

# Etude expérimentale des mécanismes d'exploration spontanée et de curiosité chez l'humain

---

Maitre de Stage : Pierre-Yves Oudeyer

Directeur de recherche de l'équipe FLOWERS



# Sommaire

Introduction.....	3
La curiosité .....	3
La motivation.....	6
L'exploration.....	8
La théorie du développement.....	9
Méthodologie .....	12
Présentation de la plateforme .....	12
Cycle itératifs .....	14
Protocole de test .....	14
Population .....	15
Mesures .....	15
Logiciel .....	15
Résultats préliminaire .....	16
Conclusion et perspectives.....	20
Remerciements .....	21
Bibliographie .....	22
Résumé.....	25

## Introduction

La curiosité est un élément clé du développement humain. Ce processus cognitif nous permet d'explorer de nouveaux environnements, activités et objets [1]. Les stratégies exploratoires guidées par la curiosité nous permettent d'interagir, d'apprendre et d'évoluer rapidement dans un monde ouvert. Il s'agit d'un processus qui est actif durant toute la durée d'une vie et qui a été étudié chez l'humain et sur de nombreuses espèces d'animaux comme le rat, les oiseaux, les primates.

Ce travail a été réalisé dans une optique cognitive de la curiosité afin de mettre en relation les modèles psychologiques et les modèles computationnels qui ont été réalisés dans ce domaine.

Dans cette étude nous allons en premier lieu faire un état de l'art des différentes théories et expériences réalisées dans ce domaine en s'intéressant particulièrement à la curiosité, la motivation et à l'exploration. Nous avons choisi de différencier ces trois processus, pourtant très liés afin de mieux étudier leurs rôles spécifiques et les relations qui les associent. Cette distinction nous permettra de mettre en place une expérimentation visant à étudier la relation entre l'exploration et le progrès d'apprentissage chez l'homme. Notre étude vise à mesurer les mécanismes sous-jacents de ces trois processus sur des sujets de différents types d'âge pour ensuite les comparer à des modèles computationnelles de la curiosité.

## La curiosité

La curiosité a été beaucoup décrite dans la littérature classique de façon variée suivant l'époque et les mœurs de la société. L'une des manières de la classer est de la diviser en deux parties : la curiosité positive et la curiosité négative [2] :

- La curiosité positive pousse l'homme à s'épanouir en concevant des machines capables de voler, d'explorer les fonds marins ou de concevoir des systèmes de bras de levier pour faciliter le quotidien. Ce genre de curiosité tangible est profitable pour l'homme et la société en lui permettant d'accroître ses capacités propres à sa condition physique.
- La curiosité négative est à l'inverse en opposition avec les mœurs ou intérêts de la société. Les usages les plus courants sont les déviances de l'alcool, la drogue ou certains crimes et délits comme le voyeurisme ou l'incendie volontaire. Ces sujets ont

des comportements de curiosités qui ne sont pas en accord avec des principes moraux établis.

Ce n'est qu'à partir du milieu du 20<sup>e</sup> siècle que des psychologues ont commencé à étudier la curiosité. Les premiers travaux dans ce domaine avaient pour but d'essayer de comprendre les causes et les effets de la curiosité à travers plusieurs expériences et théories. Des auteurs comme Berlyne ont essayé de classer la curiosité en deux catégories : la curiosité perceptive qui concerne les stimuli directement observés par nos sens comme un flash lumineux et la curiosité épistémique qui sollicite une recherche volontaire de la connaissance [3]. D'autres auteurs ont préféré faire une distinction entre un état de curiosité et un trait de curiosité. Le premier correspond à une curiosité dans une situation particulière alors que le trait de curiosité est plus général et peut être apparenté à un trait de personnalité. Ces théories mettent en avant l'importance de différencier différents types de curiosité de façon théorique sans pour autant les mesurer.

Parallèlement, des auteurs ont voulu réaliser des mesures sur certains aspects de la curiosité chez l'homme ou chez des animaux. Dans l'un des travaux de Harlow [4], la tâche expérimentale consistait à faire jouer à des singes des jeux simples de type de puzzles afin d'étudier les relations entre la complexité, la motivation et l'apprentissage. C'était une tâche ludique qui n'engageait pas de récompense extérieure, donc sollicitait une motivation intrinsèque. L'avantage de ce genre de tâche est la simplicité de réalisation et sa reproductibilité. Cette expérience a permis de mettre en évidence un raisonnement cognitif ainsi qu'une forme de curiosité guidée par une motivation intrinsèque. Ce genre d'exercice ne permet pas toutefois de modifier un certain nombre de paramètre afin d'étudier des corrélations. De plus elle ne permet pas non plus de faire des mesures quantitatives de la curiosité observée. La curiosity drawer Box [5] est une expérience inspirée par McReynolds [6] qui permet de mieux prendre en compte la curiosité dans les tâches de motivation intrinsèque. Dans cette expérience, des enfants sont placés en face de plusieurs boîtes similaires, des jouets différents se trouvent cacher dans chacune d'entre elles. Le but de l'expérience est de mesurer combien de temps les sujets passent sur chacun des jouets, de regarder s'ils essaient toutes les boîtes et les expérimentateurs mesurent également le nombre de questions que les enfants leur posent. Cette fois cette plateforme permet de mesurer la curiosité mais il n'y a pas d'apprentissage. Une plateforme récente nommée le

« mechatronic board » (voir fig 1) a également été mise au point par Taffoni [7]. Le but de cette expérimentation est d'étudier chez l'enfant la section de l'action guidée pour une motivation intrinsèque. L'enfant doit apprendre les relations entre l'action d'appuyer sur les boutons et l'ouverture de casiers. Les résultats montrent des différences significatives de stratégies d'exploration entre une stratégie sensori-motrice et une exploration dirigée par un apprentissage en fonction de l'âge.

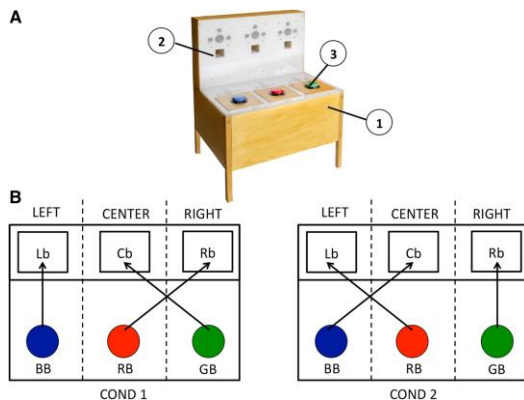


Fig 1 : a) le mechatronic board et en b) les relations entre les boutons et les ouvertures des casiers

Ces expériences permettent de mesurer la curiosité lorsqu'elle est reliée à d'autres processus comme la motivation et l'exploration sur des jeunes enfants. Les plateformes mises en place ne sont par contre pas prévues pour être réalisées sur une large tranche d'âge.

