La prise de décision de rechercher de l'aide dans un environnement numérique d'apprentissage : le cas du contrôle aérien

Marina Miranda Lery Santos

▶ **To cite this version:**

Marina Miranda Lery Santos. La prise de décision de rechercher de l'aide dans un environnement numérique d'apprentissage : le cas du contrôle aérien. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2017. Français. NNT : 2017TOU20074 . tel-02342159

HAL Id: tel-02342159
https://theses.hal.science/tel-02342159

Submitted on 31 Oct 2019

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

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par : *l'Université Toulouse - Jean Jaurès*

Présentée et soutenue le *22/09/2017* **par :**

MARINA MIRANDA LERY SANTOS

La prise de décision de rechercher de l'aide dans un environnement numérique d'apprentissage: le cas du contrôle aérien

---

JURY

JEAN-FRANÇOIS BONNEFON	Directeur de Recherche CNRS	Directeur de thèse
THIBAULT GAJDOS	Directeur de Recherche CNRS	Rapporteur
MINNA PUUSTINEN	Professeur des Universités	Rapporteur
ANDRÉ TRICOT	Professeur des Universités	Directeur de thèse

École doctorale et spécialité :
CLESCO : Psychologie

Unité de Recherche :
Cognition Langue Language Ergonomie - Laboratoire Travail et Cognition (UMR 5263)

Directeur(s) de Thèse :
André TRICOT et *Jean-François BONNEFON*

Rapporteurs :
Minna PUUSTINEN et *Thibault GAJDOS*

REMERCIEMENTS

En premier lieu je tiens à remercier mon mari, Paulo, pour l'idée de ce séjour en France, de m'avoir encouragée à réaliser cette thèse, pour le soutien technique dans le développement des logiciels utilisés dans les études de cette thèse, et, surtout, pour les moments de joie et de bonheur.

Un grand merci à mes directeurs, à la fois complémentaires, disponibles et efficaces, avec qui j'ai, sans doute, énormément appris. Merci à André Tricot pour son enthousiasme dès le premier courriel, pour avoir accepté de m'encadrer, avoir invité Jean-François Bonnefon pour co-diriger cette thèse, pour l'accueil lors de notre arrivée à Toulouse, pour tous les conseils et corrections. Merci à Jean-François Bonnefon de m'avoir présenté les logiciels latex et R, pour tous les *Lab meetings*, pour toutes les critiques constructives et tous les conseils précis.

Merci également aux rapporteurs Minna Puustinnen et Thibauld Gajdos d'avoir accepté de rapporter ma thèse !

Merci infiniment à Nadine Matton et Julie Saint-Lot pour les contributions lors de la conception de la quatrième étude et pour l'occasion de proposer la participation à l'étude aux élèves de l'ENAC.

Je remercie sincèrement mes collègues du CLLE-LTC, spécialement Florence Lespiau et Andrei Ivanescu pour tous les échanges.

Merci à «mes stagiaires», Audric, Jérémy, Tania, Aurélie et Morgane d'avoir joué le rôle d'expert en statistiques lors de la troisième étude.

Ce travail n'aurait pas existé sans tous ceux qui ont accepté de participer aux quatre expérimentations. Merci, bien sûr, à eux.

Merci à tout le personnel de l'ICEA (*Instituto de Controle do Espaço Aéreo*), où je travaille, qui, d'une certaine façon, a été impliqué dans mes démarches de congé d'études.

Merci de tout mon cœur à toute ma famille pour le soutien et pour les visites. Je tiens à remercier plus particulièrement ma adorable sœur «Let», scientifique passionnée, pour toutes les astuces, et ma cousine Eleonora et son mari Jean-Pierre, pour toute l'aide pendant notre séjour en France.

Enfin, merci mille fois à mon fils, Ian, né dans cette dernière année de thèse, d'être un bébé sage et de permettre la finalisation de ce travail sans retard.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 17

partie I Considérations Théoriques 22

1. Contexte de l'Étude : La Formation des Contrôleurs Aériens 23

1.1 Pourquoi former les contrôleurs aériens ? 23

1.2 Qu'est-ce que la formation des contrôleurs aériens ? 34

1.3 Comment se présente la formation sur simulateur de contrôle aérien ? 39

2. Apprentissage 46

2.1 Apprentissage complexe 49

2.2 Apprentissage auto-régulé 55

2.3 Recherche d'aide dans l'apprentissage 59

2.3.1 Comportement de recherche d'aide 61

2.3.2 Facteurs qui affectent la recherche d'aide 64

2.3.3 Facteurs individuels et motivation 67

3. La décision de rechercher de l'aide 76

3.1 Théorie de la probabilité 78

3.2 Théorie de l'utilité espérée 81

3.3 Le modèle rationnel de prise de décision 88
3.3.1 Bénéfices, probabilité et coûts de la recherche d'aide 89

partie II Contributions Empiriques 98

4. Étude 1 : La décision de rechercher de l'aide est-elle rationnelle ? 101
4.1 Objectif 101
4.2 Méthodologie 101
4.2.1 Participants 101
4.2.2 Plan d'expérience 102
4.2.3 Matériel 103
4.2.4 Procédure 104
4.3 Résultats 106
4.4 Discussion 111

5. Étude 2 : Le coût temporel et la décision de rechercher de l'aide 113
5.1 Objectif 113
5.2 Méthodologie 114
5.2.1 Participants 114
5.2.2 Plan d'expérience 114
5.2.3 Matériel 115
5.2.4 Procédure 116
5.3 Résultats 119
5.4 Discussion 124

6. Étude 3 : Le coût social et la décision de rechercher de l'aide 126
6.1 Objectif 126

6.2 Méthodologie 127
6.2.1 Participants 127
6.2.2 Plan d'expérience 127
6.2.3 Matériel 127
6.2.4 Procédure 129
6.3 Résultats 133
6.4 Discussion 138

7. Étude 4 : Le coût social et la décision de rechercher de l'aide dans un environnement de simulation de contrôle aérien 140
7.1 Objectif 140
7.2 Méthodologie 141
7.2.1 Participants 141
7.2.2 Plan d'expérience 141
7.2.3 Matériel 142
7.2.4 Procédure 143
7.3 Résultats 145
7.3.1 Radius à 36 miles nautiques 149
7.3.2 Vecteur cap et distance 151
7.3.3 Cercles à chaque 5 miles nautiques 154
7.3.4 Vecteur vitesse 154
7.4 Discussion 156

Conclusion Générale 159
Références 163

Annexe 173

.1 Liste d'exercices et d'aides 174

TABLE DES FIGURES

4.1 Capture d'écran du dispositif de collecte de données - étude 1. 104
4.2 Capture d'écran du dispositif de collecte de données avec la fenêtre d'aide ouverte - étude 1. 105
4.3 Proportion de réponses correctes et d'aide demandée en fonction du coût de l'aide et de la probabilité de recevoir l'aide en demandant. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. . . 107

5.1 Points attribués à chaque exercice en fonction du temps. 116
5.2 Capture d'écran du logiciel adapté à la deuxième étude. 117
5.3 Capture d'écran du logiciel avec la fenêtre d'aide ouverte - expérience 2. 117
5.4 Proportion de réponses correctes et d'aide demandée en fonction du coût temporel de l'aide et de la probabilité de recevoir l'aide en demandant. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. 120

6.1 Capture d'écran du logiciel adapté à la troisième étude. 130
6.2 Capture d'écran du logiciel adapté à la troisième étude avec la fenêtre d'aide ouverte. 131
6.3 Proportion de réponses correctes et d'aide demandée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. 134

7.1 Dispositif de collecte de données - étude 4. 143
7.2 Proportion d'aide cherchée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. 146
7.3 Proportion d'aide cherchée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice selon le type d'aide. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. 150
7.4 Moyenne du temps total d'aide cherchée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice selon le type d'aide. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. 151
7.5 Moyenne du temps moyen dépensé par aide en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice selon le type d'aide. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne. 152
7.6 Capture d'écran du logiciel avec l'outil «36NM» allumé. 153
7.7 Capture d'écran du logiciel avec l'outil «vecteur cap et distance» allumé. 154
7.8 Capture d'écran du logiciel avec l'outil «cercles à chaque 5NM» allumé. 155
7.9 Capture d'écran du logiciel avec l'outil «vecteur vitesse» allumé. . . . 156

LISTE DES TABLEAUX

1.1 Exigence minimale Aérodrome selon l'OACI 36
1.2 Exigence minimale Contrôle régional et d'approche selon l'OACI . . . 37

2.1 Les quatre composantes et les dix étapes - adapté de Van Merriënboer & Kirschner, 2012 51

3.1 Tableau de décision 82
3.2 Attribution de valeurs 84
3.3 Influence des émotions 87

4.1 Variables Indépendantes 102
4.2 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des co-variables - étude 1. 109
4.3 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de réponses correctes en fonction de la recherche d'aide et des co-variables - étude 1. 110

5.1 Variables Indépendantes 2ème étude 115
5.2 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des et des co-variables - étude 2. 121
5.3 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de réponses correctes en fonction de la recherche d'aide et des co-variables - étude 2. 123

6.1 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des co-variables - étude 3. 136
6.2 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de réponses correctes en fonction de la recherche d'aide et des co-variables - étude 3. 137

7.1 Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des co-variables - étude 4. 148

RÉSUMÉ

La recherche d'aide est une stratégie qui peut améliorer l'apprentissage et la réussite scolaire. Malgré ce constat, la littérature montre que les étudiants ou élèves décident fréquemment de ne pas rechercher de l'aide. Par ailleurs, dans le domaine de l'aéronautique, peu d'études ont été consacrées à la formation des contrôleurs aériens, qui jouent un rôle central dans le système de régulation du trafic aérien. Étant donné que la performance humaine est classiquement considérée comme un facteur qui contribue à la majorité des incidents et accidents aériens, l'enjeu de ces formations est majeur. L'objectif de cette thèse est double : au plan général, comprendre pourquoi les étudiants décident de ne pas rechercher de l'aide alors que la tâche qu'ils doivent réaliser n'est pas à leur portée. Cela relève-t-il d'une décision rationnelle ? Quels sont les coûts impliqués ? Au plan particulier, vérifier si ce problème existe aussi dans l'environnement d'apprentissage des contrôleurs aériens et si les mêmes conclusions concernant la décision de rechercher ou non de l'aide peuvent être tirées. En ayant pour base un modèle rationnel de prise de décision, dans lequel la décision est une fonction des coûts, de la probabilité et des bénéfices, quatre expériences ont été menées : trois expériences générales dont les participants étaient des étudiants universitaires et une expérience spécifique avec les élèves contrôleurs aériens. Les résultats montrent que les étudiants hésitent à demander de l'aide quand elle est objectivement coûteuse ; que le temps consommé en l'utilisant n'est pas considéré comme un coût ; et que les étudiants sont prêts à demander de l'aide même quand elle

n'est pas assurément utile. En outre, il y a un coût social impliqué dans la décision de rechercher de l'aide : la présence d'un expert baisse les taux de recherche d'aide, notamment quand la tâche est considérée comme facile. Les données de la quatrième expérience suggèrent que, au contraire, le coût social n'impacte pas la décision des élèves contrôleurs aériens d'utiliser tous les outils d'aide.

ABSTRACT

Learners who encounter difficulties can improve learning and achievement by seeking help. However, literature shows that students frequently decide to not seek help. In aeronautics domain, few studies were dedicated to the training of air traffic controllers, who play an important role in the air traffic regulation system. Given that the human performance is traditionally considered a factor that contributes to the majority of incidents and accidents in aviation, the challenge of their training is greater. This thesis has two goals : generally, understand why students decide not to seek help while the task they have to realize is beyond their reach. Is this a rational decision ? What are the costs involved ? Specifically, to verify if this issue also exists in the context of air traffic controller training and if we find the same conclusions about help-seeking decision. Based on a rational decision model, where the decision is a function of costs, expectancies and benefits, four experiences were conducted : three of them in a general context, having university students as participants, and an experience with air traffic controllers students. Results show that students hesitate to seek help when it is objectively costly ; the time consumed to seek help is not considered as a cost ; and that students are ready to seek help even when its utility is not assured. Besides, there is a social cost implicated in the decision to seek help : the presence of an expert reduces the levels of help-seeking, particularly when the task is considered easy. The results of the fourth study suggest that the social cost adversely do not have an effect in the decision of air traffic controller students of

using all help tools.

TABLE DES SIGLES ET ACRONYMES

ACC	*Area Control Centre*
APP	*Approach Control Unit*
ATC	*Air Traffic Control*
ATCO	*Air Traffic Controller*
ATM	*Air Traffic Management*
ATS	*Air Traffic Service*
ENAC	École Nationale de l'Aviation Civile
EUROCONTROL	*European Organisation for the Safety of Air Navigation*
FPS	*Flight Progress Strip*
ICAO	*International Civil Aviation Organization*
ILE	*Interactive Learning Environment*
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
QCM	Questions à Choix Multiples
TMA	*Terminal Manoeuvring Area*
TWR	*Aerodrome Control Tower*
UE	Utilité Espérée

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, le trafic aérien mondial a augmenté (ICAO, 2014), tout comme les exigences envers les services de la circulation aérienne (par exemple, les services météorologiques, d'information aéronautique, la maintenance des avions). En vue d'assurer une meilleure gestion du trafic aérien, des technologies ont été et sont développées en apportant des changements et des nouvelles stratégies pour éviter la congestion de l'espace aérien et les retards dans le système (Galster, Duley, Masalonis, & Parasuraman, 2001 ; Paige Bacon & Strybel, 2013). Contrairement à ce qu'on pourrait imaginer, le développement de technologies, qui a permis l'automatisation (ici dans le sens d'informatisation) de plusieurs aspects de l'activité des contrôleurs aériens n'a pas nécessairement réduit la complexité de leur travail. D'une certaine façon, l'automatisation a contribué à l'accroissement du trafic aérien, ce qui a provoqué la production de nouvelles règles de sécurité (Van Merriënboer & Kirschner, 2012).

