou non un risque en connaissant les probabilités qui l'accompagnent. A l'inverse, la décision en contexte

ambigüe sera faite sans que l'individu ne puisse avoir une conception parfaite des probabilités associées à chacune de ses décisions. Yates et Zukowski (1976) présentent la décision ambigüe comme une forme de décision nécessitant une prise de risque plus ou moins élevée. Celle-ci étant située entre la décision en connaissance des risques et la décision en pure ignorance (ne proposant aucun moyen d'estimer les probabilités associées aux décisions).

Bien que l'IGT semble à même de pouvoir étudier ces deux contextes décisionnels au sein de la même tâche (Gansler et al., 2011), il semble également important de différencier ces deux contextes au sein de deux expériences différentes. Ainsi, il sera possible d'identifier précisément si les bonnes performances décisionnelles générales observées chez les experts le sont au sein d'un contexte ambigu ou en connaissance des risques.

La tâche que nous avons choisie afin d'étudier les performances des experts dans un contexte de connaissance des risques est la Game of Dice Task (GDT ; Brand et al., 2005). Cette tâche a été créée à l'origine pour étudier des patients avec des dysfonctions dans les lobes frontaux et notamment atteints du syndrome de Korsakoff. Depuis, elle a été utilisée auprès de publics variés afin de mettre en évidence des déficits décisionnels, comme par exemple auprès de populations dépendantes aux drogues ou de patientes boulimiques (Brand et al., 2008 ; Svaldi et al., 2010). Elle a le mérite de proposer un cadre explicite et facilement compréhensible par les individus. Les décisions entreprises sont ainsi effectuées en toute connaissance des probabilités associées à chacune des options possibles. La tâche est relativement simple et consiste en un certain nombre de paris qu'il faut réaliser afin de gagner de l'argent virtuel. Chaque pari est associé à un gain fixe, de sorte que les plus risqués d'entre eux sont associés à des gains plus élevés. Une description plus exhaustive de la tâche sera proposée dans la partie "Méthode" de cet article et est également disponible dans l'article de Brand et al (2005).

A l'inverse, notre seconde tâche proposera un contexte de décision ambigu, dans lequel il sera impossible d'associer précisément les probabilités de gain avec les choix possibles. Nous avons choisi pour cela la "Balloon Analog Risk Task" (BART ; Lejuez et al., 2002). Cette tâche a également été utilisée à de nombreuses reprises au sein de la littérature afin de mettre en évidence le déficit décisionnel en situation de risques de divers types de publics, comme par exemple des adolescents ou des personnes présentant une addiction aux réseaux sociaux (Lejuez et al., 2003 ; Meshi et al., 2020). Une description de cette tâche sera également proposée dans la partie "Méthode" de cet article et dans Lejuez et al (2002).

L'étude menée par Bechara et al (1997) montre que les bonnes performances des individus sains à l'IGT sont principalement identifiables durant la phase ambiguë de la décision. En effet, durant celle-ci les individus sains vont peu à peu développer une réponse anticipatoire avant la sélection des tas désavantageux. Ainsi, dans les études de Trinchérini et Postal (en révision et en préparation), l'avantage des groupes d'experts pourrait être situé en particulier dans cette phase ambiguë.

Nous nous attendons à ce que l'augmentation du classement Elo soit associée à de meilleures performances à la BART. En effet, comme cela a été montré précédemment par Trinchérini et Postal (en révision et en préparation), les experts semblent capables de dépasser plus rapidement la phase de décision en contexte ambigu. Cela indiquant que cette phase est mieux résolue par les experts et pourrait leur permettre de réaliser de meilleures décisions dans la suite de la tâche. En revanche, nous pensons que les performances de l'ensemble de notre échantillon à la GDT seront équivalentes quel que soit le niveau d'expertise des participants. Cela vient du fait que la tâche que nous avons choisi (GDT) présente des caractéristiques clairement identifiées entraînant de bonnes performances en population saine.

B. MÉTHODE

Matériel : Dans cette étude nous avons donc deux expériences distinctes, l'une mesurant les capacités décisionnelles en connaissance des risques et l'autre la décision prise en contexte ambigu. Ces deux expériences ont été mises en place à l'aide du logiciel E Prime (version 2.0.10) et les expérimentations ont eu lieu sur un ordinateur 15 pouces. La passation avait une durée moyenne de 40m environ et s'est déroulée dans un endroit calme. Les participants ont été recrutés durant les championnats de France d'échecs 2019 et au sein de divers clubs d'échecs de la Gironde. Ils ont tous commencé par la BART avant de réaliser la GDT. Cet ordre a été défini par le fait que la réalisation préalable de la GDT pourrait entraîner une compréhension biaisée de la BART. En effet, en réalisant la GDT les participants se rendent généralement compte qu'il existe quatre types de paris plus ou moins avantageux. En réalisant cette tâche en premier ils pourraient être amenés à comprendre que cela est également le cas pour la BART.

Participants : Les participants de cette expérience sont tous des joueurs d'échecs, de classement Elo ($M = 1827$; $ET = 388$) et d'âges ($M = 36.3$; $ET = 13.0$). Il y a au total 26 participants dont 11 qualifiés d'experts aux échecs (Elo supérieur à 2000 et plus de dix années de pratique).

Au travers de nos analyses, nous nous intéresseront à la fois aux gains totaux obtenus par les participants et aux sélections effectuées dans chacune des tâches. Nous comparerons les sélections effectuées en réunissant les différentes options en fonction de leur caractère avantageux ou désavantageux pour le participant.

C. PROTOCOLE GDT

Matériel : Pour la GDT, nous avons réalisé une version informatisée de l'expérience en nous basant sur l'étude menée par Brand et al (2005). A chaque tour, les participants doivent choisir entre quatre propositions de paris. Ces paris présentent des probabilités de perte et de gain variables. Il sera ainsi possible de parier sur un seul, deux, trois ou bien quatre résultats possibles du lancer de dés. Le pari le plus risqué consiste à choisir un seul résultat de dé parmi les six possibles. Si celui-ci est réussi le participant gagne 1000€, s'il échoue, il perd 1000€. Par exemple, imaginons que le participant choisisse de parier sur la face quatre du dés. Comme ce pari porte sur un seul résultat possible, il pourra gagner 1000€ si le résultat correspond. Cependant si le résultat est différent de quatre, il perdra alors 1000€. Pour le pari suivant, le principe reste le même à l'exception que le participant pourra choisir un couple de deux résultats parmi les six possibles. Si le pari est réussi il gagne 500€ et perd la même somme dans le cas contraire. Le pari suivant permet de choisir trois résultats de dés parmi les six possibles. Il est alors possible de gagner ou perdre 200€ en fonction du résultat. Et enfin, le pari le moins risqué consiste à choisir quatre résultats parmi les six possibles. Un pari rapportera alors 100€ ou en fera perdre autant. Il y a donc seulement 1 chance sur six de gagner dans le premier cas, deux chances sur six dans le second, trois chances sur six dans le troisième et quatre chances sur six dans le quatrième.

Procédure : Les participants doivent effectuer dix-huit paris à la suite en appuyant sur des touches du clavier. Une fois qu'ils ont sélectionné le type de pari qu'ils souhaitent effectuer un second écran apparaît, leur permettant de choisir le ou les dés (en fonction du pari sélectionné) sur lesquels ils souhaitent miser leur argent. Une vidéo préenregistrée s'active suite à ces choix et montrera le résultat du dé pour cet essai. Le total de leurs gains accumulés est inscrit à l'écran au cours de la tâche. Nous mesurons leur gain total à la tâche ainsi que le

type de pari qu'ils ont effectué. A elle seule, cette tâche est réalisée plutôt rapidement par les participants. La passation dure en moyenne moins de dix minutes.

Nous effectuerons une analyse de régression sur le gain total obtenu par les participants. Nous réaliserons également une analyse de régression logistique en réunissant d'un côté les deux paris considérés comme désavantageux par Brand et al (2005), à savoir les paris portant sur un ou deux résultats de dés seulement. Et d'un autre côté les deux paris restant, à savoir ceux permettant de choisir trois ou quatre résultats de dés. Pour terminer, nous réaliserons une dernière régression logistique visant à comparer le seul pari réellement avantageux, à savoir celui proposant quatre résultats de dés parmi les six possibles, et les trois autres paris envisageables. En effet, contrairement à la distinction effectuée par Brand et al. (2005), le pari consistant à sélectionner trois résultats de dés possibles à une espérance neutre et ne peut donc pas être considéré comme réellement avantageux. Cette analyse complémentaire aura pour objectif de voir si les effets obtenus représentent réellement un avantage décisionnel de la part de certains de nos participants.

D. PROTOCOLE BART

Matériel: Concernant la BART, nous avons choisi de réaliser une version un peu différente de la version initiale de Lejuez et al. (2002). Contrairement à leur étude qui ne comportait que trois ballons, nos participants ont le choix entre quatre ballons différents qui apparaissent sur l'écran. Cela nous a permis de faire correspondre le nombre de possibilités avec celles présentes dans la GDT et l'IGT.

Procédure : Les participants doivent sélectionner l'un des ballons et commencer à le gonfler en appuyant sur la touche "V" du clavier. A chaque pression sur la touche le ballon gonfle. Cependant, au bout d'un moment celui-ci explose. La probabilité d'explosion des ballons est

différente en fonction de leurs couleurs. Le ballon bleu a 1/128 chance d'exploser, le rouge 1/64, le jaune 1/32 et le vert 1/16. Si le ballon explose le participant ne gagne rien. En revanche, si le participant décide d'appuyer sur la touche "N" avant l'explosion et décide ainsi d'arrêter de gonfler le ballon, il gagnera 10€ pour chaque appuie qu'il a effectué sur la touche "V". Ainsi, plus on gonfle un ballon et plus il est possible d'amasser des gains. Cependant cela augmente également le risque d'une explosion.

Les participants ont 60 essais pour amasser le plus de gains possibles. Le total des gains en cours de tâche est indiqué sur l'écran du participant. Nous mesurons le gain total obtenu à la tâche par les participants, le type de ballon qui a été sélectionné, le gain moyen obtenu pour chaque tirage ayant entraîné un gain et le nombre d'explosions. La passation de cette tâche dure environ trente minutes mais le temps est très variable en fonction des participants.

Nous réaliserons une analyse de régression linéaire sur le gain total des participants et sur les sélections des différents types de ballons. Le paramètre pris en compte dans ces régressions sera le classement Elo des participants. A titre exploratoire, nous regarderons également les différences existantes entre nos participants sur le nombre de ballons explosés et le gain moyen obtenu par ballon en fonction de leur classement Elo.

E. RÉSULTATS EXPÉRIENCE GDT

Dans cette première expérience, nous avons commencé par analyser le gain total obtenu à la tâche en fonction du classement Elo des participants. Nous avons donc réalisé une régression linéaire. Nous n'observons pas de différence significative en fonction du niveau des joueurs, $F(1,24) = 1.102$, $p = .28$. Nous avons continué avec une analyse de régression logistique reprenant la distinction entre les paris, considérés par Brand et al (2005), comme avantageux et ceux considérés comme désavantageux. Cette régression montre un effet significatif du

classement Elo indiquant que plus le niveau de jeu augmente et plus les individus auront tendance à sélectionner les paris avantageux, $B = 0.002$, $SE. < .001$, $Z = 5.56$, $p < .001$. Enfin, nous avons réalisé une analyse de régression logistique en comparant le pari le moins risqué (quatre chances sur six de gagner) avec les autres paris. Une nouvelle fois nous observons que ce pari est davantage sélectionné avec l'augmentation du classement Elo, $B = 0.002$, $SE. < .001$, $Z = 6.77$, $p < .001$.

F. RÉSULTATS EXPERIENCE BART

Pour la seconde expérience, nous avons également commencé avec une analyse de régression linéaire prenant en critère principal le gain total en fin de tâche et le classement Elo en prédicteur. Nous n'observons pas de différence significative sur cette analyse, $F(1,24) = 2.94$, $p = .10$. Nous avons ensuite réalisé des analyses de régression pour l'ensemble des choix possibles. Pour chacun des différents ballons une analyse de régression prenant en paramètre le classement Elo des participants a été effectuée. Ainsi, on n'observe aucune différence dans la sélection des ballons bleus, $F(1,24) = 2.82$, $p = .11$, verts, $F(1,24) = 0.48$, $p = .49$ et jaunes, $F(1,24) = 0.74$, $p = .40$. Ces ballons sont respectivement associés à des probabilités d'explosion de 1/128, 1/16 et 1/32. En revanche on observe que le nombre de sélections du ballon rouge (Probabilité d'explosion de 1/64) semble diminuer avec l'augmentation du classement Elo, $F(1,24) = 4.50$, $p < .05$.

Concernant le nombre d'explosions de ballons, on observe que celui-ci augmente significativement avec le classement Elo, $F(1,24) = 9.85$, $p = .004$. De la même manière en ne prenant en compte que les essais ayant entraîné un gain pour le participant, nous observons un effet tendanciel concernant le gain moyen, qui serait plus élevé avec l'augmentation du classement Elo, $F(1,24) = 3.93$, $p = .06$.

G. DISCUSSION

Nous faisons pour hypothèse que l'évolution du classement Elo nous permettrait d'observer des différences sur les capacités décisionnelles de nos participants. Pour cela, nous avons séparé deux contextes de décision différents, ambigu et en connaissance des risques, en fonction de deux tâches différentes, respectivement BART et GDT. Concernant la décision prise en contexte de connaissance des risques, nous nous attendions à ce que les participants obtiennent des résultats similaires quel que soit leur classement. Cependant, les résultats obtenus avec la GDT montrent que plus le niveau Elo augmente et plus les individus vont sélectionner des paris avantageux. Cela est observable en réunissant les paris deux à deux comme dans l'expérience de Brand et al. (2005) et également en opposant le pari le moins risqué à l'ensemble des autres paris. Cette mesure était indispensable à réaliser, car le seul pari réellement avantageux est le moins risqué des quatre. Celui-ci permettant à l'individu une espérance de gain de 600€ sur dix-huit tirages. En effet, le pari suivant permettra à l'individu de gagner 200€ avec une chance sur deux de réussite et donc de perdre 200€ avec la même probabilité. Cela entraîne une espérance de gain nulle incompatible avec la consigne consistant à maximiser ses gains. Contrairement à nos attentes nous observons donc des performances décisionnelles qui s'améliorent avec l'augmentation du classement Elo. Ces conclusions sont néanmoins à prendre avec précaution puisque les résultats que nous obtenons (Médiane = 50.0, Range = 16400) sont bien inférieurs à ceux de la population contrôle étudiée par Brand et ses collaborateurs (Médiane = 500.0, Range = 6900). Cela est particulièrement le cas pour les joueurs non experts (Elo < 2000) qui ont des résultats négatifs à la tâche (Médiane = -800.0, Range = 16400), tandis que les experts ont des résultats (Médiane = 400.0, Range = 940) qui semblent comparables avec ceux de la population contrôle de Brand

et al. (2005). Le test plafonnant généralement auprès de populations non pathologiques (e.g., Pertl, Zamarian, & Delazer, 2017)

Ces résultats nous amènent donc davantage à nous questionner sur une potentielle diminution des performances des joueurs amateurs au cours de cette tâche. L'une des explications probables serait que les joueurs amateurs savent que leurs résultats vont être comparés à ceux de joueurs plus expérimentés. Nous n'exposons pas clairement cet aspect aux joueurs au moment de la passation, mais bon nombre d'entre eux ont cette idée en tête. Le fait de savoir que leurs performances vont être comparées à de meilleurs joueurs pourrait alors entraîner un effet de menace du stéréotype (Steele & Aronson, 1995) diminuant les performances des joueurs amateurs. Etant donné que nous avons recruté les participants au cours de tournois d'échecs, et malgré le fait que nous demandions le classement des joueurs seulement à la fin de l'expérience, les participants ont conscience que leurs résultats vont être comparés en fonction de leur niveau de jeu. Néanmoins, nos analyses portent exclusivement sur une population de joueurs d'échecs ayant un classement Elo. Nous n'avons donc pas réalisé de passations auprès d'une population novice qui nous permettrait de comparer directement ces résultats avec ceux d'une population contrôle ayant réalisé l'expérience dans les mêmes conditions que notre échantillon.

Concernant le contexte de prise de décision ambigu, les résultats obtenus à la BART ne montrent pas de différence en termes de gain total ou en termes de nombre de sélections sur les différents ballons en fonction du classement Elo. Ces résultats vont à l'encontre des hypothèses que nous avons formulées. Nous observons cependant qu'avec l'augmentation du classement Elo, les joueurs ont tendance à faire davantage exploser les ballons. Cela est compatible avec un autre résultat qui montre que pour les ballons ayant entraînés un gain (ceux n'ayant pas explosés), le gain moyen sera plus élevé avec l'augmentation du classement

Elo. Ces éléments laissent à penser que les joueurs plus expérimentés ont mis en place des stratégies plus risquées mais rapportant davantage.

Ces résultats semblent en contradiction avec ceux obtenus dans la GDT. En effet, les résultats obtenus avec la tâche des dés montrent que ce sont les stratégies les moins risquées qui sont sélectionnées par les joueurs les plus expérimentés. En revanche, dans la BART il semble que ces joueurs expérimentés vont plutôt tenter d'obtenir des gains élevés quitte à voir le ballon exploser et perdre les gains accumulés.

En plus de correspondre à deux types de décision différents, la GDT et la BART vont également varier en ce qui concerne leurs gains et pertes potentiels. Dans la GDT, les bons choix font gagner de l'argent et les mauvais en font perdre. Tandis que dans la BART il est uniquement possible d'accumuler des gains. Aucune perte réelle n'est observée. Dans l'IGT également, les décisions peuvent amener à des pertes ou des gains. Selon la théorie des marqueurs somatiques (Saver & Damasio, 1991), le ressenti associé à des expériences émotionnelles de situations comparables à la situation actuelle peuvent venir se réactiver afin de guider la décision. Les ressentis "positifs" et "négatifs" subits par les individus vont donc venir assister le processus décisionnel dans le futur (Damasio, 1996 ; Martinez-Selva et al., 2006). L'absence de perte réelle dans la BART peut donc entraîner les différences que nous observons.

Cependant, il semble que la performance obtenue à l'IGT soit influencée par la répartition des gains et pertes au sein de la tâche (Singh & Khan, 2012). La présence massive de gain en début de tâche entraînerait selon les auteurs des stratégies d'évitement des risques tandis que la présence de pertes entraînerait davantage de stratégies de recherche de risques. Ainsi, la tâche de la BART devrait plutôt entraîner la mise en place de stratégies d'évitement des

risques. Ce qui n'est pas ce que nous observons avec les joueurs d'échecs et notamment les plus expérimentés.

Contrairement aux études de Trinchérini et Postal (en préparation), nous n'observons pas de meilleures performances décisionnelles de la part de nos joueurs d'échecs et notamment des experts. Selon Bechara, Damasio, Damasio et Anderson (1994), l'IGT est un test de prise de décision permettant de mettre en évidence le déficit de patient cérébrolésés car il propose un cadre qui simule les décisions de la vie réelle, à savoir des décisions dans des contextes ambigus et entraînants des gains et des pertes. C'est donc dans ce contexte que pourraient pleinement s'exprimer les marqueurs somatiques décrits par Saver et Damasio (1991). Ainsi, si comme le supposent Trinchérini et Postal (en préparation), les experts aux échecs intègrent davantage les marqueurs somatiques à leur processus décisionnel, ceux-ci devraient montrer de meilleures performances dans des tâches répondants à ces critères.

En conclusion, nous pensons qu'il serait utile de continuer à étudier les performances décisionnelles des joueurs d'échecs dans des tâches distinctes et notamment en répliquant cette étude avec la GDT et la BART. Cependant, afin de prendre en compte les remarques que nous venons de faire, il serait judicieux de modifier la BART afin d'inclure une variante entraînant des pertes réelles aux participants. En effet, comme le montrent Bechara et al (1997) les individus sains développent une réponse anticipatoire plus forte en sélectionnant les options qui leurs sont désavantageuses. Cette réponse anticipatoire est caractéristique de l'utilisation de marqueurs somatiques et de la voie émotionnelle de la décision développée par les auteurs. Elle leur permettrait ainsi de pouvoir obtenir de bonnes performances à la tâche en dépassant rapidement la phase de décision en contexte ambigu. Les performances supérieures des experts à l'IGT (Trinchérini & Postal, en révision et en préparation) peuvent donc s'expliquer par une utilisation plus efficiente de cette voie émotionnelle que le reste de la population. Cependant, afin d'observer cet avantage expert dans la décision ambiguë il

manque la notion de perte réelle à la BART. Celle-ci pourrait en effet être indispensable afin de permettre la création de réponses anticipatoires qui vont améliorer la décision.

5.4 CONCLUSION SUR LES CAPACITES GENERALES DE PRISE DE DECISION DES EXPERTS

Concernant les capacités décisionnelles générales des experts, nous obtenons des résultats intéressants. Ces capacités ont été étudiées en dehors du domaine d'expertise des individus. Ainsi, contrairement à ce qui a parfois été montré dans la littérature, nos résultats semblent indiquer que les experts aux échecs présentent des performances décisionnelles supérieures dans certains cas spécifiques. Ces résultats ont également été répliqués auprès de joueurs de Go. Cette réplication auprès d'une seconde population experte nous permet d'appuyer l'idée que les performances décisionnelles supérieures des experts ne se limitent pas exclusivement au domaine du jeu d'échecs. Les jeux de plateaux présentant des caractéristiques similaires aux jeux d'échecs et de Go pourraient ainsi comporter un bon nombre d'individus présentant des performances similaires. Ces résultats n'ont été clairement observés que dans le cadre de l'IGT (Expériences 1 et 2) et non avec la BART ou la GDT. Il semble intéressant de les confirmer en utilisant d'autres tests de prise de décision. Ceux-ci devront en revanche être adaptés afin de répondre aux critères proposés par Bechara et al. (1994). A savoir, la mise en place d'un contexte de décision ambigu et proposant des gains et des pertes associés aux différentes décisions. Ces deux aspects semblent en effet essentiels afin de permettre la création de réponses anticipatoires et entraîner la mise en place de bonnes décisions.

Nous ne pouvons pas savoir si ces compétences décisionnelles se sont construites au travers de la pratique du domaine d'expertise ou si elles leurs sont préalables. Néanmoins, au travers des données comportementales recueillies au cours de ces trois expériences, nous pensons que la théorie des marqueurs somatiques offre un cadre intéressant afin d'expliquer l'amélioration de ces performances décisionnelles. En se confrontant à des décisions désavantageuses, les

experts aux échecs ou au Go vont ainsi être capables de créer des marqueurs somatiques spécifiques à la situation. Ces marqueurs vont ainsi diriger leurs décisions vers les options les plus favorables. La décision experte serait donc davantage tournée vers une utilisation de la voie émotionnelle proposée par Bechara et al (1997) ce qui leur conférerait un avantage particulier dans les contextes de décision ambigus.

Au cours de la partie suivante, nous tâcherons d'étudier les performances décisionnelles des experts au sein de leur domaine de compétence. En effet, d'après le modèle MGIM (Ullén et al., 2016) le développement de l'expertise et la performance des experts pourraient s'expliquer par différents facteurs en interaction. Parmi ceux-ci on note l'importance de compétences générales, comme celle que nous venons d'étudier. Mais également de compétences spécifiques qui se seraient développées au cours de la pratique délibérée du domaine d'expertise. L'objectif de cette partie est de mieux définir l'organisation des connaissances expertes au sein du système mnésique et d'évaluer l'influence des marqueurs somatiques sur la récupération des informations. En effet, nous avons montré précédemment que la performance experte nécessite une grande quantité de connaissances qui s'organisent efficacement afin d'en faciliter l'accès. A force de pratique, les joueurs vont se confronter régulièrement à des situations de jeu similaires dont la résolution va pouvoir s'activer automatiquement. Ce contexte intuitif de la décision nous intéressera particulièrement dans les études suivantes. En effet, l'intuition est le stade ultime d'acquisition de l'expertise (Dreyfus & Dreyfus, 1986). Nous pensons que la mise en place progressive de ces résolutions intuitives est influencée par la création de marqueurs somatiques qui se développent au fur et à mesure des confrontations aux situations de jeu.

6. DEUXIEME SERIE D'EXPERIENCES : CAPACITES DE PRISE DE DECISION DES EXPERTS AU SEIN DE LEUR DOMAINE

6.1 EXPERIENCE 4 - ORGANISATION DES CONNAISSANCES DE HAUT-NIVEAU CHEZ L'EXPERT: AMORÇAGE DE POSITIONS D'ECHECS POUR METTRE EN EVIDENCE L'IMPORTANCE DU RESEAU DE DISCRIMINATION DANS LA RECONNAISSANCE DES CONFIGURATIONS DE JEU

Dans cette partie nous nous intéresserons donc désormais à la manière dont les experts prennent des décisions au sein de leur domaine d'expertise. La première étude que nous présentons ici propose un design expérimental qui, à notre connaissance, n'a jamais été réalisé dans la littérature. Nous avons en effet créé une tâche d'amorçage spécifique au jeu d'échecs. Dans celle-ci, les joueurs devaient identifier sur une cible donnée si le roi noir était mis en échecs par l'une des pièces blanches. Pour rappel, une situation d'échecs consiste en une menace directe d'une pièce d'un des joueurs vers le roi adverse. Contrairement à la situation d'échec et mat, l'adversaire pourra alors se sortir de cette situation en bloquant la menace avec une autre de ses pièces ou en éloignant son roi du danger. La tâche est relativement simple pour les joueurs, car elle devait pouvoir être réalisée à la fois par les plus expérimentés et les moins expérimentés d'entre eux.

Ces positions sont précédées d'une amorce qui va venir perturber les décisions des joueurs. Le type d'amorce et la durée de l'amorce ont été manipulés. Ce protocole nous permet d'étudier comment les informations relatives à la position vont pouvoir être récupérées par les experts et les joueurs de moindre niveau.

Nous pensons que les experts seront capables de bénéficier d'une amorce présentée sous le seuil de conscience afin d'accélérer le traitement de la cible à analyser. Cela serait le signe d'un traitement automatique des positions d'échecs réalisé par les experts. Avec une présentation plus longue de l'amorce, certains processus contrôlés pourraient se mettre en

place. Durant cette phase, nous faisons l'hypothèse que la présentation d'amorces représentant des positions précédentes ou similaires à la cible entraîne les meilleures performances des experts. Concernant les joueurs amateurs, nous nous attendons à ce que l'ensemble des amorces représentant des positions d'échecs entraînent une amélioration de leurs performances.