Un autre axe de recherche pour la mesure de la curiosité relève de la neuropsychologie en réalisant des mesures via des questionnaires. L'un des premiers a été le questionnaire Ontario Test of Intrinsic Motivation (OTIM) [8]. Ce questionnaire à cent dix questions à deux modalités (Vrai ou Faux) du type « j'aime réfléchir à des solutions pour résoudre les problèmes des relations internationales » ou « j'aime essayer de reconnaître les vieille chanson ». D'autres ont suivi tel que le Melbourne Curiosity Inventory (MCI) ou le State Epistemic Curiosity Scale (SECS). Ces tests s'appuient sur les différentes classifications de la curiosité et sont souvent sujets à controverse dans la mesure où les questions peuvent être biaisées par des effets d'ennuis (dus à la longueur des questionnaires), de nouveautés ainsi que d'autres biais qui peuvent être dus au manque de choix de réponse. Un test récent a été mis au point le Curiosity and Exploration Inventory (CEI) [9], il s'agit d'un questionnaire à dix questions dont les sujets doivent répondre sur une échelle de Likert à cinq modalités (par

exemple : « je cherche activement de nouvelles informations lorsque je suis dans une nouvelle situation »). Les réponses sont ensuite pondérées pour créer un score de curiosité le moins biaisé possible.

On peut diviser les études sur la curiosité en deux parties : les études théoriques et les études expérimentales. On constate que les plateformes mises en place relient de plus en plus la curiosité avec d'autres processus en essayant de créer des outils de mesures quantitatives sans toutefois mettre en avant les différents types de curiosités évoqués dans les études théoriques. Cela montre le manque et la difficulté de mettre en place des plateformes adaptées à ce genre de mesures afin de pouvoir étudier les théories avancées sur les différents aspects de la curiosité.

## La motivation

Pour réaliser une action, un individu doit dépenser du temps et de l'énergie. Afin de préserver ses ressources, ses actions sont modulées par un processus nommé la motivation qui permet de limiter le nombre de ressources engagées dans une action. De nombreux auteurs depuis le XXe siècle ont essayé de comprendre la façon dont se répartissaient ces ressources, dans la suite nous allons mettre en avant les principales théories.

La motivation est un processus qui peut être conscient ou non. Par exemple lors d'un danger, on est capable d'agir rapidement pour éviter d'être blessé, on appelle cela couramment un réflexe. Le corps relâche en grande quantité de l'adrénaline afin d'augmenter ses capacités physiques. Ce type de réflexe est à séparer des réflexes moteurs comme celui du coup sur un nerf qui fait contracter un muscle. La motivation a donc d'abord été vue comme une étude du besoin ou de pulsion primitive. Dans un premier temps Freud a établi que les deux principales motivations chez l'homme étaient l'auto-préservation et les relations sexuelles [10]. Dans sa théorie, l'homme recherche soit le plaisir soit l'homéostasie c'est-à-dire l'équilibre dans son fonctionnement biologique. Ces motivations se font en partie à un niveau inconscient. Ces théories ont largement été reprises dans la psychologie behavioriste dont notamment Clark Leonard Hull dans ses théories de l'apprentissage [11]. Ces « drive theories » sont considérées comme des pulsions qui sont directement issues de besoins physiologiques. Un peu plus tard, des auteurs vont mettre en évidence d'autres niveaux de motivation. Par exemple, Maslow a repris ces idées en créant une classification hiérarchique des besoins humains avec la pyramide de Maslow [12] (voir fig 2).

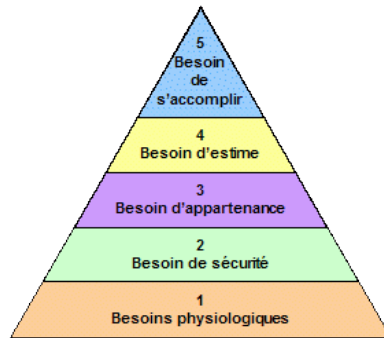


Fig 2 : La pyramide de Maslow (1943)

Les besoins physiologiques comprennent le fait de se nourrir, de dormir ainsi que les relations sexuelles. Le besoin de sécurité implique un environnement stable, prévisible, sans risque et sans stress. Le besoin d'appartenance implique le besoin d'amour et d'affection des autres et le besoin de s'accomplir implique une reconnaissance sociale et un respect de soi. Bien que ces éléments soient approuvés, cette hiérarchie a souvent été discutée notamment à propos de la place de l'estime dans cette pyramide qui devrait avoir une place plus importante. De plus, cette pyramide des besoins ne prend principalement en compte que des besoins extrinsèques dans notre société. Ces travaux ont reçu une grande contribution de la part de la science du travail avec les travaux de Herzberg ou McClelland qui ont étudié la motivation afin d'optimiser le travail des ouvriers à travers divers modèles.

De part nature, les travaux des études behavioristes se focalisent sur les comportements des individus dans un environnement, la mise en évidence de différents niveaux de motivation a mené à un nouveau point de vue sur la motivation en prenant en compte la notion de motivation intrinsèque.

Ces théories ont été expérimentées par Harlow et Meyer dans une expérience avec des animaux. Des souris qui ont autant de nourriture et d'eau qu'elles le souhaitent (c'est-à-dire que leurs besoins physiologiques sont comblés) montrent encore des comportements d'exploration. [13]. Dans une autre expérience il fait jouer à des singes un jeu de type puzzle sans récompense à la fin, les singes jouent au jeu ce qui montre donc une motivation intrinsèque ou non soumise a priori à un besoin.

Ces expériences révèlent donc bien plusieurs types de motivations sur plusieurs niveaux qu'on peut regrouper en : motivation intrinsèque et en motivation extrinsèque :

- La motivation intrinsèque reflète une envie de réaliser une tâche pour l'intérêt de réaliser cette tâche elle-même. C'est-à-dire que le sujet n'a pas de récompense externe et n'en tire donc pas de profit de l'environnement (par exemple lire un roman pour le plaisir)
- La motivation extrinsèque est à l'inverse motivée par un gain du monde extérieur, un gain qui peut être pécuniaire ou juste de la reconnaissance.

Cette approche a été reprise par les cognitivistes qui ont voulu mesurer la motivation chez l'homme afin de mieux la comprendre à travers diverses théories comme la théorie de l'équité d'Adams qui est un rapport entre résultat et l'effort fourni. La motivation se fera suivant la comparaison de ce score par rapport à autrui [14] ou par des calculs comme le modèle de Vroom [15] qui calcule la force de motivation en fonction du résultat escompté. Ce modèle prend en paramètre une valeur subjective du résultat, la probabilité de dépendance entre l'action réalisée et le résultat ainsi que l'attente du résultat (l'individu s'attend il a un résultat pour l'effort fourni ?).

De nos jours, les théories sur la motivation prennent en compte le développement humain. L'une de ces théories est le « goal setting ». Le sujet fixe un objectif qui peut être obtenu dans un temps limité, la motivation se situe au niveau de la réussite de l'objectif. Le sujet mettra en œuvre des processus d'apprentissage afin de réussir l'objectif [16].