Malgré l'importance grandissante des tâches dévolues aux technologies, les contrôleurs aériens continuent de jouer un rôle central dans le système de contrôle de l'espace aérien. La tâche des contrôleurs aériens est considérée comme très complexe et dynamique et exige un haut niveau d'expertise (Oprins, Burggraaff, & van Weerdenburg, 2006), notamment quand les vols sont en situation incertaine, comme lors de changements climatiques (Karikawa et al., 2014).

Bien que de nombreuses études traitent des processus de travail et des pra-

tiques des contrôleurs aériens (Karikawa et al., 2014), peu de travaux ont été consacrés à la formation de ces professionnels (mais voir Salden, Paas, & van Merriënboer, 2006 ; Malakis & Kontogiannis, 2012). Devenir contrôleur aérien aujourd'hui implique de suivre une formation qui comprend l'apprentissage de l'utilisation d'un dispositif informatique programmé pour soutenir les activités de ces professionnels, mais aussi la mise en place d'un ensemble de compétences et de connaissances, et le respect d'un nombre important de règles. L'enjeu de ces formations, notamment au plan de la fiabilité, est majeur, la performance humaine étant classiquement considérée comme un facteur qui contribue à la majorité des incidents et accidents aériens. Du point de vue économique, former les contrôleurs aériens est naturellement coûteux et prend du temps, de sorte que les échecs ne sont pas souhaités : une solution peut être l'augmentation de la capacité d'apprentissage à l'aide d'interventions de formation appropriés (Oprins et al., 2006).

Parmi les nombreux facteurs qui ont un effet sur la qualité ou l'efficacité d'un apprentissage, il y a la recherche d'aide. Les élèves ou étudiants qui éprouvent des difficultés à apprendre peuvent améliorer leur apprentissage en recherchant ou en demandant de l'aide (Nelson Le-Gall, 1985, 1981). Néanmoins, même en considérant les bénéfices de la recherche d'aide, on observe souvent que la présence d'une source d'aide ne suffit pas pour que les étudiants qui sont en difficulté décident de rechercher de l'aide (Aleven, Stahl, Schworm, Fischer, & Wallace, 2003 ; Newman, 2000). On observe même que, plus ils ont besoin d'aide, moins leur recherche d'aide est appropriée (Karabenick & Knapp, 1988). Pourquoi en est-il ainsi ? Particulièrement dans le domaine des environnements informatiques pour l'apprentissage, cet aspect est important : il est impossible de concevoir de tels outils et attendre qu'ils soient efficaces si les utilisateurs qui ont besoin d'aide ne vont pas en chercher, ou si leur recherche d'aide est non pertinente.

Ainsi, dans cette thèse, après avoir présenté la formation des contrôleurs aériens, nous abordons la problématique de la décision de rechercher de l'aide d'une façon générale. Nous appliquons un modèle de décision rationnelle dans lequel la décision de rechercher de l'aide est fonction du coût de rechercher de l'aide, de la probabilité de recevoir l'aide en la cherchant et des bénéfices liés à l'aide reçue. Nous suggérons que les études précédentes (e.g. Karabenick, 2003, 2004 ; Kitsantas & Chow, 2007 ; Roussel, Elliot, & Feltman, 2011 ; Roll, Aleven, McLaren, & Koedinger, 2011 ; Luckin, 2013) ont ciblé l'un ou l'autre de ces paramètres et, le plus souvent, en essayant de montrer les bénéfices de la recherche d'aide pour les apprenants. Ces études ont généré des nombreuses connaissances importantes, mais n'ont pas répondu une question fondamentale : si rechercher de l'aide présente un bénéfice, pourquoi est-ce que rationnellement quelqu'un déciderait de ne pas rechercher de l'aide ? Si même en connaissant les bénéfices de la recherche d'aide les étudiants décident de ne pas la chercher, la conclusion est nécessairement que des coûts sont impliqués. Rationnellement, la décision de ne pas rechercher de l'aide lorsque coûts et bénéfices sont considérés doit être soutenue par une des deux raisons suivantes : les coûts sont plus élevés que les bénéfices ; les coûts sont moins élevés, mais les bénéfices ne sont pas assurés.

Ensuite, à partir des résultats obtenus lors des études générales, nous conduisons une étude dans le contexte de la formation au contrôle aérien. Dans un environnement de contrôle aérien simulé créé spécifiquement aux besoins de la thèse, nous avons proposé différents outils d'aide pour vérifier si les conclusions concernant à la décision de rechercher de l'aide tirées lors des études générales seraient applicables à ce contexte, et aussi lesquels de ces outils seraient le plus utilisés par les élèves. Le propos général de notre travail peut se résumer ainsi : comprendre les processus cognitifs mis en œuvre par les étudiants contribue à améliorer la conception

d'environnements d'apprentissage.

Ce document est organisé en deux parties. La première partie contient les approches théoriques : elle est divisée en trois chapitres (1, 2 et 3). Dans le premier chapitre, nous décrivons la formation des contrôleurs aériens, nous abordons de façon générale le travail des contrôleurs aériens et les caractéristiques de la formation de ces professionnels en soulignant la formation pratique réalisée en simulateur.

Dans le chapitre 2, nous mettons en lumière l'apprentissage et, spécifiquement, deux aspects liés à notre sujet principal, soit l'apprentissage de tâches complexes et l'apprentissage auto-régulé pour enfin traiter de notre question centrale dans ce domaine qui est la recherche d'aide.

Enfin, dans le chapitre 3, nous présentons un modèle de prise de décision rationnelle, mettant en relief les approches théoriques qui expliquent le déroulement de ce processus. Compte tenu de ce modèle, nous avons examiné les études récentes, dans le cadre de la recherche d'aide, qui ont considéré coûts et/ou bénéfices de la recherche d'aide, ce qui a guidé nos décisions concernant nos études empiriques.

La deuxième partie (les chapitres 4, 5, 6 et 7) rapporte les quatre études empiriques conduites. Un logiciel a été développé pour les trois premières expériences, qui ont été réalisées dans le cadre de l'Université de Toulouse Jean Jaurès avec des étudiants universitaires. Dans la première nous avons voulu vérifier si la décision de rechercher de l'aide serait une décision rationnelle. Ainsi, dans un environnement expérimental numérique, nous avons intégré coût et bénéfice en manipulant ces deux variables lors des décisions de rechercher ou non de l'aide.

Afin de découvrir si le coût temporel serait pris en compte lors de la décision de rechercher de l'aide, la deuxième expérience a été conçue comme une adaptation de la première. L'objectif était de rapprocher la situation expérimentale des situations réelles, où une demande d'aide dans un contexte d'apprentissage peut représenter

une perte de temps.

Dans la troisième expérience nous avons mis en place la manipulation du coût social et de la perception sur la difficulté de la tâche. Même en réalisant une étude dans le contexte de l'université, nous avons choisi de manipuler le coût social en fonction du cas spécifique de cette thèse, soit la formation de contrôleurs aériens. Lors de la formation pratique en simulateurs ou dans une unité de contrôle, les élèves sont, normalement, observés par un instructeur.

Finalement, à partir des résultats de ces trois expériences, la quatrième étude a envisagé le coût social et la perception de la difficulté de la tâche, en ayant comme participants des élèves en formation pour devenir contrôleurs aérien.

Première partie

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE : LA FORMATION DES CONTRÔLEURS AÉRIENS

Le contexte de cette thèse est la formation des contrôleurs aériens, que nous allons aborder dans ce chapitre. La première partie de ce chapitre présente une mise en perspective du domaine, dans laquelle nous présentons le contrôle aérien, quelques définitions et règles. La deuxième partie présente la formation des contrôleurs aériens en mettant en exergue les exigences minimales établies par les organismes de réglementation. La troisième et dernière partie est consacrée à la formation pratique des contrôleurs aériens en simulateurs, notamment la composante de la formation qui nous intéresse et pour laquelle nous études empiriques ont été conçues.

1.1 Pourquoi former les contrôleurs aériens ?

Notions de contrôle aérien

L'histoire du contrôle aérien est bien sûr liée à celle de l'aviation. Aux États-Unis la première méthodologie conçue pour contrôler la circulation aérienne impliquait un contrôleur aérien placé en évidence sur l'aérodrome en agitant des drapeaux de différentes couleurs pour communiquer avec les pilotes et autoriser ou non les procédures d'atterrissage et décollage. À la fin des années 1930, une amélioration sensible des appareillages, permettant la navigation aérienne nocturne et dans des conditions

météorologiques difficiles, a entraîné une première congestion des aéroports et la nécessité d'un contrôle aérien a émergé. Bientôt le contrôleur avec ses drapeaux a été remplacé par les lampes à signaux qui pouvaient être utilisées également de nuit et par temps orageux (Nolan, 2010).

En Europe, le transport commercial de courrier et de passagers a pris son essor après la première guerre mondiale. Dans les années 1920, la France était déjà équipée de deux stations radio, qui permettaient la communication en morse avec les avions, alors que très peu d'avions étaient équipés pour communiquer. À la même époque, la navigation aérienne en France commençait à être guidée par les phares aéronautiques. Lors de la décennie 1930, le développement du contrôle aérien en route s'est accompagné de la création de postes de travail d'opérateurs radio (France, 2007).

Les communications avec les opérateurs radio ont apporté plus de sécurité au contrôle aérien de l'époque ; il était possible d'avoir la certitude que les pilotes avaient reçu les messages. Ensuite, dans les années 1940, le développement de technologies, le perfectionnement des télécommunications aéronautiques et l'emploi du radar dans l'aviation a transféré le contrôle de la circulation aérienne vers les équipes à terre. Il fallait encore un ensemble normalisé de règles pour ces communications.

Afin de développer le transport aérien et dépasser les barrières culturelles, une convention internationale est rédigée en 1944. Elle donne naissance à l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et met au point un ensemble de règles et procédures concernant des principes économiques, de droit et techniques. C'est à partir de cette convention que les normes générales et les pratiques recommandées pour la formation des contrôleurs aériens ont commencé à être définies.

Le contrôle de la circulation aérienne ou, plus simplement, le contrôle aérien est défini comme un service qui a pour but de prévenir des collisions entre avions et entre un avion et les obstacles dans l'aire de manœuvre de l'aéroport, et maintenir

la fluidité du trafic aérien. L'ensemble des services de la circulation aérienne (ATS - *Air Traffic Service*, en anglais) comprend également le service d'information de vol, le service d'alerte et le service consultatif de la circulation aérienne. Tous ces services sont dotés de ressources technologiques et humaines, qui travaillent de façon intégrée. L'intégration dynamique de tous les services qui soutiennent l'aviation constitue la gestion du trafic aérien (ATM - *Air Traffic Management*, en anglais). Cette dernière a pour mission de garantir les principes de sécurité, d'économie et d'efficience (ICAO, 2007).

Le service de contrôle aérien est fourni dans l'espace aérien contrôlé et consiste, largement, à orienter les pilotes ou à les autoriser à effectuer les procédures d'atterrissage et de décollage, de montée et de descente, ainsi que de changement de route. L'espace aérien contrôlé est divisé en parties ; chacune est sous la responsabilité d'une unité de contrôle aérien. Les unités qui contrôlent effectivement la majorité des avions peuvent être de trois types : centre de contrôle régional (ACC - *Area Control Centre*), contrôle d'approche (APP - *Approach Control Unit)* et tour de contrôle (TWR - *Aerodrome Control Tower*).

Les TWR sont les unités responsables du service de contrôle aérien pour la circulation sur l'aérodrome (ICAO, 2007), c'est à dire les avions qui arrivent, ceux qui partent,et ceux qui sont au sol. Normalement, les contrôleurs de tour de contrôle informent le pilote de l'approbation du plan de vol. Parfois, ce sont même eux qui donnent l'autorisation pour démarrer le moteur de l'avion. Ces contrôleurs donnent l'aval au pilote pour circuler au sol, les informent de la voie de circulation (*taxiway*), la piste en service, autorisent le décollage et l'atterrissage.

Après le décollage ou avant l'atterrissage, la juridiction de contrôle appartient généralement à un APP. Les APP sont des unités établies pour contrôler les avions qui sont en train d'arriver à ou de partir d'un des aéroports dans sa région de contrôle.

La région de contrôle des APP est habituellement une région de liaison entre la région contrôlée par la tour et la région qui appartient à un centre de contrôle. Pour maintenir l'ordre et la sécurité de la circulation aérienne, les contrôleurs du contrôle d'approche peuvent demander un ajustement de vitesse de l'avion, un changement du taux de montée ou de descente, ainsi que des modifications de niveau [1] de vol. Ils peuvent informer les pilotes des procédures en vigueur.

Lorsqu'un avion s'approche de la limite de la région du contrôle d'approche, il est transféré à un centre de contrôle (ACC). Les contrôleurs d'un ACC sont *grosso modo* responsables de la suite de la montée des avions jusqu'à leur niveau de croisière, de la route et du début de la descente des avions, avant les transférer à un autre APP.