Trincherini, R., & Postal, V. (in preparation). Knowledge organisation of high-level information in the expert mind: Priming chess positions to highlight the value of a discrimination network to identify chess configurations.

A. INTRODUCTION

Research in Cognitive Psychology always shows a major interest for human memory. There is a particular concern about how the information is organised for long-term memory (LTM; Miller, 1956). Many studies underlie evidence for a hierarchical organisation (Collins & Quillian, 1969; Collins & Loftus, 1975) making it a key concept to emphasise how information could efficiently be recovered when we need it (Bower et al., 1969). This kind of structuration is commonly accepted in the literature to explain human performances (Miller, 1956) despite the limits of our rationality (Simons, 1947; Simons, 1991).

Some individuals have performances exceeding largely those of general population. Those individuals need to store a large quantity of high-level informations in their field (Gobet & Simon, 1996). It seems interesting to see how they could juggle with this significant amount of information in order to perform. This kind of people is named “experts” and we decided to study their memory organisation to understand how they could retrieve important memory elements when they need to use it.

According to Ericsson (2013), an expert is someone who has very good and recurrent performances in a field well performed by only a narrow group of people, and where he has

been practicing for at least ten years. This population is particularly interesting to study because experts are subjects to the same limits of rationality (cognitive limitations, imperfect informations and time pressure) than everyone else and yet, they are able to go beyond those limits to perform. As a matter of fact, this theory of bounded rationality is particularly interesting to study decision-making capacities with expert population (Campitelli & Gobet, 2010). With that statement, we can see that the major interest in expert studies is to better understand how they could overcome themselves. The major difference between experts and novices in one field seems to lie in deliberate practice (Ericsson et al., 1993). Through practice and with the influence of genetical and environmental factors, they develop physical properties and cognitive mechanisms to improve performances (Ullen, Hambrick, & Mosing, 2016). It is this repeated confrontation to fields' events that brings individuals to develop some aspects of themselves. Therefore, experts are very different according to the needs of their field. In this study, we focused on one expert population: chess players. This population presents some interesting aspects. Firstly, this is the most studied population in expert literature and there is a large amount of theoretical background. There is also a lot of cognitive architectures and models developed specially to explain performances in this field of expertise (i.e., MAPP ; Gilmarin & Simon, 1973, EPAM IV ; Richman et al. (1996), CHREST ; Gobet, 1993...). Secondly, expert status is quite difficult to determine notably in term of performances. As demonstrated by Agnew, Ford and Hayes (1997) the term "expert" could be given to a lot of individuals with very different profiles. The real and objective performance of the individuals is not a criterion for many fields to qualifying someone as expert. However, this is not the case with chess players. By mean of the ELO rating (Elo, 1978) we can bring an objective measure of chess players performance level. Finally, it is quite easy to establish ecological experiments in this field.

In chess, performances are correlated with a good memory of game positions (Binet, 1894; De Groot, 1946). Chess players are subjects to the same limits of rationality than everyone else and chunk theory (Chase & Simon, 1973) could provide a good explanation of their capacities despite this limitation. In this theory, positions are encoded by means of clustering of independent units (chess pieces) into larger structures of information (named “chunks”) which can improve memory of chess positions (Simon & Gilmarin, 1973). According to Gobet cognitive architecture (CHREST; 1993) chunk theory is well representing expert performances in chess and has the merit to take into account perceptive and semantic aspects of chess positions. By mean of “semantic” we talk about aspects of the configuration that have a clear signification for the players. For example, a player who will recognize the “Sicilian opening” will retrieve semantic aspects of the position who will lead is decision process.

Indeed, perception is considered as a very important aspect of performance in chess (De groot, 1965). More recent studies (De Groot & Gobet, 1996; Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001) also identify this influence of perceptive aspect to explain chess player performances. For example, computer simulations have shown that perceptive aspect of chess positions could lead to chunks identification allowing retrieving relevant information (Simon & Barenfeld, 1968; Simon & Gilmarin, 1973; Gobet, 1993).

There is no consensus into the required number of chunks to well perform in chess. For the most extreme speculations, we noted that computer simulation of expert performances postulates that more than 300000 chunks are necessary (Gobet & Simon, 2000), whereas Holding (1992) considers that only 2500 chunks could be enough. This last conjecture is based on the idea that chess positions are encoded in the form of chunks without taking account of structure’s localisation (into chessboard) or pieces’ colour. This view of chess

mind is quite outdated now, because we have seen in the last paragraph that expert capacities are not only influenced by perceptive cues but also by semantic aspect of chess positions. Nevertheless, it is commonly accepted that experts have about 50000 chunks organised in LTM (Simon & Gilmarin, 1973).

As suggested in many studies, chunks have to be filed through an organisational network to explain experts' performances (Simon & Gilmarin, 1973; Gobet, 1993). Indeed, there is a large amount of information and without a good classification, it seems hard to retrieve important chunks and find strategies to adopt. Gobet (2001) described this network as: "A symbolic structure that allows to associate a stimulus to its memory representation". In this paper, we chose to focus on the theoretical framework proposed by Gobet. However, it is worth noting that other models suggest the same kind of organisation (e.g., Chase & Ericsson, 1982). He also added that this association is auto-organised by the network itself. When an individual is confronted to his environment, he will be able to adapt if there is an appropriate stored response by recognising some patterns linked to specific places in the network. Progressively, individuals will confront themselves to many situations specific to their field of expertise and the network will thence be improved and expanded. Furthermore, still according to Gobet (2001): "The network includes a hierarchical organisation of nodes [...] containing either a partial description of external objects or a test that will be applied to choose the good arc to take during discrimination, or both of them". Those nodes described by Gobet represent the chunks of Chase & Simon (1973) and their number will extend along the amount of practice and confrontation with environmental constraints. In closing, the network is not clamped to the position perceived by the expert. Contrariwise, from the identified position, the expert is able to retrieve some anticipatory schemas (Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006), leading him to project into the future of the game. This notion of anticipatory schemas

used by experts is only possible through chunks structuration proposed by this network. Unfortunately, this organisation has essentially been tested using computer models and we observed that there is a lack of experimental studies demonstrating this kind of structuration in the expert mind (Gobet, 2002).

In this experiment we tried to emphasise the influence of the discrimination network to recover relevant information which provide to carry on the game efficiently. The idea of this research is also to deliver some good evidence to distinguish automatic and directive processes in expert reasoning. Indeed, in this study, we proposed two sort of prime duration. One of them is under the consciousness threshold and we think that changes in players' performances, with this kind of prime, will give us an insight of automatic processes used by players.

Based on priming researches that showed evidence for knowledge organisation (Corson, 2002), we proposed a chess adapted design. In this study, Corson (2002) evaluate the influence of positive mood on the automatic activation between primes and targets that are semantically connected. He shows that a positive mood could facilitate the target treatment because of a larger spread of activation in the mind of the participant. In our case, this larger spread of activation will not be influenced by participants' mood but by expert knowledge, leading to an automatic activation between primes and targets. Further, studies conducted on the expert field (Reingold, Charness, Scheltetus, & Stampe, 2001; Postal, 2012) showed that amateurs chess players treatment is serial whereas experts treatment was automatic and parallel. According to that point, we think that our experimental design will afford us to clearly identify some part of automatic and controlled processes used by amateurs' and experts' players.

In Our experiment, some chess positions are presented to participants who have to indicate if there is a check situation of the black king. Target positions are preceded by primers that could facilitate or inhibit access to experts' knowledge and modify their reaction time. We are assuming that performances of Experts to analyse chess positions will be better than the Novices. In the light of the task easiness, this better performance will be essentially shown with a faster reaction time of among Experts. With the discrimination network, we postulate that the processing speed of Experts will be influenced by the primed position into the network. More precisely, we think that when Experts can explicitly treat primers, the Target position response will be facilitated by those that are overhead onto discrimination network in comparison to the Target position. Indeed, those positions will activate specific chunks, rely on some relevant information useful to pursue the game, including the risk of a check situation. For an automatic treatment of primers, Experts will have facilitation for all primers showing chess positions because of their similarities with the target one. By contrast, we are assuming that Novices responses would be improved, only with an controlled treatment of primers, and facilitate only for primers showing the same chess position as the target ones. The reason would be the same as for Experts automatic treatment, which means a facilitation of treatment allowed by similarities of primed positions with the target ones.

B. METHOD

Participants: we assessed a priming chess test to 40 individuals separate in two groups. The first one is an Expert group (age = 25,3) of 20 chess players with an ELO rating above 2000 (Mean = 2303), which is the minimal score required for Expert performances (According to the international chess federation ; e.g., Gerdes et al., 2010 ; Rennig et al., 2013). They were recruited in chess tournaments in the “2018 club Top 12” or “2018 French Championship” with the consent of the French Federation and the competition organisation board. Some of

the expert participants were also recruited in Gironde (France) chess club. The second is a Novice group (age = 22,7) composed of people with no serious experience in chess (casual practice only) and a basic knowledge of chess authorised movements. They were recruited in Bordeaux (France).

Material or task : In our experiment, for each trial a chess position appears on the computer screen. Participants have to answer the following question “Is the black king in a check situation”. That represents a direct threat on king by one of the opponent pieces. Participants have two buttons (pointed out by stickers on a computer keyboard), one to decide that there is indeed a check situation in the actual chess position, or another one to decide the opposite. They have to answer as efficiently and promptly as possible.

This Target position is preceded by a primer which can have four different forms. The first one is similar to the Target position (named *Same position*), which means that there is exactly the same chess position presented in primer and in target. The second and third primers are chess positions which looking like the target but with a delay of one move before or after the target (respectively). For example, if target position represents the 18st move of a chess game, the second kind of prime represent the 17st (named *Previous position*) and the third the 19st move (named *Next position*) of the same game. The last primer type is an *Empty chessboard* recovering the same surface as the target and other primers but without pieces on board. It is a neutral prime which served as a control condition.

Primers durations vary from a trial to another. Half of trials have primes have 200ms and the other half 1000ms. Those two durations were chosen to have one under the consciousness threshold (200ms) that will produce an automatic treatment of primed positions and another above (1000ms) that will able a controlled treatment of primers.

There is a total of 320 trials in this experiment, and we have randomised target good response and prime presentation (form and duration). For this purpose we selected 80 chess positions

from Expert real chess games (40 with black king put in check situation and 40 without check situation). The main difficulty of this program was to construct similar chess positions to both kind of responses (check or not). Indeed, positions representing the opposite kind of response were constructed by mean of a chess analysis software (Stockfish 8). For example, if an Expert chess player game showed a check situation of black king, we used the software to construct a similar position showing no check situation. Stockfish 8 helped us to equilibrate the probability of winning the game for both kinds of responses. Without this precaution our result could be imputed to the capacity of experts' players to identify advantageous positions. This experiment was made with E-prime software (version 2.0.10) and the display device is a 13-inch computer. Participants can interact with the program by mean of two tiles of computer keyboard.

We conducted our analyses with the RStudio software (version 3.3.0). We performed several ANOVAs to test our hypothesis on percentage of correct responses and reaction time. Then, we compared each conditions using post-hoc analyses. Reaction time analyses were made of correct responses only.

C. RESULTS

In the first place, we conducted analyses on the amount of correct responses (see Fig.1). As it was foreseen, we observed that experts chess players have a greater percentage of correct responses ($M = 96.53$) in this task than Novices group ($M = 88.00$; $F(1,18) = 31.62$, $p < .001$). Then, we tested the interaction between groups and priming conditions. We didn't find significant result ($F(3,54) = 0.83$, $p > .10$) indicating that there is no effect of primes when we take into account our two experimental groups. In order to find if there is an effect of the primer alone, we conducted complementary analyses separately for Experts and Novices. As planned again, it seems that Experts ($F(3,27) = 1.17$, $p > .10$.) and Novices ($F(3,27) = 1.72$, p

> .10) don't show any difference between priming conditions on correct responses' percentage.

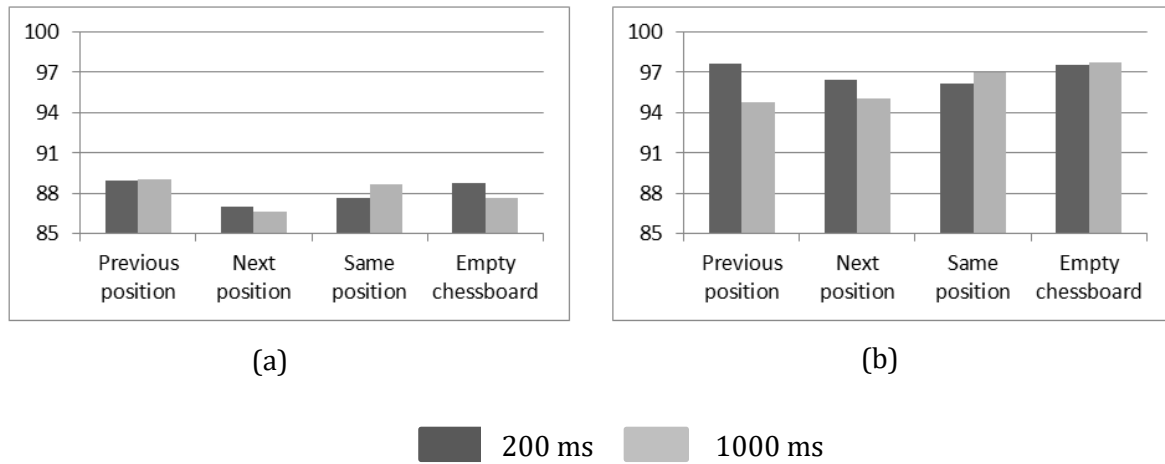


Figure 1 (a, b). Percentage of correct responses by novices (a) and experts (b) groups depending on primes and duration prime.

Then, we focused on the second dependant variable of our experiment, which is the participants' mean reaction time (see Fig. 2 and Fig.3). The same analyses were performed. Without surprise, we showed a difference between Experts and Novices in term of global reaction time ($F(1,18) = 93,10, p < .001$). Experts' reaction time is faster than Novices. Once again, there is no interaction concerning analyses between groups and priming conditions ($F(3,54) = 1,77, p > .10$). However, we found that, both Novices and Experts, show significant differences in term of reaction time depending on priming conditions when we conduct separate analyses for the two groups (respectively $F(3,27) = 30,42, p < .001$ and $F(3,27) = 109,40, p < .001$).

When we also take consideration of primer duration in a double interaction with groups and priming conditions, we find that there are significant differences ($F(3,54) = 3,64, p = .018$). Therefore, it seems that even if we don't show significant differences concerning the interaction between groups and priming conditions, there is an effect when we consider prime duration in our analyses.

Indeed, with complementary analyses we observed that there are differences between groups for 200ms of primer presentation ($F(1,18) = 96,59, p < .001$) and for 1000ms too ($F(1,18) = 933,07, p < .001$). The difference between those two durations can be observed with interaction analyses concerning groups and priming conditions differences that is significant for 1000ms of primer presentation ($F(3,54) = 3,19, p = .03$) but not for 200ms ($F(3,54) = 2,60, p = .062$) where we have only a trend effect.

Concerning Novices (see Fig.2), we observed that our test doesn't show any significant difference between priming conditions for a duration of 200ms ($F(3,27) = 2,41, p = .09$). A slight trend effect is observed nevertheless, and we found in post-hoc analyses that the only difference is observed between the *Same position* prime and the *Empty chessboard* ($p < .01$). On the contrary, for 1000ms, Novices show differences between primers concerning their reaction time ($F(3,27) = 38,36, p < .001$). Post-hoc analyses indicate that Novices are faster to respond if the primer is showing a *Same position* as the target rather than *Previous or Next position* of the game (respectively $p = .02$ and $p < .001$), themselves faster than *Empty chessboard* condition (both $p < .001$).

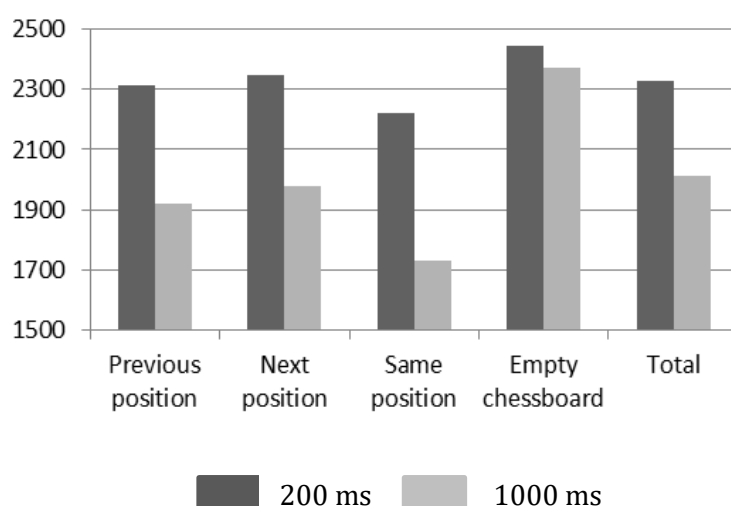


Figure 2. Reaction time (ms) of novices depending on prime and duration prime.

To conclude about Novices reaction time performances, we showed that they are faster in 1000ms condition rather than 200ms condition with all primers that showing a chess position, including consequently *Previous* ($F(1,9) = 29,72, p < .001$), *Next* ($F(1,9) = 26,41, p < .001$) and *Same positions* ($F(1,9) = 26,41, p < .001$). The *Empty chessboard* prime by contrast doesn't show any benefit of primer duration increasing ($F(1,9) = 0,84, p > .10$).

On the other hand, Experts (see Fig.3) show differences between primers for both 200ms duration and 1000ms (respectively $F(3,27) = 38,69, p < .001$ and $F(3,27) = 58,83, p < .001$). For 200ms, Experts seems to be faster for all primers that show chess positions (*Previous*, *Next* and *Same positions*) rather than an *Empty chessboard* (all $p < .001$). We didn't observe any difference between primers that show chess positions. Nonetheless, with a 1000ms duration, those primers lead to further differences. In this condition we observed that Experts are faster for primers showing a *Same position* than targets ($p < .05$), rather than in this order ; *Previous position* of the game ($p < .01$) ; *Next position* of the game ($p < .001$) ; and the *Empty chessboard* primer ($p < .001$).

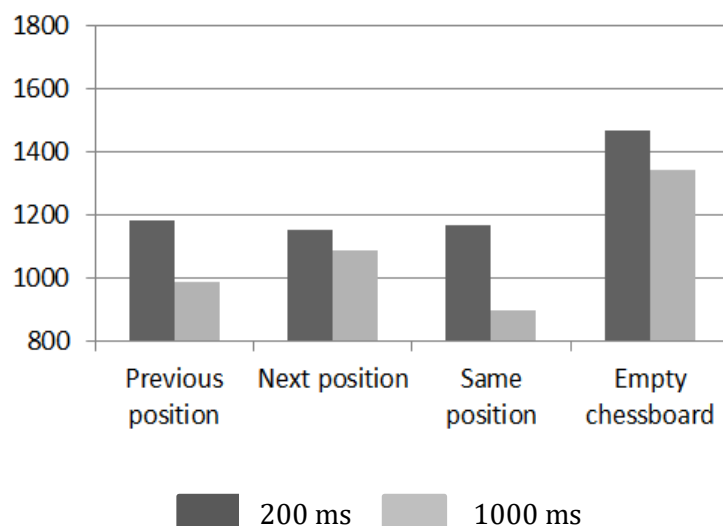


Figure 3. Reaction time (ms) of Experts chess players depending on prime and duration prime

As previously with Novices, we will end with an analysis of the benefit of this increasing of primer presentation time. Experts seem to take profit of the 1000ms of prime presentation in

comparison with the 200ms for some of the priming conditions. It is the case for *Previous position* of the game ($F(1,9) = 18,77, p = .0019$), *Same position* ($F(1,9) = 161,71, p < .001$) and more surprisingly for the *Empty chessboard* prime ($F(1,9) = 5,71, p < .05$). By contrast, the primers that show the *Next position* of the game don't show any improvement with 1000ms ($F(1,9) = 3,60, p = .09$).

D. DISCUSSION

We had several objectives with that study. The main purpose of this work was to show the efficiency of the discrimination network to analyse chess position for expert chess players. Our results on correct responses are not very helping because we wanted to make a task that could easily be done, by both experts and novices in chess. Without surprise, the only effect with this dependant variable is that experts have better performances than novices. It seems that the simplicity of the task creates a ceiling effect on this variable, making the differentiation of our experimental groups performances difficult. However, it enabled to have lots of good responses that brought a lot of data to analyse the participants' reaction time. With this variable we have many interesting results. Firstly, we have seen that the reaction time of expert chess players is globally faster than novices for any kind of primer. This result is not surprising and is just emphasizing the fact that experts will be better to analyse chess positions. More interesting results are given by interaction analyses that showed that experts and novices don't treat all kind of primers in the same way.

In the first place, we have seen that Novices performances are only improved (with some kind of primers) when the presentation time allows a controlled treatment of primers (with 1000ms of presentation). About this case, we observed that novices are faster when they see a priming position relate to the target position. In other words, it seems that they are more efficient when

the primer shows visual similarities with the position they have to analyse. This assumption is also supported by the fact that they are even faster when primer and target are identical.

When the treatment is automatic (with 200ms of presentation), novices are not able to be faster with some primers by contrast with others. It is nevertheless worth noting that we obtained a trend effect showing that novices could be faster when primer and target are similar. This finding has to be interpreted carefully, because it was an exploratory result obtained despite significance of previous ones and it could again be explained by visual similarities between primer and target.

We also showed that novices had benefit with time increasing and improved their reaction time performances for all primers showing chess positions. This finding seems to indicate that the main treatment of novices is controlled and leans on directive processes.

Experts' performances seem quite similar but only with a primer time presentation under the significant threshold (with 200ms of presentation). Indeed, we can see that, for this duration, all primes showing chess positions bring to a faster response than the *Empty chessboard* prime. This improvement for chess positions primers and especially the lack of differences between those leads us to think once more that this kind of treatment is focusing mainly on perceptive aspect of position (see Novices performance in controlled treatment part for a more detailed description).

On the contrary, with a controlled treatment of prime (with 1000ms of presentation), Experts can also improve their performances and there are differences between all priming conditions. With this duration, we showed that Experts are faster when primer and target are identical, then when the prime is showing the *Previous position* of the game, thereafter when the primer is showing *Next position* of the game and finally the *Empty chessboard* prime. As we assumed, we have shown that positions above the *Target position* in the discrimination

network (*Previous and Same position*) lead to faster responses than positions below (*Next position*) and neutral prime (*Empty chessboard*). We think that those results are congruent with the hypothesis of a discriminatory network classifying chunks. Furthermore, our experiment seems to indicate that the speculation about the number of chunks in expert memory is generally underestimated and notably the hypothesis of 5000 chunks only proposed by Holding (1992). Indeed, in our experiment we showed that a slight modification of the pieces repartition is sufficient to modify an expert performance in term of reaction time. This could be imputed, as said previously, to variations in term of chunk recognition which leads to a different activation in the discriminatory network. Considering that the perceptual differences between primers is very slight, our results are more consistent with larger numbers of chunks, notably the 300000 chunks necessary with computer simulations of expert performances (Gobet & Simon, 2000).

The difference obtained in last paragraph between the *Next position* and others chess position primes (*Previous and Same positions*) is also supported by analyse of benefit in term of reaction time obtained with different primer time presentation. More precisely, we have found that, with 1000ms of presentation rather than 200ms, Experts are faster for *Previous position* and *Same position* but not for the *Next position*. Those results are consistent with the idea that, with a controlled treatment of primers, Experts are able to clearly identify chunks and activate relevant information in memory through the discriminatory network. This experiment also underlines the value of anticipatory schemas to perform in chess. Indeed, with *Previous position* and *Same position* it is possible to anticipate a check position whereas it is not for *Next position* primer. Our results show faster reaction times for those two first kinds of primes which is congruent with the idea of anticipatory schemas.

More surprising, we have obtained an effect that was not expected with the *Empty chessboard* primer with which we have also a faster reaction time in 1000ms duration rather than 200ms.

This unanticipated effect could have a lot of explanations and our interpretation is only speculative at this point. Nevertheless, we think that this result could be the sign of an identification of the absence of cue in the primer when its presentation is long enough, whereas when the duration is under the consciousness threshold, it could interfere slightly with the treatment of *Target position*. In our idea, this last condition gives us results comparable to those that could be obtained without any prime presentation.

To summarise, the principal finding of our study is that expert performances are congruent with the idea that chunks could give access to relevant information through a discrimination network. Furthermore, our results would sustain the hypothesis assuming that a lot of chunks are necessary to obtain expert performances, rather than the only 5000 chunks proposed by Holding (1992). In the same vein, our results support the idea of anticipatory schemas leading expert reasoning. This shows, once again, that a discriminatory network is really required to access efficiently to relevant information which provide to carry on the game.

We also demonstrate, as seen in literature, that Experts take benefit of perceptual and semantic aspect of positions (obtained through discriminatory network), whereas Novices seem only influenced by some perceptual similarities between primers and targets. For Experts, it seems that there is an efficient automatic treatment of chess positions mainly focused on perceptual aspect and certainly driven by chunk recognition. With a little more time, the treatment becomes controlled and semantic aspects of positions are now really influencing Experts performances. As proposed previously on literature (Reingold, Charness, Scheltetus, & Stampe, 2001; Postal, 2012), we think that our results suggest that experts are able to operate an automatic and parallel treatment when facing a chess position. Whereas novices treatment is sequential and focused mainly on perceptual aspects of positions.

Further researches on this topic still are necessary and will have to focus on how chunk recognition is functioning. For this purpose it seems that we have to pursue studies to detail and emphasise the role of the discriminatory network.

E. CONCLUSION EN FRANÇAIS

Nos résultats montrent sans surprise une supériorité de la population experte dans cette tâche. Mais les résultats les plus notables résident dans les différences de traitement de l'amorce chez les experts et les novices. Nous observons notamment que les experts vont mettre en place des processus de traitement automatique des amorces. Ce traitement automatique se focaliserait sur des aspects perceptifs de la position et leur permettrait d'accélérer le traitement de la cible. Avec davantage de temps de présentation de l'amorce, les experts pourraient mettre en place des processus contrôlés leur permettant d'améliorer leurs performances pour certaines amorces. Ces résultats corroborent également l'existence d'un réseau de discrimination des chunks en MLT et de l'utilisation de schémas anticipatoires par les experts.