## **L'exploration**

Durant toute sa vie, l'homme explore son environnement, pour cela il utilise ses capacités sensori-motrices. La principale chez l'homme est la vision qui possède deux circuits : Le circuit automatique et le circuit volontaire. Le circuit automatique est une activité involontaire comme par exemple l'activité oculaire [17]. Ce type d'activité oculaire permet d'explorer l'environnement rapidement afin d'en ressortir les informations utiles pour l'individu. La vision est principalement divisée en deux composantes :

- La vision centrale qui nécessite une focalisation lente et principalement volontaire. Elle permet d'obtenir une image nette et précise de l'environnement.



- La vision périphérique permet d'obtenir rapidement des informations de mouvement de l'environnement. Elle couvre la majorité du champ visuel de l'homme. Cette vision est codée par les cellules bâtonnets qui sont aussi utilisées pour la vision scotopique [18] (voir fig 3).

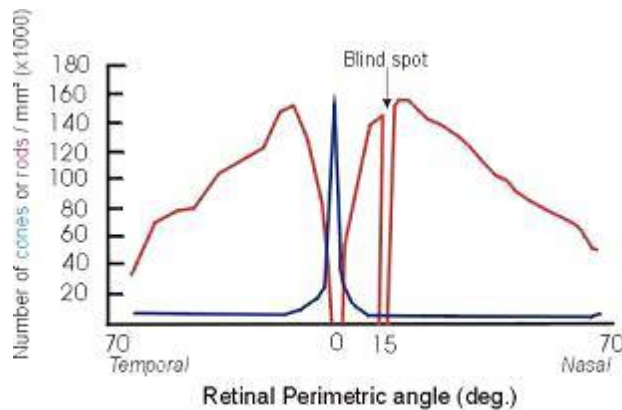


Fig 3: Répartition des cônes (en bleu) par rapport aux bâtonnets (en rouge) pour le champ visuel humain.

Adapted after Österberg, 1935

Les autres sens comme l'audition jouent un rôle majeur dans l'exploration, notamment Hafter dans ses travaux a étudié « l'effet cocktail » [19] qui est une focalisation auditive dans un environnement bruyant [20]. Il a étudié l'attention partagée et son rôle avec la mémoire [21]. L'exploration consciente peut aussi utiliser ces systèmes sensoriels mais utilise aussi son corps afin de comprendre les interactions des éléments avec lui.

La majorité des travaux sur l'exploration motrice chez l'enfant du siècle dernier ont donc montré que les processus relatifs à la curiosité et à l'exploration sont des processus actifs qui relèvent d'un grand nombre de processus et de modalités.

### La théorie du développement

Ces dernières décennies, une approche plus transversale à ces courants a émergé dans laquelle s'inscrit cette étude. Elle est davantage inspirée d'une conception développementale d'abord proposée par Piaget puis reprise plus tard dans les théories cognitivistes. Dans cette approche, l'homme recherche des buts à atteindre et met en place des moyens pour y parvenir [22]. Les théories constructivistes piagétienne mettent en avant le développement cognitif de l'enfant au détriment des facteurs sociologiques et d'interactions humaines. L'âge serait donc le facteur déterminant du développement humain. Des études ont mis en évidence que des enfants sont capables de réaliser des actions pour réaliser des buts précis [23], d'accomplir des actions et de comprendre leurs

relations avec les résultats qu'ils observent [24]. Les enfants sont donc capables par la suite de « sélectionner » le comportement le plus approprié lorsqu'ils veulent réaliser une tâche déjà apprise. Les théories cognitivistes du développement ne prennent plus seulement en compte les processus cognitifs isolés, mais les replacent dans un corps [25]. Ces théories s'appuient sur le fait que l'exploration et l'action se font par des appareils sensori-moteurs ce qui induit une contrainte sur les capacités. Elles ont conduit à une division des recherches : l'une des voies passe par la conception d'intelligence artificielle dans la perspective de créer des agents autonomes, l'autre voie utilise la robotique comme support pour comprendre certains concepts chez l'homme comme la curiosité et l'exploration ou encore des concepts d'évolution des langages [26]. C'est ce second aspect qui nous intéresse pour notre étude.

De nos jours, les modèles en neurosciences et en robotique développementale ont également apporté de nombreux modèles sur les mécanismes sous-jacents pour qu'un agent autonome se fixe des objectifs [1] [27] ainsi que les liens avec la motivation intrinsèque [28]. Ces auteurs s'appuient sur la théorie selon laquelle une personne peut réaliser une action pour sa simple satisfaction personnelle plutôt que pour assouvir un besoin biologique ou une récompense quelconque ce qui rejoint le point de vue constructiviste qui sépare l'individu de son environnement lors de son développement. Par la suite des études ont davantage étudié la motivation intrinsèque et l'ont divisée en deux classes [29]:

- La motivation basée sur les compétences est principalement reliée à l'amélioration de son habileté à réaliser des tâches quel que soit le but.
- La motivation basée sur la connaissance qui est reliée à la capacité de prédire un résultat en fonction d'une action ainsi qu'au phénomène de nouveauté où l'agent ne connaît pas un stimulus.

En plus des modèles de psychologie et des modèles computationnelles, d'autres recherches en biologie ont été menées pour étudier l'impact de la motivation intrinsèque [30]. Ces auteurs ont mis en évidence un lien entre la surprise due à un événement nouveau et non attendu avec le système dopaminergique : le système de récompense [31].

Ces études mettent en avant le fait que les individus sont intrinsèquement motivés à découvrir le monde et acquérir des informations qui ne leur sont pas directement vitales. Je

n'ai cependant trouvé que peu d'études portant sur la relation entre la motivation et le progrès d'apprentissage, plus précisément dans une tâche d'exploration sensori-motrice. Notre étude se base sur la théorie du flow [32]. Le flow est défini comme un état mental lorsqu'un individu est complètement engagé dans une action afin d'atteindre un but de façon optimale. L'une de ses caractéristiques est le juste équilibre dans la difficulté de l'action à accomplir afin de préserver une motivation et une implication optimale dans la tâche, et donc mieux la réussir.

En constatant le manque d'étude et de plateforme mis en place pour étudier ces processus, nous voulons donc étudier dans ce travail la curiosité basée sur une motivation intrinsèque dans une expérience impliquant plusieurs tâches sensori-motrice. Ces tâches sont équivalentes mais différenciées de par leurs difficultés ainsi que par la répartition dans le temps de ces tâches. Nous supposons qu'un sujet non influencé choisira une tâche qui lui permettra d'avoir le meilleur taux d'apprentissage. En effet il choisira ni une tâche trop facile ni une tâche trop compliquée pour lui mais une tâche de difficulté intermédiaire jusqu'à sa compréhension et son succès afin de maximiser son progrès (H1). Lorsqu'il sera confronté à une tâche trop facile ou trop difficile, il changera (H2). Nous voulons donc savoir si l'exploration est organisée de manière à maximiser l'apprentissage plutôt que de maximiser la nouveauté.