Le travail des contrôleurs aériens

Même si ces unités présentent des différences et que chacune a ses règles spécifiques, quelle que soit l'étape du vol, la tâche des contrôleurs aériens (ATCO - *Air Traffic Controlers* en anglais) est toujours de maintenir la fluidité de la circulation aérienne, avec sécurité et efficience dans un environnement dynamique et variable, qui implique des facteurs parfois imprévisibles comme une demande du pilote, une panne dans un avion et un changement climatique (Karikawa, Aoyama, Takahashi, Furuta, & Kitamura, 2012). La sécurité est assurée par le maintien de l'espacement minimum entre les avions autorisé par les règles de vol. L'efficience a par exemple pour enjeu la réduction des retards dans un contexte d'augmentation de la circulation aérienne. La mise en œuvre de cette tâche et de ces principes implique des traitements cognitifs dans l'analyse et la synthèse des informations, la maîtrise de procédures complexes,

1. En aviation il y a trois façons non identiques d'indiquer la position verticale d'un avion : hauteur, altitude et niveau. Le niveau de vol est la grandeur utilisée dans l'aviation commerciale en croisière et les vols à haute altitude. Un niveau de vol est une altitude exprimée au-dessus de la surface isobare 1013.25 hPa.

la résolution de problèmes en temps-réel, ainsi que des compétences langagières pour parler et écouter (ICAO, 2002).

Le service de contrôle aérien ne cesse jamais. Dans les aérodromes qui ne fonctionnent pas 24 heures sur 24, les contrôleurs seront disponibles pendant la durée de fonctionnement seulement. Cependant, comme le transport aérien ne s'arrête pas, les ACCs et les APPs sont ouverts sans interruption. Quelles que soient les unités de contrôle, les contrôleurs travaillent le plus souvent en quarts. La haute exigence cognitive des tâches de contrôle aérien implique que le temps continu en position opérationnelle soit limité.

Souvent les contrôleurs aériens ne travaillent pas tous seuls. Généralement, les unités de contrôle aérien sont divisées en secteurs de travail et, plusieurs fois, la responsabilité d'un secteur est partagée avec un collègue, également contrôleur, qui occupe le poste d'assistant. Dans ce cas, selon Hauland (2008), il est possible de les considérer comme une équipe. Les deux opérateurs, le contrôleur et son assistant, doivent travailler ensemble, en faisant attention, principalement, à tout ce qui se passe avec les avions sous leur contrôle. Alors que le contrôleur maintient la communication avec les avions, l'assistant établit le contact avec les secteurs ou unités adjacents pour coordonner les transferts des avions. En même temps, la surveillance des avions qui se trouvent dans leur secteur est de la responsabilité plutôt du contrôleur, et la recherche de possibles conflits avec des avions de secteurs adjacents reste à la charge de l'assistant.

Les communications de l'équipe transmettent, normalement, des décisions, qui ont été prises par les opérateurs d'après autant d'informations que possible. Comme le remarquent Oprins et al. (2006) , ces professionnels doivent avoir la capacité de gérer plusieurs situations dynamiques, ce qui implique le traitement d'une grande quantité d'information et exige la mise en œuvre de processus cognitifs complexes.

En outre, il faut que le traitement de ces informations soit fait dans un temps limité (Shorrock, 2007).

Pour illustrer la complexité des informations qui doivent être traitées, on peut prendre l'exemple de la prise de décision. Pour prendre une décision les contrôleurs aériens doivent prendre en compte des informations reçues des pilotes, des autres unités de contrôle, de l'organisme qui informe des conditions météorologiques ; ils doivent en outre faire attention au type (modèle) d'avion (e.g. cela implique la vitesse et temps de réponse pour que le pilote effectue une manœuvre, et le niveau maximum auquel l'avion peut monter), à la destination et à la route, les possibles restrictions sur la route, l'existence d'autres avions sur le chemin, la topographie, aux règles générales et spécifiques du secteur, et les accords d'exploitation, par exemple.

Pour accomplir leur travail, les contrôleurs bénéficient d'une aide technologique. En plus des dispositifs de communication largement utilisés, certaines unités, normalement des APP et ACC, sont équipés avec des écrans radar. Les TWR sont généralement positionnées en hauteur, à un emplacement favorable à la visualisation de toute l'aire de l'aéroport et des pistes. Par contre, les APP etACC se trouvent normalement dans un espace fermé et sans fenêtre, où l'appareil visuel des contrôleurs reste dirigé sur les écrans radar, qui leur montrent les positions des avions. Les programmes qui transforment les informations radar en informations visuelles montrées sur l'écran sont normalement dotés d'outils d'aide pour soutenir les décisions des contrôleurs aériens. Avec ces outils il est possible aux contrôleurs d'évaluer la distance entre avions et de prévoir un conflit, la vitesse, les routes, la direction, entre autres aspects, et ces outils constituent une autre source d'information à être traitée.

Malgré les différences existant dans le travail des contrôleurs aériens des trois types d'unité de contrôle, il est possible de concevoir un modèle simplifié des processus cognitifs communs à ces trois types d'unités (Dittmann, Kallus, & Van Damme,

2000). Fondamentalement, ce qui change dans ces processus pour les opérateurs d'un type d'unité ou d'une autre sont les paramètres (temps, vitesse de traitement et fréquence). Ces paramètres peuvent changer aussi selon les secteurs d'une unité ou même selon la situation. Par exemple, la fréquence de recherche de conflits sera probablement inférieure quand il y a peu d'avions dans le secteur. Donc, il est possible de qualifier ce métier de «complexe», quel que soit le type de contrôle aérien.

Notre objectif n'est pas de discuter ou de décrire de façon approfondie les processus cognitifs des contrôleurs aériens, ni d'analyser leurs tâches, mais la perception de l'importance de la formation de ces professionnels passe par la compréhension de sa complexité. Pour donner un simple aperçu, nous avons choisi le travail de Dittmann et al. (2000), qui a défini dix processus cognitifs basiques des contrôleurs aériens en considérant juste les conditions normales de circulation (les urgences et les situations exceptionnelles n'ont pas été incluses). Ils les ont désigné ainsi :

- Construction de la conscience de la situation [2]
- Surveillance
- Gestion du trafic de routine
- Gestion de demandes
- Résolution de conflits
- Commutation de l'attention
- Mise à jour de la conscience de la situation
- Vérification
- Recherche de conflits

2. Le terme désigné par les auteurs en anglais est «*mental picture*». Nous avons traduit librement par conscience de la situation, étant donné que, selon le Doc9806 (ICAO, 2002), «*mental picture*» est habituellement assimilé à la notion de conscience de la situation.

– Émission d'instructions

Naturellement ces processus sont extrêmement liés entre eux, ce qui accentue la difficulté de les décrire. Les processus listés se confondent avec les tâches du service. Murphy et al. (2011) considèrent que la conscience de la situation a un rôle central dans toutes les autres fonctions, notamment parce que ce processus doit être présent pendant toute la durée d'activité des contrôleurs aériens, comme, par exemple, dans les projections des trajectoires des avions, et doit être mis à jour selon la dynamique des événements. C'est pour cette raison que nous avons décidé de mettre l'accent sur ce processus.

Quand ils prennent leur poste de travail, ou même un peu avant, les contrôleurs aériens doivent percevoir tout ce qui se passe dans la situation, la comprendre et la projeter dans le futur, c'est-à-dire former une conscience de la situation, pour élaborer des plans d'action pertinents pour gérer cette dernière. Cette conscience de la situation aide les contrôleurs à, par exemple, soutenir la mémoire, se représenter les scénarios de circulation, projeter les trajectoires (Shorrock & Isaac, 2010). En même temps, la conscience de la situation soutient et est élaborée à partir d'autres fonctions mentales. L'intégration de plusieurs types de données, comme les informations sur le secteur opérationnel qui est géré, y compris ses conditions de gestion et les connaissances sur sa circulation de base, les informations des secteurs adjacents, les situations exceptionnelles du moment et son propre état physique et mental forment la conscience de la situation, qui reste en arrière-plan pendant que d'autres tâches sont réalisées par le contrôleur (Murphy et al., 2011).

Les informations sont saisies sous forme auditive et visuelle. Les tâches perceptives des contrôleurs aériens comprennent l'écoute des pilotes par appels radio téléphoniques, l'écoute d'autres contrôleurs (un collègue avec qui ils travaillent di-

rectement ou d'une autre unité), l'identification visuelle des informations issues du plan de vol de chaque avion imprimées sur les Bandes de Progression de Vol (FPS - *Flight Progress Strip*), et la visualisation des informations contenues sur l'écran radar pour ceux qui l'utilisent. La visualisation de l'écran radar permet la détection et l'identification d'avions et de la circulation, le jugement des manœuvres requises et la détection d'alertes de conflits. Sur l'écran radar, les avions sont représentés symboliquement et, dans ces étiquettes, les informations disponibles sont par exemple le niveau de vol actuel, si l'avion descend ou monte, le niveau de vol autorisé, le code de la destination, la vitesse. Les contrôleurs disposent d'informations visuelles sur des écrans supplémentaires concernant les conditions météorologiques et les aéroports, et, en papier, de cartes et procédures, entre autres (Shorrock, 2007).

Quand ils sont dans une position opérationnelle, pour effectuer les processus de détection, identification et comparaison, les contrôleurs aériens font appel à plusieurs types d'attention. Par exemple, s'il y a un cas spécifique d'urgence, ils devront diriger leur attention sur ce cas, exigeant une focalisation de l'attention. S'ils écoutent l'appel d'un pilote, ils utilisent l'attention sélective pour vérifier ce qu'il rapporte. Quand ils écrivent des informations rapportées en même temps qu'ils les écoutent, ils font appel à l'attention divisée. Dans une situation où il y a peu de circulation, ils doivent soutenir leur attention tandis qu'ils surveillent (Shorrock, 2007).

Malgré la technologie dévolue au soutien des activités des contrôleurs, malgré le fait que certaines informations soient affichées en permanence, la mémoire est encore nécessaire à la pratique du contrôle aérien, notamment quand ils doivent garder en mémoire de travail des informations récemment perçues, comme se souvenir que tel avion est à telle fréquence de radiotéléphonie. Pour construire et mettre à jour la conscience de la situation, les contrôleurs aériens utilisent la mémoire de travail ou la mémoire de travail à long terme (Shorrock, 2005). Par exemple, la

mémoire permettra au contrôleur de récupérer les connaissances, déjà acquises et stockées, sur plusieurs aspects des avions et de l'espace aérien. Il est clair, donc, que les contrôleurs doivent accumuler un répertoire de connaissances pendant leur formation et leur pratique.

À partir de la composition de la conscience de la situation et du processus de surveillance, qui peut y ajouter de nouvelles informations, les contrôleurs vont diagnostiquer la situation (Kallus, Barbarino, & Van Damme, 1997). Ce diagnostic servira de base pour les décisions qu'ils vont prendre pour gérer la circulation aérienne, les demandes, les conflits et pour émettre les instructions.

Les erreurs

Étant donné que la maintenance de l'espacement des avions est définie par des règles que les contrôleurs aériens doivent suivre de manière stricte, on considère que quand un contrôleur n'évite pas que deux avions restent séparés par une distance inférieure à celle qui est permise, c'est une erreur. Bien que, comme souligne Shorrock (2007), le mot «erreur» puisse être inapproprié parce que, en considérant le contexte de ces erreurs, leur survenue pourrait paraître normale ou attendue, le terme est largement utilisé. Les erreurs peuvent se produire en fonction de plusieurs facteurs, tels que le manque de compétence, manque d'information, malentendu, fatigue et manque de motivation. D'autres sources de détérioration de la performance ont été identifiées : les échecs d'attention, de perception, de mémoire, de conscience de la situation, d'apprentissage, de communication, de planification, de diagnostic et de décision (ICAO, 2002).

Dans le domaine du contrôle aérien, la perte d'espacement entre avions, sans qu'il y ait eu un accident, caractérise un incident de la circulation aérienne. Les inci-

dents aériens n'ont pas la même répercussion qu'un accident, mais ils sont beaucoup plus fréquents. Un incident n'a normalement pas une seule cause, c'est une combinaison de facteurs qui contribuent à son apparition. L'occurrence d'incidents est due à des facteurs humains et matériels. Les erreurs liées aux facteurs humains peuvent se référer à des aspects opérationnels, physiologiques et psychologiques (COMAER, 2014). Néanmoins, ces aspects sont normalement corrélés et cette division a plutôt un caractère didactique, qui sert bien à des enquêtes et analyses d'incidents et à la gestion de la sécurité opérationnelle. Par exemple, la perte de la conscience de la situation (aspect psychologique) pourrait être liée à une planification (aspect opérationnel) mal faite et, ensemble, ces facteurs contribueraient à un incident.

Les aspects psychologiques sont très présents dans les incidents de la circulation aérienne. Par exemple, dans l'analyse des incidents produits en 2013 au Brésil, il a été constaté que les aspects psychologiques contribuaient à hauteur de 94%, taux qui correspond à la moyenne internationale (COMAER, 2014). La capacité cognitive de l'être humain est limitée et cette limitation peut contribuer à des erreurs, même quand peu d'avions sont gérés. Ce qui importe et qui indique la complexité des processus est le nombre, le type et la fréquence des calculs, des projections, et d'actions que le contrôleur doit réaliser (Murphy et al., 2011 ; Stankovic, Raufaste, & Averty, 2008). Selon Murphy et al. (2011), avec des ressources cognitives réduites, le contrôleur peut voir son confort physique diminué et son anxiété accrue, ce qui affecte sa confiance et sa capacité cognitive.

Les conséquences des erreurs peuvent être tragiques et, c'est exactement pour cela que ce sujet attire l'attention des chercheurs, qui participent à la conception d'outils pour détecter et prévenir ces erreurs. L'étude de Shorrock et Kirwan (2002) décrit le développement d'un outil qui est une technique d'analyse rétrospective et prédictive des erreurs cognitives dans le contrôle aérien. Des études sur les erreurs

spécifiques de mémoire et de perception (Shorrock, 2005, 2007) ont été menées à partir d'entretiens avec opérateurs du Royaume-Uni et de l'analyse de rapports d'incidents de la même région. L'article de Corver et Aneziris (2015), compare les types d'erreurs qui sont produites dans des environnements opérationnels différents, en regardant les erreurs qui peuvent apparaître avec l'introduction de nouvelles technologies. Malgré les technologies et les outils développés pour aider le contrôle aérien, les erreurs ne sont pas abolies.