6.2 EXPERIENCE 5 - L'EFFET D'EINSTELLUNG AUX ECHECS : LA SOLUTION INTUITIVE EST-ELLE TOUJOURS BONNE A SUIVRE ?

Lors de la précédente expérience nous nous sommes intéressés à l'organisation et à la récupération des informations en MLT chez les joueurs experts aux échecs. Nos résultats supportent l'hypothèse d'une organisation hiérarchique de l'information en MLT qui permettrait aux experts de récupérer efficacement et souvent de manière automatique les informations dont ils ont besoin. A l'instar des travaux de Kahneman (2011), nous pensons que ce fonctionnement rapide, automatique et intuitif n'est pas exempt de biais. L'un d'eux

est représenté dans la littérature sous le nom d'effet d'Einstellung (Bilalic, McLeod, & Gobet, 2008). Le prochain article proposera une description de cet effet, une réplique des résultats obtenus par Bilalic et ses collaborateurs et une variante de leur expérience visant à montrer comment l'organisation des informations en MLT influence les décisions intuitives des experts.

Trincherini, R., & Postal, V. (en préparation). L'effet d'Einstellung aux échecs : la solution intuitive est-elle toujours bonne à suivre ?

A. INTRODUCTION

La manière de raisonner des individus va varier selon le contexte. Dans des situations fréquemment observées, les individus vont avoir tendance à se baser sur des schémas et procédures préétablies (Fitts, 1964). Celles-ci vont pouvoir s'activer à partir de la reconnaissance de patterns ou indices spécifiques (Chase & Simon, 1973). Cette reconnaissance d'indices au sein de leur environnement permettra aux individus de récupérer automatiquement les connaissances nécessaires à leurs actions (Richman et al., 1996). Au travers de son expérience, l'individu va donc parvenir à extraire certains aspects précis de la situation qui pourront guider le raisonnement et permettre une décision rapide dans des situations similaires (Perkins, 1977). Ce type de situation est défini par Rasmussen (1983) comme une décision basée sur les habiletés des individus. Ce mode de décision est celui qui sera mis en place dès que l'expérience de l'individu est assez grande pour le permettre. A l'inverse, une situation moins fréquente entraînera une décision plus lente nécessitant l'activation de schémas et procédures qu'il faudra analyser et également d'un diagnostic plus exhaustif de la situation et des possibilités d'actions (Klein, 1993). L'individu va pouvoir associer automatiquement des éléments de son environnement avec des éléments de résolution possibles de la situation. De cette manière, il est possible d'influencer le raisonnement d'un

individu en dirigeant son attention vers certains aspects d'une situation. A titre d'exemple, le fait de faire précéder une cible à mémoriser par une amorce sémantiquement reliée permet d'améliorer la rétention de l'information (Quaireau, 1995). Ce bénéfice de l'amorce serait imputable à l'association automatique, mise en place par le système 1 décrit par Kahneman, entre l'élément activé (l'amorce) et les éléments sémantiquement reliés au sein du réseau (McClelland & Rumelhart, 1985). Kahneman (2011) montre néanmoins que ce fonctionnement rapide, automatique et intuitif n'est pas exempt de biais.

La diffusion de l'association entre plusieurs éléments en MLT va donc entraîner une facilité à récupérer des informations pertinentes pour traiter la situation en fonction de leur distance sémantique (Collins et Loftus, 1975). Plus la distance est faible entre deux concepts dans un contexte donné et plus la force d'activation entre les deux sera importante. Ainsi, en amorçant un concept cible par la présentation d'un autre concept ayant une distance sémantique faible, celui-ci sera plus facilement activé dans le réseau sémantique.

Au fil de leurs expériences, les individus vont donc renforcer l'association entre des concepts. Dans un domaine nouveau, si l'on apprend à un individu à résoudre un problème en adoptant un comportement, l'association que l'on va créer entre le problème et la procédure de résolution entraînera donc la mise en place automatique de la procédure (Logan, 1988 ; Anderson & Lebiere, 1998). Se basant sur les travaux de Zener et Duncker (non publiés), Luchins (1942) propose d'évaluer comment l'apprentissage d'une procédure de résolution de problème viendra empêcher la découverte et la mise en place d'une procédure plus simple. Il va nommer cela l'effet d'Einstellung que l'on peut traduire par l'effet d'attitude.

Dans son expérience, Luchins (1942) demande aux participants de résoudre un problème lié à la contenance de plusieurs jarres. L'objectif est de parvenir à remplir l'une des jarres avec un exact volume d'eau. Pour cela, le participant aura face à lui trois jarres de différentes

contenances. Il pourra alors remplir les jarres aussi souvent qu'il le souhaite et transvaser le contenu d'une jarre à l'autre afin d'obtenir le volume d'eau demandé. Tout ce que le participant sait au début de la tâche c'est qu'il possède trois jarres à disposition et qu'il doit trouver la quantité exacte d'eau demandée. Les six premiers problèmes proposés par Luchins peuvent être résolus de la même manière. Il s'agit de la phase dite "d'induction" du problème, au cours de laquelle les participants vont se familiariser avec la procédure de résolution et vont intégrer celle-ci comme une procédure permettant de résoudre le problème dans des conditions similaires.

Ainsi, en attribuant une lettre pour représenter chacune des jarres à disposition des participants, les six problèmes peuvent être résolus avec la méthode " $B - A - 2C$ ". Pour plus de précision voici un exemple de problème présent dans l'expérience de Luchins. Le participant doit remplir une jarre avec 100 volumes d'eau en utilisant trois jarres ayant des capacités respectives de 21 (jare A), 127 (jare B) et 3 (jare C) volumes d'eau. Pour résoudre ce problème, la procédure " $B - A - 2C$ " est apprise aux participants. Ce qui veut dire qu'ils vont devoir commencer par remplir la jare B et le vider dans la jare A. Par soustraction on obtient donc 106 volumes d'eau dans la jare B et 21 dans la jare A. Et remplir ensuite la jare C à deux reprises avec le contenu de la jare B. Il n'y a donc désormais plus que 100 litres dans la jare B.

Cette procédure permet de résoudre les six premiers problèmes proposés par Luchins. En revanche les problèmes sept et huit de son expérience peuvent être résolus également beaucoup plus simplement (respectivement avec les méthodes " $A - C$ " et " $A + C$ "). Ces problèmes sont donc beaucoup plus faciles à résoudre que les précédents en utilisant cette méthode. Cependant, la procédure " $B - A - 2C$ " peut encore être mise en place pour résoudre le problème. Luchins va observer que les participants ayant été entraînés avec cette dernière procédure vont la mettre en place automatiquement sans même envisager la procédure plus

simple. En revanche, des participants qui n'avaient pas appris la première procédure de résolution parvenaient tous à trouver la résolution simple et à l'appliquer.

Le problème neuf est appelé problème "d'extinction". Celui-ci ne propose désormais plus que la nouvelle procédure de résolution plus simple. Luchins observe que les participants ayant été entraînés à résoudre le problème avec la solution complexe (durant la phase d'induction) ne parviennent généralement pas à résoudre ce problème. Les deux derniers problèmes en revanche vont pouvoir être résolus à nouveau par les deux méthodes. Cependant les participants ayant passés la phase d'induction ne parviennent toujours pas à mettre en place la solution simple alors qu'elle leur a été montrée dans le problème précédent. L'induction d'une procédure de résolution a donc entraîné, chez ces participants, la mise en place automatique de cette solution au détriment de solutions plus adéquates. Ce que Luchins (1942) qualifie de mécanisation de la pensée.

Cette mise en place automatique, rapide et intuitive peut donc entraîner certains biais de raisonnement chez les individus et les experts n'en sont pas exempts. Saariluoma (1990) est parvenu à adapter la recherche de Luchins (1942) au jeu d'échecs. Pour cela, il a entraîné des participants à résoudre une série de problèmes d'échecs en utilisant un "mat à l'étouffé" (smothered mate). Il s'agit d'une configuration particulière dans laquelle l'un des joueurs va mettre son adversaire échec et mat en attaquant le roi, qui est dans l'incapacité de bouger, avec l'un de ses cavaliers (voir Figure.1).

Suite à cette phase de résolution, un nouveau problème est présenté aux participants. Celui-ci peut encore être résolu avec la solution précédente (mat à l'étouffé) mais il est également possible de le résoudre en utilisant deux procédures plus simples. Les joueurs d'échecs ne parviennent alors pas à trouver l'une des solutions les plus simples et continuent à se focaliser sur la solution plus complexe. Un autre effet d'Einstellung est également observable plus

tardivement dans l'expérience. Les participants continuent en effet de résoudre une série de problèmes. Cette fois, la seule solution est l'une des solutions simples qu'ils n'avaient pas réussis à percevoir au sein des problèmes précédents. Cela correspond donc au problème numéro neuf de l'expérience de Luchins, qualifié de problème d'extinction. Après quelques problèmes pouvant être résolus uniquement de cette manière, le problème contenant la solution de mat à l'étouffé et les deux solutions simples est de nouveau présenté aux participants. Cette fois, ceux-ci parviennent à mettre en place la solution simple qui leur a permis de résoudre les problèmes précédents mais restent incapables de découvrir la seconde solution simple.



Figure 1. Représentation du type de solution (mat à l'étouffé) permettant de résoudre les quatre premiers problèmes de l'expérience de Saariluoma (1990).

Bilalic, McLeod et Gobet (2008a) ont répliqué les travaux de Saariluoma dans une série de trois expériences. Elles avaient notamment pour objectif de modifier certains aspects problématiques de l'expérience de Saariluoma. Tout d'abord, comme le précisent Bilalic et ses collègues, l'expérience de Saariluoma comportait une consigne demandant aux participants de répondre le plus rapidement possible. Cette consigne faciliterait ainsi l'effet d'Einstellung en ne laissant aucun temps supplémentaire aux joueurs afin de trouver des solutions alternatives. De plus, l'expérience de Saariluoma ne présentait pas non plus de tâche

d'extinction concernant le second effet d'Einstellung identifié. En effet, selon Bilalic et al (2008a) l'expérience de Saariluoma contiendrait deux effets d'Einstellung distincts. Le premier lorsque les joueurs ne parviennent pas à trouver l'une des solutions simple face à la procédure de mat à l'étouffé. Et le second lorsque les participants ont identifiés l'une des solutions simples et qu'il ne parviennent pas à identifier la seconde. Ce point est discutable car la consigne de Saariluoma consistait à résoudre le problème le plus rapidement possible et la solution simple identifiée possédait une résolution relativement rapide. Néanmoins, il est en effet impossible de savoir dans ce second cas si les joueurs n'ont pas identifié la seconde procédure de résolution simple parce qu'ils étaient focalisés sur une autre procédure ou parce qu'ils ne connaissaient pas cette méthode.

Dans leur série de trois expériences, Bilalic et al. (2008a) ont donc étudié l'effet d'Einstellung chez les experts aux échecs. Nous nous concentrerons en particulier sur les résultats des expériences 1 et 2 dans cet article. Leur première expérience avait pour but de répliquer les résultats de Saariluoma en proposant cette fois une tâche d'extinction ne comportant que la résolution optimale. Cette expérience part également du principe que les positions considérées comme fréquentes n'ont pas besoin d'être amorcées avec des essais d'entraînement. Ainsi les solutions identifiées comme "fréquentes" seront celles qui provoqueront l'effet d'Einstellung. Ces solutions sont tellement connues et fortement activées chez les joueurs qu'elles viendraient bloquer la découverte d'autres options plus efficaces, qualifiées par les auteurs "d'optimales". Aucune phase d'entraînement n'est donc utilisée afin de familiariser les joueurs avec une procédure de résolution. L'expertise a en effet déjà entraîné les joueurs à reconnaître automatiquement la méthode de résolution familière. Cette modification de la tâche de Saariluoma est particulièrement importante car le fait d'attirer l'attention des experts sur des aspects habituellement traités de manière automatique semble entraîner une baisse de performance (Beilock et al., 2002). Cela reste néanmoins à relativiser puisque d'autres auteurs

(Toner & Moran, 2014) ont montré que dans des domaines d'expertise nécessitant un contrôle moteur, les individus semblaient bénéficier de ce traitement conscient, sur des actions habituellement traitées de manière automatique, afin de parfaire leurs mouvements et de s'améliorer.

Les résultats obtenus par Bilalic et ses collaborateurs vont dans le sens de ceux de Saariluoma et on observe effectivement que les joueurs vont avoir tendance à se fixer sur la résolution fréquente. Quelques joueurs, notamment ceux ayant le plus fort classement Elo, parviennent néanmoins à se détourner de cette résolution fréquente afin de découvrir la solution optimale.

Dans la seconde expérience, Bilalic et al. (2008a) ont proposé aux participants une expérience relativement similaire à la première. Cependant la consigne était cette fois de trouver le meilleur coup et non de répondre le plus rapidement possible. L'effet d'Einstellung de la première expérience est une nouvelle fois observé avec ce protocole considéré par les auteurs comme plus représentatif du contexte réel auquel font face les joueurs au cours d'une partie. Les auteurs ont également observé que parmi les meilleurs joueurs de leur étude certains prenaient la décision optimale de manière automatique. Les auteurs ont pu l'identifier au travers du recueil du protocole verbal des joueurs en cours de tâche. Cela signifierait que l'absence d'effet d'Einstellung observé chez les meilleurs joueurs experts ne serait pas due à une plus grande flexibilité de leur part, mais bien à la découverte automatique de la solution optimale.

Donc comment expliquer que tous les experts ne parviennent pas à trouver des solutions optimales dans ces cas-là ? Des recherches ont montré que la solution la plus familière semblait focaliser l'attention des individus (Bilalic et al., 2008c ; Sheridan & Reingold, 2013). Cette focalisation continue même lorsque les experts prétendent rechercher des solutions plus optimales. Blech, Gasler et Bilalic (2020) ont montré que ce phénomène pouvait être expliqué

par le fait que les individus se focalisent sur des recherches de variantes possibles à partir de la procédure qui n'est plus applicable. En d'autres termes, ils cherchent à modifier la procédure devenue inefficace sans rechercher d'autres types de procédures. Les auteurs expliquent donc que le mécanisme derrière le fonctionnement de l'effet d'Einstellung serait un cercle vicieux dans lequel l'activation d'une procédure en mémoire à long terme entraînerait la reconnaissance d'indices spécifiques à celle-ci dans l'environnement. Ces indices renforçant eux-mêmes l'activation de la procédure inadéquate et empêchant la découverte de nouvelles procédures.

Pour être plus précis sur ce mécanisme, il faut également citer les travaux de Thomas, Didierjean et Kuhn (2018) qui ont étudié le phénomène d'Einstellung dans le cadre des tours de magie. Dans leur étude, les participants devaient essayer de comprendre le tour effectué par un magicien (présenté sur vidéo). Une solution de ce tour semblant évidente était induite chez les participants en demandant au magicien d'exagérer certains mouvements et d'agir de manière peu naturelle. Ainsi, les participants vont se focaliser sur cette option et ne pas découvrir le véritable secret du tour de magie. Suite à cela, le magicien fait en sorte de faire comprendre aux participants que cette solution est en réalité impossible. Ils devront donc essayer de trouver une autre solution que celle qu'ils avaient envisagée. Pourtant, ils semblent continuer à se focaliser sur celle-ci et ne parviennent pas à identifier la solution réelle de ce tour de magie. Selon les auteurs, l'induction de la solution qui semble évidente entraîne une représentation spécifique du problème. Lorsque celle-ci est montrée comme étant impossible, certains aspects de la représentation du problème restent cependant actifs. Ainsi, des caractéristiques associées à la première représentation du problème vont venir perturber la recherche de la bonne solution. Cette interprétation semble cohérente avec l'étude de Blech, Gasler et Bilalic (2019) qui montrait que les individus vont tenter d'adapter la solution qui leur semble évidente plutôt que d'en chercher une totalement différente.

Dans notre étude, nous avons décidé de répliquer les effets d'Einstellung observés par Bilalic et ses collègues. Nous avons donc mis en place une procédure similaire à la leur à l'exception que, dans notre étude, les joueurs amateurs sont confrontés également aux problèmes avec les deux solutions possibles. Cet aspect manquant dans l'étude de Bilalic et al. (2008a) pourrait venir biaiser les résultats dans le sens où les joueurs amateurs n'ont pas exactement le même protocole que les experts (passation d'une condition uniquement contre deux pour les experts). De plus, nous avons également proposé une variante de l'expérience de Bilalic et al., dans laquelle les participants sont confrontés en premier au problème n'ayant que la solution optimale possible. Cette modalité permet en premier lieu de contrôler si les joueurs ont de meilleurs résultats que ceux ayant commencés par le problème à deux solutions. Notre hypothèse est que la solution fréquente a un seuil d'activation plus faible du fait de l'exposition répétée à celle-ci. La solution devient ainsi tellement prégnante dans l'esprit des joueurs, qu'elle s'activera automatiquement malgré qu'ils aient identifiés la solution optimale. A l'inverse, les plus experts d'entre eux devraient, comme dans l'expérience de Bilalic et al. (2008a), parvenir à identifier rapidement la solution optimale dans n'importe quelle condition de passation. Dans un second temps, les participants se verront proposer le problème ayant deux solutions possibles. L'objectif de ce problème est double. Tout d'abord, il permet de vérifier si les personnes n'ayant pas découvert la solution optimale dans le premier problème ont connaissance de la solution plus fréquente qui est désormais applicable. Et enfin, cela permet également de voir si les experts vont avoir tendance à se fixer sur les aspects de la position liés à la réponse optimale ou si l'activation de la solution fréquente sera plus importante. Nous pourrions donc observer si effectivement la rigidité de pensée des experts pourrait être expliquée par l'incapacité de modifier une procédure qui s'active automatiquement dans l'esprit des experts (Bilalic, McLeod, & Gobet, 2008).

B. MÉTHODE

Participants : Dans cette expérience, nous avons recruté 47 participants durant le tournoi de Malakoff et les championnats de France d'échecs 2018 à Nîmes. Les participants ont été séparés en deux groupes. Le premier passant les modalités de la tâche dans les mêmes conditions que dans l'étude de Bilalic et ses collègues, c'est-à-dire en commençant par le problème comportant une solution optimale et une solution plus fréquente. Et un second groupe débutant la tâche par le problème ne pouvant être résolu qu'avec la solution optimale. Le groupe 1 a une moyenne d'âge de 35.4 ans ($ET = 14.78$), tandis que le groupe 2 a une moyenne d'âge de 34.7 ans ($ET = 12.50$). Les groupes sont également équilibrés en fonction du sexe des participants. Les groupes sont majoritairement composés d'hommes et on compte seulement deux femmes dans notre échantillon.

Dans chacun de ces deux groupes, nous avons différencié les joueurs experts et les joueurs amateurs. Les personnes ayant un classement Elo supérieur à 2000 et ayant au minimum dix années de pratique ont été considérées comme faisant partie du groupe des experts. A l'instar des travaux de Bilalic et ses collaborateurs, nous avons également divisé les groupes d'amateurs et d'experts en fonction de leur classement Elo. En revanche, compte tenu de la petite taille de notre échantillon, nous avons divisé ces deux populations en seulement deux groupes (contrairement aux trois groupes de l'étude de Bilalic). Cette division a été établie selon des critères différents pour les joueurs amateurs et les experts. Pour les amateurs, nous avons effectué une séparation à 1600 Elo, car ce classement correspond à celui d'un "bon joueur de club". Pour les experts, la distinction a été établie à 2300 Elo. Ce score correspond au minimum à atteindre afin de recevoir le premier titre possible pour un expert français : celui de Maître Fide. Le tableau 1 présente le classement Elo moyen et l'écart-type de chacun de ces sous-groupes.

Tableau 1.

Classement Elo moyen et écart-type de notre échantillon en fonction du groupe expérimental.

		Groupe 1		Groupe 2	
	Classement Elo	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Experts	> 2300	2441	155	2453	88
	2001-2300	2116	49	2192	78
Amateurs	1601-2000	1820	101	1789	128
	< 1600	1401	198	1378	128

Matériel : Les problèmes choisis sont ceux des expériences 1 et 2 de l'article de Bilalic et al. (2008a). L'aspect des problèmes ainsi que leurs résolutions sont présentés dans les figures 2 et 3. Les problèmes de la figure 2 sont ceux permettant deux résolutions différentes : l'une étant optimale et l'autre étant plus fréquente. Et les problèmes de la figure 3 sont ceux ne pouvant être résolus qu'en adoptant la procédure optimale. Les solutions qualifiées de fréquentes sont celles qui sont particulièrement connues des joueurs. Elles sont assimilables aux solutions simples de l'expérience de Luchins (1942). A l'inverse, les solutions optimales peuvent mener les joueurs à des gains plus importants. Cependant ces solutions sont également beaucoup plus rares que les précédentes. Elles sont assimilables aux problèmes complexes de l'expérience de Luchins (1942).

Pour chacun de ces problèmes, les procédures de résolution fréquentes sont les suivantes :

- Problème a : 1. Nf8+, l'objectif est de pouvoir récupérer la tour en d7.
- Problème b: 1. NE7+ ou 1. Rxb3, l'objectif est de récupérer la tour e8 en échange de notre cavalier ou de récupérer le fou c7.
- Problème c : 1. Rxh7, contrairement à ce qui a été prévu par Bilalic et ses collègues cette solution est loin d'être familière et mène à de mauvaises résolutions. A titre d'exemple, suite au coup Rxh7, la plupart des joueurs proposent le coup Qh2 alors que celui-ci mène pourtant à la perte de la partie.

- Problème d : 1. Bxc4, l'objectif est de récupérer le pion en c4 tout en défendant la tour D3.
- Problème e : 1. dxc6, l'objectif est de récupérer immédiatement un cavalier à son adversaire.
- Problème f : 1. Qe6+ Kh8 2. Nf7+ Kg8 3. Nh6++ Kh8 4. Qg8+ Rxc8 5. Nf7#

Le problème f présente l'ensemble de la procédure de résolution car les coups de l'adversaire sont forcés et mènent invariablement à une position d'échec et mat. A l'inverse, pour les autres problèmes seul le premier coup et l'état final du problème sont présentés, car les réponses de l'adversaire peuvent varier.

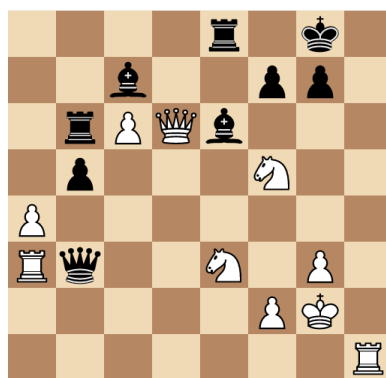
Les procédures de résolution optimale sont les suivantes :

- Problème a : 1. Qxh6+ Kxh6 2. g5+ Kh7 3. Rh4#.
- Problème b : 1. Qf8+ Rxf8 2. Ne7# ou 1. Qf8+ Kxf8 2. Rh8#.
- Problème c : 1. Qh2, position menant à un échec et mat.
- Problème d : 1. Bg8, l'objectif est de menacer le mat avec dame h7 afin de récupérer une tour de la colonne d.
- Problème e : 1. Qxh5 gxh5 2. Bh7# ou 1. Qxh5 ... 2. Qh7#.
- Problème f : 1. Qe6+ Kh8 2. Qh6 Rd7 3. Qxh7#.

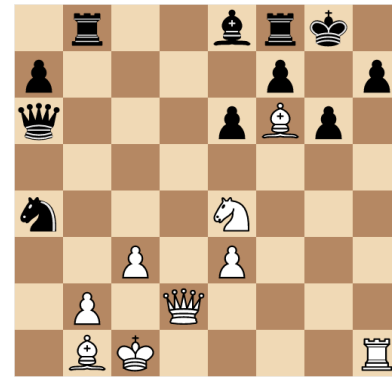
Le problème C a été proposé aux participants mais a été retiré de notre analyse car il ne répondait pas aux caractéristiques attendues dans cette expérience, à savoir la présence d'une procédure de résolution familière pour les joueurs. Cette conclusion a été établie sur la base de nos échanges avec les joueurs en fin de tâche.



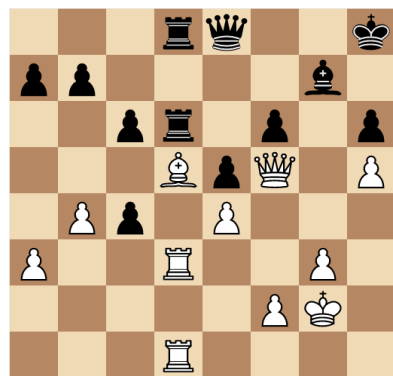
2a



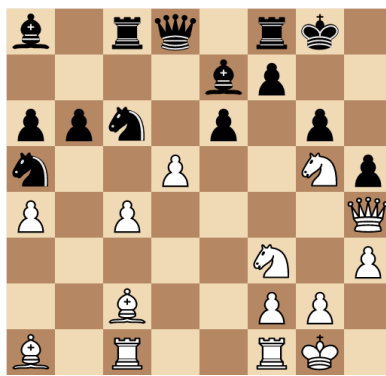
2b



2c



2d

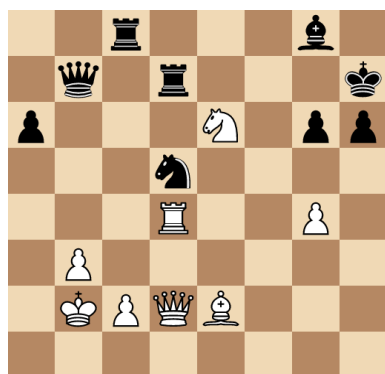


2e



2f

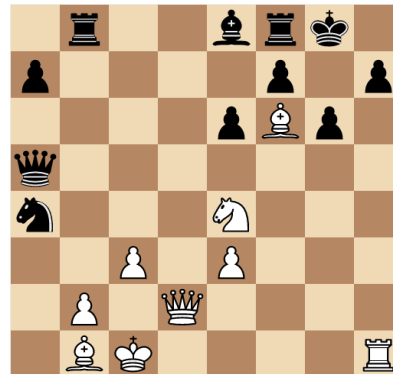
Figure 2. Représentation des six problèmes de notre étude (d'après Bilalic et al., 2008) présentant deux solutions possibles : une solution fréquente et une solution plus rare mais optimale.