Nous avons alors créé un jeu vidéo pour tester ces hypothèses sur des humains adultes, conçues pour analyser et mesurer les propriétés de l'exploration guidée par la curiosité dans un espace sensori-moteur inconnu. Plus spécialement nous nous sommes intéressés aux relations entre l'exploration et le progrès en apprentissage.

## Méthodologie

### Présentation de la plateforme

Ce dispositif expérimental est conçu comme un jeu impliquant des sujets humains dans une activité guidée par la motivation intrinsèque. Pour cela nous avons pris en compte une heuristique de conception d'un environnement impliquant la motivation intrinsèque du sujet [33]. Nous avons principalement insisté sur la clarté des objectifs, de la distinction des différents niveaux de difficultés ainsi que sur la présence modérée d'informations à l'écran pour aider le sujet.

Les sujets peuvent librement explorer un environnement virtuel composé de quatre jeux en changeant de jeux lorsqu'ils le souhaitent. L'exploration se fait en cherchant la relation entre les mouvements de leurs corps (capté par une Kinect) et une forme en deux dimensions affichée à l'écran de type ellipsoïdale (voir Fig 4)



Fig 4: La photo de gauche montre un sujet en train d'explorer un jeu affiché sur un écran dont ses mouvements sont capturés par une Kinect. La photo de droite montre un exemple de jeu détaillé, le sujet manipule la forme centrale en rouge (c) grâce aux mouvements de son corps, on peut aussi voir un objectif du sujet qui est ici l'ellipse en marron (b).

Dans chaque jeu ils doivent faire coïncider la forme contrôlable qui est une forme pleine au centre de l'écran (c) avec un objectif généré aléatoirement (b). Lorsque la cible est atteinte, il doit maintenir cette position pendant une seconde afin que le score soit validé et qu'un nouvel objectif soit de nouveau généré automatiquement. Lorsque les objectifs ne sont pas atteints en trente seconde, un nouvel objectif est généré toujours automatiquement. Comme on peut voir sur la figure 4, certains indicateurs ont été rajoutés à l'interface afin d'aider le sujet. Il peut voir son Avatar, c'est-à-dire la représentation de son corps vu par le jeu, chacun des points représente une articulation enregistrée par la Kinect. Il y a aussi un indicateur de temps restant sur l'objectif en cours, le score qu'il a obtenu sur ce jeu et la

distance métrique qui le sépare de l'objectif. Ces indicateurs ont pour but d'augmenter la motivation intrinsèque des sujets ainsi que leurs implications et leurs compréhensions de la tâche. Nous avons aussi rajouté un nom pour chaque jeu ainsi qu'une couleur particulière et distincte sur chacun des jeux afin que les sujets puissent les différencier convenablement.

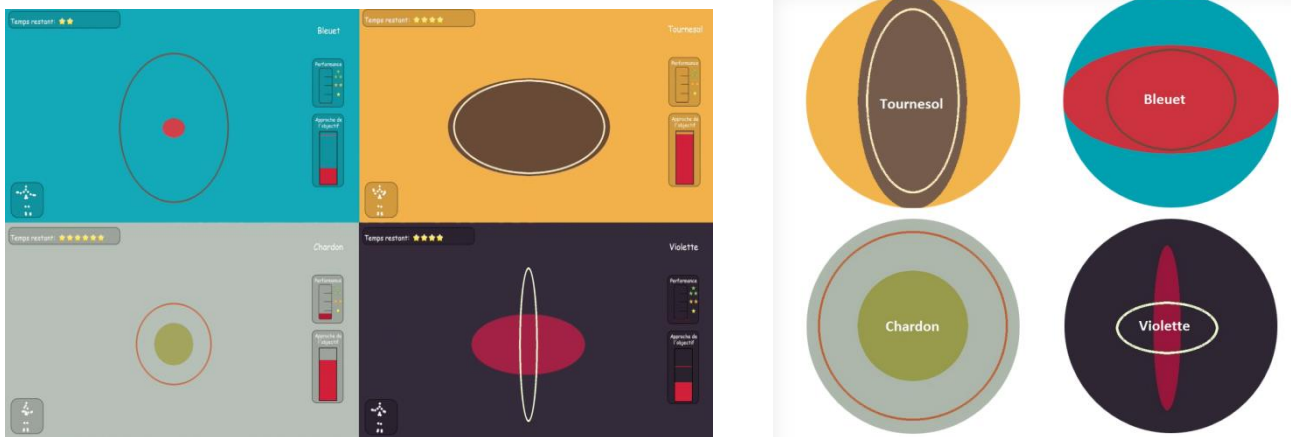


Fig 5: A gauche on peut voir sur la disposition des quatre différents jeux. L'image de droite représente une vue de la tablette utilisé pour changer de jeux.

Chacun des jeux possède la même structure mais son différents par rapport à la difficulté. Typiquement, pour chaque jeu la relation entre les articulations du corps et la distorsion de la forme est différente. Cette distorsion se fait en manipulant la longueur de chaque axe de l'ellipse. Par exemple, pour l'un des quatre jeux, l'angle du coude gauche modifie la longueur d'un des axes de manière linéaire, l'ouverture du bras au niveau du coude pourra faire varier la longueur d'un des axes. Trois des jeux possèdent deux modalités (c'est-à-dire que les longueurs des deux axes sont modifiées avec deux mouvements séparés), alors que pour le dernier jeu, une seule articulation fait varier les deux axes simultanément, cela crée un cercle. Une tablette est aussi mis à la disposition des sujets afin qu'ils puissent changer de jeux lorsqu'ils le souhaitent. Sur la tablette une représentation des quatre jeux y est représentée sous forme d'icônes, les sujets doivent appuyer sur l'icône correspondant au jeu auquel il souhaite jouer.

Une vidéo de démonstration est disponible à cette adresse : <https://vimeo.com/95383753>

## Cycle itératifs

Avant d'arriver à cette version, nous avons fait de nombreux test dans les différentes étapes de la création du jeu.

Parmi les paramètres travaillés, nous avons changé plusieurs fois la difficulté des jeux en modifiant d'une part le nombre de dimension par jeux. Par exemple dans l'une des versions nous avons essayé de faire une ellipse contrôlable par trois articulations, la troisième dimension étant l'épaisseur de l'ellipse. Nous l'avons retiré car la majorité des sujets n'ont pas réussi à faire trois dimensions à la fois. Nous avons aussi dû prendre en compte l'âge et la souplesse des sujets. En effet certains sujets avaient des difficultés à réaliser certains mouvements. De plus nous avons aussi dû travailler sur la durée du test : un test trop court ne permet pas de mettre en avant l'apprentissage et la curiosité entre les tâches et un test trop long démotive le joueur à finir correctement le test. De même nous avons rajouté une obligation de rester une seconde sur la cible afin de valider le score. Ce temps oblige le sujet à être conscient de la relation entre les mouvements qu'il produit et les distorsions de l'ellipse. Durant toute la phase de conception nous avons fait passer trente-six personnes sur différents prétests.