En considérant que les êtres humains peuvent faire des erreurs quel que soit leurs niveaux d'expertise, l'intention sera toujours celle de prévenir les erreurs (ICAO, 1998). Une façon de réduire les possibilités d'erreurs humaines dans le contrôle aérien réside dans la qualification des contrôleurs (ICAO, 2002).

Afin de mettre en perspective le contexte de prestation de service des contrôleurs aériens, cette première partie a abordé, d'une façon générale, l'émergence du métier des contrôleurs aériens, la division des services, les tâches et processus cognitifs de ces professionnels dans leur pratique et les erreurs susceptibles de survenir. Dans la prochaine partie nous allons aborder la thématique centrale du chapitre, c'est-à-dire la formation des contrôleurs aériens, qui doit permettre aux élèves l'acquisition des connaissances, compétences et expériences nécessaires à la mise en œuvre de leur futur travail.

1.2 Qu'est-ce que la formation des contrôleurs aériens ?

La formation des contrôleurs aériens dans tous les États membres de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale et signataires de la Convention de Chicago suit des normes minimales établies dans l'annexe 1 du document de l'OACI, qui traite de licences du personnel. Néanmoins, ces normes sont basiques et la définition des

règles plus spécifiques sont à la charge des autorités de chaque État. De surcroît, il est permis aux États d'avoir des différences, à certains égards, avec les normes minimales, leur notification à l'OACI étant toutefois indispensable.

L'annexe 1 définit les exigences qui doivent être remplies pour qu'une licence soit délivrée. Ces exigences traitent d'aspects comme l'âge, les connaissances, l'expérience et l'aptitude médicale. Les connaissances visées dans le document sont : la réglementation aérienne, les équipements de contrôle aérien, les connaissances générales sur l'aviation, la performance humaine, la météorologie, la navigation et les procédures opérationnelles. L'expérience est atteinte avec la validation d'une formation approuvée et après le contrôle effectif de la circulation aérienne sous la surveillance d'un contrôleur qualifié dans, au moins, une des catégories de qualification (ICAO, 2011). Les six catégories définies dans l'Annexe 1 sont : contrôle d'aérodrome ; contrôle d'approche aux procédures ; contrôle d'approche de surveillance ; approche au radar d'approche de précision ; contrôle régional aux procédures ; et contrôle régional de surveillance. Les contrôles aux procédures sont faits sans l'aide des équipements de surveillance et le mot «surveillance» dans le nom des catégories indique l'utilisation d'un équipement de surveillance tout en fournissant le service de contrôle aérien.

Lors de l'édition du Doc 9806 de l'OACI en 2002, de vastes régions du monde, y compris les zones de contrôle océanique, étaient couvertes uniquement par le contrôle aux procédures, où le contrôleur doit se reposer sur la création d'une conscience de la situation à partir des fiches de progression de vol, alors qu'il ne visualise pas la situation (ICAO, 2002). Le manuel de formation sur les facteurs humains de l'OACI considère que même la formation pour les systèmes plus sophistiqués doit inclure les connaissances de procédures et pratiques les plus basiques, afin d'éviter le manque de contrôle dans le cas d'un échec du système (ICAO, 1998).

Tab. 1.1: Exigence minimale Aérodrome selon l'OACI

	CONTRÔLE D'AÉRODROME
Connaissances	Disposition de l'aérodrome ; caractéristiques physiques et aides visuelles Structure de l'espace aérien Règles, procédures et source d'information Installations de navigation aérienne Équipement de contrôle aérien et son utilisation Terrain et repères éminents Caractéristiques de la circulation aérienne Phénomènes météorologiques Plans d'urgence et de recherche et de sauvetage
Expérience	90 heures ou un mois, le plus élevé

L'annexe 1 décrit également, dans les grandes lignes, les contenus qui doivent être abordés dans chaque catégorie, et le minimum d'heures de pratique supervisée. Cependant, comme il est possible aux autorités d'aviation des États d'adapter les règles en fonction des contraintes locales, les catégories peuvent également changer. Par exemple, l'EUROCONTROL a aussi six catégories de qualification, mais le contrôle d'aérodrome est divisé en deux (contrôle d'aérodrome à vue et contrôle d'aérodrome aux instruments) et l'approche au radar d'approche de précision n'est pas une catégorie (EATM, 2004). Dans les cas où il n'y a pas endossement de l'OACI, l'État doit développer des mentions supplémentaires de qualification pour répondre à ses propres exigences nationales. Les exigences de qualification prévues par l'OACI pour les six catégories sont présentées en points minimaux et quelques catégories peuvent être groupées étant donné qu'elles ont les mêmes exigences, comme le montrent les tableaux 1.1 et 1.2.

Selon les lignes directrices pour les audits de sécurité de facteurs humains de l'OACI (Doc 9806), l'objectif de la formation des contrôleurs aériens est de permettre que le contrôleur puisse avoir les connaissances, compétences et expériences

Tab. 1.2: Exigence minimale Contrôle régional et d'approche selon l'OACI

	CONTRÔLE D'APPROCHE AUX PROCÉDURES CONTRÔLE RÉGIONAL AUX PROCÉDURES	CONTRÔLE D'APPROCHE DE SURVEILLANCE CONTRÔLE RÉGIONAL DE SURVEILLANCE APPROCHE AU RADAR D'APPROCHE DE PRÉCISION [a]
Connaissances	Structure de l'espace aérien Règles, procédures et source d'information Installations de navigation aérienne Équipement de contrôle aérien et son utilisation Terrain et repères éminents Caractéristiques de la circulation aérienne et du flux de la circulation Phénomènes météorologiques Plans d'urgence et de recherche et de sauvetage	Structure de l'espace aérien Règles, procédures et source d'information Installations de navigation aérienne Équipement de contrôle aérien et son utilisation Terrain et repères éminents Caractéristiques de la circulation aérienne et du flux de la circulation Phénomènes météorologiques Plans d'urgence et de recherche et de sauvetage Principes, utilisation et limites des systèmes de surveillance ATS applicables et équipements associés Procédures pour la fourniture du service de surveillance ATS
Expérience	180 heures ou trois mois, le plus élevé	180 heures ou trois mois, le plus élevé

a. Il faut compter au moins 200 approches de précision

nécessaires pour réaliser ses tâches, en observant les principes de la sécurité et de l'efficience, dans les normes. Les cours doivent être progressifs, en construisant, en premier lieu, les principes basiques et, en augmentant de plus en plus la complexité des contenus (ICAO, 2002). Ce type de formation exige des étudiants qu'ils maîtrisent un principe avant de passer à l'apprentissage d'un autre (ICAO, 1998). D'après Cavcar et Cavcar (2004), malgré les mêmes philosophies sur le contenu et l'arrière-plan, il y a de grandes différences dans le monde entier dans la méthode d'application de la formation de base des contrôleurs.

Comme il a été vu précédemment, en plus de l'enseignement théorique, un certain nombre d'heures d'expérience pratique doivent compléter leur formation. Cette pratique, appelée aussi formation en cours d'emploi (*on-the-job training* en anglais), permet au candidat de travailler avec les contrôleurs expérimentés, ce qui lui apporte l'expérience essentielle. Parce que toutes les unités opérationnelles ATC sont différentes, une formation spécifique sur l'unité dans laquelle le futur contrôleur va travailler est nécessaire, en plus de la formation générale de la catégorie de

qualification. Cette formation spécifique d'unité inclut la mise en pratique (EATM, 2004). Dans le domaine du contrôle aérien, l'expérience pratique est si importante que même le contrôleur le plus expérimenté a besoin d'avoir ses compétences vérifiées dans la pratique après une période d'absence (y compris des vacances), avant de retourner au travail (Kallus et al., 1997). De la même manière, la licence d'un contrôleur aérien peut perdre sa validité quand il cesse d'exercer pendant une période de temps déterminée par l'autorité locale (ICAO, 2011). Bien que notre travail soit axé sur la formation initiale des contrôleurs aériens, il convient de mentionner que l'ICAO (1998) prêche la formation continue, avec la réalisation de cours de recyclage réguliers, au cours desquels les connaissances et les compétences sont pratiquées et vérifiées, et des changements dans le système ATC sont introduits.

Bien que l'utilisation de simulateurs de contrôle aérien dans la formation des contrôleurs aériens n'est pas prévue par le document de l'OACI qui traite de certification, ces équipements sont utilisés par certains organismes de formation dans plusieurs pays, comme une étape devant être accomplie entre l'apprentissage théorique et la formation en cours d'emploi. L'EUROCONTROL se réfère à cette phase de la formation comme *Pre-On-The-Job Training* (EATM, 2004). La formation par simulation rend possible l'application pratique des connaissances acquises avant l'étape d'acquisition d'expérience et d'expertise (Kallus et al., 1997) et renforce le développement des routines et des capacités à un niveau plus élevé de réussite (EATM, 2004), en plus de permettre l'évaluation objective des progrès des étudiants (Costa, 2008). La réalisation des exercices pratiques appropriés après l'acquisition de connaissances théoriques est généralement reconnue comme une bonne méthode, qui contribue au progrès systématique des candidats et à la qualité du processus de la formation en général (Juričić, Varešak, & Božić, 2011).

L'accentuation de l'importance des dispositifs de simulation dans le processus

de formation de contrôleurs aériens est donnée, selon Kallus et al. (1997), par les aspects cognitifs impliqués dans les tâches des contrôleurs aériens et par les différences existant entre la conscience de la situation de contrôleurs de niveaux d'expertise différents. Les systèmes de simulation permettent l'entraînement de compétences comme l'anticipation, la prédiction et le jugement, ainsi que la prise de conscience des points faibles du système humain de traitement d'information, dans un environnement qui ne pose aucun risque à personne.

Dans cette deuxième partie nous avons présenté les exigences minimales prévues par l'organisme international concernant la formation des contrôleurs aériens et la délivrance des licences à ces professionnels. Parce que notre thèse s'intéresse à la décision de rechercher de l'aide particulièrement dans un environnement numérique d'apprentissage et que les simulateurs représentent cet environnement, la prochaine partie de ce chapitre sera spécifiquement dédiée à cet aspect de la formation des contrôleurs aériens.

1.3 Comment se présente la formation sur simulateur de contrôle aérien ?

Comme nous l'avons vu, l'utilisation de simulateurs de contrôle aérien dans la formation des opérateurs n'est pas une exigence de l'autorité internationale. Par conséquent, les autorités nationales peuvent régler son utilisation, le cas échéant. Avec l'objectif de renforcer les normes de sécurité et d'améliorer le fonctionnement du système de contrôle aérien de la Communauté Européenne, une directive a été publiée en 2006 et prévoyait déjà l'utilisation de simulations dans les cours pratiques (EU, 2006). Cependant, la directive n'est pas plus spécifique ; il n'y a aucune précision concernant les caractéristiques des équipements de simulation à utiliser.

Un groupe de travail de l'EUROCONTROL a analysé l'utilisation des simulateurs et médias de simulation [3] dans des procédures de formation de contrôleurs aériens et a défini leurs étapes de formation et usages (EATMP, 2000). Le document produit par ce groupe détermine cinq types d'exercices qui peuvent être réalisés avec ces équipements : acquisition de compétences, pratique de tâches partielles, simulation individuelle, simulation en équipe, et simulation en groupe [4]. Concernant les types d'équipements, quatre catégories ont été déterminées, en considérant le degré de fidélité avec lequel la simulation représente le système et l'environnement réel : simulateur de haute-fidélité, simulateur, outil de simulation spécifique, et autre dispositif d'entraînement [5]. Conformément à ces caractéristiques et fonctionnalités, les équipements ont encore étés catégorisés selon leur fidélité à la réalité : réel, très proche de la réalité, générique, et sans importance [6]. Par ces définitions il est possible de percevoir la diversité d'activités de formations qui peuvent être générées avec l'utilisation de différents équipements de simulation.

En complément des activités de simulation, d'autres activités qui doivent être réalisées : le *briefing*, le *debriefing* et *tutoring*. *Briefing* et *debriefing* sont toujours inclus comme une partie de la formation pratique. Le *briefing* est une introduction à l'exercice qui sera réalisé par l'étudiant et qui ne sera pas interrompu. Le *debriefing* est un examen et une discussion sur les résultats d'un événement de formation basé sur une évaluation formative de cet événement. *Tutoring* est l'acte de donner des

3. Les médias de simulation comprennent tout type de dispositif permettant de simuler les conditions opérationnelles, notamment les simulateurs et les outils de simulation partiels. Les simulateurs sont des outils de simulation qui présentent les principales caractéristiques de l'environnement opérationnel réel et reproduit les conditions opérationnelles

4. Les termes originels en anglais : *Skill Acquisition (SA), Part-Task Practice (PTP), Individual Simulation (IND SIMUL), Team Simulation (TEAM SIMUL), Group Simulation (GROUP SIMUL).*

5. *High-fidelity Simulator (HI FI SIM), Simulator (SIM), Part-Task Trainer (PTT), Other Training Device (OTD).*

6. *Real, Very close to real, Generic, No importance.*

connaissances et des directives supplémentaires à un ou à un petit groupe d'étudiants en situation informelle de formation (EATMP, 2000).

La mise en œuvre des types de simulation et d'équipements varie, comme les pratiques de formation, selon le pays et l'organisme responsable de la formation. Outre les équipements, ces pratiques peuvent différer en fonction de la disponibilité de postes physiques pour les élèves, du nombre d'élèves qui peuvent être formés selon les différents types d'exercices, du nombre de pseudo-pilotes en communication avec le-s élève-s, et de la quantité d'élèves par instructeur (EATMP, 2000).