3a



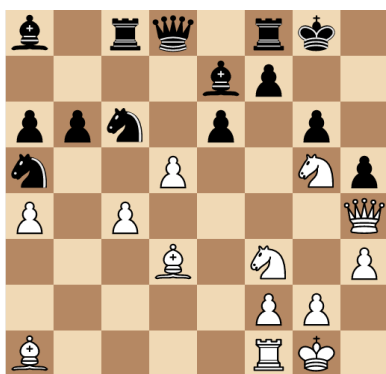
3b



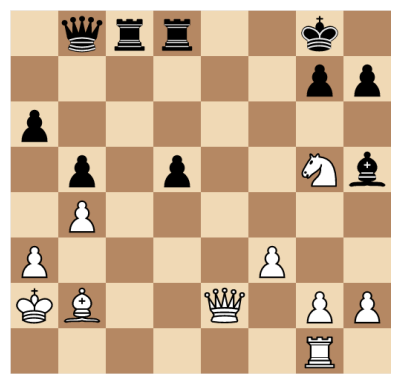
3c



3d



3e



3f

Figure 3. Représentation des six problèmes de notre étude (d'après Bilalic et al., 2008) présentant une seule solution possible qui est considérée comme étant optimale.

Procédure : Les participants ont réalisé cette tâche sur un ordinateur portable de 15 pouces. Les images étaient toutes de taille équivalente et ont été construites à l'aide de l'éditeur de position du site Lichess. Les participants étaient invités à réfléchir à haute voix et leurs différentes réponses ont été notées par l'expérimentateur. Ces réponses nous ont permis d'identifier quelle était la première solution identifiée et le nombre de solutions envisagées par les joueurs. Le temps de réponse des participants a également été mesuré. Ils avaient un maximum de six minutes pour tenter de résoudre chaque problème. A la fin du temps imparti et si le participant n'avait pas de lui-même validé une réponse il lui était demandé d'en formuler une.

C. *RÉSULTATS*

Concernant le premier groupe, réalisant la tâche dans le même ordre que les participants de l'expérience de Bilalic et al. (2008), le pourcentage de réponses optimales obtenu pour le problème à deux solutions (fréquente et optimale) et pour le problème à une solution (seulement optimale) est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2.

Pourcentage de réponses optimales obtenu par les participants du groupe 1 en fonction du type de problème (2-solutions ou 1-solution) et du niveau des joueurs (classement Elo).

Pourcentage de réponses optimales				
Groupe	Elo	2-Solutions	1-Solution	Effectif
Experts	≥ 2300	70	90	4
	2000-2299	63	77	7
Amateurs	1600-1999	40	57	6
	< 1600	26	40	7

Pour le problème à deux solutions, nous avons réalisé une analyse logistique en prenant comme variable dépendante le choix des participants (Solution optimale ou Autre solution) et le classement Elo en prédicteur. Nous observons un effet significatif du niveau des joueurs sur

leur capacité à trouver la solution optimale, $B = .002$, $SE. = .001$, $Z = 4.03$, $p < .001$. De plus, nous avons également réalisé une autre analyse de régression logistique en prenant le temps de résolution en prédicteur. Il apparaît que plus le temps passe et moins la probabilité de découvrir la solution optimale semble importante, $B = -0.17$, $SE. = .005$, $Z = -3.65$, $p < .001$. On observe qu'environ 70% des décisions optimales sont prises dans les premières secondes de présentation du problème. Les représentations de ces régressions en fonction du niveau des joueurs et du temps sont disponibles en figure 4 (respectivement 4a et 4b). En comparant ces différents groupes, on observe également que la probabilité de trouver la solution optimale dans le problème présentant deux solutions est multipliée par un facteur 2.19 pour les joueurs ayant un Elo compris entre 1600 et 1999, par 5.41 pour les joueurs ayant un Elo entre 2000 et 2999 et par 13.14 pour les joueurs avec un classement supérieur à 2300 en comparaison avec les joueurs ayant un Elo inférieur à 1600.

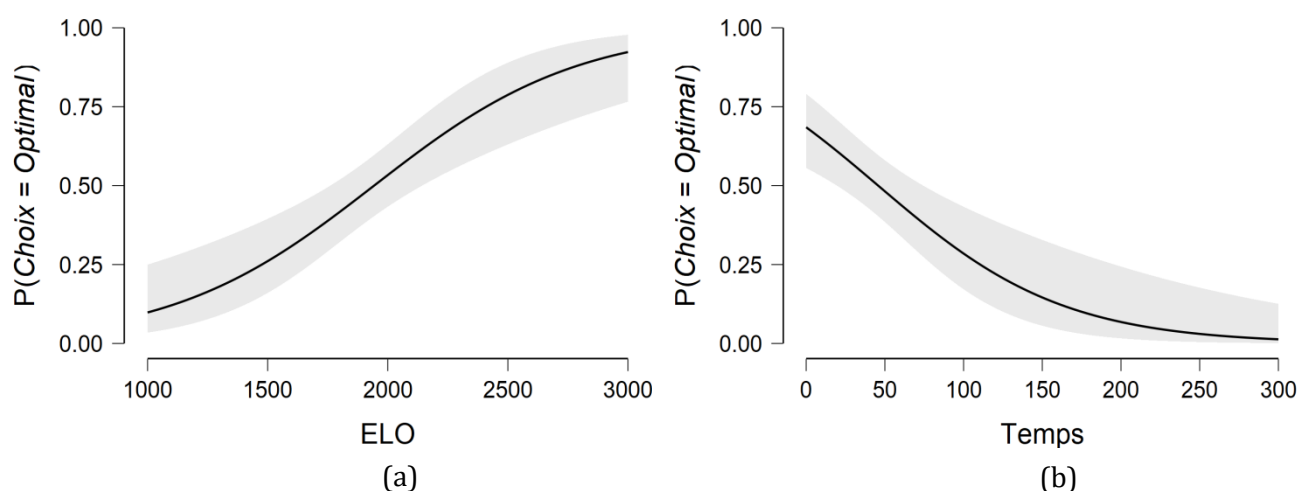


Figure 4 (a, b). Représentation de la probabilité de trouver la solution optimale pour les participants du groupe 1 dans les problèmes présentant deux solutions possibles (fréquente ou optimale) en fonction du classement Elo des participants (Figure 4a) et du temps (Figure 4b).

Pour le problème à une solution, les mêmes analyses ont été réalisées. Les deux régressions effectuées en fonction du classement et du temps sont significatives, respectivement $B = 0.003$, $SE. = .001$, $Z = 4.46$, $p < .001$ et $B = -0.020$, $SE. = .004$, $Z = -4.87$, $p < .001$. On

observe donc que la probabilité de découvrir la solution optimale augmente avec l'augmentation du classement Elo (Figure 5a) et diminue au cours du temps (Figure 5b).

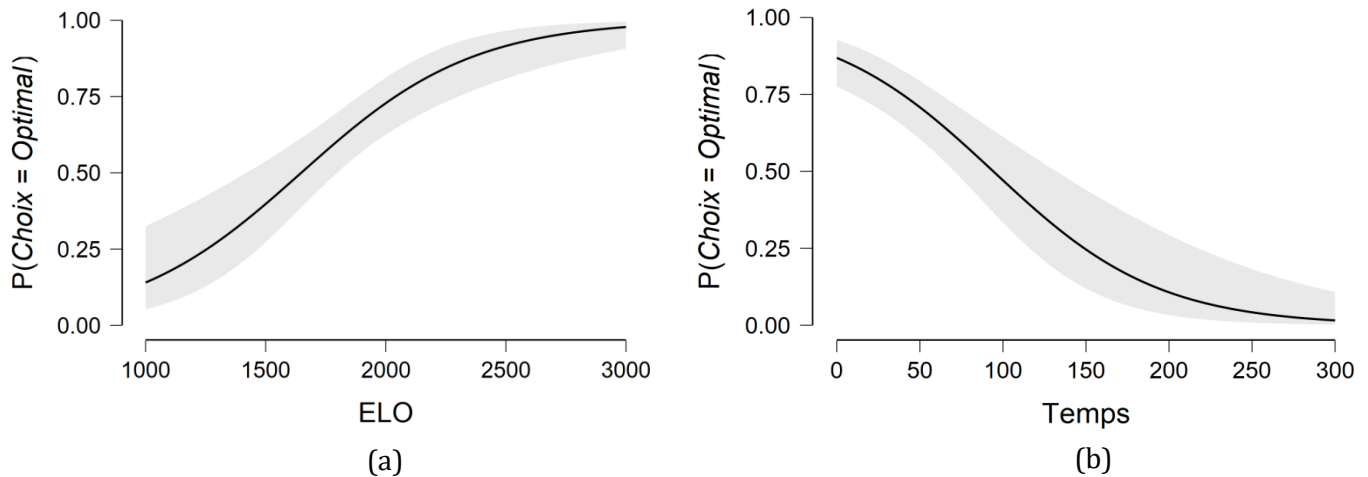


Figure 5 (a, b). Représentation de la probabilité de trouver la solution optimale pour les participants du groupe 1 dans les problèmes présentant une seule solution possible (optimale) en fonction du classement Elo des participants (Figure 5a) et du temps (Figure 5b).

On peut voir que la probabilité de trouver la solution optimale est très élevée dans les premiers instants de présentation du problème (supérieur à 90 %) et décroît rapidement ensuite.

En prenant en covariant le classement Elo, on peut également voir que les participants du groupe 1 ont 2.20 fois plus de chance de trouver la solution optimale dans les problèmes proposant une seule solution possible par rapport aux problèmes permettant la mise en place de la solution fréquente également, $B = 0.79$, $SE. = .29$, $Z = 2.69$, $p = .007$. Ce facteur est différent en fonction du niveau des joueurs, de sorte que la chance de trouver la solution optimale lorsque seulement celle-ci est disponible est multipliée par un facteur 2.05 pour les amateurs (respectivement 2.44 pour les $Elo \leq 1600$ et 1.75 pour les Elo compris entre 1600 et 1999) et 2.44 pour les experts (respectivement 2.15 pour les Elo compris entre 2000 et 2299 et 4.13 pour les $Elo \geq 2300$).

Le groupe 2 a également réalisé cette expérience mais en intervertissant l'ordre de passation des problèmes. Ils ont donc réalisé le problème avec seulement la solution optimale en premier. Les mêmes analyses de régression que le groupe 1 ont été réalisées avec ce groupe.

Tableau 3

Pourcentage de réponses optimales obtenu par les participants du groupe 2 en fonction du type de problème (2-solutions ou 1-solution) et du niveau des joueurs (classement Elo).

Pourcentage de réponses optimales				
Groupe	Elo	2-Solutions	1-Solution	Effectif
Experts	≥ 2300	88	92	5
	2000-2299	83	90	6
Amateurs	1600-1999	52	52	5
	< 1600	34	34	7

Concernant les problèmes à une seule solution, on observe que la probabilité de découvrir la solution optimale augmente avec le classement Elo (Figure 6a) et diminue avec le temps (Figure 6b), respectivement $B = 0.003$, $SE. = .001$, $Z = 4.99$, $p < .001$ et $B = -0.024$, $SE. = .005$, $Z = -5.10$, $p < .001$. Environ 95% des décisions optimales sont prises dans les premiers instants de présentation du problème.

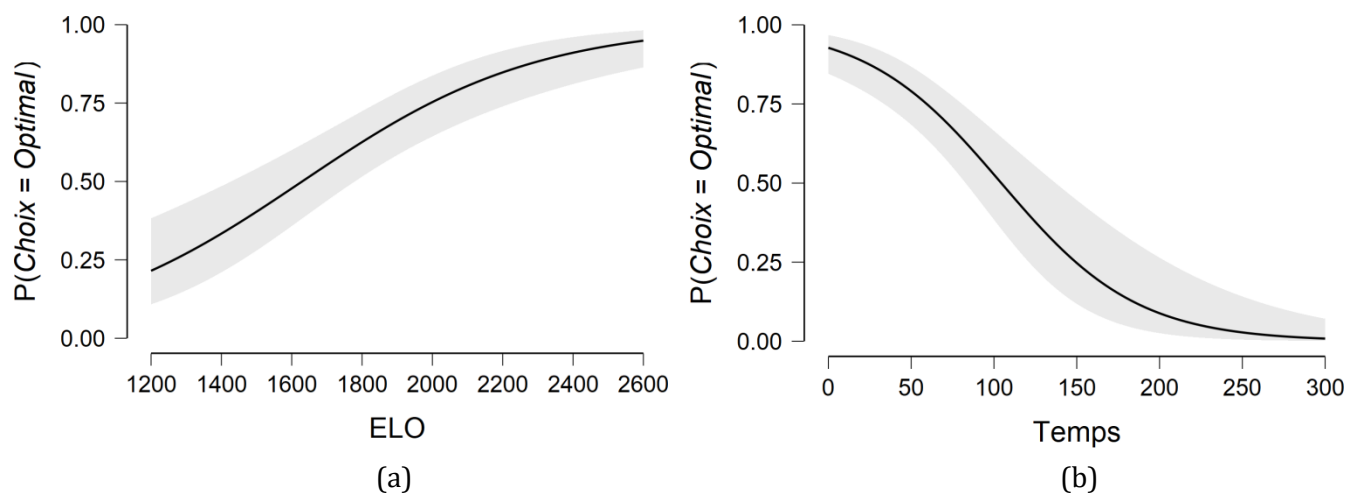


Figure 6 (a, b). Représentation de la probabilité de trouver la solution optimale pour les participants du groupe 2 dans les problèmes présentant une seule solution possible (optimale) en fonction du classement Elo des participants (Figure 6a) et du temps (Figure 6b).

Pour les problèmes à deux solutions, on observe également que la probabilité de découvrir la solution optimale augmente avec le classement Elo (Figure 7a) et diminue avec le temps (Figure 7b), respectivement $B = 0.003$, $SE. = .001$, $Z = 4.58$, $p < .001$ et $B = -0.026$, $SE. =$

.009, $Z = -2.91$, $p = .004$. Cette fois la probabilité de prendre la décision optimale est de seulement 75% dans les premiers instants de présentation du problème.

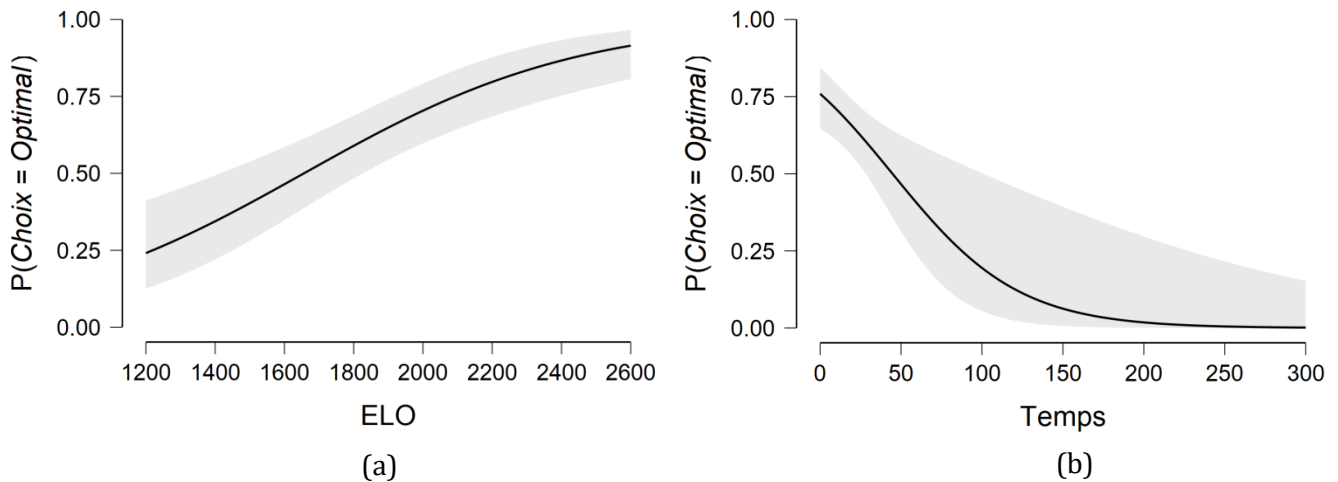


Figure 7 (a, b). Représentation de la probabilité de trouver la solution optimale pour les participants du groupe 2 dans les problèmes présentant les deux solutions possibles (fréquente ou optimale) en fonction du classement Elo des participants (Figure 7a) et du temps (Figure 7b).

En comparant les résultats des deux groupes pour les problèmes présentant une seule solution possible, on observe que la probabilité de découvrir la solution optimale n'est pas significativement différente, $B = 0.082$, $SE. = .272$, $Z = 0.30$, $p = .76$.

D. DISCUSSION

Dans cette étude, nous faisons tout d'abord pour hypothèse que la probabilité de découvrir la solution optimale serait plus forte avec l'augmentation du classement Elo des joueurs. Nous souhaitons également observer un effet d'Einstellung qui se caractériserait par une focalisation des joueurs sur la solution fréquente au détriment de la solution optimale. De plus, dans la variante que nous avons proposé nous nous attendions à ce que la solution plus

fréquente s'active automatiquement lors de la présentation du problème à deux solutions et ce malgré l'identification préalable de la solution optimale dans le problème à une solution.

Dans cette expérience nous sommes parvenus à répliquer les résultats obtenus par Bilalic et ses collaborateurs. Malgré un niveau relativement plus faible de notre population experte (Elo moyen de 2195 contre 2316 pour l'expérience de Bilalic), nous observons bien une augmentation de la probabilité de découvrir la solution optimale avec l'augmentation du classement Elo pour les problèmes présentant deux solutions. En comparant les résultats obtenus par les participants dans les problèmes à deux solutions avec ceux obtenus dans les problèmes à une solution on constate également la présence d'un effet d'Einstellung présent au sein des différents niveaux de joueurs. Nous avons pu observer que cet effet est particulièrement important pour les experts ayant un classement Elo supérieur à 2300, qui représentent les meilleurs joueurs de notre échantillon ($M = 2441$, $ET = 155$).

Les joueurs amateurs semblent également montrer de meilleures capacités à découvrir la solution optimale lorsque celle-ci n'est pas masquée par l'activation d'une solution plus fréquente. Les résultats obtenus par ce groupe sont sensiblement différents de ceux obtenus par les joueurs amateurs de l'expérience de Bilalic et al. (2008) qui avaient observés un pourcentage de réussite bien inférieur au notre. Cela peut s'expliquer de deux manières. Premièrement, nous avons mesuré le pourcentage de solutions optimales trouvées pour chaque type de problème en réunissant les joueurs en quatre groupes différents selon leur classement Elo (deux groupes considérés comme experts et deux groupes considérés comme amateurs). L'expérience de Bilalic en revanche proposait de différencier trois groupes d'experts et le même nombre de groupes d'amateurs. Cette différence est imputable à un échantillon plus restreint que dans l'étude de Bilalic et ses collaborateurs qui nous a forcé à réduire le nombre de groupes de comparaisons. Ceci entraîne une plus grande variabilité de niveau au sein des groupes qui pourrait expliquer les variations par rapport à l'étude de

Bilalic. Néanmoins, quand on compare à niveau moyen égal leurs résultats et ceux que nous obtenons, nous observons de moins bonnes performances au sein de notre échantillon. Cette différence peut s'expliquer par le fait que dans notre étude, les joueurs amateurs ont également réalisé les problèmes présentant deux solutions. Ainsi, lorsqu'ils sont confrontés au problème n'ayant qu'une solution, ils ont déjà préalablement analysé une position présentant des similitudes avec la position actuelle. Cette présentation préalable peut avoir participé à l'abaissement des performances des joueurs en focalisant l'attention de ceux-ci sur des aspects de la position liés à la solution fréquente, qui n'est désormais plus applicable. C'est en tout cas ce que suggèrent les résultats de Blech et al. (2019) dont nous avons parlé en introduction de ce papier.

Notre article propose pour vérifier cela une version alternative de l'expérience de Bilalic dans laquelle les participants passent en premier les problèmes présentant une seule solution possible. Cela permet d'avoir de réelles données sur les performances que pourraient avoir les experts s'ils n'étaient pas influencés dans leur raisonnement par l'activation de la solution fréquente. Ainsi, en comparant les résultats des participants du groupe 1 et ceux du groupe 2 dans l'analyse des problèmes à une solution, on ajoute une condition proche de celle de Luchins (1942) à notre expérience. En effet dans son expérience, certains participants avaient réalisé immédiatement les problèmes avec une seule solution possible et ce sont ces résultats qui avaient été comparés avec ceux des participants ayant subi un entraînement mettant en place l'effet d'Einstellung. Dans notre expérience, nous n'observons aucune différence significative dans la capacité à découvrir la solution optimale quel que soit l'ordre dans lequel les problèmes ont été passés. Les performances des joueurs dans les problèmes présentant une unique solution ne semblent donc pas être différentes lorsque l'on présente préalablement un problème aux caractéristiques similaires présentant une solution plus fréquente. Ainsi, malgré l'absence d'un groupe d'experts ayant passé directement le problème à une solution, le

protocole de Bilalic et al. (2008a) semble permettre de comparer les résultats obtenus dans le problème à deux solutions et celui à une solution. La réalisation du problème à une solution ne semble donc pas avoir d'influence sur le traitement du problème à deux solutions.

Cela peut signifier deux choses. Soit on peut considérer que la présentation préalable du problème à deux solutions ne provoque aucune perturbation sur le traitement des problèmes n'ayant qu'une solution. Comme nous l'avons vu précédemment, cela est relativement peu probable, car les joueurs ont tendance à continuer à chercher des variantes de solutions à partir de la solution fréquente qu'ils perçoivent. Soit on peut considérer que la solution fréquente est parfois également envisagée par les joueurs du groupe 2 malgré l'impossibilité de la mettre en œuvre. Le recueil du protocole verbal des joueurs durant la passation montre en effet que beaucoup d'entre eux envisagent la solution fréquente en sachant que celle-ci n'est pas applicable. Et ceux même lorsqu'ils n'ont pas été confrontés au problème à deux solutions préalablement.

Suite à la présentation du problème à une solution, les participants du groupe 2 passaient également la modalité avec les deux solutions. Cela permettait dans un premier temps de vérifier si les joueurs avaient connaissance de la solution fréquente. Sans cela, il est impossible de déterminer si la solution fréquente est connue par les participants. Le recueil des protocoles verbaux a montré que même certains joueurs ayant découvert la solution optimale envisageaient automatiquement la solution fréquente lorsque celle-ci devenait possible dans le problème qui était présenté. Cela va dans le sens de l'explication de Bilalic et al. (2008) selon laquelle la présentation de la position va entraîner automatiquement l'activation des chunks associés à la solution fréquente et des procédures à appliquer. Cela peut également s'observer au niveau de notre analyse de régression concernant les réponses optimales en fonction du temps. Même si la solution optimale a déjà été trouvée par les joueurs dans le problème précédent, les problèmes présentant les deux solutions possibles

montrent une mise en place moins rapide de la solution optimale. Cela peut s'expliquer par le fait que l'activation des procédures liées à la solution fréquente en MLT doit être inhibée afin de mettre en place la solution optimale.

De plus, nous avons également constaté dans l'un de nos problèmes (Problème 6) que certains des experts du groupe 2 choisissaient de mettre en place la solution fréquente dans le problème à deux solutions alors qu'ils avaient préalablement trouvés la solution optimale dans le problème à une solution. En plus de nous montrer une nouvelle fois que l'une des solutions s'active automatiquement car elle est plus fréquente, cela nous interroge sur certains aspects de la tâche. En effet, les quatre joueurs en question sont tous des experts (deux du groupe ayant un Elo compris entre 2000 et 2300 et deux ayant un Elo supérieur à 2300) qui nous ont indiqué que cette solution était la meilleure car la plus esthétique. La dimension artistique et esthétique du jeu d'échecs est souvent mise de côté par les chercheurs mais est pourtant considérée comme essentielle par bon nombre de joueurs (Iqbal & Yaacob, 2007). Ainsi, dans notre expérience et dans celle de Bilalic, lorsque nous demandons aux joueurs de trouver la meilleure solution aux problèmes qui sont présentés nous n'entendons pas les choses de la même manière. Le chercheur s'attend à ce que la meilleure solution soit celle nécessitant le moins d'opération alors que le joueur d'échecs cherchera parfois à identifier la solution la plus esthétique. Ceci est particulièrement visible au sein du problème 6 car la solution fréquente permet également de mettre le roi noir échec et mat.

En conclusion, notre étude a permis de répliquer les effets d'Einstellung observés précédemment par Billalic et al (2008) chez les joueurs d'échecs. Nous avons également identifié que l'un des problèmes (Problème 3 de notre étude) de l'expérience de Bilalic ne semblait pas adéquat afin d'observer la mise en place d'un effet d'Einstellung. Il semble également que pour certains problèmes, l'aspect esthétique du jeu puisse influencer les décisions des experts. Enfin, nous avons pu montrer que la majorité des décisions prises et

notamment celles des experts sont prises de manière automatique, rapide et intuitives. Comme le postulent Bilalic et ses collaborateurs, il semble donc que l'effet d'Einstellung puisse s'expliquer par l'activation automatique des informations de haut-niveau présentes en MLT. Cela est particulièrement visible auprès des participants de notre groupe 2 qui ont montré de l'intérêt pour la solution fréquente alors même qu'ils savaient que la solution optimale était possible. Les années de pratique ont entraîné une reconnaissance intuitive des aspects spécifiques de la solution fréquente (Chase & Simon, 1973). Cela va dans le sens des modèles de décision experte qui montrent que l'intuition représente le dernier stade d'acquisition de l'expertise (Dreyfus & Dreyfus, 1986) à partir duquel les experts vont tenter de décider quelle est la meilleure option par simple reconnaissance (Klein, 1993).

Les joueurs d'échecs et notamment les experts du domaine sont donc des individus capables de décider efficacement dans la plupart des contextes liés à leur domaine d'activité. Cependant, tout comme le reste des individus, ils restent soumis à des biais de raisonnement pouvant venir altérer leurs décisions. L'identification et la compréhension de ces biais doivent être investiguées dans la littérature. La recherche du caractère esthétique des coups joués est un élément à prendre en compte dans le cadre des recherches futures. Celui-ci est en effet fortement recherché par les joueurs (Iqbal & Yaacob, 2007) et ce alors que cela entraîne parfois des solutions bien moins optimales que d'autres.