## Protocole de test

Le protocole suivant est le protocole utilisé pour l'étude en cours. Les sujets se présente un à la fois pour réaliser l'expérience. On leurs fait remplir un premier questionnaire afin de mettre en évidence leurs personnalité et leurs compétences. On leurs demande par exemple si ils pratiquent des activités d'expression corporelles ou le nombre d'activités extrascolaire (ou professionnelles) dans lesquels ils sont impliqués. Ils remplissent aussi le test du CEI2 [9] un test psychologique conçu pour calculer le niveau de curiosité.

Une fois le test rempli, l'expérimentateur présente à l'aide d'un diaporama le déroulement de l'expérience ainsi que le fonctionnement des jeux sans toutefois leurs indiquer les mouvements à réaliser. Pour la moitié des sujets, l'expérimentateur leurs indique qu'un test sera présenter à la fin pour voir ce qu'ils ont compris. Les sujets font alors la phase d'exploration. Pendant 15 minutes et de façon complètement autonome ils explorent les quatre jeux. A la fin des quinze minutes, ils réalisent la phase de test durant laquelle ils refont tour à tour les 4 jeux en passant une minute par jeux.

Pour finir, les sujets remplissent un dernier questionnaire où ils vont évaluer la plateforme ainsi que leurs performances de manières subjectives.

### **Population**

Pour le moment nous avons réalisé les tests sur vingt-quatre personnes également répartie suivant le sexe et de différente classe d'âge. Seize sont des sujets du collège d'une classe de 4<sup>e</sup> (âge : moyenne : 13,56 écart type : 0,50) et huit sont des jeunes adultes (âge : moyenne : 23,4 écart type : 1,50)

### **Mesures**

Dans cette expérience, nous avons enregistré les mouvements des sujets captés par la Kinect, en particulier les mouvements de vingt articulations sur le corps entier en trois dimensions enregistrées à dix Hertz. Nous avons aussi enregistré la séquence des jeux qu'ils ont réalisé avec leurs scores, leurs temps passé sur les jeux. De plus nous avons aussi collecté les résultats des mesures subjectives des données des différents questionnaires.

### **Logiciel**

Le jeu vidéo a été programmé en langage python avec la librairie Pygame. Le langage et le code sont open source et disponible sur internet afin de permettre à d'autres études de s'appuyer sur cette plateforme.

## Résultats préliminaire

Nous n'avons pas encore fini notre période de passation des sujets et d'analyse. Je vais donc vous présenter ici les résultats préliminaires que nous avons réalisés sur un premier groupe de sujet.

Dans un premier temps nous avons voulu savoir la façon dont les sujets répartissaient leurs temps suivant les jeux. La figure n nous montre qu'ils ne divisent pas leurs temps de manière égale.

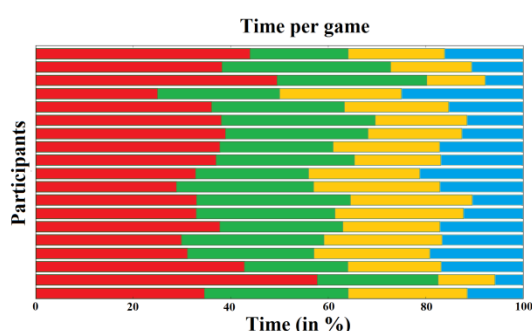


Fig 6 : classification du pourcentage du temps par jeux trié en fonction du temps passé par jeux. Le rouge correspond aux jeux où ils ont passé le plus de temps, en bleu où ils ont passé le moins de temps.

Ce graphe (fig 6) montre que la plateforme semble permettre de mettre en avant différents types d'explorations.

Nous nous sommes alors demandé si ces différences étaient dues aux différences intrinsèques des jeux, le graphe n nous montre que la répartition moyenne des temps sur les sujets est équivalente. En moyenne, les différents types de jeux ne sont pas un facteur significatif, la répartition du temps par jeux dépend principalement du sujet. Comprendre pourquoi et à quel moment ces changements se font sont l'un des objectifs de cet étude.

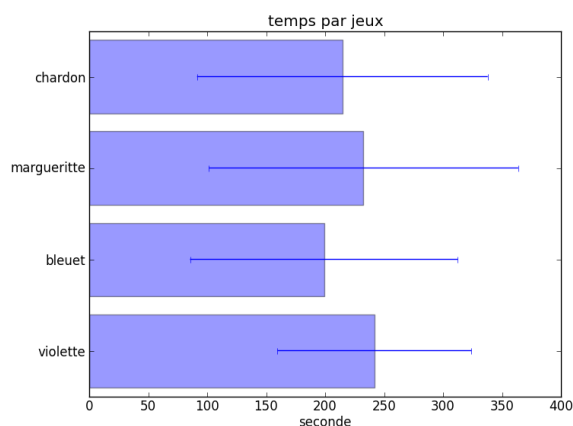


Fig 7 : Ce graphe montre la moyenne des répartitions du temps par jeux en seconde.



Nous nous sommes alors intéressés aux différences dues au sexe.

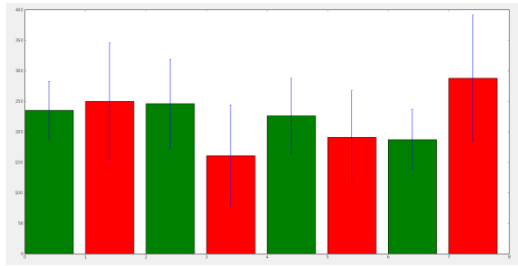


Fig 8 : Ce graphe montre les scores sur les quatre différents jeux ; en rouges ce sont les scores pour les hommes, en vert pour les femmes.

On ne remarque pas de différence significative de performance entre les sexes.

Nous nous sommes alors intéressés aux performances des sujets tout au long du test. On peut voir sur les figures 9, les performances de deux sujets différents.