L'EUROCONTROL *Specification for the ATCO Common Core Content Initial Training*, qui présente le programme d'enseignement à appliquer par tous les États qui ont l'obligation de se conformer avec le règlement UE 2015/340 de la Commission Européenne [7] pendant la formation initiale [8] des contrôleurs aériens, classifie les objectifs spécifiques de la formation en 5 niveaux. Ces niveaux ont une taxonomie bien définie et, selon le même document, à partir du niveau 3, les objectifs sont de nature pratique et, donc, doivent être atteints grâce à l'utilisation d'un outil de simulation spécifique ou d'un simulateur. Plus le niveau est élevé, plus le simulateur sera utilisé plutôt que les outils de simulation spécifiques (mentionnés dans la note de bas de page numéro 3) (EUROCONTROL, 2015).

Bien que la formation par simulation puisse être effectuée sur toutes les catégories de qualification, notre étude envisage les équipements utilisés au cours d'un contrôle aérien de surveillance. Dans les simulateurs avec les plus hauts degrés de fidélité, l'élève en formation dans la position de contrôleur de surveillance a tous les

7. (EU, 2015)

8. La formation de contrôleurs aériens recommandé par l'EUROCONTROL est composée de trois étapes (*initial training, unit training et continuation training* (EUROCONTROL, 2015)). La licence est délivré après la deuxième. La première est la formation initial, qui inclut théorie, pratique de tâche partielle et simulation, et prépare pour la formation dans l'unité.

équipements qui sont disponibles dans une situation réelle, y compris l'écran qui est programmé pour simuler les informations radar, les équipements de communication et d'autres êtres humains qui jouent le rôle de pilotes ou d'autres contrôleurs, avec qui il communique. Ces dispositifs sont capables de fournir aux élèves les mêmes outils d'aide qui existent dans les équipements réels de contrôle aérien de surveillance. Selon ICAO (2002), l'automatisation peut aider des processus essentiels à l'ATC comme la collecte, le stockage, la compilation, l'intégration, la présentation et la communication de l'information.

Les exercices pratiqués au cours des simulations varient selon toutes les caractéristiques des médias qui ont déjà été mentionnées, les objectifs généraux et spécifiques des objets et thèmes auxquels ils sont liés, et la complexité exigée. Un exemple de la liaison entre un objectif spécifique et un exercice, dans la formation initiale du programme de qualification en contrôle d'approche de surveillance de l'EUROCONTROL, est le suivant : un des objectifs est que les élèves réalisent une séparation horizontale entre n avions ; pour cela ils doivent mettre en œuvre une vectorisation dans une variété de situations. Cet objectif est classé au niveau 4 et, ainsi, l'exercice doit plutôt être pratiqué dans un simulateur. La variété des situations comprend l'approche, le départ ou le transit, et peut intégrer des phénomènes météorologiques (EUROCONTROL, 2015). Tout au long de la formation, les variables, comme le nombre d'avions et les conditions météorologiques, sont manipulées pour régler la complexité désirée.

Pour illustrer la façon dont se passe un exercice, nous prenons un des exemples présentés par Juričić et al. (2011) . Cet exercice a été planifié pour être pratiqué dans un outil de simulation spécifique tout au début de la formation et a pour but que l'élève acquière les compétences primaires et le «sens de l'espace aérien». Du point de vue de l'apprentissage, il faut que l'élève se familiarise avec l'outil de simulation

et apprenne à se débrouiller avec son poste de travail, y compris apprendre à lire les informations importantes dans l'étiquette de l'avion sur l'écran. Les principaux objectifs de cet exercice comprennent le développement de compétences de guidage et d'évaluation de caps et virages. Ainsi, les élèves devront guider les avions sur des routes prédéfinies à partir de leur point d'entrée au point de sortie. La planification de l'exercice prévoit, également, 35 minutes pour la durée de l'exercice, cinq avions, un seul conflit potentiel, certains paramètres à considérer par l'élève (comme la norme d'espacement vertical et latéral), d'autres exigences à remplir dans l'exercice (par exemple : les avions doivent traverser tous les points définis sur les routes dans un rayon de 4 miles nautiques autour du centre des points) et les outils d'aide disponibles (par exemple : les lignes médianes de route visibles pour les aider à obtenir une meilleure visualisation et conscience de la situation).

La durée des exercices est variable, mais, comme on peut le voir dans l'exemple ci-dessus, est toujours prédéfinie. Les exercices sont programmés à l'avance, de sorte que la quantité d'avions, l'ordre de leur apparition sur l'écran, les points d'où ils viennent et les conflits potentiels sont déjà déterminés. Les exercices sont effectués en présence d'un instructeur, qui est responsable de l'élaboration du *briefing*, de l'accompagnement de la performance de l'élève et du *debriefing*. Les règles des exercices peuvent prévoir ou interdire l'utilisation des aides du système. Ces aides comprennent, par exemple, le réglage de l'échelle de la visualisation de l'écran, et le vecteur de mesure de cap et de distance entre avions. Le *Human Factors Training Manual* souligne que la formation devrait intégrer une compréhension de base de facteurs humains de sorte que les contrôleurs aient un aperçu de leurs propres capacités et limites en permettant qu'ils sachent le nécessaire pour être capables de choisir les aides appropriées, surtout dans les options de l'écran (ICAO, 1998).

Les exercices pratiques réalisés en simulation exigent et permettent l'intégra-

tion de plusieurs domaines de connaissances et de compétences en même temps. Pour apprendre à guider un avion il faut des connaissances et des compétences dans les domaines de la radiotéléphonie, des performances des avions, de la navigation et de la théorie du radar, entre autres (EUROCONTROL, 2015). Cette intégration caractérise l'apprentissage complexe.

Ce chapitre a été conçu pour mettre en contexte le cas particulier auquel nous nous sommes intéressés, c'est-à-dire la formation des contrôleurs aériens en simulateur. Pour conclure, nous mettons en exergue les points les plus importants à retenir à l'égard de cette thèse : les exercices pratiques peuvent simuler un environnement presque identique à celui d'une opération réelle. C'est-à-dire que la situation simulée est dynamique et la difficulté des exercices est variable. L'apprenant devra toujours gérer le temps pour exécuter toutes ses tâches qui sont naturellement complexes et exigent une grande capacité cognitive. Pour accomplir ses missions il peut, le cas échéant, utiliser les outils du système pour s'aider. Pendant la réalisation de ces exercices pratiques en simulateur l'instructeur est présent et regarde la performance de l'apprenant.

Ayant présenté l'enjeu de la formation des contrôleurs aériens, la formation elle-même et comment fonctionne la formation sur simulateur, nous pouvons maintenant aborder la question générale de notre travail. Le prochain chapitre aborde l'apprentissage, pour situer le cadre dans lequel nos réflexions se déroulent, et ensuite nous traiterons particulièrement la décision de rechercher de l'aide dans l'apprentissage.

La formation des contrôleurs aériens suit des normes internationales générales et des normes spécifiques variables établies par les organismes autorisés. Les

formations sont composées d'enseignements théoriques et d'expériences pratiques. Un environnement numérique est utilisé par certains organismes de formation pour permettre la mise en pratique sur médias de simulation avant la pratique dans des situations réelles. Ces médias comportent des exercices d'apprentissage planifiés avec divers objectifs didactiques, organisés de façon à augmenter progressivement la complexité de la tâche à réaliser/ de la situation à gérer. Pour atteindre ces objectifs et réussir les exercices les apprentis contrôleurs aériens sont renseignés pendant le *briefing* et, en gérant leur temps, doivent réaliser les tâches de difficulté variables de façon autonome, tout en étant observés par un instructeur et, parfois, par un ou plusieurs collègues. À la fin de l'exercice l'instructeur fait un bilan de la performance de l'étudiant lors du *debriefing*. Normalement, au cours de l'exercice l'instructeur n'aide pas l'étudiant. En revanche, le média de simulation présent fréquemment des outils qui peuvent être utilisés pour aider les apprenants. L'utilisation de ces outils par l'étudiant demande une conscience de ses propres capacités et limitations et une posture proactive, soit la régulation de son propre apprentissage.

2. APPRENTISSAGE

Ce deuxième chapitre théorique traite du sujet de l'apprentissage. Compte tenu de notre cas spécifique - le contrôle aérien - il sert à fournir au lecteur suffisamment de renseignements de base pour comprendre notre approche à ce sujet. Après une brève introduction, nous l'avons organisé en trois parties. La première se réfère au processus d'enseignement représenté par la méthode d'apprentissage complexe. Ensuite, dans le cadre du processus d'apprentissage, nous traiterons notamment des efforts des apprenants dans l'apprentissage auto-régulé. Enfin, nous aborderons la recherche d'aide, qui est une des activités d'auto-régulation de l'apprentissage et sur laquelle porte notre question principale.

L'apprentissage peut être défini comme un processus basé sur l'expérience qui modifie durablement les connaissances de l'apprenant (Mayer, 2008). L'évolution a permis que certaines connaissances soient apprises facilement dans l'environnement naturel ou culturel, comme apprendre à parler ou à interpréter des expressions faciales (Geary & Berch, 2015). En fonction de leur apparition au cours de l'évolution de l'espèce humaine, les connaissances peuvent être classées comme primaires ou secondaires. Les connaissances primaires sont apparues précocement chez *homo sapiens*, elles sont faciles à apprendre et impliquent peu la motivation de l'apprenant. Dans ces cas, l'acquisition de connaissances n'implique pas d'effort et est inconsciente. Les connaissances secondaires sont apparues récemment chez *homo sapiens*, comme les

mathématiques ou les langues écrites, et sont devenues importantes pour vivre en société. Elles requièrent des séquences d'enseignements pour être apprises (Sweller, 2011). Ces apprentissages contraignent les systèmes cognitifs, qui n'ont pas eu le temps d'évoluer pour acquérir ces connaissances par adaptation (Geary & Berch, 2015).

Dans cette perspective, l'apprentissage de connaissances secondaires dépend de procédures d'enseignement, d'un système éducatif et d'institutions de formation (Sweller, 2011). En d'autres termes, ce type d'apprentissage est intrinsèquement lié à l'enseignement. Ainsi, les processus d'enseignement et d'apprentissage sont inévitablement connectés. L'enseignement est planifié et organisé par un enseignant avec l'objectif de favoriser l'apprentissage chez l'apprenant. Pour que cet objectif soit atteint, la façon dont l'enseignement est conçu est très importante et doit considérer la façon dont les humains apprennent (Mayer, 2008).

Les méthodes de conception d'instructions ont varié au cours des années en fonction de la vision de l'apprentissage, de l'apprenant et de l'enseignant. Aujourd'hui, si l'apprenant est plutôt vu comme un fabricant de sens, l'enseignant comme un guide pour comprendre les tâches académiques et l'apprentissage comme la construction de connaissances, la méthode d'enseignement correspondante comprend discussions, découvertes guidées et participation à dans tâches significatives (Mayer, 2008).

Mayer (2008) présente quelques principes impliqués dans notre capacité d'apprentissage. Selon ces principes, les informations reçues par voie visuelle sont traitées par un canal différent des informations reçues par voie auditive. La quantité d'information à traiter dans chaque canal à un moment donné est limitée. L'apprentissage requiert l'attention des apprenants pour sélectionner les informations pertinentes, les organiser en construisant des connexions internes et les intégrer aux connaissances préalables. Ces processus de sélection, organisation et intégration sont soutenus par

les mémoires sensorielle, de travail et à long-terme.

L'enseignement doit aider l'apprenant à sélectionner les informations pertinentes, les organiser et intégrer. L'apprentissage par enseignement dépend de six facteurs principaux : les manipulations d'instructions, les caractéristiques de l'apprenant (comme ses connaissances préalables), le contexte d'apprentissage, les processus cognitifs internes de l'apprenant, les changements dans le système de mémoire de l'apprenant et sa performance (Mayer, 2008). Dans une salle de classe, les facteurs liés aux apprenants sont variables, ce qui rend la méthodologie de conception particulièrement difficile. En outre, l'apprentissage impose une charge cognitive à l'apprenant qui est également variable en fonction de sa capacité cognitive, de la façon dont l'enseignement est conçu et de l'interaction entre enseignant et apprenant. Ces connaissances sur les apprentissages humains et sur les facteurs impliqués dans les processus d'apprentissage permettent que les méthodes de conception des enseignements soient de plus en plus adaptées aux besoins de l'apprenant pour améliorer son apprentissage.

La formation des contrôleurs aériens concerne des connaissances secondaires et, ainsi, nécessite un apprentissage par enseignement. Les contrôleurs aériens doivent maîtriser leurs capacités et leurs compétences complexes au cours de leurs études et ne doivent jamais cesser d'apprendre tout au long de leur carrière. Alors qu'il est nécessaire de maîtriser l'activité pour bien terminer la formation, les contrôleurs aériens vont continuer à apprendre après la formation, pendant la pratique, en intégrant, au quotidien, de nouvelles situations, solutions, et expériences, augmentant ainsi leur répertoire de connaissances. Pour réussir cette tâche d'apprentissage constant, il faut avoir la capacité d'auto-réguler son apprentissage. La suite de ce chapitre présente d'abord une méthode d'enseignement et puis les concepts de l'apprentissage autorégulé avant d'arriver au point central de notre étude, c'est-à-dire la recherche d'aide.

La méthode de conception d'apprentissage complexe que nous allons aborder maintenant s'adapte bien au type de formation des contrôleurs aériens.

2.1 Apprentissage complexe

Dans cette section nous décrivons l'environnement d'apprentissage complexe - tel que les simulateurs de contrôle aérien - et ses liens avec la Théorie de la Charge Cognitive en montrant comment l'apprentissage peut être facilité par l'enseignement. Dans le domaine des apprentissages complexes, il y a deux auteurs qui, ensemble, font l'autorité, et donc c'est sur leurs ouvrages que nous nous sommes appuyés.