6.3 CONCLUSION SUR LES CAPACITES DECISIONNELLES DES EXPERTS AU SEIN DE LEUR DOMAINE

Au travers des deux précédentes expériences nous avons donc montré que les experts aux échecs semblent mettre en place des traitements parallèles et automatiques des positions de jeu. Ce type de traitement est particulièrement efficace dans la plupart des cas mais peut

mener également à certains biais de raisonnement (tel que démontré par l'effet d'Einstellung). En biaisant leurs décisions, nous avons pu en apprendre davantage sur l'organisation ainsi que la récupération des informations en mémoire experte. Ainsi, nous avons pu constater qu'un traitement automatique semblait s'opérer lors de la présentation d'une position de jeu. Si ce traitement automatique mène généralement à une amélioration des performances des joueurs (temps de réactions raccourcis dans la première expérience), celui-ci peut également limiter les performances de l'expert (effet d'Einstellung).

Dans le cadre de l'étude de l'effet d'Einstellung, il nous semble tout de même important de mentionner le cas des données censurées. Ce type de données se présente dans le cadre des analyses de survie. Comme son nom l'indique, une analyse de survie va s'intéresser à la survie d'une population ou d'un système. Par extension, ce type d'analyse cherche donc à observer l'évolution de la survie jusqu'à la mort du système étudié. Il est facile de visualiser l'utilité de ces analyses dans le cas d'études portant sur la mortalité réelle d'une population. Mais elles traitent en réalité de n'importe quel type d'évolution jusqu'à survenue d'un événement. A titre d'exemple, ce type d'analyse peut servir à étudier les temps de fixation (Reingold, Reichle, Glaholt, & Sheridan, 2012) ou la recherche d'information (Tabatabai & Shore, 2005). Dans le cadre de l'expertise, elles pourraient également servir à analyser la résolution de problèmes échiqués. Ainsi, il serait possible de réaliser une fonction de survie représentant le temps nécessaire à nos différentes populations afin de parvenir à résoudre le problème.

Ce sont donc des analyses qui ont leur pertinence dans le cadre des recherches en population experte. Pourtant, certains problèmes spécifiques à notre population d'étude pourraient venir perturber nos résultats. Dans notre expérience sur l'effet d'Einstellung, comme cela est généralement le cas dans la littérature, nous avons décidé de fixer une limite de temps aux problèmes qui étaient présentés aux joueurs. L'ensemble des individus ne pourra donc pas

forcément parvenir à les résoudre. Par conséquent en limitant ce temps de résolution, nous perdons également de nombreuses informations. Peut-on alors être certain que les individus qui n'ont pas réussi à résoudre le problème n'y seraient pas parvenu un peu plus tardivement ? Et par extension les experts parviennent-ils réellement à mieux résoudre ces problèmes ou sont-ils simplement plus rapides ?

Néanmoins, nos études semblent cohérentes avec le fait que les experts vont mettre en place des processus automatiques guidant les décisions au sein de leur domaine. Nous souhaitons interpréter ces résultats en lien avec la théorie des marqueurs somatiques. Notre idée est qu'au travers de son expérience l'individu va construire davantage de marqueurs somatiques liés à des situations spécifiques. Comme ce fut le cas concernant les capacités décisionnelles générales des experts étudiées durant les premières expériences de cette thèse, nous pensons que ces marqueurs pourraient aider les joueurs à identifier les stratégies à employer. Ils pourraient ainsi donner à l'expert l'opportunité de dépasser le traitement séquentiel que mettent en place les joueurs amateurs. Cela leur permettrait de prendre des décisions rapides et efficaces tel que représentées dans le modèle de Klein (1993). En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les experts par simple reconnaissance de la procédure à adopter seront capables d'agir rapidement et efficacement face à des situations de leur domaine.

7. DISCUSSION

Dans cette partie, nous allons revenir sur les principaux résultats que nous avons obtenus en lien avec nos objectifs. Nous discuterons également de nos théories en relation avec la littérature scientifique existante.

L'objectif sera de modéliser la décision experte et de montrer comment les marqueurs somatiques peuvent l'influencer.

Nous parlerons ensuite rapidement des implications possibles de cette théorie de manière plus concrète. Pour l'activité des joueurs d'échecs, mais également de manière générale pour l'ensemble des apprentissages.

Suite à quoi nous discuterons des aspects neurophysiologiques développés dans les théories relatives à l'expertise ou aux marqueurs somatiques. L'objectif est ici de proposer un cadre permettant une critique constructive de notre travail et de la littérature. Cela permettra ainsi de mettre en place de futures études, analysant les données physiologiques des experts, qui soient plus en adéquation avec la réalité neurophysiologique des participants. En d'autres termes, nous tâcherons de discuter de la manière la plus appropriée de conduire des études mesurant les données physiologiques des experts.

Enfin, nous parlerons des perspectives d'évolutions que nous percevons dans ce travail. Cela afin de compléter certains résultats obtenus auprès de la population experte et également afin de proposer certaines études qui pourraient être menées en population générale.

Dans cette thèse nous avons quatre objectifs principaux dont nous allons discuter au vu de nos résultats.

Notre premier objectif était d'évaluer les capacités de prise de décision générales des experts. En effet, dans leur domaine, les joueurs d'échecs parviennent à décider de manière efficace quelles sont les meilleures options à mettre en place. Cependant, à notre connaissance il n'existe pas d'études qui se sont intéressées aux capacités décisionnelles générales des experts de cette discipline. Le second objectif de ce travail de thèse portait également sur leurs capacités de prise de décision générales. L'objectif était cette fois de mesurer l'influence des marqueurs somatiques sur la décision experte. Nous avons donc réalisé une série de quatre expériences dans cette optique.

Au travers des deux études menées en utilisant l'IGT (Expériences 1 et 2), nous avons observé de meilleures performances en lien avec l'expertise dans le jeu d'échecs. La seconde étude nous a permis de répliquer ces résultats auprès d'experts du jeu d'échecs (comme dans l'expérience 1), mais également auprès d'experts du jeu de Go.

Pour confirmer ce cadre interprétatif des résultats, il nous faudra conduire une étude similaire nous permettant de recueillir des données de réponse électrodermale. L'objectif sera de pouvoir obtenir des données toniques (SCL) et phasiques (SCR) de la conductance de la peau. Nous souhaitons notamment observer une réponse anticipatoire plus importante chez les experts avant la sélection de tas désavantageux. Ceci étant caractéristique d'une bonne intégration des réactions somatiques au processus décisionnel (Merchan-Clavellino, Salvejo-Alcañiz, Barbosa, & Almeida-Bailén, 2019). De plus, nous avons observé dans notre deuxième étude, des différences de sélection entre experts au jeu d'échecs et experts au jeu de

Go. Ces données physiologiques pourront nous permettre de préciser ces différences et de mieux comprendre la spécificité des décisions dans chacun de ces domaines.

Les deux autres tâches que nous avons utilisées afin d'étudier les capacités décisionnelles des experts se distinguaient par leur contexte décisionnel. Dans la GDT, la décision se faisait en connaissance des risques et nous ne pensions pas trouver de différence entre les résultats de notre population experte et le reste des participants. Nous pensions en effet que les différences entre experts et novices s'observeraient principalement sur la seconde tâche (la BART) proposant un contexte de décision ambigu. Nous étions arrivés à cette conclusion en nous basant sur les résultats des deux premières expériences de cette thèse qui avaient montré que la phase de décision considérée comme ambiguë était réussie plus efficacement par les experts.

Pour la GDT, nous observons de meilleurs résultats de la population experte par rapport à la population novice. Cependant, en comparant ces résultats avec ceux de la littérature (Brand et al., 2005), nous observons que cet effet semble davantage imputable à un abaissement des performances des joueurs de moindre niveau. En effet, les joueurs amateurs obtiennent des performances bien inférieures à celles de la population saine décrite dans l'étude de Brand et collaborateurs. Cela pourrait être expliqué par le fait que les joueurs savent que leurs résultats vont être comparés à ceux de joueurs plus performants, créant ainsi un effet de menace du stéréotype (Steele & Aronson, 1995). Dans le même ordre d'idée, Smerdon et al. (2020) ont montré l'existence d'un effet de menace de stéréotype abaissant les performances des femmes jouant aux échecs contre des hommes. Cet effet peut donc avoir des conséquences directes sur l'interprétation que l'on fera de nos résultats. En outre, les chercheurs auront plutôt tendance à interpréter ceux-ci dans le sens d'une amélioration des performances observées dans le groupe des experts. L'acquisition de l'expertise étant liée à un développement de compétences important il est en effet difficile de percevoir une différence entre novices et experts comme

étant le signe d'un amoindrissement des capacités des joueurs amateurs. Avoir conscience de ce biais est donc essentiel afin de limiter les interprétations erronées que nous pourrions faire sur l'accroissement des performances expertes. Il nous semble intéressant de proposer une piste d'évaluation de l'effet de menace du stéréotype sur la performance des joueurs amateurs. L'objectif serait de mettre en place un protocole visant à différencier trois groupes expérimentaux au sein de tâches diverses. Celles-ci pouvant s'intéresser aux performances générales des experts ou à leurs performances au sein du domaine d'expertise. Le premier groupe d'amateur serait explicitement averti du fait que leurs performances vont être comparées à un groupe de joueurs plus expérimentés (menace explicite). Le second groupe n'obtiendrait aucune information concernant les comparaisons qui pourraient être effectuée (menace implicite). Et enfin nous indiquerions au dernier groupe que notre intérêt se porte sur les joueurs de leur niveau précisément afin d'exclure tout risque de comparaison (groupe sans menace). Ce protocole nous semble intéressant et nous souhaitons parvenir à le mettre en place lorsque la situation sanitaire liée au COVID-19 le permettra.

Pour revenir sur la seconde tâche, la BART, le contexte de décision était ambigu et nous nous attendions à observer de meilleures performances à cette tâche de la part des experts. Ce n'est pas ce que nous observons. Cependant, comme nous l'avons indiqué précédemment, cela peut être imputable aux modalités de cette tâche. En effet, contrairement à l'IGT, la BART n'implique aucune perte réelle pour le participant. Celui-ci peut simplement augmenter ses gains. Or, comme l'ont montré Bechara et al. (1994), le fait d'avoir dans l'IGT des gains et des pertes, associées à une ambiguïté sur le fonctionnement de la tâche entraîne un contexte simulant les décisions des individus dans leur vie courante. Bechara et al. (1997) ont également indiqué que les tirages effectués sur des tas désavantageux provoquaient la mise en place d'une réponse anticipatoire chez les sujets sains. Cette réponse anticipatoire s'activera au cours des essais suivants et permettra à l'individu de se désengager progressivement des

tas désavantageux. A l'inverse, les patients ayant un déficit décisionnel lié aux marqueurs somatiques ne vont pas arriver à prendre en considération ces pertes à long terme. L'absence de pertes réelles pourrait donc expliquer le fait que les experts ne parviennent pas à se démarquer des autres participants dans notre tâche. Cela est également appuyé par nos résultats qui montrent que les experts sont ceux qui semblent mettre en place les stratégies les plus risquées dans la BART. Une recherche de risque qui n'était pas observée au sein de l'IGT.

Nous pouvons donc conclure sur ce premier objectif en disant que les experts semblent montrer de meilleures performances décisionnelles que le reste de la population dans des contextes très précis. Ce contexte de décision a été déterminé par Bechara et al. (2005) afin d'être au plus près des performances de décisions réelles, observées dans la vie courante. Un déficit dans ce mode de décision, comme cela est le cas pour les patients VM (Saver & Damasio, 1991) serait imputable à une incapacité à percevoir et intégrer les marqueurs somatiques au processus décisionnel. En nous basant sur cette idée, nous interprétons les bons résultats obtenus par les experts à l'IGT comme le signe d'une bonne intégration de ces réactions somatiques. Cela reste à confirmer en utilisant d'autres tâches telles que la BART et en adaptant le protocole afin d'inclure des pertes réelles subies par les participants. Nous devons également confirmer l'implication des marqueurs somatiques à l'aide de données physiologiques (RED et fréquence cardiaque) recueillies en cours de tâche.

Un autre de nos objectifs consistait à mettre en évidence et approfondir la compréhension de l'organisation hiérarchique et de la récupération des informations en MLT chez les experts. Selon la littérature, la performance experte reposerait sur la reconnaissance de certains patterns spécifiques à la situation, appelés chunks (Chase & Simon, 1973). Suite à la reconnaissance de ces patterns, une activation se diffusera au sein de la MLT des experts afin de mettre en place la procédure adéquate. Cette activation serait possible au travers d'un

réseau organisé de connaissances permettant d'associer convenablement un ou plusieurs chunk(s) perçu(s) avec les procédures de résolution à appliquer.

Plusieurs architectures cognitives ont été modélisées sur ordinateur (Gobet, 1993 ; Gobet & Simon, 2000) en prenant en compte ces critères et rendent fidèlement compte des performances des experts dans des domaines divers. Ce réseau organisé, ainsi que ce mode de récupération automatique de l'information semblent donc compatibles avec les performances expertes. Cependant, il n'y a eu que peu d'études qui se sont intéressées à mettre en évidence cette organisation et ce mode de récupération au sein de tâches comportementales (Gobet, 2002). Nous avons donc décidé de mettre en place trois expériences nous permettant d'étudier cette question.

La première expérience était une tâche d'amorçage dans laquelle les participants devaient décider si la position présentée était une situation de mise en échecs du roi noir (c'est-à-dire une situation dans laquelle le roi noir est directement attaqué par une pièce blanche). Nous manipulons les amorces avant la présentation de la cible de sorte que certaines allaient faciliter le traitement de la cible et d'autres allaient le ralentir. Comme nous l'attendions, les amorces représentant des positions similaires à la cible ou leur étant préalable entraînaient de meilleures performances de la part des experts. Cela peut s'expliquer par le fait que les experts sont capables de récupérer des schémas anticipatoires leur permettant de se projeter dans les possibilités futures de la partie (Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006). A l'instar de ces travaux, nous trouvons des résultats qui confirment l'aspect anticipatoire des experts dans leur encodage des positions de jeu. La position perçue va donc également activer en MLT les représentations des évolutions possibles de la partie.

La seconde étude que nous avons menée comportait deux expériences reprenant le concept d'Einstellung étudié par Bilalic et al. (2007) auprès de la population experte. Nous avons pu

répliquer leurs résultats et observer un effet d'Einstellung en proposant un cadre plus standardisé à l'étude en réalisant une passation identique pour les joueurs amateurs et experts. Dans le cadre de l'expertise aux échecs, cet effet vise à activer chez les joueurs une procédure de résolution bien connue (appelée solution fréquente). Cette activation réalisée par simple présentation de la position de jeu va ensuite empêcher la découverte d'une meilleure solution qui est beaucoup plus rare que la première (cette seconde solution est appelée solution optimale). Cet effet vient biaiser la décision des joueurs et ce même lorsque ceux-ci sont particulièrement performants. Cependant, contrairement à ce que nous obtenons dans notre étude, certains experts parmi les plus performants parviennent parfois à éviter ce biais (Bilalic et al, 2007). Ces résultats montrent que la performance experte peut être soumise à des biais venant limiter leurs performances. Mais surtout cela indique également que certaines solutions vont être identifiées automatiquement lorsque la position est présentée. La récupération de la procédure à adopter se fait donc de manière instantanée.

L'ensemble de ces deux études nous laisse supposer que la décision experte repose sur des mécanismes s'étant automatisés au cours du temps. Une reconnaissance automatique des informations pertinentes de l'environnement suivie de l'activation immédiate des informations nécessaires à la résolution de la situation. L'expert fonctionne donc en priorité par simple reconnaissance d'une situation typique à laquelle il a préalablement été confronté (Klein, 1993). Cette activation automatique de la solution à adopter est possible au travers d'un réseau hiérarchique permettant de structurer les schémas et procédures et de les retrouver efficacement. Cependant, comme nous l'avons montré, les performances des experts peuvent être modifiées en manipulant la diffusion de l'activation au sein de ce réseau.

A. INTERPRETER LES BONNES CAPACITES DECISIONNELLES DES EXPERTS

Le développement de l'expertise repose sur une multitude de facteurs en interactions. Le modèle MGIM (Ullén et al., 2016) indique que les habiletés générales des individus constituent une part importante dans le développement des capacités. Ces habiletés vont pouvoir agir sur le développement des compétences de deux manières. La première consiste à modifier le fonctionnement des mécanismes neuronaux. Ullén et ses collaborateurs citent l'exemple de la mémoire de travail à long terme (Ericsson & Kintsch, 1995) dont nous avons parlé en partie 2.3 (page 57) de cette thèse. Et la seconde influence agit directement sur la pratique délibérée mise en place par les individus. Le modèle MGIM est central car il permet de prendre en compte l'influence conjointe de facteurs génétiques et environnementaux sur le développement de l'expertise. De plus, il intègre certaines capacités générales des individus qui pourraient également influencer ce développement et plus généralement la performance des experts.

Le travail que nous avons réalisé nous a permis d'identifier que les capacités de prise de décisions des individus devaient être incluses dans ce modèle. Les experts montrent dans certaines tâches spécifiques des performances supérieures à la norme qui pourraient venir influencer le développement de l'expertise. Cependant, comme cela est le cas pour la plupart des facteurs présents dans le modèle de Ullén et al. (2016), nous ne pouvons dire avec certitude si cette habileté est innée chez les joueurs ou acquise au travers de l'expérience.

La littérature montre en effet que de nombreuses habiletés individuelles et génétiques peuvent influencer le développement de l'expertise (Gobet & Charness, 2006 ; Plomin, Shakeshaft, McMillan, & Trzaskowski, 2014). Cependant comme le précisent Gobet et Charness (2006),

les expériences en psychologie de l'expertise sont par nature essentiellement basées sur des designs quasi-expérimentaux qui ne permettent pas d'établir de lien de causalité entre deux variables. Les auteurs citent notamment l'exemple de l'intelligence. Il y a encore débat aujourd'hui entre les recherches qui montrent une intelligence supérieure des experts (Doll & Mayr, 1987 ; Grabner, 2014 ; Burgoyne et al., 2016 ; Vaci et al., 2019) et ceux qui ne montrent pas de différence entre experts et novices (Djakow et al., 1927 ; Gobet & Campitelli, 2002 ; Unterrainer et al., 2006).

Quoi qu'il en soit Gobet & Charness (2006) indiquent que le caractère quasi-expérimental de ces études nous empêche de savoir avec certitude si l'intelligence est nécessaire au développement de l'expertise aux échecs ou si la pratique de la discipline améliore l'intelligence des individus. A cela nous ajouterions qu'il n'est pas possible d'exclure la possibilité que ces résultats soient dus à un effet de cohorte. Celui-ci pouvant amener plus facilement des individus confiants dans leurs capacités cognitives à pratiquer une activité connue comme nécessitant une grande intelligence telle que les échecs.

Cela est valable également pour le facteur décisionnel que nous souhaitons inclure au sein du modèle MGIM. Nous ne pouvons pas savoir avec exactitude si les performances de décision des experts sont antérieures au développement de l'expertise, si elles se sont forgées au travers de la pratique, ou si ces résultats sont dus à un effet de cohorte. Néanmoins, il reste important d'étudier les liens potentiels que cette habileté peut entretenir avec les autres éléments du modèle MGIM afin de développer les compétences expertes.

Notre idée est que les domaines nécessitant de bonnes capacités décisionnelles vont attirer des individus capables de décider efficacement. Le fait que les experts semblent présenter de meilleures capacités de décision que la population générale semble cohérent avec cela. Cependant, cela ne veut pas dire pour autant que seuls les individus ayant de bonnes capacités

de prise de décision préalable peuvent développer leurs compétences dans un domaine tel que les échecs. Cela signifie simplement que le jeu d'échecs devient un domaine fortement attractif pour des individus présentant ces caractéristiques. Leurs bonnes capacités décisionnelles influenceront leur degré de pratique délibérée qui influencera à son tour le développement de l'expertise.

B. L'INFLUENCE DES MARQUEURS SOMATIQUES SUR LA DECISION EXPERTE

Concernant les mécanismes à l'origine de ces bonnes performances décisionnelles expertes, nous avons préalablement parlé de l'importance des marqueurs somatiques. Ces marqueurs agiraient sur la décision en permettant de limiter les options possibles, en adaptant les stratégies de raisonnement et en permettant une décision rapide et intuitive lorsque la situation est particulièrement fréquente (Bechara et al., 1997).

Ce mode de fonctionnement nous mène à penser que les marqueurs somatiques (Damasio, Tranel, & Damasio, 1991) et plus précisément le modèle de décision créé par Bechara et al. (1997) pourrait expliquer le fonctionnement décisionnel des experts présenté par Klein (1993).

Dans le modèle de Klein (décrit au chapitre 3.3, page 76), il y a trois modes de décisions possibles pour les experts. Le premier mode de décision consiste en une simple reconnaissance. La présentation de la position va entraîner automatiquement la mise en place de la procédure de résolution. Comme nous l'avons vu précédemment, cette décision automatique et intuitive représente le stade ultime d'acquisition de l'expertise (Dreyfus & Dreyfus, 1986 ; Lafrance, 1989). L'expert a vu cette situation à de nombreuses reprises par le passé et il a identifié la procédure à adopter. Il va alors percevoir immédiatement les principales caractéristiques de la position (Chase & Simon, 1973), ce qui va activer la solution

qui est la plus appropriée selon l'expert (Richman et al., 1996). Cependant, rien n'explique réellement par quel mécanisme la reconnaissance de certains aspects typiques d'une position va mener à cette activation de la procédure de résolution. Notre explication serait que les marqueurs somatiques encodés lors de situations comparables à la situation actuelle vont permettre la réactivation des sensations ressenties précédemment et diriger la décision vers les options les plus favorables à entreprendre. Il s'agirait d'un processus automatique préconscient qui mènerait, selon Vermeulen (2013), à l'interprétation, la catégorisation et l'évaluation du stimulus rencontré. Et ce bien avant tout phénomène de traitement conscient de la décision. En d'autres termes, bien avant d'avoir conscience des éventuelles options qui s'offrent à lui, l'individu a réalisé un traitement automatique influençant la manière dont il va analyser la situation. Ces processus pouvant d'ailleurs être déclenchés par la simple reconnaissance de patterns spécifiques dans l'environnement que nous avons traité consciemment par le passé (Bargh & Chartrand, 1999).

Pour le second mode de décision du modèle de Klein (1993), la situation est moins familière et va nécessiter un diagnostic afin de parvenir à une décision. Si le diagnostic s'avère positif alors l'individu aura réussi à retrouver une situation prototypique comparable et saura alors quelle procédure il doit entreprendre. Sinon, il devra envisager une autre option en évaluant les buts à atteindre et les options qui s'offrent à lui pour atteindre ces objectifs en fonction des indices présents dans son environnement.

Enfin, le troisième mode de décision est encore plus complexe et va s'exécuter dans des situations peu fréquentes. Il consiste en une évaluation séquentielle des possibilités d'actions. L'expert va donc chercher explicitement les options qu'il peut entreprendre et va réaliser des simulations mentales pour voir si ces options permettent d'atteindre les objectifs qu'il s'est fixé.

Ces deux derniers modes de décision représentent une recherche approfondie au sein de l'espace de problème interne des joueurs (Newell & Simon, 1972). Le mode de décision par diagnostic permet à l'expert d'envisager directement une procédure à mettre en place et qui sera évaluée. En revanche, la décision en situation d'évaluation séquentielle entraînera une recherche encore plus poussée au sein de l'espace de problème amenant l'expert à évaluer l'ensemble des solutions possibles une par une.

Pour ces deux modes de décisions, l'influence des marqueurs somatiques va décroître par rapport au premier cas. La décision ne pourra donc plus être prise de manière automatique et intuitive. Un traitement conscient va ainsi s'opérer sur la décision. Celui-ci pourra néanmoins être assisté par des indices somatiques qui vont adapter les stratégies de raisonnement et limiter les options possibles. Il va notamment être possible d'adapter les stratégies de raisonnement lorsque certains objectifs ne vont plus être perçus par l'expert comme réalisables. Ainsi, dans le cadre d'une partie d'échecs, la disparition d'un pattern particulier pourra entraîner une modification des stratégies visant à empêcher la mise en place de procédures offensives au profit de procédures défensives. De la même façon, le fait de limiter le nombre d'options possibles viendra aider le processus décisionnel en diminuant l'espace de problème interne des joueurs (Newell & Simon, 1972).

Nous suggérons donc un modèle de décision de l'expertise qui reposerait en partie sur ces aspects somatiques (Figure. 8). Celui-ci propose d'intégrer le modèle de Bechara et al. (1997), présenté au chapitre 3.5 (page 85) au modèle RPD de Klein (1993) présenté au chapitre 3.3 (page 76).

Pour rappel, le modèle de Bechara et al. (1997) propose que le processus décisionnel des individus repose sur deux voies distinctes. Une voie dite "de la raison" qui va analyser les faits consécutifs à une situation donnée et analyser les options possibles. Et une seconde voie

dite "émotionnelle" qui va permettre l'activation de marqueurs somatiques pouvant guider le processus décisionnel.

Concernant le modèle de Klein (1993), celui-ci comporte trois modes de décisions que les experts peuvent mettre en place. Les modes (1) et (2) du modèle représentent les processus préconscients permettant l'interprétation, la catégorisation et l'évaluation des stimuli rencontrés (Vermeulen, 2013). Comme nous l'avons indiqué précédemment ces processus préconscients vont automatiquement influencer l'interprétation, la catégorisation et l'évaluation du stimulus rencontré. Parmi ces processus préconscients, on peut citer la reconnaissance automatique de certains chunks spécifiques (Chase & Simon, 1973). Ceux-ci étant reconnus grâce à une pratique intensive du domaine ayant favorisé la confrontation à ces stimuli dans des situations comparables à la situation actuelle. Ainsi, en fonction du degré de fréquence de la situation plus ou moins d'indices vont pouvoir être récupérés par les individus.

Le modèle que nous proposons dans ce chapitre permet de montrer comment la perception de similitudes entre la situation vécue et des expériences passées va entraîner l'activation de marqueurs somatiques qui vont venir guider le processus décisionnel des experts. Les trois modes de décision présentés par Klein sont repris au sein de ce modèle. Notre idée est que la voie émotionnelle de la décision sera davantage activée chez les experts durant une décision par simple reconnaissance et pourra mener à la résolution intuitive de la situation. Concernant les deux autres modes de décision, l'activation de marqueurs somatiques pourra venir assister la décision en limitant le nombre d'options et en adaptant les stratégies employées.