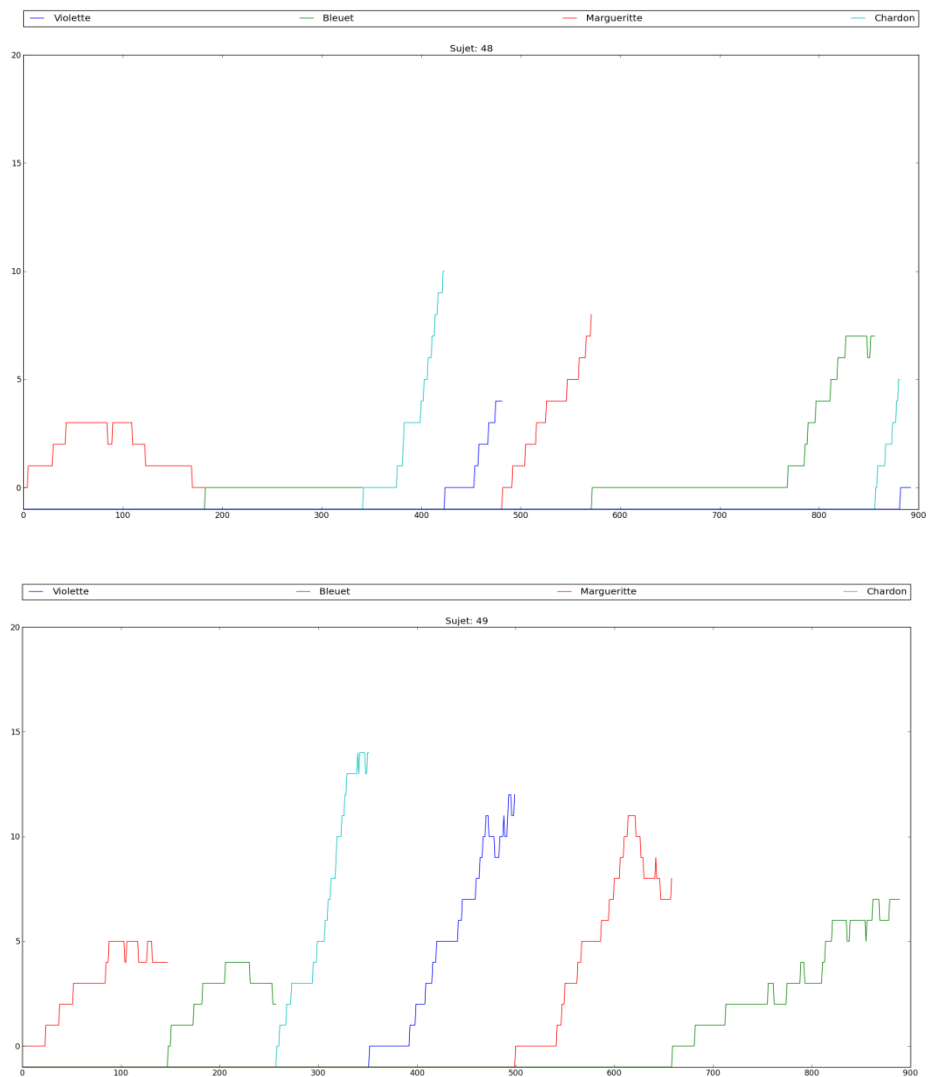


Fig 9 : les figures a et b sont des représentations des scores des sujets en fonction du temps. Chaque couleur correspond à un jeu, en abscisse on a le temps en seconde, en ordonnée on a une mesure du score.

Ces graphes nous indiquent que ces deux sujets ont globalement compris le fonctionnement des jeux ainsi que les relations entre leurs mouvements et les distorsions de la forme. On remarque aussi des profils de progressions différents entre les jeux et que parfois, la courbe de variation des scores des sujets étaient différentes au moment où il change de jeu.

Nous nous sommes alors intéressés à la progression des sujets sur les derniers moments de chaque jeu. Sur les graphes 10 on voit quatre sujets différents, pour chaque sujet, nous avons calculé la dérivée des scores des trente dernières secondes de jeu.

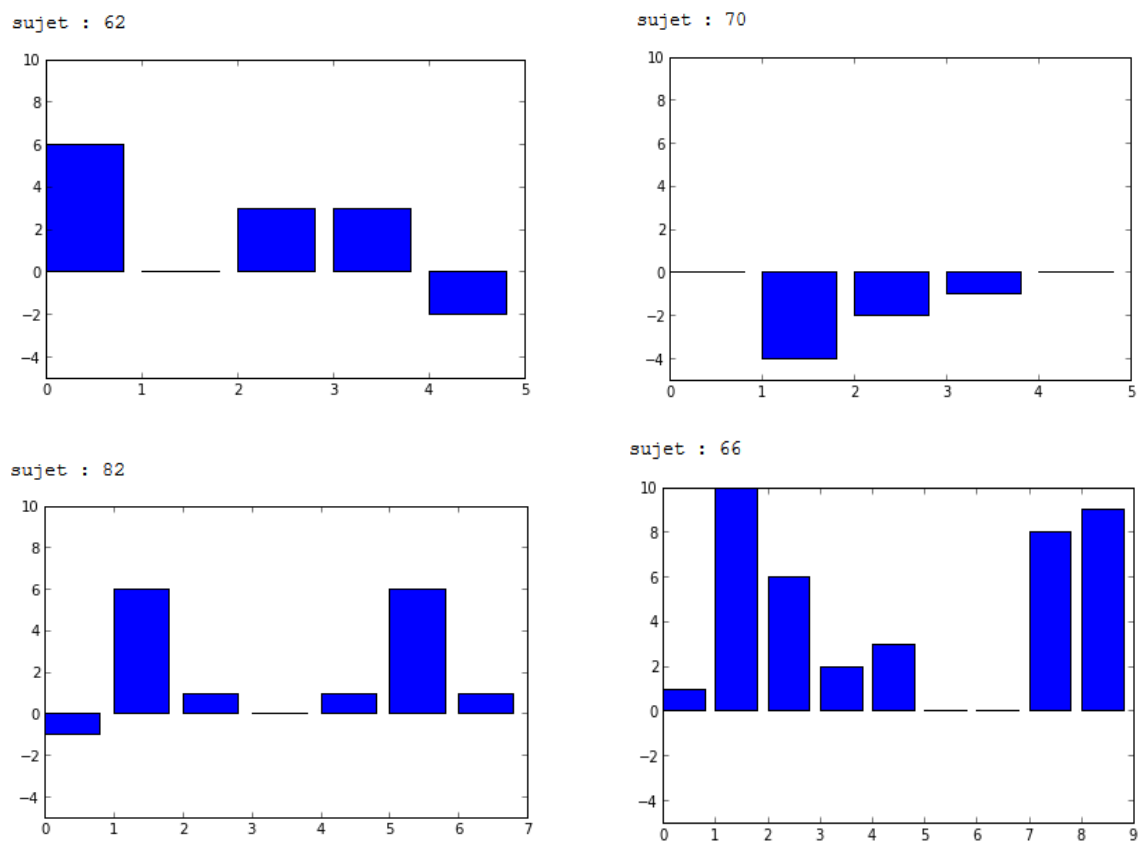


Fig 10 : Dérivé des scores des 30 dernières secondes des jeux réalisé par quatre sujets

Nous remarquons des profils différents inter-sujets mais constant intra-sujets ; certains choisissent de changer de jeux lorsque leurs scores augmentent, d'autres lorsque leurs score baissent.

Nous avons aussi fait des études de corrélations avec la méthode de pearson pour comprendre quel facteur était relié avec le temps. Le principal facteur est le score maximum que le sujet atteint (corrélation : 0.278, p-valeur: 0.046)

Pour finir nous avons étudié les mouvements des sujets afin d'étudier leurs stratégies exploratoires Sur les fig 11.