L'apprentissage complexe implique l'intégration de connaissances, compétences et attitudes, la coordination qualitative de différentes compétences constitutives, et souvent le transfert de ce qui est appris dans le cadre de la formation, dans la vie quotidienne et au travail. Les différentes approches théoriques concernant l'apprentissage complexe considèrent que la force motrice pour l'enseignement et l'apprentissage se concentre sur des tâches d'apprentissage basées sur des activités authentiques de la vie réelle. Ceci facilite la combinaison de toutes les choses apprises dans une base de connaissances intégrée et l'engagement de cette base en vue de la réalisation de tâches (Van Merriënboer & Kirschner, 2012 ; Kirschner & Van Merriënboer, 2008).

Dans le domaine de l'éducation, la compartimentation, la fragmentation et le paradoxe du transfert (caractérisé par les situations où les méthodes les plus efficaces pour atteindre les objectifs spécifiques isolés ne sont pas les meilleures pour atteindre les objectifs intégrés et augmenter le transfert d'apprentissage) constituent trois problèmes persistants que l'approche holistique de l'apprentissage complexe de Van Merriënboer et Kirschner (2012) entend résoudre. Le modèle holistique intègre les domaines d'apprentissage cognitif, affectif et psychomoteur et les apprentissages

déclaratifs, procéduraux et affectifs, ce qui augmente les chances de transfert. Le modèle intègre également les objectifs d'apprentissage ou de performance et atteint la réalisation coordonnée de ces objectifs. L'approche de conception holistique prend en compte le paradoxe du transfert et est dirigée vers des objectifs plus généraux qui vont au-delà d'une liste limitée d'objectifs très spécifiques. Dans le cadre de ce travail, en ce qui concerne à l'apprentissage complexe, nous nous sommes laissés guider par l'approche des *Ten Steps to Complex Learning*[1] de Van Merriënboer et Kirschner (2012), qui explique des méthodes pédagogiques pour faire face à la complexité sans négliger l'ensemble.

Selon le modèle des *Ten Steps*, qui est une approche prescriptive d'ingénierie pédagogique, les environnements d'apprentissage complexe peuvent être décrits par quatre composantes interdépendantes, nommées : tâches d'apprentissage, informations de soutien, informations procédurales et pratique de tâche partielle[2]. En addition, il y a dix étapes de conception pédagogique[3]. Quatre de ces étapes correspondent aux quatre composantes et les autres six étapes sont développées quand il le faut (Van Merriënboer & Kirschner, 2012). Toutes les étapes et correspondances peuvent être vues sur le tableau 2.1.

Les tâches d'apprentissage sont basées sur la vie réelle et induisent les connaissances à partir d'expériences concrètes. Elles sont organisées de façon à augmenter la difficulté peu à peu, en séquence, des plus faciles aux plus difficiles. Les tâches qui ont la même difficulté particulière composent une classe ou catégorie. Un détail important pour atteindre le transfert de connaissances est la disposition de différentes

1. À partir de ce moment dénommée *Ten Steps*

2. En anglais : *learning tasks, supportive information, procedural information and part-task practice.*

3. Comme notre étude ne traite pas d'une conception pédagogique, nous nous arrêtons aux quatre composantes qui décrivent les environnements d'apprentissage complexe.

Tab. 2.1: Les quatre composantes et les dix étapes - adapté de Van Merriënboer & Kirschner, 2012

COMPOSANTES	ÉTAPES
Tâches d'apprentissage	Conception de tâches d'apprentissage
	Développer instruments d'évaluation
	Classer les tâches d'apprentissage
Informations de soutien	Conceptions des informations de soutien
	Analyse de stratégies cognitives
	Analyse de modèles mentaux
Informations procédurales	Conception d'informations procédurales
	Analyse de règles cognitives
	Analyse de connaissances préalables
Pratique de tâches partielles	Conception de pratiques de tâches partielles

tâches en séquence dans les catégories. Dans une formation, chaque classe de tâches commence avec un haut niveau de support et ce niveau diminue lors de la réalisation de tâches jusqu'à ne plus exister dans la tâche finale (Kirschner & Van Merriënboer, 2008).

Les composantes d'information, c'est-à-dire les informations de soutien et les informations procédurales, sont liées à la classification des compétences. Les compétences peuvent être récurrentes ou non récurrentes. Les compétences non récurrentes sont celles qui sont appliquées dans la résolution de problèmes et le raisonnement ; les récurrentes sont appliquées aux aspects de routine, qui, plus tard, deviennent automatiques. Les informations de soutien sont importantes pour les compétences non récurrentes et sont typiquement présentées avant le début d'une classe de tâches, en restant disponibles pendant toutes les tâches de cette classe. Les informations procédurales sont importantes pour les compétences récurrentes et spécifient comment mettre en œuvre les aspects routiniers de la tâche d'apprentissage ; il est préférable de les présenter exactement quand les étudiants en ont besoin pour effectuer une

tâche (Kirschner & Van Merriënboer, 2008).

Même en considérant l'aspect holistique de cette approche, certaines situations demandent parfois l'inclusion de pratiques de tâches partielles. Selon Kirschner et Van Merriënboer (2008), ces pratiques doivent être utilisées quand un haut niveau d'automatisation est exigé et qu'il faut des répétitions suffisantes pour qu'il soit atteint. La pratique partielle pour un aspect récurrent spécifique d'une tâche doit commencer juste après que la tâche d'apprentissage complète ait été introduite.

Comme nous l'avons vu, la formation des contrôleurs aériens peut varier selon plusieurs aspects. Bien qu'il ne soit pas possible de dire que tous les cours de formation de contrôleurs aériens du monde correspondent à ce modèle, il peut être dit que cette correspondance est applicable. Les tâches d'apprentissage réalisées sur simulateur de contrôle aérien sont, bien sûr, basées sur la vie réelle et peuvent être considérées comme des expériences concrètes. Comme prévu dans le Doc9806 (ICAO, 2002), la formation des ATCO est progressive, elle part de principes basiques pour aller aux plus complexes. Les *briefings* et *debriefings* sont des étapes propices à la provision d'informations de soutien et d'informations procédurales, et les tâches partielles sont aussi pratiquées, comme on peut le voir dans l'exemple d'exercice de contrôle aérien présenté page 42. Dans l'exemple mentionné, l'apprenant s'occupe de guider les avions de leur points d'entrée au point de sortie (situation qui demande des répétitions), sans se préoccuper, par exemple, de si les secteurs adjacents peuvent recevoir ces avions.

Ce modèle pédagogique des *Ten Steps* veille à ce que les étudiants ne soient pas surchargés par les difficultés d'une tâche ; il est fondé sur la Théorie de la Charge Cognitive de John Sweller pour faire face à la capacité limitée de la cognition humaine (Van Merriënboer & Kirschner, 2012). La Théorie de la Charge Cognitive est cohérente avec les modèles d'architecture classiques du système cognitif, composés

d'une mémoire de travail et d'une mémoire à long terme (Tricot, 1998). La mémoire de travail, quand elle traite des informations nouvelles, est limitée et conserve juste quelques éléments, qui, s'ils ne sont pas rapidement rafraîchis par répétition sont perdus en quelques secondes. La mémoire à long terme stocke des schémas cognitifs (des connaissances) organisés qui varient en complexité et automatisation. C'est elle qui fonde l'expertise humaine (Van Merrienboer & Sweller, 2005).

L'expertise est acquise à partir de la combinaison attentive d'idées simples pour développer des schémas complexes. Même les schémas les plus complexes peuvent être traités de la même manière qu'un seul élément de la mémoire de travail, de sorte que les schémas réduisent sa charge. La mise en œuvre répétée de schémas permet qu'ils deviennent automatisés. Cette automatisation décharge la mémoire de travail parce que le schéma automatisé n'a pas besoin d'être traité. En d'autres termes, la mémoire à long terme modifie la mémoire de travail (Van Merrienboer & Sweller, 2005). Dans cette vision de la cognition humaine, c'est une grande base de connaissances spécifiques qui forme la compétence (Tricot & Sweller, 2016).

La Théorie de la Charge Cognitive se concentre sur la facilité de traitement des informations par la mémoire de travail dans l'apprentissage et distingue trois types de charge cognitive : intrinsèque, extrinsèque et *germane*. La charge cognitive intrinsèque est naturelle et est déterminée par l'interaction de ce qui est appris et l'expertise de l'apprenant ; elle dépendra du nombre d'éléments qui seront traités en même temps par la mémoire de travail, ce qui varie selon les schémas de la personne qui est en cours d'apprentissage. La charge cognitive extrinsèque est celle qui n'est pas nécessaire et provient généralement d'un enseignement mal conçu ; l'enseignement doit viser la réduction de ce type de charge en fournissant le soutien et les informations nécessaires, aux moments appropriés. La charge cognitive *germane* se réfère aux processus qui contribuent directement à l'apprentissage, notamment par

la construction et l'automatisation de schémas (Van Merrienboer & Sweller, 2005). Ces trois types de charge cognitive sont additifs dans l'apprentissage, de sorte que la charge totale ne peut pas dépasser les ressources disponibles de la mémoire de travail. Le potentiel d'apprentissage sera d'autant plus grand que la charge cognitive *germane* dispose de ressources (Van Merriënboer & Kirschner, 2012).

Il existe donc un lien fort entre les quatre composantes des *Ten Steps to Complex Learning* et la Théorie de la Charge Cognitive. La conception de l'organisation des tâches de façon à augmenter la difficulté peu à peu est un moyen de gérer la charge cognitive, parce que dans les premières tâches il y aura moins d'éléments à être traités en même temps dans la mémoire de travail. La provision d'une grande quantité de soutien et d'orientation dans les premières tâches d'une classe est une autre façon de gérer la charge cognitive, puisque cela aide dans la coordination des différents aspects de la performance des apprenants. La présentation des informations de soutien avant le début de la réalisation de la tâche, et non simultanément, est aussi une manière d'éviter une surcharge, parce qu'un schéma cognitif peut être élaboré en mémoire à long terme et activé en mémoire de travail pendant la réalisation de la tâche. Les informations procédurales, qui ne présentent pas plusieurs éléments en interaction mais une succession d'actions, sont plus pertinentes quand elles apparaissent au moment où les apprenants en ont besoin. De plus, la pratique de tâches partielles permet l'automatisation d'aspects récurrents, ce qui diminue la charge cognitive (Van Merriënboer & Kirschner, 2012). Enfin, la variabilité des tâches, disposées en séquence, favorise l'apprentissage en augmentant la charge cognitive *germane*.

Bien que la formation des contrôleurs aériens, en quelque sorte, respecte les principes des *Ten Steps* ainsi que de la Théorie de la Charge Cognitive [4], ce qui montre une préoccupation avec la facilitation de l'apprentissage, un autre cadre théorique

4. Comme nous l'avons explicité dans la page 52.

distinct, celui de l'apprentissage auto-régulé, guide des recherches dans la tentative de trouver des stratégies pour mieux apprendre. Les recherches ont eu tendance à utiliser ces théories de forme distincte (Moos, 2013), mais il est notable que, au cours des dernières années, plusieurs recherches (Kostons, Van Gog, & Paas, 2012 ; Moos, 2013 ; Van Merrienboer & Sweller, 2005 ; Winne & Nesbit, 2010 ; Amadieu, Van Gog, Paas, Tricot, & Mariné, 2009 ; Van Gog, Kester, & Paas, 2011 ; de Bruin & Van Merriënboer, 2017) commencent à trouver des relations entre elles, en vue de l'amélioration de l'apprentissage, même si ces relations peuvent être discutables (Sweller & Paas, 2017). L'apprentissage auto-régulé est essentiel pour le développement professionnel et pour l'apprentissage continu (Sagasser, Kramer, van Weel, & van der Vleuten, 2014), ce qui importe véritablement au domaine du contrôle aérien, et sera abordé dans la prochaine section de ce chapitre.

2.2 Apprentissage auto-régulé

Cette section est consacrée à la compréhension du concept d'apprentissage auto-régulé, dans lequel sont inclues diverses stratégies, y compris la recherche d'aide, qui sera abordée à la suite.

D'après Zimmerman et Schunk (2011), l'apprentissage auto-régulé se rapporte aux processus selon lesquels les étudiants ou élèves, eux mêmes, activent et soutiennent les cognitions, comportements et affects qui sont systématiquement orientés pour que les objectifs personnels soient réalisés. De cette façon, l'auto-régulation de l'apprentissage implique une posture proactive non seulement pour s'engager dans un cycle d'autorégulation, mais aussi pour tracer des objectifs personnels. C'est-à-dire que la motivation a un rôle très important dans l'apprentissage auto-régulé. Bien que le nom pourrait suggérer une méthode d'apprentissage individuel, l'autorégulation

requiert la mise en œuvre de stratégies qui incluent des formes sociales d'apprentissage, l'une d'entre elles, la recherche d'aide, constituant la thématique centrale de notre travail.

L'auto-régulation se réfère aux pensées, sentiments et comportements autogénérés par l'apprenant. Elle est liée à la conscience des propres forces et limitations de ce dernier. En observant son comportement en vue de ses objectifs et en réfléchissant sur son efficacité croissante, l'apprenant améliore sa satisfaction et sa motivation, ce qui lui permet de continuer à perfectionner ses méthodes d'apprentissage. Les recherches du domaine de l'apprentissage auto-régulé considèrent que, pour atteindre le degré d'auto-discipline que cette activité requiert, il faut une auto-conscience, une auto-motivation et une compétence comportementale pour mettre en œuvre les processus nécessaires de façon appropriée. L'auto-motivation dépend des croyances sous-jacentes, y compris de la perception d'efficacité et de l'intérêt. Les processus impliqués dans l'apprentissage auto-régulé qui doivent être sélectionnés activement incluent : (a) l'établissement d'objectifs spécifiques, (b) le choix des stratégies pour atteindre les objectifs, (c) l'observation de sa propre performance, (d) la restructuration de l'environnement en vue des objectifs, (e) la gestion du temps, (f) l'auto-évaluation des méthodes utilisées, (g) l'attribution de causalité aux résultats, et (h) l'adaptation d'autres méthodes. De façon simplifiée, tous ces processus peuvent être réduits à trois : auto-observation, auto-jugement et auto-réaction. La conjonction des éléments d'auto-motivation avec ces processus gère les phases et les sous-processus de l'auto-régulation, qui peuvent être structurés en trois étapes : avant, durant et après la réalisation d'une tâche (Zimmerman, 2002, 1989).