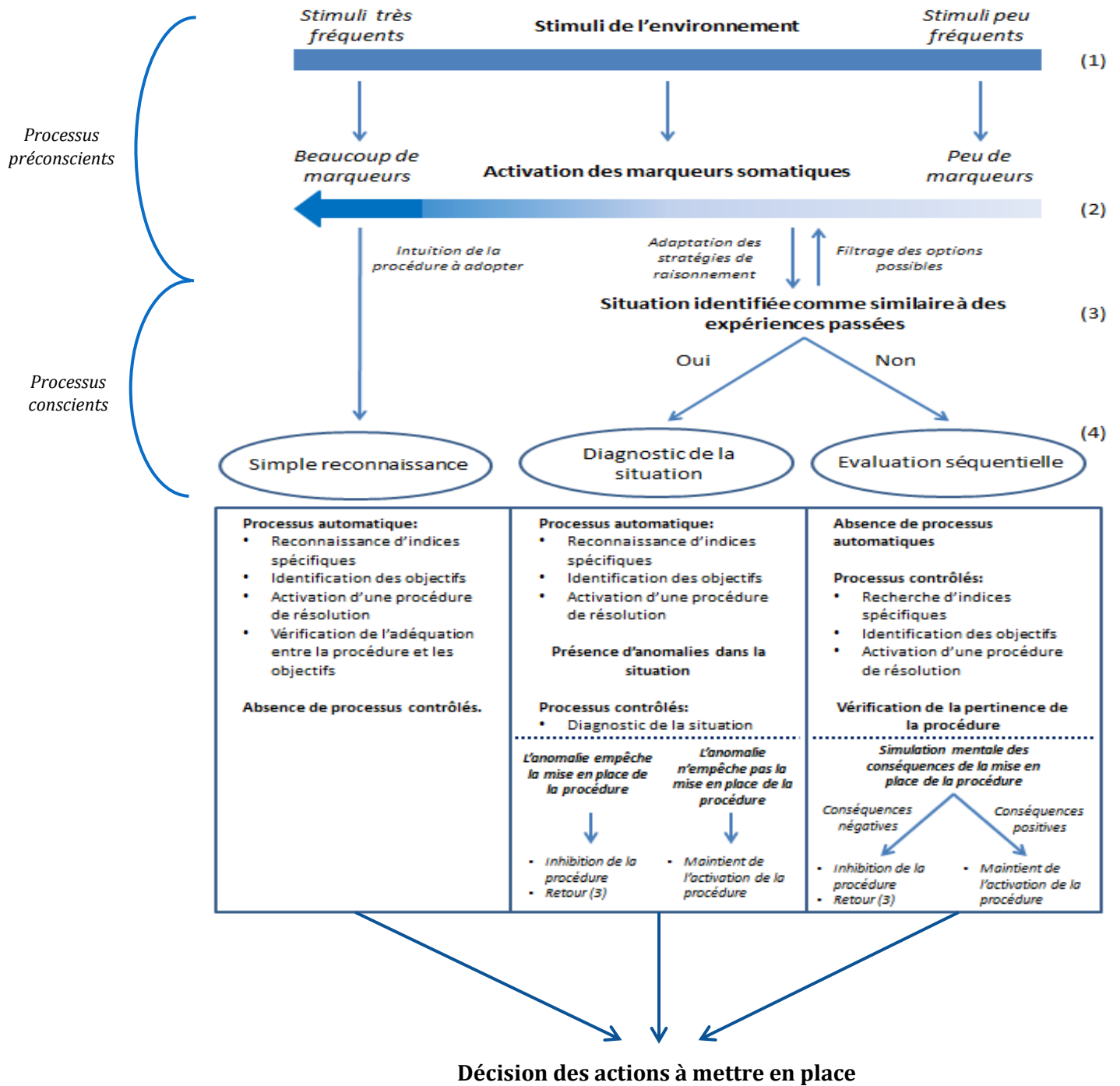


Figure 8. Influence des marqueurs somatiques sur les différents modes de prise de décision des experts au sein de leur domaine d'expertise.

Pour décrire plus précisément ce modèle, la perception d'indices visuels va activer les marqueurs somatiques qui avaient été préalablement enregistrés dans des situations comparables à la situation actuelle. Plus la situation aura été fréquemment observée et plus il y aura d'indices somatiques à récupérer. Dans le cas d'une situation très fréquente, le mode de

décision se fera par simple reconnaissance comme dans le modèle RPD. Certains chunks sont reconnus et vont entraîner l'activation de nombreux marqueurs somatiques. La synthèse de ces réactions somatiques va alors permettre d'activer très fortement une procédure en MLT. Le niveau d'activation de celle-ci sera tellement important qu'il entraînera automatiquement la validation de la décision à entreprendre. Il s'agit d'une décision intuitive qui caractérise l'expertise (Dreyfus & Dreyfus, 1986) et qui permet une compréhension parfaite du problème sans nécessiter de véritable conscience des caractéristiques de la situation (Gobet & Chassy, 2008b). La reconnaissance d'indices, les objectifs à atteindre, la procédure à mettre en place et l'adéquation entre les objectifs et la procédure sont donc traités de manière préconsciente. En revanche, contrairement au modèle proposé par Klein (1993) cela va seulement entraîner la validation d'une procédure et non sa mise en application. L'expert pourra par la suite effectuer un traitement conscient sur la situation afin de vérifier la validité de sa solution. S'il s'avère que cette décision intuitive ne supporte pas cette mise à l'épreuve lors de son traitement conscient par l'expert, celui-ci commencera alors un nouveau processus décisionnel.

Pour les situations moins fréquentes, il ne sera pas possible d'activer automatiquement une décision intuitive. Le niveau de réaction somatique n'est pas assez important pour permettre l'activation d'une procédure particulière en MLT. Cependant, l'individu est capable de percevoir des similitudes entre la situation actuelle et des situations passées. Quelques marqueurs somatiques vont s'activer et permettre d'assister le processus de décision en adaptant les stratégies de raisonnement et en limitant le nombre d'options envisageables. Ainsi, l'espace de problème interne des joueurs (Newell & Simon, 1972) se retrouve réduit et va permettre de traiter de manière préférentielle les possibilités qui restent.

Dans certain cas, il sera alors possible de percevoir le problème comme étant relativement similaire à une situation précédemment observée. Cela implique que le traitement préconscient a permis d'identifier certains objectifs et procédures de résolutions potentielles.

Cependant, en contrôlant la situation, l'expert va se rendre compte qu'il existe plusieurs anomalies ou différences entre les situations lui permettant de mettre en place la procédure qu'il connaît et la situation actuelle. Il va alors réaliser une phase de diagnostic qui permettra de déterminer si ces anomalies empêchent la mise en place de la procédure. Si cela n'est pas le cas, il pourra alors décider de valider cette décision. En revanche, si cela est le cas, il retirera cette procédure de résolution de son espace de problème interne et recommencera à étudier la situation (3) pour déterminer si d'autres aspects de celle-ci sont similaires à ceux d'expériences passées.

Enfin, si la situation est plutôt rare, elle entraînera l'activation de peu de marqueurs somatiques. L'espace de problème interne de l'individu ne sera que faiblement réduit par rapport à l'espace de problème externe. L'expert devra donc traiter de manière séquentielle ses possibilités d'actions et imaginer les évolutions et conséquences des procédures qu'il envisage. Il s'agit d'un processus conscient particulièrement long et coûteux pour l'individu. S'il parvient à trouver une solution qui résiste bien aux simulations mentales effectuées, il peut décider de valider cette option. En revanche, si certains problèmes sont observés au cœur de la procédure il faudra recommencer à étudier la situation (3). Le travail de recherche qui a été effectué par l'expert lui permettra alors potentiellement de reconnaître certains aspects de la situation comme étant similaires à ceux de situations passées. Une procédure sera activée sur la base des expériences passées et des potentiels indices somatiques associés à ces expériences. Un diagnostic sera alors effectué afin de voir si la procédure peut être mise en place. Si aucune reconnaissance de similitudes entre la situation actuelle et des expériences

passées n'intervient, l'expert envisagera une autre procédure et réalisera une nouvelle simulation mentale des conséquences probables de sa mise en application.

Les recherches que nous avons menées sur les performances décisionnelles des experts dans leur domaine se sont principalement intéressées aux modes de décisions par simple reconnaissance et par diagnostic, c'est-à-dire les deux premiers modes de décision des experts décrits par Klein (1993). Les expériences réalisées devaient permettre de comparer les résultats obtenus par des experts et des amateurs. Il était donc difficile de mettre en place des situations qui soient dans un même temps assez difficiles pour entraîner un mode de décision basé sur une évaluation séquentielle par les experts et qui soit également réalisables par des amateurs. Comme nous en avons parlé dans la partie précédente, nos résultats mettent en évidence l'utilisation de processus préconscients permettant de faciliter le traitement de l'information. Le modèle de décision que nous venons de présenter permet notamment d'expliquer l'activation automatique de la solution fréquente que nous observons au sein de la tâche d'Einstellung. Ces résultats montrent également que la solution fréquente est à nouveau activée dans les situations où elle n'est plus possible et que les experts vont procéder à une phase de diagnostic permettant de la rejeter. Ce diagnostic pourra alors permettre de percevoir de nouveaux éléments dans la position et d'activer de potentiels marqueurs somatiques associés à ces éléments. Cela résultera en un nouveau processus décisionnel pouvant entraîner une décision par simple reconnaissance (phénomène d'insight), par diagnostic ou par analyse séquentielle.

Le lien que nous établissons entre les modes de décision experts et l'utilisation des marqueurs somatiques doit continuer à être étudié et testé au cours d'expériences futures. Néanmoins, nous proposerons dans la partie suivante certaines implications potentielles de l'influence somatique sur la décision experte et dans les apprentissages.

A. *POUR LES EXPERTS*

Quelles sont les conséquences concrètes pour les joueurs ? Tout d'abord ces résultats nous amènent à confirmer que la pratique délibérée est un facteur essentiel, mais non suffisant, du développement de l'expertise. Ce type de pratique impose aux individus de recevoir des retours sur leurs actions afin de percevoir quand elles ont eu des conséquences négatives ou positives. L'un des principaux retours reçus par le joueur d'échecs durant une partie sera la perte ou le gain de celle-ci. Néanmoins celui-ci est très général et ne permet pas de savoir avec précision où se situent les erreurs qui ont été commises.

Gobet et Jansen (2006) ont étudié le développement des compétences d'un joueur fictif souhaitant passer d'un niveau Elo de 1800 à un niveau de 2400. En d'autres termes, cela correspond au passage d'un niveau de joueur amateur considéré comme relativement fort à un niveau expert ayant atteint le titre de Maître International. Chez ce type de joueurs, les auteurs parviennent à la conclusion que l'entraînement doit permettre l'acquisition et l'organisation d'un grand réseau de chunks et procédures. Selon eux, trois grands principes doivent être respectés afin de mettre en place ce type d'organisation. Il s'agit d'une difficulté graduelle des situations d'apprentissage, d'une identification claire des éléments à apprendre et d'une spirale d'amélioration permettant de revenir sur des situations préalablement traitées en les complexifiant. Ce dernier point permettra d'accroître la complexité du réseau organisé en MLT en augmentant les liens existants entre les différents chunks et procédures. La base simple du problème a ainsi été préalablement maîtrisée. Le joueur traitera ces aspects de manière automatique et pourra se concentrer sur les nouveaux aspects plus complexes de la situation.

Comme le proposent Gobet et Jansen (2006), nous pensons que cette méthode d'entraînement pourrait s'appliquer à tout type de joueurs quel que soit leurs niveaux. En effet, en favorisant cette répétition des situations d'apprentissage et la spécification des éléments clés de la position, l'individu pourra accroître les marqueurs somatiques qui y sont associés.

Suite au développement de l'expertise, le joueur fera face à des phénomènes d'intuition dans presque toutes les situations de jeu. Notre modèle, à l'inverse de celui proposé par Klein (1993), indique que ce phénomène intuitif se conclura sur la validation d'une procédure et non sur sa mise en application automatique. Ainsi, cela permettra à l'expert d'analyser de manière consciente la position, la procédure qui a été activée et des procédures alternatives. En partie 1.4 (page 30) nous avons cité Magnus Carlsen qui expliquait suivre généralement son intuition dans la majorité des cas. Pourtant cela ne l'empêche pas de réaliser pendant plusieurs minutes une vérification consciente de la situation avant de valider cette option.

En partie blitz ou rapide au contraire le temps est beaucoup plus limité de sorte que les experts devront parfois prendre des décisions sans avoir le temps de réaliser ces vérifications conscientes. La solution intuitive est souvent la meilleure mais dans de rares cas, cette mise en place automatique entraînera une grave erreur qui leur fera perdre la partie (communément appelée "blunder" dans le milieu échiquéen).

La conclusion que nous pouvons en tirer est que cette sensation intuitive de la solution est importante à prendre en compte dans le processus décisionnel car elle représente la synthèse de nos expériences passées. Cependant, les experts parviennent à passer outre cette première impression afin d'évaluer des solutions alternatives pouvant entraîner de meilleures conséquences pour l'évolution de la partie. Ce travail pourrait permettre de montrer aux joueurs comment se forme dans leur esprit cette solution intuitive et comment celle-ci peut parfois biaiser leur raisonnement (i.e., effet d'Einstellung) jusqu'à parvenir à la perte de la

partie. Cela indique également que contrairement aux joueurs amateurs, les experts seraient capables de passer outre cette première solution qui a été fortement activée afin de poursuivre leur recherche. L'expert pourra alors contrôler à posteriori le traitement de la situation de jeu et ce malgré qu'une procédure ait été automatiquement validée. S'il manque de temps il pourra bien évidemment exécuter directement l'action qui a été activée. Cependant, dans une partie plus longue il pourra évaluer de manière contrôlée cette procédure et d'autres procédures candidates en réalisant un diagnostic de la situation ou un traitement séquentiel de ses options.

B. POUR L'APPRENTISSAGE

Concernant l'apprentissage de manière générale, Gobet (2005) indique que la pratique est essentielle afin de développer des compétences. L'auteur indique également que l'une des missions décisives de l'enseignant sera de focaliser l'attention des apprenants sur les éléments à traiter. Cela serait possible au travers d'une méthode d'apprentissage privilégiant la segmentation des éléments à apprendre en plusieurs unités. Cela permettrait de focaliser l'apprentissage sur des aspects précis et adaptés au niveau de l'apprenant tout en lui fournissant un retour approprié sur ses performances.

La méthode d'apprentissage en trois étapes de Gobet et Jansen (2006) semble donc également pouvoir s'appliquer à des contextes plus généraux. Pour rappel, il s'agit d'une difficulté graduelle des situations d'apprentissage, d'une identification claire des éléments à apprendre et d'une spirale d'amélioration. Mais Gobet (2005) indique qu'il est aussi essentiel de prendre en compte les différences interindividuelles. Même si la théorie des styles d'apprentissage (i.e., visuel, verbal...) a largement été réfutée par la littérature scientifique (Pashler et al., 2009 ; Husmann & O'Loughlin, 2018), il est important de percevoir les différences existantes

entre apprenants afin d'adapter les instructions, le contexte d'apprentissage et les retours qui leurs seront transmis (Gobet, 2005). L'auteur précise notamment que les différences interindividuelles (notamment de nature cognitive) jouent un rôle majeur dans les premiers stades d'apprentissage. Ainsi, les individus ne bénéficieront pas de la même manière des retours qui leurs seront adressés. Dans le cadre de nos études nous avons par exemple observé que les joueurs experts semblaient présenter de meilleures capacités décisionnelles que le reste de la population. Les méthodes d'entraînement utilisées dans ce milieu pourraient ainsi favoriser le développement des performances chez les individus ayant de bonnes capacités de prise de décision. Que ce soit pour les échecs ou pour tout autre domaine, le fait de repérer ces différences individuelles pourrait permettre de développer des accompagnements plus adaptés et menant à un développement efficace des compétences.

Les retours seraient également essentiels à l'apprentissage (Gobet, 2005). Grâce à eux il est alors possible de percevoir clairement les bonnes et mauvaises performances qui ont été réalisées durant la pratique. Il semble donc que, d'une manière ou d'une autre, les indications données par le professeur soient un élément essentiel du processus d'apprentissage. Celles-ci pourraient favoriser la création de marqueurs somatiques guidant les décisions dans les situations d'apprentissage futures. Seulement, comme l'ont montré les recherches en psychologie de l'expertise, ces retours doivent survenir immédiatement après avoir réalisé l'action afin d'être les plus efficaces (Ericsson, 2008).

En conclusion, l'aspect graduel et segmenté de l'apprentissage proposé par les auteurs que nous venons de citer semble approprié afin d'améliorer les performances des apprenants. En focalisant l'attention sur des aspects précis à apprendre et en augmentant les situations d'apprentissage, l'apprenant parvient à associer des procédures à mettre en place avec des situations précises. Cependant, de par les différences individuelles, tous les apprenants ne seront pas égaux dans les premiers stades d'apprentissages de la discipline. Comme nous

l'avons mentionné précédemment, les individus ayant de bonnes capacités de prise de décision pourront être amenés à développer plus rapidement leurs capacités aux échecs. De la même manière, Bilalic et al (2007) ont montré qu'un certain niveau d'intelligence influençait positivement les capacités des jeunes joueurs d'échecs dans les premières phases d'apprentissage de la discipline. En revanche une fois ces premiers stades dépassés, il semble que le degré de pratique délibérée soit plus important afin de performer aux échecs.

Ces aspects pratiques liés à l'acquisition des compétences des apprenants sont le résultat d'une courte synthèse de la littérature sur la psychologie de l'expertise et des résultats que nous avons obtenus dans cette thèse. Cependant, leur mise en application au sein de milieux éducatifs est complexe et nécessiterait une grande quantité de moyens humains pour pouvoir être réalisée.

De plus il est également possible que le développement de l'expertise aux échecs permette de développer les capacités décisionnelles des joueurs (Expérience 1 et 2 de cette thèse). Le jeu d'échecs pourrait alors être une activité utile afin de développer les compétences générales des individus. Michel Noir (2002) a d'ailleurs étudié dans sa thèse la question du développement des habiletés cognitives de l'enfant par la pratique du jeu d'échecs. En particulier le caractère transférable de certaines capacités qui s'étaient développées chez les enfants au cours de la pratique du jeu d'échecs. Il s'est intéressé notamment à la possibilité de transférer la capacité à retenir les informations sous forme de chunks. Il montre que des enfants ayant pratiqué les échecs durant deux années sont meilleurs que des enfants n'ayant pas pratiqué la discipline dans des tâches de rappel considérée par l'auteur comme extérieur au domaine échiquéen. Ces résultats sont tout de même à relativiser, car la tâche en question consistait à reconstruire sur un échiquier entièrement noir la position de carrés et de ronds de deux couleurs différentes. Bien que certains aspects du jeu d'échecs ne soient effectivement pas présents dans ce protocole, certaines similitudes persistent. Ces résultats peuvent être

rapprochés de ceux de Gobet et Simon (1996) qui avaient montré dans une méta-analyse que la supériorité des experts restait présente lors d'expériences visant à rappeler la position de pièces d'échecs positionnées aléatoirement sur l'échiquier. En effet, pour ces deux études certains aspects de la tâche de rappel ont été atténués par rapport à la situation classique du jeu d'échecs. Selon la théorie d'atténuation des contraintes (Vicente & Wang, 1998), la performance des experts à une tâche donnée est dépendante du nombre de contraintes spécifiques à leur domaine qui sont présentes. Les quelques similarités entre la tâche qualifiée par Noir (1996) comme étant extérieure au domaine et le jeu d'échecs pourraient donc entraîner les meilleures performances des enfants jouant aux échecs mesurées dans son étude.

Ces résultats restent tout de même intéressants à prendre en compte, car les effets observés par Noir (1996) bien que difficilement généralisables indiquent que les capacités de chunking des enfants jouant aux échecs se sont développées dans des tâches spécifiques. De manière générale l'auteur indique également que le recours à des activités ludiques pourrait permettre de développer les compétences générales des apprenants. Selon lui, le frein essentiel à l'utilisation de telles pratiques ludiques serait l'absence de lien pouvant être établi par le professeur entre les habiletés qu'il cherche à développer chez ses élèves dans sa discipline et les habiletés développées par ces pratiques ludiques.

L'auteur cite le cas des jeux vidéo qui ont montré des effets bénéfiques sur le développement des habiletés cognitives des enfants. Nous pouvons citer notamment la méta-analyse de Powers et al. (2013). Les fonctions exécutives des joueurs semblent particulièrement se développer au travers de la pratique des jeux vidéo. L'aspect ludique semble d'ailleurs être un élément essentiel du développement de ces habiletés (Owen, 2009).

Gobet (2016) indique également qu'il serait bénéfique de pratiquer une multitude de disciplines sportives afin que le plus grand nombre d'habiletés puisse être transférable par la

suite au sport que l'on choisit de pratiquer de manière intensive. Cela permet en quelque sorte de dépasser la limite précédemment mentionnée consistant à ne pas savoir précisément quelles sont les habiletés nécessaires dans telle ou telle discipline. Cependant, dans le cadre d'un enseignement ayant bien déterminé l'ensemble des habiletés nécessaires à sa réalisation, il semble que l'important soit de mettre en place une pratique ludique pouvant développer ces habiletés.

Comme nous l'avons montré dans nos deux premières expériences le jeu d'échecs pourrait potentiellement développer les capacités décisionnelles des joueurs. Les domaines d'apprentissage nécessitant de prendre des décisions entre plusieurs options possibles sont nombreux. Pour ces domaines, le jeu d'échecs pourrait donc représenter un cadre d'apprentissage permettant aux professeurs et apprenants de s'investir dans une pratique ludique permettant de développer les habiletés décisionnelles.

7.4 LES INDICATEURS DIRECTS ET INDIRECTS DE L'ACTIVITE SOMATIQUE

A. LES INDICATEURS INDIRECTS DE L'ACTIVITE SOMATIQUE

Dans nos recherches, nous avons pour ambition de mesurer l'activité électrodermale et la fréquence cardiaque des participants. L'activité électrodermale est déterminée par l'activité des glandes sudoripares eccrines, responsables avec les glandes sudoripares apocrines, de la sudation des individus. Cette mesure reflèterait l'activité de plusieurs zones cérébrales tel que le cortex frontal ventro-médian ou les structures limbiques (Grapperon, Pignol, & Vion-Dury, 2011). De manière générale, les auteurs précisent que c'est l'activité du système sympathique de l'individu qui est mesurée indirectement avec la RED. On peut distinguer deux aspects de

la mesure, la réponse tonique (skin conductance level) qui représente le niveau d'activation moyen de l'individu sans réaction à des stimulations extérieures et la réponse phasique (skin conductance response) qui représente les amplitudes du tracé provoquées par des stimuli.

La RED permet notamment de mesurer la réponse anticipatoire caractéristique de l'intégration des marqueurs somatiques au processus décisionnel (Merchan-Clavellino et al., 2019). L'activité du système sympathique, mesurée indirectement par la RED entraîne une sudation élevée dans des zones précises (Goodman & Gilman, 1996) caractérisées par une forte concentration en glandes sudoripares eccrines (i.e., thénar et hypothénar sur la paume de la main). A l'inverse, les auteurs indiquent que l'activité du système parasympathique entraînerait une sudation généralisée des glandes sudoripares.

La fréquence cardiaque de son côté mesure à la fois l'activité du système sympathique et du système parasympathique (Aue, 2014). Plusieurs ondes sont importantes à prendre en compte dans le battement cardiaque. Nous nous intéressons en particulier à deux d'entre elles, l'onde R et l'onde T. L'intervalle entre deux ondes R représente l'espacement entre deux battements cardiaques. C'est à partir d'elle que l'on peut calculer la fréquence cardiaque correspondant au nombre de ces intervalles durant une minute. L'onde T en revanche, toujours selon Aue (2014), permet de voir avec plus de précision l'influence du système parasympathique sur le battement cardiaque. De sorte que l'activation du système parasympathique augmente lorsque l'amplitude de l'onde T diminue.

Goodman et Gilman (1996) précisent que l'activation sympathique provoquerait une élévation et l'activation parasympathique une diminution de la fréquence cardiaque. La mesure de l'onde T, en complément de la fréquence cardiaque générale, nous permettrait donc d'obtenir des informations sur les variations d'activations parasympathiques et sur la tendance d'accélération ou de diminution du rythme cardiaque suite à un évènement. De plus la mesure

de "l'Heart rate variability" (indice HRV) permet d'observer comment les individus vont s'adapter afin de répondre efficacement à des tâches complexes. Plus l'indice est élevé et plus la performance des individus à la tâche le sera également. Dans le domaine du jeu d'échecs Fuentes-Garcia et al. (2019) observent notamment un indice HRV plus élevé chez des experts que chez des novices dans une tâche de résolution de problèmes échiquéens.

La RED et la fréquence cardiaque semblent donc apporter des éléments complémentaires afin de mesurer les variations possibles des deux systèmes du fonctionnement autonome. Nous privilégions donc la mise en place de tâches mesurant l'activité physiologique en utilisant ces deux méthodes conjointement dans le cadre de l'étude de l'influence des marqueurs somatiques sur la prise de décision.

Au cours de cette thèse, nous souhaitions également mener une dernière expérience qui devait se dérouler au printemps 2020. Malheureusement à cause du contexte sanitaire lié à la COVID-19 celle-ci n'a pas pu avoir lieu. En effet, les passations devaient être réalisées lors de différents tournois d'échecs qui n'ont pu être maintenus ou qui se sont déroulés à huis clos. Cette expérience proposait d'utiliser les deux analyses physiologiques dont nous venons de parler (RED et fréquence cardiaque) et ne pouvait donc pas trouver d'alternative en ligne. Nous vous exposerons donc succinctement dans les prochaines lignes ce projet d'étude que nous aimerions voir aboutir rapidement.

Il s'agit d'une étude visant à évaluer la dimension somatique de la décision experte au sein de son domaine d'expertise. L'objectif est de réaliser deux expériences distinctes auprès des joueurs d'échecs. Pour chacune d'elles, nous nous intéressons principalement aux données qui seront recueillies par les dispositifs de RED et de fréquence cardiaque. Il s'agit de deux études exploratoires visant à recueillir des données physiologiques sur les joueurs.

Dans la première expérience, nous demanderons aux joueurs d'analyser des séries de coups entreprises par un ordinateur en s'imaginant à la place de celui-ci. Ces séries de coups pourront soit être mauvaises, soit neutres, soit positives pour le joueur. Nous analyserons ensuite les résultats physiologiques en fonction de ces trois contextes. Préalablement à la série de coups jouée par l'ordinateur, nous demanderons aux joueurs de nous dire quels coups ils auraient eux-mêmes effectués. Cela a pour objectif de venir contrôler si les participants ont bien conscience des meilleures options à adopter.