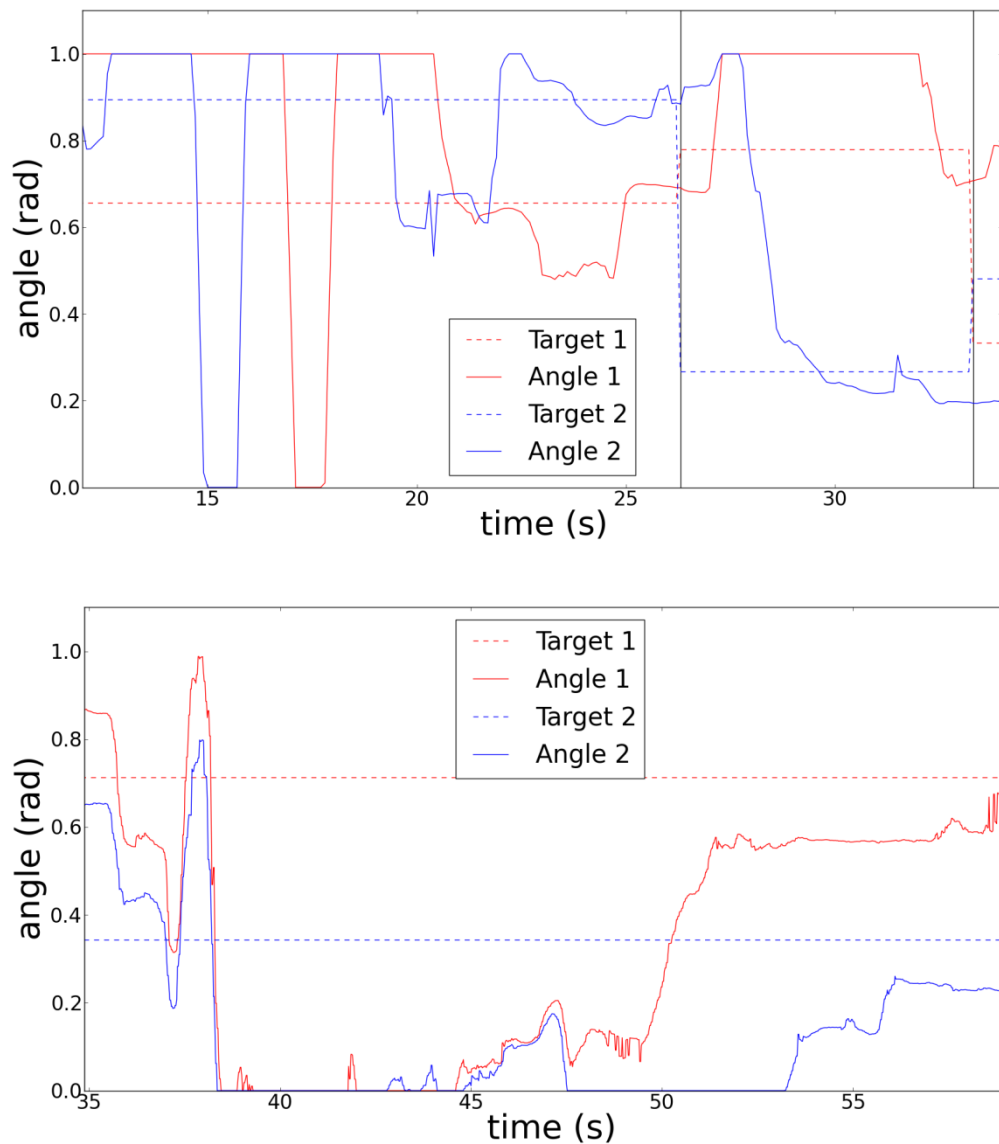


Fig 11 : Sur ces deux graphes, on peut voir les deux angles des articulations qui sont captés par la Kinect pour faire bouger la forme. En pointillé on peut voir les deux angles cibles que le joueur doit atteindre pour réussir l'objectif.

On remarque deux types d'exploration différente, sur le graph a) on constate que le sujet réalise une exploration par dimension, il n'utilise qu'une seule articulation à la fois à tour de rôle. Sur le graphe b) on peut voir que le sujet bouge ces deux articulations en même temps,

pour peut-être être plus précis, il utilisera sur la fin une articulation à la fois. Cela montre différentes stratégies d'explorations.

## **Conclusion et perspectives**

Dans cette étude nous avons réalisé un travail de recherche fondamentale sur la curiosité et l'exploration sensori-motrice guidée par une motivation intrinsèque qui a été soumise à la conférence ICDL 2014. La curiosité est un processus complexe qui est imbriqué avec d'autres processus comme la motivation et l'exploration. L'état de l'art que nous avons réalisé montre un grand nombre d'approches différentes de ces processus ainsi que beaucoup d'expérimentations sur des humains et des animaux. La majorité de ces expérimentations ont été réalisées sur des jeunes enfants (quatre ou cinq ans) et les plateformes ne permettent pas de réaliser ces mesures à un public plus âgé. De plus nous avons trouvé peu d'études en psychologie qui montrent des mesures quantitatives sur des tâches d'explorations sensori-motrice. Enfin la place de l'apprentissage dans ces processus est peu étudiée. Nous nous sommes placés dans une approche développementale pour étudier ces processus de curiosité dans une expérimentation modulable qui permet de solliciter tous ces processus. Pour cela nous proposons une plateforme d'étude sous forme de jeux vidéo afin de pouvoir mesurer ces processus cognitifs. Le progrès de la technologie comme la motion capture ou la réalisation facile de jeux nous a permis de créer un environnement numérique adéquat à cette étude qui permet de faire apparaître les relations de la curiosité avec le progrès d'apprentissage dans des tâches d'explorations sensori-motrice.

L'expérience consiste à faire participer à des sujets de différents âges des tâches sensori-motrices qui sont librement réparties dans le temps par les sujets. Leurs mouvements sont captés par une Kinect, certains de ses mouvements sont associés à une forme géométrique qui apparaît à un écran qui est face à lui. Les sujets doivent réussir à faire bouger ces formes afin d'atteindre des objectifs. Ils peuvent à tout moment changer de tâches qui se différencient par l'association de différents mouvements du corps avec la distorsion de la forme géométrique.

Les premiers résultats montrent que les sujets apprennent bien les mouvements à réaliser et on constate des différences entre les jeux suivant les sujets. On remarque que les sujets changent de jeux à différents moments pour des raisons que nous essayons de comprendre. Parmi les résultats que nous avons, on ne remarque pas de différence entre les sexes, ce qui est en accord avec les précédentes études. Nous avons fait des tests sur un groupe d'adolescents et sur un groupe de jeunes adultes. On remarque a priori que les jeunes adultes changent plus fréquemment de tâches, mais ces résultats sont à vérifier en faisant passer plus de sujets.

Le questionnement sur la curiosité est un sujet important dans plusieurs domaines comme dans l'éducation. Nous savons que les ressources cognitives d'un sujet sont limitées suivant les individus et leurs âges; de même que le temps passé sur un sujet dans une classe sont prédéfini par l'enseignant. Ce contraste entre les capacités cognitives des étudiants et la rigidité des programmes éducatifs sont connus depuis plusieurs années ; les études en pédagogie mettent en avant l'importance de programmes éducatifs centrés étudiants (REF).