Dans les années 1980, à partir d'entretiens avec des élèves, quatorze stratégies pour l'auto-régulation de l'apprentissage ont été mises en évidence : (1) auto-évaluation, (2) organisation, (3) fixation d'objectifs, (4) recherche d'information, (5)

conservation de registres, (6) organisation de l'environnement, (7) réflexion sur les conséquences du succès ou échec, (8) répétition et mémorisation, (9) recherche d'aide auprès de pairs, (10) recherche d'aide auprès du professeur, (11) recherche d'aide auprès d'adultes, (12) examen de registres propres, (13) examen de textes, et (14) examen de livres (Zimmerman, 1989). Selon Zimmerman (2002), chacune des stratégies, tout comme les croyances, peut être apprise, et la mise en œuvre de l'autorégulation peut devenir une façon de compenser les différences individuelles d'apprentissage.

Une caractéristique de l'apprentissage auto-régulé qui est présente quel que soit l'approche ou le modèle utilisé est la fréquente demande d'effort (Winne, 2011). Si, d'un côté, une façon de faciliter les processus cognitifs associés à l'apprentissage est de savoir comment ses propres pensées, cognitions et connaissances fonctionnent, ce qui permet la participation active à l'apprentissage à partir de la perception du progrès et de la mise en œuvre de stratégies (Ben-Eliyahu & Linnenbrink-Garcia, 2015), d'un autre côté, les actions requises par l'auto-régulation de l'apprentissage peuvent imposer aussi une charge cognitive, qui parfois ne peut pas être soutenue par la mémoire de travail (Van Gog et al., 2011).

Comme nous l'avons vu, l'apprentissage de tâches complexes implique une charge cognitive intrinsèque élevée en mémoire de travail, notamment pour les novices, qui auront une difficulté majeure dans l'intégration de nouveaux éléments au sein de schémas complexes conservés en mémoire à long terme. Dans ce cadre, la tâche à apprendre est «principale» tandis que l'observation de sa propre performance durant sa réalisation, essentielle à l'auto-régulation, peut être vue comme une tâche secondaire. Si la tâche principale exige beaucoup d'efforts en mémoire de travail, peu de ressources seront disponibles pour traiter les exigences de la tâche secondaire (Van Gog et al., 2011).

La technologie informatique a permis le développement d'une large gamme

d'applications ciblées dans le domaine de la formation académique (Huet, Escribe, Dupeyrat, & Sakdavong, 2011). L'introduction de technologies dans l'apprentissage a ouvert des nouveaux champs de recherche. Des études ont commencé à être menées dans les domaines appelés *Interactive Learning Environment, Computer Assisted Learning, Technology Based Learning, Intelligent Tutoring Systems, Massive Open Online Courses, Educational Hypermedia Systems*, entre autres, correspondant à une variété de types d'interaction. Ces technologies d'information et communication offrent plusieurs options de stratégies pour l'auto-régulation et essaient d'aider les étudiants à apprendre à s'auto-réguler. Par exemple, l'outil d'apprentissage conçu par Huet et al. (2011), disposait non seulement d'un bouton d'aide à la réalisation de chaque exercice, mais il fournissait un *feedback* au niveau cognitif après la réalisation de chaque exercice. Le *feedback* cognitif permet la mise à jour de la stratégie d'auto-évaluation de l'étudiant et, possiblement, la mise en pratique d'autres stratégies. Avec l'objectif d'aider les étudiants dans l'acquisition de compétences d'auto-régulation, Roll et al. (2011) ont mené une étude pour examiner si le *feedback* métacognitif immédiat serait efficace. Dans ce cas, le *feedback* est déclenché à partir du comportement d'apprentissage des étudiants plutôt que selon la précision de leurs réponses et le système qui soutient l'apprentissage doit être capable de détecter les erreurs métacognitives en temps réel.

Bien qu'il puisse être considéré comme numérique, l'environnement de formation des contrôleurs aériens est normalement développé pour être le plus similaire possible à l'environnement réel. Les outils qui peuvent être utilisés par les étudiants sont à peu près ceux qui sont disponibles dans la pratique réelle de l'activité. Même si ces environnements ne sont pas programmés spécifiquement pour faciliter l'auto-régulation de l'apprentissage, les outils d'aide existent et deviennent plus importants quand nous considérons que, dans la pratique réelle, même les experts parfois font

des erreurs qui pourraient avoir été évités si l'aide avait été demandée. La recherche d'aide dans l'apprentissage, noyau de cette étude, sera l'objet de la prochaine section.

2.3 Recherche d'aide dans l'apprentissage

Dans cette section nous traiterons effectivement du problème général de ce travail. Ainsi, après une introduction, cette section est divisée en trois : nous commençons en abordant le comportement de recherche d'aide, puis nous exposons les facteurs qui affectent la recherche d'aide, ensuite nous mettons en évidence particulièrement les facteurs motivationnels individuels.

Savoir quand et comment rechercher de l'aide est une activité d'auto-régulation. La recherche d'aide dans l'apprentissage a été abordée sous différentes perspectives au cours des années. Selon Nelson Le-Gall (1985), avant les années 1980, les approches les plus influentes étaient centrées sur les caractéristiques personnelles et socioculturelles, en laissant de côté les facteurs liés au développement et à la situation. En outre, ces approches soutenaient que la recherche d'aide pourrait être vue comme synonyme de dépendance et d'immaturité, ce qui accentuait ses coûts et était incompatible avec les idées de confiance en soi, de réussite et de compétence, en apportant une connotation négative à ce comportement. Selon ces approches, si d'un coté il est attendu que les étudiants soient subordonnés aux professeurs dans la classe et leur demandent de l'aide, d'un autre coté il est attendu que les étudiants manifestent de façon croissante des compétences individuelles dans la performance académique comme preuve qu'ils apprennent ce que les professeurs essayent de leur enseigner (Nelson Le-Gall, 1985).

Nelson Le-Gall (1981, 1985) a proposé que la recherche d'aide dans l'apprentissage soit vue comme une alternative pour faire face à des difficultés. Cette conception

peut être considérée comme liée à la réussite et met l'accent sur le coût de la non recherche d'aide et, surtout, du traitement de la recherche d'aide dans le cadre d'un processus continu. La conception de la recherche d'aide de Nelson Le-Gall est fondée sur l'analyse des activités réalisées dans des situations quotidiennes d'apprentissage et de résolution de problèmes ; elle est soutenue par des théories de développement cognitif et de l'apprentissage, pour lesquelles l'utilisation d'autrui pour acquérir et maîtriser des capacités a un rôle central. L'aide peut être vue comme un moyen d'améliorer les compétences de l'étudiant. Selon cette conception, il est considéré que, pour initier la recherche d'aide, une personne doit d'abord apprendre à associer l'aide avec la réalisation de ses objectifs et doit apprendre plusieurs façons de conduire autrui à l'aider à atteindre ces objectifs. Ainsi, l'activité de recherche d'aide constitue un comportement sophistiqué, fondé sur l'initiative.

C'est dans la décennie 1980, quand ces idées ont été établies, que les stratégies pour l'auto-régulation de l'apprentissage ont été définies. À cette époque, une distinction a été faite entre la recherche d'aide et la recherche d'information : la première se référait à des sources humaines et la deuxième à des sources non humaines. Néanmoins, avec le développement des technologies liées à l'apprentissage et l'émergence de nouvelles formes d'interaction, la distinction présentée semblait inappropriée, ce qui a stimulé la redéfinition proposée par Puustinen et Rouet (2009), selon laquelle la recherche d'information pourrait être considérée comme un type particulier de recherche d'aide. La recherche d'aide, selon cette approche, serait plus compréhensible en considérant le soutien humain traditionnel et aussi quelques situations modérées par un système d'information capable d'adapter ses réponses aux besoins de l'apprenant. L'ampleur avec laquelle l'aide offerte s'adapte aux besoins de l'apprenant, ou au contexte d'une façon plus générale, tout comme la quantité et le contenu de l'aide, varient selon le type de d'environnement numérique (Aleven et al., 2003).

La littérature dans ce domaine a mis à jour un paradoxe qui peut se formuler ainsi : bien que la recherche d'aide améliore les résultats et l'apprentissage, souvent les apprenants ne cherchent pas d'aide (Aleven et al., 2003 ; Newman, 2000). Selon Tricot et Boubée (2013), en considérant la différence classique entre recherche d'information et recherche d'aide (source humaine ou non humaine), en termes cognitifs, interagir avec d'autres humains peut être plus facile qu'interagir avec des machines. L'argument est le suivant : la première est fondée sur des connaissances primaires, peu couteuses à mobiliser, tandis que la seconde requiert des connaissances spécifiques sur les outils qui permettront d'accéder à l'aide. Néanmoins, l'interaction avec les humains, bien plus naturelle, implique des coûts sociaux, personnels, de motivation, émotionnels, cognitifs et métacognitifs, qui peuvent être trop élevés. À partir de la revue de la littérature d'études réalisées avec des adolescents dans des activités routinières quand ils cherchent de l'aide via un système d'information et quand ils cherchent de l'information sans rechercher de l'aide, les auteurs ont trouvé que les adolescents préfèrent chercher l'information plutôt que l'aide et qu'ils tendent, de nos jours, à utiliser facilement Google, ce qui représente une nouveauté dans le domaine de la recherche d'information. La question posée est : pourquoi cette évolution n'est pas observée dans le domaine de la recherche d'aide, même en considérant la nouvelle définition cité au paragraphe précédent ?

2.3.1 Comportement de recherche d'aide

Le comportement de recherche d'aide n'est pas toujours pertinent. Nelson Le-Gall (1981) a fait la distinction entre deux types de comportement de recherche d'aide : l'exécutif et l'instrumental. La recherche d'aide exécutive se réfère à des situations dans lesquelles l'intention de l'étudiant est qu'une personne lui montre

comment résoudre le problème ou même réalise la tâche à son place. La recherche d'aide instrumentale est celle où l'aide requise est limitée aux connaissances ou indications qui lui permettront de résoudre le problème par lui-même. Les étudiants compétents en recherche d'aide sont capables de refuser l'aide s'ils peuvent gérer la tâche eux-mêmes, et peuvent obtenir l'aide quand elle est nécessaire. Le comportement de recherche d'aide instrumental est aussi appelé «autonome», «adaptatif» ou «stratégique», et l'exécutif est également désigné par le terme «excessif» (Karabenick, 2006).

Selon, Nelson Le-Gall (1981), le processus de recherche d'aide instrumentale, qui améliore l'apprentissage, peut être caractérisé par un modèle composé de cinq activités cognitives et comportementales, dans lesquelles les demandeurs d'aide peuvent penser à s'engager comme suit : 1) prise de conscience du besoin d'aide ; 2) décision de demander de l'aide ; 3) identification de l'aideur potentiel ; 4) emploi de stratégies pour susciter l'aide ; 5) réactions à la tentative de recherche d'aide. Bien que ce modèle ait été proposé dans un contexte d'apprentissage social traditionnel, ces cinq activités sont aussi applicables aux environnements numériques, bien que quelques caractéristiques soient différentes (Aleven et al., 2003).

Il est donc clair que, pour rechercher de l'aide dans un environnement traditionnel, il faut avoir la capacité d'évaluer son propre besoin d'aide, ce qui est une compétence influencée par la maturation et l'expérience (Nelson Le-Gall, 1981). Les environnements numériques qui donnent des *feedback* peuvent réduire ce besoin d'auto-observation et d'auto-évaluation. La décision de rechercher de l'aide dépend de la conscience de ce besoin et est associée à certains coûts, qui seront considérés ensuite dans les prochaines pages de ce document puisque il s'agit de la thématique centrale de notre travail. Néanmoins, dans les environnements numériques, certains obstacles peuvent ne pas être pris en compte, comme la crainte d'être vu comme

un incompétent (Aleven et al., 2003). Plusieurs facteurs, dont les caractéristiques personnelles de l'aideur potentiel et du demandeur, ainsi que les caractéristiques du contexte de l'aide, peuvent influer sur toutes les phases de ce processus (Karabenick, 2011) et peuvent, seuls ou combinés, déterminer qui sont les individus ou quels sont les outils qui seront sélectionnés pour donner de l'aide. Les stratégies utilisées sont importantes pour le succès ou l'échec. Si les efforts pour obtenir de l'aide d'une source informatique ou d'une autre personne ne sont pas récompensés, il faut réagir, soit en continuant à essayer d'obtenir de l'aide de l'assistant choisi initialement en changeant la stratégie, soit en abandonnant l'aideur initial et en identifiant d'autres à solliciter.

En soulignant la nécessité de faire converger les paradigmes, Karabenick (2011) observe que les études dans le domaine de la recherche d'aide dans les contextes numériques tendent à privilégier les aspects cognitifs et métacognitifs de cette activité, mais, en revanche, les recherches qui considèrent les environnements classiques d'apprentissage ont été dominées par les aspects sociaux et motivationnels. L'environnement spécifique que nous nous proposons d'étudier - le cas de la formation des contrôleurs aériens - présente des particularités et peut être considéré comme mixte. La formation pratique des contrôleurs aériens en simulateurs ou équipements de simulation permet à l'apprenant d'utiliser les outils d'aide du système numérique ou de demander de l'aide à un instructeur. En outre, quand un étudiant est en train de pratiquer, il est observé par des pairs, ce qui ne favorise pas nécessairement la demande d'aide qui peut, alors, être vue comme un coût.