Dans la seconde expérience, le joueur sera davantage acteur de sa décision. Nous allons lui proposer une expérience assimilable à une tâche de Hayling mais adaptée pour le jeu d'échecs. Le principe sera dans la moitié des essais de déterminer le meilleur coup qu'il faudra jouer et dans l'autre moitié de proposer un mauvais coup. Comme précédemment, nous nous intéresserons principalement aux données physiologiques recueillies. Dans le cas d'une consigne visant à jouer un mauvais coup nous nous attendons à ce que les joueurs développent une réponse physiologique anticipatoire en amont de l'exécution de l'action.

L'objectif de ces deux expériences sera de retrouver au sein des réactions physiologiques des joueurs des signes d'une influence émotionnelle. Ces expériences sont principalement exploratoires. Néanmoins, dans la seconde, nous nous attendons à retrouver une réponse anticipatoire sur le signal de la RED avant les essais négatifs. Ce signe étant caractéristique de la réaction somatique à un stimulus (Bechara et al., 1997).

B. LES INDICATEURS DIRECTS DE L'ACTIVITE SOMATIQUE

Selon la littérature, le cortex préfrontal ventro-médian, le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex orbitofrontal et l'amygdale (Bechara et al., 1994 ; Bechara et al., 1999 ; Manes et al., 2002 ; Tanabe et al., 2007) semblent impliqués dans l'activation des marqueurs somatiques.

Bechara (2004) précise également que le nerf vague serait le moyen permettant aux marqueurs somatiques de communiquer avec ces zones cérébrales et influencer la décision. Ce nerf faisant partie intégrante du système parasympathique cela renforce encore davantage notre volonté d'inclure des mesures de fréquence cardiaque à nos analyses. L'ensemble du système nerveux autonome semble donc important à prendre en compte dans l'étude de l'activité somatique en contexte décisionnel. Selon la théorie polyvagale de Porges (2000), la régulation émotionnelle et les comportements sociaux des individus seraient d'ailleurs déterminés par le développement du système nerveux autonome durant l'évolution. Les auteurs se sont intéressés au fonctionnement de ce système autonome afin de proposer aux individus une manière de développer leurs comportements sociaux. Ils ont ainsi développé un protocole visant à améliorer les comportements sociaux d'enfants ayant reçu un diagnostic d'autisme. Celui-ci proposait une thérapie comportementale visant à réaliser des stimulations acoustiques de zones cérébrales spécifiques impliquées dans la fréquence cardiaque et la musculature faciale. La plupart des enfants semblent avoir tiré bénéfice de cette thérapie et montrent une amélioration de leurs comportements sociaux et de leur capacité à communiquer avec leur entourage, qui semble perdurer avec le temps. De manière intéressante, ces bénéfices ont également eu des répercussions sur la manière dont l'entourage de ses enfants interagissait avec eux.

Porges et al. (1996) avaient précédemment montré qu'une rapide inhibition ou désinhibition de l'activité vagale pourrait permettre à l'individu, soit de mobiliser ses ressources pour faire face à la tâche, soit de le calmer. Cela permettrait ainsi de pouvoir réguler l'activité émotionnelle de l'individu afin de pouvoir adapter ses réponses comportementales face à la situation. L'activité du nerf vague étant comme nous l'avons mentionné la potentielle voie de communication entre les marqueurs somatiques et les zones cérébrales impliquées dans l'activité somatique (Bechara, 2004).

Par conséquent l'activité du système autonome semble être particulièrement impliqué dans les comportements sociaux et notamment les activités nécessitant une importante régulation émotionnelle. L'étude de ce fonctionnement autonome, comprend une part sympathique et une part parasympathique que nous devons pouvoir mesurer efficacement dans le cadre de l'étude des marqueurs somatiques. C'est pour cela que nous avons préconisé dans le chapitre précédent l'utilisation conjointe des mesures électrodermales et de fréquence cardiaque.

Du côté des experts, il semble que le lobe frontal soit plus fortement activé que celui des novices dans des tâches nécessitant un traitement visuo-spatial (Franklin et al., 2020). Les auteurs indiquent également que les tâches complexes liées à la résolution d'un problème d'échecs impliqueraient davantage le cortex préfrontal chez les experts. Des recherches menées sur la part intuitive de la décision des experts indiquent également que le cortex préfrontal serait plus fortement activé chez les experts (Wan et al., 2011).

Il existe donc des similitudes d'activations entre les zones responsables de l'utilisation des marqueurs somatiques et celles responsables de la performance experte (notamment dans le cortex préfrontal). Ainsi, il semble important de préciser que, malgré l'intérêt des mesures physiologiques que nous avons décrit précédemment, la mesure directe de l'activité de ces zones cérébrales reste essentielle à développer afin de rapprocher la théorie des marqueurs somatiques et le fonctionnement des experts.

7.5 PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Ce travail de thèse nous encourage à continuer dans l'évaluation de l'influence des marqueurs somatiques sur la prise de décision des experts. L'une des premières perspectives de travaux pouvant aller dans ce sens serait de réaliser une nouvelle réplication de l'IGT en incluant d'autres populations expertes. Face à la petite taille des échantillons présents dans nos études,

il est en effet indispensable de répliquer les effets obtenus et également de les généraliser auprès de différentes populations. C'est d'ailleurs ce que nous avons commencé à réaliser auprès de la population de joueurs de Go (expérience 2). En revanche ces analyses devront également inclure des mesures de RED et de fréquence cardiaque afin d'obtenir des indicateurs physiologiques de l'activation des marqueurs somatiques ; ces indicateurs faisant parties intégrante de la justification du modèle proposé par Bechara et al. (1997).

Dans le même temps, nous souhaitons également continuer les recherches sur les capacités générales de prise de décision des experts en utilisant d'autres types de tâches et de contextes décisionnels. L'adaptation de la BART en incorporant des pertes réelles pour le participant pourrait être un point de départ intéressant. En effet, nous avons discuté, au travers de cette thèse, du fait que la confrontation répétée à une même situation de perte ou de gain allait permettre la mise en place de marqueurs somatiques guidant la décision (Damasio et al., 1991). On observe notamment la mise en place d'une réponse physiologique anticipatoire qui va se développer au fur et à mesure des événements et permettre aux individus de s'éloigner des décisions qui sont désavantageuses pour eux. L'observation de cette réponse anticipatoire dans une tâche différente de l'IGT pourrait permettre de confirmer les résultats obtenus dans nos deux premières expériences. Ainsi, nous pourrions approfondir la question de l'influence somatique sur la décision experte en contexte ambigu.

L'effet de l'intuition experte pourrait également être évalué en comparant des experts âgés et jeunes. En effet, on observe dans la littérature que l'expertise semble permettre de maintenir les performances des individus avec l'avancée en âge (Postal, 1997). Cela serait dû notamment à la mise en place de mécanismes compensatoires spécifiques au domaine d'expertise permettant de contrecarrer le déclin mnésique (Salthouse, 1984 ; Lemaire & Bherer, 2005). Kramer et Bherer (2004) précisent notamment que les experts pourraient compenser les déclins perceptifs, cognitifs et moteurs à l'aide de modèles conceptuels

permettant de repérer les informations pertinentes de la situation. Néanmoins, ces effets bénéfiques de l'expertise semblent s'observer principalement lorsque la pratique délibérée des individus est maintenue au cours du vieillissement. Selon Vanderaspoilden et al. (2007) ou Hasher et Zacks (1979), le déclin mnésique des âgés serait principalement imputable aux processus contrôlés. Ce sont donc eux qui semblent être majoritairement altérés dans le vieillissement. Néanmoins, Mathey & Postal (2003, 2008) montrent que les personnes âgées présentent également des processus automatiques détériorés dans des tâches d'accès au lexique. Dans ce contexte, il serait intéressant de comparer les résultats d'experts âgés et jeunes dans la tâche de l'Einstellung. Nous devrions observer une activation automatique de la situation fréquente relativement préservée au sein de la population âgée. En revanche leur performance devrait se détériorer en situation de décision par diagnostic, nécessitant un traitement contrôlé de la situation.

8. CONCLUSION

Pour terminer, il semble important de revenir sur les conclusions et interrogations principales que soulève ce travail de thèse.

Nous avons tout d'abord montré que les capacités de prise de décision générales des experts aux échecs semblaient être plus importantes que celles d'amateurs ou de novices de la discipline dans certaines tâches spécifiques. Les capacités décisionnelles doivent donc, selon nous, être incluses dans les habiletés générales pouvant influencer le développement de l'expertise. Cependant, comme nous l'avons également observé, les experts n'obtiennent ces bonnes performances décisionnelles que dans des contextes précis. Bechara et al. (1994) en ont décrit les spécificités, c'est-à-dire un contexte de prise de décision ambigu prenant en compte des pertes réelles pour les individus. Il faudra confirmer ces résultats en répliquant les effets observés et également en les reproduisant au sein de tâches et de populations expertes variées.

Bien que nous ayons été limités par des mesures presque exclusivement comportementales, les résultats obtenus nous amènent à postuler une influence somatique pouvant diriger la décision experte. Cette influence ne serait pas exclusive aux performances décisionnelles générales des joueurs, hors de leur domaine d'expertise. Elle aurait également selon nous un impact positif sur la décision des experts au sein de leur domaine.

Le modèle de synthèse que nous avons proposé permet d'associer les théories existantes sur le fonctionnement des marqueurs somatiques et sur le processus de décision expert. Celui-ci propose une distinction claire entre les processus accomplis de manière automatique et ceux qui sont contrôlés. Le modèle inclut également une interaction bidirectionnelle permettant aux marqueurs somatiques d'influencer la part contrôlée du processus décisionnel et d'être influencés par elle.

Ce travail permet également selon nous de montrer que les marqueurs somatiques sont importants à prendre en compte dans le développement des performances expertes. Des différences individuelles en termes d'utilisation de cette voie somatique dans le processus décisionnel pourraient en effet selon nous influencer le développement des compétences. Comme nous l'avons mentionné précédemment, il reste néanmoins à confirmer cette théorie, notamment en mettant en place des protocoles permettant de recueillir des données physiologiques chez nos participants.

Enfin, nous espérons que ce travail aura su convaincre de l'importance d'inclure ces aspects somatiques dans l'étude de la décision experte et notamment du phénomène d'intuition. Les recherches en psychologie de l'expertise représentent une porte d'accès idéale afin de permettre la compréhension du fonctionnement cognitif humain. Nous pensons que le cadre théorique proposé par les marqueurs somatiques est prometteur afin d'étudier cette question dans une démarche novatrice au sein de laquelle les afférences somatiques pourraient venir expliquer les spécificités des comportements humains.

RÉFÉRENCES

- Ackerman, P. L. (2014). Facts are stubborn things. *Intelligence*, 45, 104-106.
- Ackerman, P. L. (2014). Nonsense, common sense, and science of expert performance: Talent and individual differences. *Intelligence*, 45, 6-17.
- Agnew, N. M., Ford, K. M., & Hayes, P. J. (1997). Expertise in context: personally constructed, socially selected and reality-relevant?, Expertise in context: human and machine.
- Anders Ericsson, K. (2008). Deliberate practice and acquisition of expert performance: a general overview. *Academic emergency medicine*, 15(11), 988-994.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1983). Acquisition of proof skills in geometry. *Machine learning*. Springer, Berlin, Heidelberg, 191-219.
- Anderson, N. H. (1996). A functional theory of cognition. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Astolfi, J. P. (1993). L'école pour apprendre (2e éd.). Paris: ESF.
- Aue, T. (2014). Chapitre 5. Psychophysiology des émotions. In *Traité de psychologie des émotions*, Dunod, 168-199.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baltes, P. B. (1993). The aging mind: Potential and limits. *The gerontologist*, 33(5), 580-594.
- Bargh, J. A., & Chartrand, T. L. (1999). The unbearable automaticity of being. *American psychologist*, 54(7), 462.
- Bechara, A. (2004). The role of emotion in decision-making: Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and cognition*, 55(1), 30-40.
- Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and economic behavior*, 52(2), 336-372.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 1-3.
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R., & Lee, G. P. (1999). Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of neuroscience*, 19(13), 5473-5481.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Anderson, S. W. (1998). Dissociation of working memory from decision making within the human prefrontal cortex. *Journal of neuroscience*, 18(1), 428-437.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275(5304), 1293-1295.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral cortex*, 6(2), 215-225.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., and Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *J. Exp. Psychol. Appl.* 8, 6-16.
- Bergson, H. (1919). *Matter and memory*. Allen & Unwin.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological review*, 94(2), 115.
- Bilalić, M., McLeod, P., & Gobet, F. (2007). Does chess need intelligence?—A study with young chess players. *Intelligence*, 35(5), 457-470.
- Bilalić, M., McLeod, P., & Gobet, F. (2009). Specialization effect and its influence on memory and problem solving in expert chess players. *Cognitive science*, 33(6), 1117-1143.
- Binet, A. (1893). Les grandes mémoires: Résumé d'une enquête sur les joueurs d'échecs. *Revue des Deux Mondes (1829-1971)*, 117(4), 826-859.
- Binet, A. (1894). *Psychologie des grands calculateurs et joiers d'échecs*. Hachette.
- Birren, J. E., & Schaie, K. W. (1996). Handbook of the psychology of aging (3rd ed). San Diego: Academic Press.
- Bruce, PR, & Herman, JF (1986). Adult age differences in spatial memory: Effects of distinctiveness and repeated experience. *Journal of Gerontology*, 41(6), 774-777.
- Blech, C., Gaschler, R., & Bilalić, M. (2020). Why do people fail to see simple solutions? Using think-aloud protocols to uncover the mechanism behind the Einstellung (mental set) effect. *Thinking & Reasoning*, 26(4), 552-580.
- Bouriau, C. (2004). Propos sur la mémoire des joueurs d'échecs.

- Bower, G. H., Clark, M. C., Lesgold, A. M., & Winzenz, D. (1969). Hierarchical retrieval schemes in recall of categorized word lists. *Journal of verbal Learning and verbal Behavior*, 8(3), 323-343.
- Brand, M., Fujiwara, E., Borsutzky, S., Kalbe, E., Kessler, J., & Markowitsch, H. J. (2005). Decision-making deficits of korsakoff patients in a new gambling task with explicit rules: associations with executive functions. *Neuropsychology*, 19(3), 267.
- Brand, M., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks*, 19(8), 1266-1276.
- Brand, M., Recknor, E. C., Grabenhorst, F., & Bechara, A. (2007). Decisions under ambiguity and decisions under risk: correlations with executive functions and comparisons of two different gambling tasks with implicit and explicit rules. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 29(1), 86-99.
- Brand, M., Recknor, E. C., Grabenhorst, F., & Bechara, A. (2007). Decisions under ambiguity and decisions under risk: correlations with executive functions and comparisons of two different gambling tasks with implicit and explicit rules. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 29(1), 86-99.
- Buchanan, B. S., & Shortliffe, E. EH (1984) Rule-based Expert Systems. The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project.
- Burgoyne, A. P., Sala, G., Gobet, F., Macnamara, B. N., Campitelli, G., & Hambrick, D. Z. (2016). The relationship between cognitive ability and chess skill: A comprehensive meta-analysis. *Intelligence*, 59, 72-83.
- Burnham, C. A., & Davis, K. G. (1969). The nine-dot problem: Beyond perceptual organization. *Psychonomic Science*, 17(6), 321-323.
- Campbell, M., Hoane Jr, A. J., & Hsu, F. H. (2002). Deep blue. *Artificial intelligence*, 134(1-2), 57-83.
- Campitelli, G., & Gobet, F. (2008). The role of practice in chess: A longitudinal study. *Learning and individual differences*, 18(4), 446-458.
- Cannon, W. B. (1915). *Bodily changes in pain, hunger, fear, and rage*. D. Appleton and company.
- Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Pruitt, J. S. (1996). Establishing the boundaries of a paradigm for decision-making research. *Human factors*, 38(2), 193-205.
- Carson, J. (2007). A problem with problem solving: Teaching thinking without teaching knowledge. *The mathematics educator*, 17(2).
- Cauuffman, E., Shulman, E. P., Steinberg, L., Claus, E., Banich, M. T., Graham, S., & Woolard, J. (2010). Age differences in affective decision making as indexed by performance on the Iowa Gambling Task. *Developmental psychology*, 46(1), 193.
- Chamberlain, R., McManus, C., Brunswick, N., Rankin, Q., & Riley, H. (2015). Scratching the surface: Practice, personality, approaches to learning, and the acquisition of high-level representational drawing ability. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 9(4), 451.
- Charness, N. (1989). Expertise in chess and bridge. *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*, 183-208.
- Charness, N. (1992). The impact of chess research on cognitive science. *Psychological research*, 54(1), 4-9.
- Charness, N., & Campbell, J. I. (1988). Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(2), 115.
- Charness, N., Reingold, E. M., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). The perceptual aspect of skilled performance in chess: Evidence from eye movements. *Memory & cognition*, 29(8), 1146-1152.
- Charness, N., Tuffiash, M., Krampe, R., Reingold, E., & Vasyukova, E. (2005). The role of deliberate practice in chess expertise. *Applied Cognitive Psychology*, 19(2), 151-165.
- Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1982). Skill and working memory. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 16, pp. 1-58). Academic Press.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, 4(1), 55-81.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). The mind's eye in chess. In *Visual information processing* (pp. 215-281). Academic Press.
- Chi, M., Feltovich, P., & Glaser, R. (1982). Categorization in experts and novices. *The handbook of intelligence*, 66-84.
- Chiu, Y. C., & Lin, C. H. (2007). Is deck C an advantageous deck in the Iowa Gambling Task?. *Behavioral and Brain Functions*, 3(1), 1-11.
- Chiu, Y. C., Lin, C. H., Huang, J. T., Lin, S., Lee, P. L., & Hsieh, J. C. (2008). Immediate gain is long-term loss: Are there foresighted decision makers in the Iowa Gambling Task?. *Behavioral and Brain Functions*, 4(1), 1.

- Christiaen, J., and Verholfstadt, D. C. (1978). Chess and cognitive development. *Nederlandse Tydschrift voorde Psychologie en haar Grensegebieten*, 36, 561–582.
- Corson, Y. (2002). Effects of positive, negative, and neutral moods on associative and semantic priming. *Cahiers de psychologie cognitive/Current Psychology of Cognition*.
- Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(6), 671-684.
- Damasio, A. R. (1994). *L'erreur de Descartes: la raison des émotions*, tr. fr Odile Jacob, 1995.
- Damasio, A.R., Everitt, B.J., et Bishop, D. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 351: 1413-1420
- Danial, S. N., Smith, J., Veitch, B., & Khan, F. (2019). On the realization of the recognition-primed decision model for artificial agents. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 9(1), 36.
- Davison, A., Staszewski, J., & Boxley, G. (2001). Improving Soldier Performance With the AN/PSS-12. *Engineer*, 31(3), 17-21.
- Dawes, R. M. (1988) *Rational Choice in an Uncertain World*. NY: *Harcourt Brace Jovanovich*.
- De Bruin, A. B., Kok, E. M., Leppink, J., & Camp, G. (2014). Practice, intelligence, and enjoyment in novice chess players: A prospective study at the earliest stage of a chess career. *Intelligence*, 45, 18-25.
- De Bruin, A. B., Rikers, R. M., & Schmidt, H. G. (2007). The influence of achievement motivation and chess-specific motivation on deliberate practice. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(5), 561-583.
- De Groot, A. D. (1946). *Het denken van den schaker: een experimenteel-psychologische studie* (p. 315). Amsterdam: Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij.
- De Groot, A. D., Gobet, F., & Jongman, R. W. (1996). *Perception and memory in chess: Studies in the heuristics of the professional eye*. Van Gorcum & Co.
- Dehaene, S. (2018). *Apprendre!: les talents du cerveau, le défi des machines*. Odile Jacob.
- Demaree, H. A., Burns, K. J., & DeDonno, M. A. (2010). Intelligence, but not emotional intelligence, predicts Iowa Gambling Task performance. *Intelligence*, 38(2), 249-254.
- Deutsch, D. (1999). The processing of pitch combinations. In *The psychology of music* (pp. 349-411). Academic Press.
- Didierjean, A., & Marmèche, E. (2003). *Generalization and transfer: The role of specific cases*. In S. P. Shohov (Ed.), *Advances in psychology research*, Vol. 24 (p. 37–58). Nova Science Publishers.
- Didierjean, A., Cauzinille-Marmèche, E., & Savina, Y. (1999). Learning from examples : case-based reasoning in chess for novices.
- Didierjean, A., Ferrari, V., & Cauzinille-Marmèche, E. (2004). L'expertise cognitive au jeu d'échecs: quoi de neuf depuis De Groot (1946)? *L'année psychologique*, 104(4), 771-793.
- Dixon, M. L., Thiruchselvam, R., Todd, R., & Christoff, K. (2017). Emotion and the prefrontal cortex: an integrative review. *Psychological bulletin*, 143(10), 1033.
- Djakow, I. N., Petrowski, N. W. & Rudik, P. A. (1927) *Psychologie des Schachspiels*. De Gruyter, Berlin.
- Doll, J., & Mayr, U. (1987). Intelligenz und Schachleistung—eine Untersuchung an Schachexperten. *Psychologische Beitrage*.
- Dreyfus, H. L., & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. New York: The Free Press
- Drury-Hudson, J. (1999). Decision making in child protection: The use of theoretical, empirical and procedural knowledge by novices and experts and implications for fieldwork placement. *British Journal of Social Work*, 29(1), 147-169.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4-58.
- Dye, M. W., Green, C. S., & Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Current directions in psychological science*, 18(6), 321-326.
- Ehrlich, S. (1972). *La capacité d'appréhension verbale*. Paris: Presses universitaires de France.
- Elo, A. E. (1978). *The rating of chessplayers, past and present*. New York: Arco Pub.
- Epstein, S. (1996). *Impure science: AIDS, activism, and the politics of knowledge* (Vol. 7). Univ of California Press.
- Ericsson, A., & Pool, R. (2016). *Peak: Secrets from the new science of expertise*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Ericsson, K. A. (2014). Why expert performance is special and cannot be extrapolated from studies of performance in the general population: A response to criticisms. *Intelligence*, 45, 81-103.

- Ericsson, K. A. (Ed.). (2014). *The road to excellence: The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games*. Psychology Press.
- Ericsson, K. A., & Charness, N. (1994). Expert performance: Its structure and acquisition. *American psychologist*, 49(8), 725.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. (1993). A.(1984). *Protocol Analysis. Verbal reports as data*.
- Ericsson, K. A., & Ward, P. (2007). Capturing the naturally occurring superior performance of experts in the laboratory: Toward a science of expert and exceptional performance. *Current Directions in Psychological Science*, 16(6), 346-350.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), 363.
- Ericsson, K. A., Roring, R. W., & Nandagopal, K. (2007). Giftedness and evidence for reproducibly superior performance: An account based on the expert performance framework. *High Ability Studies*, 18(1), 3-56.
- Ericsson, K.A., & Smith, J. (1991). Toward a general theory of expertise, prospects and limits, *Cambridge, Cambridge University Press*.
- Eslinger, P. J., & Damasio, A. R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: patient EVR. *Neurology*, 35(12), 1731-1731.
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science*, 18(10), 850-855.
- Farrington, J. (2011). Seven plus or minus two. *Performance Improvement Quarterly*, 23(4), 113-116.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2006). Dynamic perception in chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(2), 397-410.
- Fitts, P. M. (1964). Perceptual-motor skill learning. In *Categories of human learning* (pp. 243-285). Academic Press.
- Fontaine, R. (1999). *Manuel de psychologie du vieillissement*. Dunod.
- Fowles, D. C., Christie, M. J., Edelberg, R., Grings, W. W., Lykken, D. T., & Venables, P. H. (1981). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 18(3), 232-239.
- Franklin, G. L., Pereira, B. N., Lima, N. S., Germiniani, F. M. B., Camargo, C. H. F., Caramelli, P., & Teive, H. A. G. (2020). Neurology, psychiatry and the chess game: a narrative review. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 78(3), 169-175.
- Friesen, A. P., Lane, A. M., Devonport, T. J., Sellars, C. N., Stanley, D. N., & Beedie, C. J. (2013). Emotion in sport: Considering interpersonal regulation strategies. *International review of sport and exercise psychology*, 6(1), 139-154.
- Frijda, N. H. (1986). *The emotions*. Cambridge University Press.
- Frijda, N. H. (1993). The place of appraisal in emotion. *Cognition & Emotion*, 7(3-4), 357-387.
- Fuentes-García, J. P., Villafaina, S., Collado-Mateo, D., De la Vega, R., Olivares, P. R., & Clemente-Suárez, V. J. (2019). Differences between high vs. low performance chess players in heart rate variability during chess problems. *Frontiers in psychology*, 10, 409.
- Furniss, G. J. (2008). Celebrating the artmaking of children with autism. *Art Education*, 61(5), 8-12.
- Gansler, D. A., Jerram, M. W., Vannorsdall, T. D., & Schretlen, D. J. (2011). Does the Iowa Gambling Task measure executive function?. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(8), 706-717.
- Gentner, D., Bowdle, B., Wolff, P., & Boronat, C. (2001). Metaphor is like analogy. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*, 199-253.
- George, O., & Koob, G. F. (2017). Individual differences in the neuropsychopathology of addiction. *Dialogues in clinical neuroscience*, 19(3), 217.
- Gerdes, C., & Gränsmark, P. (2010). Strategic behavior across gender: A comparison of female and male expert chess players. *Labour Economics*, 17(5), 766-775.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive psychology*, 15(1), 1-38.
- Gobet, F. (1993). A computer model of chess memory.
- Gobet, F. (2001). Chess expertise, Cognitive psychology of. In N. J. Smelser and P. B. Baltes, International encyclopedia of the social and behavioral sciences, 3, 1663-1667. Amsterdam: Elsevier.
- Gobet, F. (2001). Réseaux de discrimination en psychologie: L'exemple de CHREST. *Swiss Journal of Psychology/Schweizerische Zeitschrift für Psychologie/Revue Suisse de Psychologie*, 60(4), 264.
- Gobet, F. (2002). Recherche et reconnaissance de patterns chez les experts.