Comme nous avons vu dans ce mémoire, l'étude de la curiosité est une tâche complexe qui passionne les scientifiques depuis plus d'un siècle. Les études conjointes en psychologie et en robotique développementale ouvrent une nouvelle perspective de recherche en permettant de créer et de tester de nouvelles hypothèses.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier Pierre-Yves Oudeyer, Pierre Rouanet et Jonathan Grizou pour toute l'aide et les connaissances qu'ils m'ont apportées tout au long du stage. Je remercie aussi tous les volontaires qui ont réalisés l'expérience.

## Bibliographie

- [1] Gottlieb, J., Oudeyer, P. Y., Lopes, M., & Baranes, A. (2013). Information-seeking, curiosity, and attention: computational and neural mechanisms. *Trends in cognitive sciences*, 17(11), 585-593.
- [2] Cicero, M. T., & Goerenz, I. A. (1813). *M. Tullii Ciceronis De finibus bonorum et malorum libri V*. Weidmann.
- [3] Berlyne, D. E. (1954). A theory of human curiosity. *British Journal of Psychology. General Section*, 45(3), 180-191.
- [4] Harlow, H. F. (1950). Learning and satiation of response in intrinsically motivated complex puzzle performance by monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 43(4), 289.
- [5] Henderson, B., & Moore, S. G. (1979). Measuring exploratory behavior in young children: A factor-analytic study. *Developmental Psychology*, 15(2), 113.
- [6] McReynolds, P., Acker, M., & Pietila, C. (1961). Relation of object curiosity to psychological adjustment in children. *Child Development*, 393-400.
- [7] Taffoni, F., Tamilia, E., Focaroli, V., Formica, D., Ricci, L., Di Pino, G., ... & Keller, F. (2014). Development of goal-directed action selection guided by intrinsic motivations: an experiment with children. *Experimental brain research*, 1-11.
- [8] Day, H. I. (1970). The measurement of specific curiosity. Ontario Institute for Studies in Education.
- [9] Kashdan, T. B., Gallagher, M. W., Silvia, P. J., Winterstein, B. P., Breen, W. E., Terhar, D., & Steger, M. F. (2009). The curiosity and exploration inventory-II: Development, factor structure, and psychometrics. *Journal of research in personality*, 43(6), 987-998.
- [10] Freud, S. (1922). The unconscious. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 56(3), 291-294.
- [11] Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior: An introduction to behavior theory*.
- [12] Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review*, 50(4), 370.
- [13] Harlow, H. F., Harlow, M. K., & Meyer, D. R. (1950). Learning motivated by a manipulation drive. *Journal of Experimental Psychology*, 40(2), 228.
- [14] Adams, J. S. (1963). Towards an understanding of inequity. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 67(5), 422.

- [15] Vroom, V. H. (1964). Work and motivation.
- [16] Locke, E. A. (2000). Motivation by goal setting. *Handbook of organizational behavior*, 43-54.
- [17] Routtenberg, A. (1968). The two-arousal hypothesis: reticular formation and limbic system. *Psychological Review*, 75(1), 51.
- [18] Solovei, I., Kreysing, M., Lanctôt, C., Kösem, S., Peichl, L., Cremer, T., ... & Joffe, B. (2009). Nuclear architecture of rod photoreceptor cells adapts to vision in mammalian evolution. *Cell*, 137(2), 356-368.
- [19] Cherry, E. C., & Taylor, W. K. (2005). Some further experiments upon the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the acoustical society of America*, 26(4), 554-559.
- [20] Hafter, E. R. (1997). Binaural adaptation and the effectiveness of a stimulus beyond its onset. *Binaural and spatial hearing in real and virtual environments*, 211-232.
- [21] Hafter, E. R., Bonnel, A. M., Gallun, E., & Cohen, E. (1998). A role for memory in divided attention between two independent stimuli. *Psychophysical and physiological advances in hearing*, 228-238.
- [22] Piaget, J., & Cook, M. T. (1952). The origins of intelligence in children.
- [23] Von Hofsten, C. (2004). An action perspective on motor development. *Trends in cognitive sciences*, 8(6), 266-272
- [24] Kenward, B., Folke, S., Holmberg, J., Johansson, A., & Gredebäck, G. (2009). Goal directedness and decision making in infants. *Developmental psychology*, 45(3), 809.
- [25] Smith, L., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial life*, 11(1-2), 13-29.
- [ 26] Oudeyer, P. Y. (2006). Self-organization in the evolution of speech (Vol. 6).
- [27] Botvinick, M. M., Niv, Y., & Barto, A. C. (2009). Hierarchically organized behavior and its neural foundations: A reinforcement learning perspective. *Cognition*, 113(3), 262-280.
- [28] Mirolli, M., Baldassarre, G., Mirolli, M., & Baldassarre, G. (2013). Functions and Mechanisms of Intrinsic Motivations The Knowledge Versus Competence Distinction.
- [29] Oudeyer, P. Y., & Kaplan, F. (2007). What is intrinsic motivation? a typology of computational approaches. *Frontiers in neurorobotics*, 1
- [30] Redgrave, P., & Gurney, K. (2006). The short-latency dopamine signal: a role in discovering novel actions?. *Nature reviews neuroscience*, 7(12), 967-975.

[31] Singh, S., Lewis, R. L., Barto, A. G., & Sorg, J. (2010). Intrinsically motivated reinforcement learning: An evolutionary perspective. *Autonomous Mental Development, IEEE Transactions on*, 2(2), 70-82.

[32] Csikszentmihalyi, M., Kolo, C., & Baur, T. (2004). Flow: The psychology of optimal experience. *Australian Occupational Therapy Journal*, 51(1), 3-12.

[33] Barab, S., Thomas, M., Dodge, T., Carteaux, R., & Tuzun, H. (2005). Making learning fun: Quest Atlantis, a game without guns. *Educational Technology Research and Development*, 53(1), 86-107.



## Résumé

Nous avons réalisé dans ce mémoire une étude expérimentale sur la curiosité est l'exploration spontanée chez l'humain guidée par une motivation intrinsèque dans une approche développementale. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux relations entre la curiosité et le progrès en d'apprentissage. Nous étudions ici une approche humaine afin de comparer nos résultats avec des modèles computationnels existant. Pour cela nous avons fait un état de l'art sur les différentes théories ainsi que sur les différentes plateformes expérimentales mis en place pour étudier la curiosité, l'exploration et la motivation. A partir de ces données, nous avons mis au point une plateforme expérimentale sous forme de jeux vidéo afin de réaliser une étude sur des sujets de différents types d'âge (adolescents, jeunes adultes et adultes). Cette plateforme a été conçue pour faire des mesures quantitatives de la curiosité et d'exploration dans des tâches sensori-motrice de manière à pouvoir facilement modifier les paramètres du jeu.

Pour le moment vingt-quatre sujets ont réalisé le test, les résultats préliminaire montrer que des sujets de différents types d'âges réussissent l'expérience et semble montrer des comportements de curiosité et de d'explorations différentes.