- Gobet, F. (2011). *Psychologie du talent et de l'expertise*. De Boeck.
- Gobet, F. (2013). "Chunks and templates in semantic long-term memory: the importance of specialization," in *Expertise and Skill Acquisition: The impact of William G. Chase*, ed J. J. Staszewski (New York, NY: Psychology Press), 117–146.
- Gobet, F. (2015). *Understanding expertise: A multi-disciplinary approach*. Macmillan International Higher Education.
- Gobet, F., & Campitelli, G. (2002). Intelligence and chess.
- Gobet, F., & Campitelli, G. (2002). Intelligence and chess. In J. Retschitzki, & R. Haddad-Zubel, (Eds.). Step by step. Proceedings of the 4th Colloquium "Board Games in Academia". Fribourg: Editions Universitaires, 103-112.
- Gobet, F., & Charness, N. (2006). Chess and games. Cambridge handbook on expertise and expert performance (pp. 523-538). Cambridge, MA: Cambridge University Press. (<http://www.cambridge.org/>)
- Gobet, F., & Charness, N. (2006). Chess and games. *Cambridge handbook on expertise and expert performance*, 523-538.
- Gobet, F., & Charness, N. (2006). Expertise in chess. The Cambridge handbook of expertise and expert performance.
- Gobet, F., & Chassy, P. (2008). Towards an alternative to Benner's theory of expert intuition in nursing: a discussion paper. *International journal of nursing studies*, 45(1), 129-139.
- Gobet, F., & Jansen, P. J. (2006). Training in chess: A scientific approach. *Education and chess*.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (2000). Five seconds or sixty? Presentation time in expert memory. *Cognitive science*, 24(4), 651-682.
- Gobet, F., & Wood, D. (1999). Expertise, models of learning and computer-based tutoring. *Computers & Education*, 33(2-3), 189-207.
- Gobet, F., Cleeremans, A., & Wilken, P. (2009). Protocol analysis.
- Gobet, F., Retschitzki, J., & de Voogt, A. (2004). *Moves in mind: The psychology of board games*. Psychology Press.
- Grabner, R. H. (2014). The role of intelligence for performance in the prototypical expertise domain of chess. *Intelligence*, 45, 26-33.
- Grabner, R. H., Neubauer, A. C., & Stern, E. (2006). Superior performance and neural efficiency: The impact of intelligence and expertise. *Brain research bulletin*, 69(4), 422-439.
- Grabner, R. H., Stern, E., & Neubauer, A. C. (2007). Individual differences in chess expertise: A psychometric investigation. *Acta psychologica*, 124(3), 398-420.
- Grapperon, J., Pignol, A. C., & Vion-Dury, J. (2011). The measurement of electrodermal activity. *L'encephale*, 38(2), 149-155.
- Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105-2108.
- Greene, R. L. (1987). Effects of maintenance rehearsal on human memory. *Psychological Bulletin*, 102(3), 403.
- Hadamard, J. (1954). *An essay on the psychology of invention in the mathematical field*. Courier Corporation.
- Haj, M. E., Kessels, R. P., Urso, L., & Nandrino, J. L. (2020). Chunking to improve verbal forward spans in Korsakoff's syndrome. *Applied Neuropsychology: Adult*, 27(2), 150-157.
- Hambrick, D. Z., & Meinz, E. J. (2011). Limits on the predictive power of domain-specific experience and knowledge in skilled performance. *Current Directions in Psychological Science*, 20(5), 275-279.
- Hambrick, D. Z., & Tucker-Drob, E. M. (2015). The genetics of music accomplishment: Evidence for gene–environment correlation and interaction. *Psychonomic bulletin & review*, 22(1), 112-120.
- Hambrick, D. Z., Oswald, F. L., Altmann, E. M., Meinz, E. J., Gobet, F., & Campitelli, G. (2014). Deliberate practice: Is that all it takes to become an expert?. *Intelligence*, 45, 34-45.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of experimental psychology: General*, 108(3), 356.
- Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 13(1), 1-27.
- Holding, D. H. (1992). Theories of chess skill. *Psychological Research*, 54(1), 10-16.
- Holyoak, K. J. (1990). Problem solving. *Thinking: An invitation to cognitive science*, 3, 117-146.
- Horstmann, A., Villringer, A., & Neumann, J. (2012). Iowa Gambling Task: There is more to consider than long-term outcome. Using a linear equation model to disentangle the impact of outcome and frequency of gains and losses. *Frontiers in neuroscience*, 6, 61.

- Huitt, W. (1992). Problem solving and decision making: Consideration of individual differences using the Myers-Briggs Type Indicator. *Journal of Psychological type*, 24(1), 33-44.
- Huntley, J., Bor, D., Hampshire, A., Owen, A., & Howard, R. (2011). Working memory task performance and chunking in early Alzheimer's disease. *The British Journal of Psychiatry*, 198(5), 398-403.
- Husmann, P. R., & O'Loughlin, V. D. (2019). Another nail in the coffin for learning styles? Disparities among undergraduate anatomy students' study strategies, class performance, and reported VARK learning styles. *Anatomical sciences education*, 12(1), 6-19.
- Iqbal, A., & Yaacob, M. (2007). Computational aesthetics and chess as an art form. *Journal of Comparative Literature and Aesthetics*, 28, 49-59.
- Jamison, K. R. (1993). *Touched with Fire: Manic Depressive Illness and the Artistic Temperament*. 1993. Rpt. New York: Free.
- Jarodzka, H., Van Gog, T., Dorr, M., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction*, 25, 62-70.
- Johnson, N. F. (1970). The role of chunking and organization in the process of recall. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 4, pp. 171-247). Academic Press.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Keane, M. (1989). Modelling problem solving in Gestalt 'insight' problems. *The Irish Journal of Psychology*, 10(2), 201-215.
- Klein, G. (1998). *Sources of Power: How People Make decisions* MIT Press Cambridge MA.
- Klein, G. (1999). Applied decision making. In *Human performance and ergonomics* (pp. 87-107). Academic Press.
- Klein, G. A. (1993). A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making. *Decision making in action: Models and methods*, 5(4), 138-147.
- Klein, G. A. (2003). *Intuition at work: Why developing your gut instincts will make you better at what you do*. Currency/Doubleday.
- Klein, G. A. (2004). *The power of intuition: How to use your gut feelings to make better decisions at work*. Currency.
- Kleinmütz, B., & Skinner, B. F. (1966). Operant analysis of problem solving behavior. *Problem solving research*, 225-citation_lastpage.
- Kluemper, D. H., DeGroot, T., & Choi, S. (2013). Emotion management ability: Predicting task performance, citizenship, and deviance. *Journal of Management*, 39(4), 878-905.
- Klüver, H., & Bucy, P. C. (1937). "Psychic blindness" and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in Rhesus monkeys. *American Journal of Physiology*.
- Köhler, H. (1921). *Zur Kondensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre*. Kristiania: I kommission hos Cammermeyers boghandel.
- Köhler, W. (1959). Gestalt psychology today. *American psychologist*, 14(12), 727.
- Kokinov, B. (2003). Analogy in decision-making, social interaction, and emergent rationality. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(2), 167-168.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 59(9), M940-M957.
- Krulik, S., & Rudnick, J. (1980). *Problem Solving: A Handbook for Teachers*. Newton, Mass.
- LaFrance, M. (1989). The quality of expertise: implications of expert-novice differences for knowledge acquisition. *ACM SIGART Bulletin*, (108), 6-14.
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208(4450), 1335-1342.
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Zvolensky, M. J., & Pedulla, C. M. (2003). Evaluation of the Balloon Analogue Risk Task (BART) as a predictor of adolescent real-world risk-taking behaviours. *Journal of adolescence*, 26(4), 475-479.
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., ... & Brown, R. A. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: the Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75.
- Lemaire, P. & Bherer, L. (2005). Chapitre 10. Expertise et vieillissement cognitif. Dans : , P. Lemaire & L. Bherer (Dir), *Psychologie du vieillissement: Une perspective cognitive* (pp. 281-311). Louvain-la-Neuve, Belgique: De Boeck Supérieur.

- Letzelter, M., Jungermann, C., & Freitag, W. (1986). Swimming performance in the aged. *Zeitschrift fur Gerontologie*, 19(6), 389.
- Lieury, A. (1997). *Mémoire et réussite scolaire*. Dunod, (2^e édition).
- Lieury, A. (1979). Episodic memory: Is it embedded within semantic memory?. *L'Année Psychologique*.
- Lin, C. H., Song, T. J., Chen, Y. Y., Lee, W. K., & Chiu, Y. (2013). Reexamining the validity and reliability of the clinical version of the Iowa gambling task: evidence from a normal subject group. *Frontiers in psychology*, 4, 220.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological review*, 95(4), 492.
- Lord, C. (1984). Is Chess Art?. *Philosophic Exchange*, 15(1), 8.
- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. *Psychological monographs*, 54(6), i.
- Luria, A. R. (1968). The Mind of a Mnemonist, trans. L. Solotaroff. New York: Basic Books. Mastropieri, MA, Scruggs, TE, and Levin, JR (1985a)." Mnemonic Strategy Instruction with Learning Disabled Adolescents." *Journal of Learning Disabilities*, 18, 94-100.
- MacGregor, J. N., Ormerod, T. C., & Chronicle, E. P. (2001). Information processing and insight: a process model of performance on the nine-dot and related problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(1), 176.
- MacLean, P. D. (1952). Some psychiatric implications of physiological studies on frontotemporal portion of limbic system (visceral brain). *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*.
- Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., & Moreau, D. (2016). How important is deliberate practice? Reply to Ericsson (2016). *Perspectives on Psychological Science*, 11(3), 355-358.
- Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., & Oswald, F. L. (2014). Deliberate practice and performance in music, games, sports, education, and professions: A meta-analysis. *Psychological science*, 25(8), 1608-1618.
- Macnamara, B. N., Moreau, D., & Hambrick, D. Z. (2016). The relationship between deliberate practice and performance in sports: A meta-analysis. *Perspectives on Psychological Science*, 11(3), 333-350.
- Maia, T. V., & McClelland, J. L. (2004). A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: What participants really know in the Iowa gambling task. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(45), 16075-16080.
- Maier, N. R. (1930). Reasoning in humans. I. On direction. *Journal of comparative Psychology*, 10(2), 115.
- Manes, F., Sahakian, B., Clark, L., Rogers, R., Antoun, N., Aitken, M., & Robbins, T. (2002). Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex. *Brain*, 125(3), 624-639.
- Markman, A. B., & Moreau, C. P. (2001). Analogy and analogical comparison in choice. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*, 363, 400.
- Martinez-Selva, J. M., Sanchez-Navarro, J. P., Bechara, A., & Roman, F. (2006). Brain mechanisms involved in decision-making. *Revista de neurologia*, 42(7), 411.
- Mathey, S., & Postal V. (2008). Le langage, in K. Dujardin & P. Lemaire, Neuropsychologie du vieillissement normal et pathologique (pp.79-102). Issy-les-Moulineaux, Elsevier Masson
- Mathey, S., & Postal, V. (2003). Vieillesse et accès au lexique: Étude dans une tâche de décision lexicale. *Bulletin de psychologie*, 56, 49-55.
- Mayer, R. E. (1985). Implications of cognitive psychology for instruction in mathematical problem solving. *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*, 123-138.
- Mayer, R. E. (1995). The search for insight: Grappling with Gestalt psychology's unanswered questions.
- McCabe, J. A. (2015). Location, location, location! Demonstrating the mnemonic benefit of the method of loci. *Teaching of Psychology*, 42(2), 169-173.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1985). Distributed memory and the representation of general and specific information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(2), 159.
- McGeorge, P., & Burton, A. M. (1990). Semantic processing in an incidental learning task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 42(3), 597-609.
- Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological review*, 69(3), 220.
- Merchán-Clavellino, A., Salguero-Alcañiz, M. P., Barbosa, F., & Alameda-Bailén, J. R. (2019). Decision Making Profile of Positive and Negative Anticipatory Skin Conductance Responders in an Unlimited-Time Version of the IGT. *Frontiers in psychology*, 10, 2237.
- Meshi, D., Elizarova, A., Bender, A., & Verdejo-Garcia, A. (2019). Excessive social media users demonstrate impaired decision making in the Iowa Gambling Task. *Journal of behavioral addictions*, 8(1), 169-173.

- Meshi, D., Ulusoy, E., Özdem-Mertens, C., Grady, S. M., Freestone, D. M., Eden, A., & Ellithorpe, M. E. (2020). Problematic social media use is associated with increased risk-aversion after negative outcomes in the Balloon Analogue Risk Task. *Psychology of addictive behaviors*.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Miller, G.A., Galanter, E., & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the Structure of Behavior*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Moriya, H., & Nittono, H. (2011). Effect of mood states on the breadth of spatial attentional focus: an event-related potential study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1162-1170.
- Mosier, K. L., & Fischer, U. (2010). The role of affect in naturalistic decision making. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 4(3), 240-255.
- Mycielski, J. (1992). Games with perfect information. *Handbook of game theory with economic applications*, 1, 41-70.
- Nassar, M. R., Helmers, J. C., & Frank, M. J. (2018). Chunking as a rational strategy for lossy data compression in visual working memory. *Psychological review*, 125(4), 486.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (Vol. 104, No. 9). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Noir, M. (2002). *Le développement des habiletés cognitives de l'enfant par la pratique du jeu d'échecs: essai de modélisation d'une didactique du transfert* (Doctoral dissertation, Lyon 2).
- Ohlsson, S. (1992). Information-processing explanations of insight and related phenomena. *Advances in the psychology of thinking*, 1, 1-44.
- Owen, M. (2009). From individual learning to collaborative learning—Location, fun, and games: Place, context, and identity in mobile learning. In *Innovative mobile learning: Techniques and technologies* (pp. 102-121). IGI Global.
- Papez, J. W. (1937). A proposed mechanism of emotion. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 38(4), 725-743.
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological science in the public interest*, 9(3), 105-119.
- Perkins, D. N. (1977). The limits of intuition. *Leonardo*, 119-125.
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature reviews neuroscience*, 9(2), 148-158.
- Plomin, R., & Spinath, F. M. (2004). Intelligence: genetics, genes, and genomics. *Journal of personality and social psychology*, 86(1), 112.
- Plomin, R., Shakeshaft, N. G., McMillan, A., & Trzaskowski, M. (2014). Nature, nurture, and expertise. *Intelligence*, 45, 46-59.
- Polya, G. (1968). *Mathematical discovery: On understanding, learning, and teaching problem solving* (Vol.2). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system. *International journal of psychophysiology*, 42(2), 123-146.
- Porges, S. W., Doussard-Roosevelt, J. A., Portales, A. L., & Greenspan, S. I. (1996). Infant regulation of the vagal “brake” predicts child behavior problems: A psychobiological model of social behavior. *Developmental psychobiology*, 29(8), 697-712.
- Postal, V. (2004). Expertise in cognitive psychology: Testing the hypothesis of long-term working memory in a study of soccer players. *Perceptual and motor skills*, 99(2), 403-420.
- Postal, V. (2012). Inhibition of irrelevant information is not necessary to performance of expert chess players. *Perceptual and motor skills*, 115(1), 60-68.
- Postal, V., Lieury, A. (1997). *Mémoire encyclopédique, expertise et vieillissement*. S.l.: s.n..
- Powers, K. L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., Palladino, M. A., & Alfieri, L. (2013). Effects of video-game play on information processing: a meta-analytic investigation. *Psychonomic bulletin & review*, 20(6), 1055-1079.
- Quaireau, C. (1995). Effet d'amorçage en décision lexicale: un comparaiso jeunes versus âgés. *Bulletin de psychologie*.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (3), 257-266.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 6(6), 855-863.
- Reber, R. A. (1982). The Effects of Training, Goal Setting, and Knowledge of Results on Safe Behavior: a Component Analysis.

- Reingold, E. M., Charness, N., Schultetus, R. S., & Stampe, D. M. (2001). Perceptual automaticity in expert chess players: Parallel encoding of chess relations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(3), 504-510.
- Reingold, E. M., Reichle, E. D., Glaholt, M. G., & Sheridan, H. (2012). Direct lexical control of eye movements in reading: Evidence from a survival analysis of fixation durations. *Cognitive psychology*, 65(2), 177-206.
- Rennig, J., Bilalic, M., Huberle, E., Karnath, H. O., & Himmelbach, M. (2013). The temporo-parietal junction contributes to global gestalt perception—evidence from studies in chess experts. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 513.
- Reynolds, R. I. (1982). Search heuristics of chess players of different calibers. *The American journal of psychology*, 383-392.
- Richman, H. B., Gobet, F., Staszewski, J. J., & Simon, H. A. (1996). Perceptual and memory processes in the acquisition of expert performance: The EPAM model. *The road to excellence: The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games*, 167-187.
- Rosenblatt, A. D., & Thickstun, J. T. (1994). Intuition and consciousness. *The Psychoanalytic Quarterly*, 63(4), 696-714.
- Ruthsatz, J., Ruthsatz-Stephens, K., & Ruthsatz, K. (2014). The cognitive bases of exceptional abilities in child prodigies by domain: Similarities and differences. *Intelligence*, 44, 11-14.
- Saariluoma, P. (1990). *Chess players' search for task relevant cues: Are chunks relevant?* In D. Brogan (Ed.), *Visual search*. Taylor & Francis, 115-121.
- Salthouse, T. A. (1984). Effects of age and skill in typing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(3), 345.
- Salthouse, T. A. (1991). Expertise as the circumvention of human information processing. *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*, 286-300.
- Saver, J. L., & Damasio, A. R. (1991). Preserved access and processing of social knowledge in a patient with acquired sociopathy due to ventromedial frontal damage. *Neuropsychologia*, 29(12), 1241-1249.
- Scheerer, M. (1963). Problem-solving. *Scientific American*, 208(4), 118-131.
- Schulz, R., & Curnow, C. (1988). Peak performance and age among superathletes: track and field, swimming, baseball, tennis, and golf. *Journal of Gerontology*, 43(5), P113-P120.
- Schulz, R., & Salthouse, T. A. (1999). Adult development and aging. *Upper Saddle*.
- Selfridge, O. (1959). Pandemonium: A Paradigm for Learning, Proceedings of Symposium on the Mechanization of Thought Processes. *National Physics Laboratory*.
- Shannon, C. E. (1950). A chess-playing machine. *Scientific American*, 182(2), 48-51.
- Sheridan, H., & Reingold, E. M. (2013). The mechanisms and boundary conditions of the Einstellung effect in chess: evidence from eye movements. *PloS one*, 8(10), e75796.
- Sheridan, H., & Reingold, E. M. (2017). Chess players' eye movements reveal rapid recognition of complex visual patterns: Evidence from a chess-related visual search task. *Journal of vision*, 17(3), 4-4.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., ... & Dieleman, S. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *nature*, 529(7587), 484-489.
- Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., ... & Lillicrap, T. (2018). A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play. *Science*, 362(6419), 1140-1144.
- Simon, H. (1957). A behavioral model of rational choice. *Models of man, social and rational: Mathematical essays on rational human behavior in a social setting*, 241-260.
- Simon, H. A. (1991). Bounded rationality and organizational learning. *Organization science*, 2(1), 125-134.
- Simon, H. A., & Gilmartin, K. (1973). A simulation of memory for chess positions. *Cognitive psychology*, 5(1), 29-46.
- Singh, V., & Khan, A. (2012). Decision making in the reward and punishment variants of the Iowa gambling task: evidence of “foresight” or “framing”? *Frontiers in neuroscience*, 6, 107.
- Sloboda, J. A. (1976). Visual perception of musical notation: Registering pitch symbols in memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 28(1), 1-16.
- Smerdon, D., Hu, H., McLennan, A., von Hippel, W., & Albrecht, S. (2020). Female chess players show typical stereotype-threat effects: Commentary on Stafford (2018). *Psychological science*, 31(6), 756-759.
- Smith, M., McEwan, H. E., Tod, D., & Martindale, A. (2019). UK Trainee Sport and Exercise Psychologists' Perspectives on Developing Professional Judgment and Decision-Making Expertise During Training. *The Sport Psychologist*, 33(4), 334-343.
- Smith, S. M., & Dodds, R. A. (1999). Incubation entry in the Encyclopaedia of Creativity, edited by Runco MA. & Pritzker SR.

- Society for Psychophysiological Research Ad Hoc Committee on Electrodermal Measures, Boucsein, W., Fowles, D. C., Grimnes, S., Ben-Shakhar, G., Roth, W. T., ... & Filion, D. L. (2012). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49(8), 1017-1034.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological monographs: General and applied*, 74(11), 1.
- Spinks, R., Gilmore, G. C., & Thomas, C. (1996). Age simulation of a sensory deficit does impair cognitive test performance. *Cognitive Aging. Atlanta, GA*.
- Steele, C. M., & Aronson, J. (1995). Stereotype threat and the intellectual test performance of African Americans. *Journal of personality and social psychology*, 69(5), 797.
- Stein, E. W. (1997). A look at expertise from a social perspective. In *Expertise in context: Human and machine* (pp. 181-194).
- Steingroever, H., Wetzels, R., Horstmann, A., Neumann, J., & Wagenmakers, E. J. (2013). Performance of healthy participants on the Iowa Gambling Task. *Psychological assessment*, 25(1), 180.
- Sternberg, R. J. (1997). *Cognitive conceptions of expertise*. In P. J. Feltovich, K. M. Ford, & R. R. Hoffman (Eds.), *Expertise in context: Human and machine* (p. 149–162). American Association for Artificial Intelligence; The MIT Press.
- Svaldi, J., Brand, M., & Tuschen-Caffier, B. (2010). Decision-making impairments in women with binge eating disorder. *Appetite*, 54(1), 84-92.
- Tabatabai, D., & Shore, B. M. (2005). How experts and novices search the Web. *Library & information science research*, 27(2), 222-248.
- Tanabe, J., Thompson, L., Claus, E., Dalwani, M., Hutchison, K., & Banich, M. T. (2007). Prefrontal cortex activity is reduced in gambling and nongambling substance users during decision-making. *Human brain mapping*, 28(12), 1276-1286.
- Thomas, C., Didierjean, A., & Kuhn, G. (2018). It is magic! How impossible solutions prevent the discovery of obvious ones?. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71(12), 2481-2487.
- Thompson, J. J., Blair, M. R., & Henrey, A. J. (2014). Over the hill at 24: Persistent age-related cognitive-motor decline in reaction times in an ecologically valid video game task begins in early adulthood. *PloS one*, 9(4), e94215.
- Thorndike, E. L. (1898). Animal intelligence: an experimental study of the associative processes in animals. *The Psychological Review: Monograph Supplements*, 2(4).
- Thorndike, E. L. (1932). The fundamentals of learning. New York, NY, US: Teachers College Bureau of Publications.
- Toner, J., & Moran, A. (2014). In praise of conscious awareness: a new framework for the investigation of “continuous improvement” in expert athletes. *Frontiers in psychology*, 5, 769.
- Toplak, M. E., Sorge, G. B., Benoit, A., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2010). Decision-making and cognitive abilities: A review of associations between Iowa Gambling Task performance, executive functions, and intelligence. *Clinical psychology review*, 30(5), 562-581.
- Topolinski, S., & Reber, R. (2010). Gaining insight into the “Aha” experience. *Current Directions in Psychological Science*, 19(6), 402-405.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *science*, 185(4157), 1124-1131.
- Ullen, F., Hambrick, D. Z., & Mosing, M. A. (2016). Rethinking expertise: A multifactorial gene–environment interaction model of expert performance. *Psychological bulletin*, 142(4), 427.
- Vaci, N., Edelsbrunner, P., Stern, E., Neubauer, A., Bilalić, M., & Grabner, R. H. (2019). The joint influence of intelligence and practice on skill development throughout the life span. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(37), 18363-18369.
- Vanderaspoilden, V., Adam, S., Van der Linden, M., & Morais, J. (2007). Controlled processes account for age-related decrease in episodic memory. *Acta psychologica*, 125(1), 20-36.
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2013). Modern applied statistics with S-PLUS. *Springer Science & Business Media*.
- Vermeulen, Nicolas. *Quelques aspects cognitifs de l'émotion: automaticité et processuspréconscients..* In: Olivier Luminet, *Psychologie des émotions: Nouvelles perspectives pour la cognition, la personnalité et la santé*, De Boeck : Brussels 2013.
- Vicente, K. J., & De Groot, A. D. (1990). The memory recall paradigm: Straightening out the historical record. *American Psychologist*, 45(2), 285.

- Vicente, K. J., & Wang, J. H. (1998). An ecological theory of expertise effects in memory recall. *Psychological review*, 105(1), 33.
- Von Esch, K. S., & Kavanagh, S. S. (2018). Preparing mainstream classroom teachers of English learner students: Grounding practice-based designs for teacher learning in theories of adaptive expertise development. *Journal of Teacher Education*, 69(3), 239-251.
- Walberg, H.J. , Rasher, S.P. , & Parkerson, J. (1980). Childhood and eminence. *Journal of Creative Behavior*, 13, 225-231.
- Wan, X., Nakatani, H., Ueno, K., Asamizuya, T., Cheng, K., & Tanaka, K. (2011). The neural basis of intuitive best next-move generation in board game experts. *Science*, 331(6015), 341-346.
- Webb, C. A., DelDonno, S., & Killgore, W. D. (2014). The role of cognitive versus emotional intelligence in Iowa Gambling Task performance: What's emotion got to do with it?. *Intelligence*, 44, 112-119.
- Weinstein, B. D. (1993). What is an expert?. *Theoretical medicine*, 14(1), 57-73.
- Wertheimer, M. (1945). Productive thinking (enlarged edition, 1982). *Chicago: University of Chicago Press*.
- Whitney, K. A., Fastenau, P. S., Evans, J. D., & Lysaker, P. H. (2004). Comparative neuropsychological function in obsessive-compulsive disorder and schizophrenia with and without obsessive-compulsive symptoms. *Schizophrenia research*, 69(1), 75-83.
- Wilmer, J. B., Germine, L., Chabris, C. F., Chatterjee, G., Williams, M., Loken, E., ... & Duchaine, B. (2010). Human face recognition ability is specific and highly heritable. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 107(11), 5238-5241.
- Wood, S., Busemeyer, J., Koling, A., Cox, C. R., & Davis, H. (2005). Older adults as adaptive decision makers: evidence from the Iowa Gambling Task. *Psychology and aging*, 20(2), 220.
- Yates, J. F., & Zukowski, L. G. (1976). Characterization of ambiguity in decision making. *Behavioral science*, 21(1), 19-25.
- Zeelenberg, M., Nelissen, R. M., Breugelmans, S. M., & Pieters, R. (2008). On emotion specificity in decision making: Why feeling is for doing. *Judgment and Decision making*, 3(1), 18.
- Zhu, X., & Simon, H.A. (1987). Learning mathematics from examples and by doing. *Cognition and Instruction*, 4, 137-166.