Avant d'atteindre l'objectif final de cette thèse qui comprend l'étude de l'environnement de formation des contrôleurs aériens, nous abordons la problématique de la décision de rechercher de l'aide d'une façon générale. Le premier but de ce travail est d'identifier si la décision de rechercher de l'aide est rationnelle. Ainsi, pour pouvoir ultérieurement appliquer le modèle rationnel de prise de décision à la décision

spécifique de rechercher de l'aide, nous allons maintenant recenser les études récentes dans le domaine de la recherche d'aide qui ont utilisé plusieurs approches, soit dans environnements traditionnels, soit dans environnements numériques, et qui ont tenté d'identifier les facteurs qui affectent la recherche d'aide. Alors qu'il existe plusieurs études dans la littérature récente qui traitent d'autres aspects de la recherche d'aide, comme le lien entre recherche d'aide et réussite académique, nous les avons laissés de côté en vue de nous concentrer sur l'objectif de ce travail. Les résultats que nous avons choisis de présenter sont plutôt ceux qui apportent une contribution à la compréhension de la décision de rechercher de l'aide et vont nous aider à concevoir notre contribution empirique.

2.3.2 Facteurs qui affectent la recherche d'aide

La volonté de comprendre pourquoi les élèves ou étudiants demandent ou ne demandent pas de l'aide a suscité des études récentes qui ont considéré la conscience du besoin d'aide (e.g. Roll et al., 2011 ; Babin, Tricot, & Mariné, 2009), les facteurs liés à l'environnement (e.g. Mäkitalo-Siegl, Kohnle, & Fischer, 2011 ; Stahl & Bromme, 2009 ; Kitsantas & Chow, 2007), les facteurs liés à l'aideur (e.g. Makara & Karabenick, 2013 ; Kitsantas & Chow, 2007 ; Babin et al., 2009 ; Luckin, 2013 ; Ryan, Patrick, & Shim, 2005) et les facteurs individuels, notamment, des apprenants. Dans le cadre de cette thèse, comme notre objectif final est de comprendre la recherche d'aide dans l'environnement d'apprentissage des contrôleurs aériens, c'est-à-dire un environnement défini qui comporte des outils d'aide eux-mêmes déjà conçus et réalisés, nous sommes plutôt intéressés par certains aspects liés aux personnes qui prennent la décision de rechercher de l'aide. Pour cette raison, ces aspects seront discutés séparément dans la prochaine sous-section.

Les études sur les effets de l'environnement ont été réalisées pour identifier si le comportement de recherche d'aide est différent dans des environnements distincts. La relation de l'étudiant avec le professeur a aussi fait l'objet de recherches, tout comme les scénarios pédagogiques et la quantité de sources disponibles. L'environnement d'apprentissage des contrôleurs aériens, spécifiquement l'environnement dédié aux apprentissages par la pratique, est un environnement numérique, qui comporte des applications de simulation de contrôle d'avions avec divers niveaux de difficulté. Ces applications peuvent offrir des outils d'aide qui normalement ajoutent des informations et permettent aux élèves de réaliser la tâche avec plus de précision. Les instructions peuvent être réalisées en présence de l'instructeur, qui normalement n'interfère pas pendant l'exécution de la tâche, et d'un pair. Un même élève aura à faire à plusieurs instructeurs au cours de sa formation, chacun des instructeurs ayant sans doute une «façon de faire» et de donner l'aide qui ne sont pas l'objet de contrôles.

Aucune étude sur la recherche d'aide n'a été réalisée dans un environnement d'apprentissage des contrôleurs aériens. Néanmoins, l'étude de Mäkitalo-Siegl et al. (2011) a examiné l'influence du scénario pédagogique lors de l'apprentissage collectif assisté par ordinateur dans la recherche d'aide d'élèves de 16 à 19 ans. Dans le scénario pédagogique bien structuré, un modèle d'apprentissage par enquête a été introduit pour les élèves, et les activités de petits-groupes d'élèves ont été interrompues par les activités plénières dirigées par le professeur. Dans le scénario pédagogique peu structuré, le cycle d'enquêtes n'a pas été introduit par l'enseignant. Les élèves ont travaillé en binômes après avoir été informés de la structure de l'environnement d'apprentissage. Bien que dans les deux conditions la source d'aide préférée ait été le pair, le scénario de classe peu structuré a conduit à une fréquence plus élevée de demande d'aide et plus fréquemment l'aide a été demandée au système, par rapport aux élèves de l'autre scénario. En considérant les caractéristiques de l'environnement

de formation de contrôleurs aériens déjà présentées, à partir de ce résultat il serait possible d'inférer que l'environnement d'apprentissage des contrôleurs aérien favorise la recherche d'aide.

D'après Nelson Le-Gall (1981), le rôle, le sexe, l'âge, l'envie d'aider, la sensibilité et l'expertise étaient les caractéristiques de l'aideur potentiel qui pouvaient interférer avec la recherche d'aide. Toutefois, les études récentes qui considèrent également les systèmes d'information se sont intéressées plutôt à la disponibilité ou accessibilité de l'aideur et au type d'aide fourni. Les aspects liés à la conception du système, comme le contenu de l'aide, exercent une influence sur la recherche d'aide. Néanmoins, peu d'études ont examiné quel type d'aide fonctionne mieux dans quelles circonstances et pour quels apprenants (Aleven et al., 2003). Les études de Kitsantas et Chow (2007) et Makara et Karabenick (2013) ont regardé les préférences de source d'aide d'étudiants universitaires, mais les résultats trouvés dans ces deux études divergent en ce qui concerne le rôle (formel ou informel), la relation avec l'aideur (personnel ou impersonnel) et le canal (médiatisé ou physiquement présent).

Bien que la décision de rechercher de l'aide doit considérer la source d'aide et son contenu, nous ne discuterons pas les résultats des études sur les caractéristiques de l'aideur, étant donné que ces recherches sont plutôt focalisées sur l'amélioration de la performance. Même si elles concernent la préférence des apprenants et qu'il soit possible de supposer que les coûts impliqués dans la décision de rechercher ou non de l'aide varient en fonction du type de source d'aide disponible, notre but final est de comprendre les coûts de cette décision dans l'environnement de formation pratique des contrôleurs aériens, en n'ayant pas l'objectif de remettre en question les outils disponibles dans ce système. En tout cas, la disponibilité/ accessibilité de la source et sa capacité à fournir l'aide requise seront prises en compte dans l'analyse de probabilité et d'utilité lors d'une décision rationnelle.

La prochaine section est dédiée aux études qui ont traité des aspects individuels qui touchent la recherche d'aide. Ces études, d'une façon générale, nous dirigent vers les questions motivationnelles en jeu lors du processus de recherche d'aide et nous aident à supposer quels peuvent être les coûts impliqués dans la décision de rechercher de l'aide.

2.3.3 Facteurs individuels et motivation

Comme déjà annoncé, nous avons choisi de présenter dans cette rubrique les études qui ont mis en évidence les aspects individuels e leur lien avec la recherche d'aide. Des recherches récentes ont exploré le lien entre certaines différences individuelles et l'intention ou le comportement de recherche d'aide dans plusieurs contextes et avec des apprenants de différents âges. Parmi les caractéristiques étudiées, on retrouve les aspects motivationnels, sociaux et académiques, comme les buts d'apprentissage, l'objectif de démonstration sociale, la compétence auto-estimée, la performance académique préalable, les perceptions, les affects liés à l'apprentissage, mais aussi l'âge et le sexe. Notre intention en effectuant cette recension était de pouvoir ouvrir une gamme de coûts supposés et imaginer lesquels sont considérés lors de la décision de rechercher de l'aide. L'analyse de ces aspects nous a permis d'identifier certains des coûts possibles, intéressants à tester dans nos expériences.

Buts d'apprentissage

Ryan et al. (2005) ont examiné, entre autres questions, si les élèves de cinquième année avec différentes tendances de recherche d'aide différaient dans leur orientation de but d'apprentissage en salle de classe. Le but de maîtrise porte sur l'acquisition de connaissances, la compréhension et les compétences ; l'apprentissage

est considéré comme une fin en soi. Le but de performance concerne le désir d'être évalué positivement par d'autres et l'orientation vers le but de performance peut être de deux types : performance-approche, qui se concentre sur la démonstration de sa propre capacité, et performance-évitement, dont l'objectif est d'éviter d'être vu comme incompétent. L'étude a corroboré des résultats obtenus dans des expériences antérieures en montrant que les élèves ayant une tendance à éviter de rechercher de l'aide étaient moins susceptibles d'être orientés vers le but de maîtrise et plus susceptibles d'être orientés vers des objectifs de performance-évitement que les élèves ayant des tendances de recherche d'aide appropriées.

La liaison entre recherche d'aide et buts d'apprentissage a aussi été explorée par Huet et al. (2011), qui ont examiné le rôle des buts d'apprentissage et de la perception sur la recherche d'aide dans l'utilisation réelle de l'aide dans un ILE (*Interactive Learning Environments*). Pour cela, des étudiants en psychologie ont répondu à un questionnaire où il était possible de les classer en fonction de leurs buts d'apprentissage (de maîtrise ou de performance) et d'identifier leur perception de la recherche d'aide. Pendant qu'ils réalisaient les tâches, il leur était possible de demander de l'aide et, après l'achèvement de chaque tâche, les étudiants recevaient un *feedback* concernant leur performance, alors qu'il était encore possible de rechercher de l'aide. Dans ce cas, l'aide pourrait être du type instrumental ou exécutif. Les étudiants ayant des buts de performance élevés ont moins utilisé l'aide avant *feedback* et ont moins utilisé l'aide instrumentale après *feedback*.

L'exploration de l'utilisation de l'aide selon l'orientation de maîtrise ou performance dans un environnement informatique a été faite également par Luckin (2013). Un logiciel, ECOLAB, a été développé pour les élèves âgés de 8 à 11 ans. L'ECOLAB est un environnement de laboratoire écologique simulé, qui marche comme un pair plus capable. L'étude avait pour objectif de comprendre comment l'utilisation des aides

de haut niveau (plus spécifiques, avec moins effort requis de l'étudiant) variait en tenant compte des buts d'apprentissage. Il a été vérifié que les élèves orientés vers la performance ont tendu à sélectionner les aides de plus haut niveau plus fréquemment. Ces élèves changeaient plus fréquemment de problème quand l'aide ne les aidait pas immédiatement.

Objectif de démonstration sociale

Ryan et Shin (2011) se sont focalisés sur les aspects sociaux de la motivation avec les élèves de sixième année. Dans leurs études précédentes, les auteurs avaient trouvé que le comportement de nombreux étudiants avec leurs pairs est motivé par des objectifs de démonstration sociale. Plus l'objectif de démonstration sociale d'un apprenant est important, plus ce dernier est préoccupé par son apparence et par les jugements d'autrui. De la même façon que dans le cas du but d'apprentissage de performance, l'objectif de démonstration sociale peut être séparé en deux : démonstration-approche, qui se concentre sur le gain de jugements positifs, et démonstration-évitement, dont le succès est l'évitement de jugements négatifs. Le résultat de Ryan et Shin (2011) a montré que l'objectif de démonstration sociale est un facteur prédictif négatif de la recherche d'aide adaptative.

Compétence auto-estimée

L'étude de Bartholomé, Stahl, Pieschl, et Bromme (2006) réalisée dans un ILE destiné à l'identification de plantes en botanique a considéré plusieurs aspects des individus par rapport au comportement de recherche d'aide dans un contexte réel de formation. Les étudiants en biologie et en pharmacie, de 19 à 30 ans, apprenaient entre pairs et l'interaction entre les étudiants qui avaient des caractéristiques

identiques ou différentes a été analysé. Trois types de paires ont été constitués : avec deux participants ayant de faibles compétences auto-estimées (paires «faibles»), avec un participant ayant une compétence auto-estimée haute et l'autre faible (paires «mixtes») et avec deux participants ayant des compétences auto-estimées hautes (paires «fortes»). Les analyses ont montré que la compétence auto-estimé a eu un impact sur l'utilisation de l'aide (les paires «mixtes» ont cherché l'aide plus souvent que les pairs «faibles») et sur le nombre d'erreurs commises (les paires «mixtes» ont commis moins d'erreurs que les paires «fortes»).

Dans le contexte d'une salle de classe, l'auto-efficacité académique est également un facteur prédictif positif de recherche d'aide adaptative et un facteur prédictif négatif pour l'évitement de recherche d'aide (Ryan & Shin, 2011). L'étude, déjà mentionnée dans le paragraphe qui traite de la démonstration sociale, a considéré les rapports des professeurs sur la tendance de recherche d'aide des élèves et, pour mesurer l'auto-efficacité académique, les jugements des propres élèves sur leur capacité à réussir leurs travaux de mathématiques.

Toujours au sujet de la compétence auto-estimée, Beal, Qu, et Lee (2008) ont mené une étude dont un des objectifs était de comprendre si le comportement de recherche d'aide des élèves avec un logiciel pédagogique peut être lié à leur concept de soi en mathématiques. Les élèves de trois écoles secondaires ont répondu à l'enquête de motivation en mathématiques et ont travaillé avec «Wayang Outpost», un tuteur pour résoudre des problèmes de géométrie. Ils pouvaient sélectionner une ou plusieurs réponses parmi les propositions et ils recevaient un *feedback* immédiat (correct, incorrect). Les élèves pouvaient également voir une séquence de suggestions interactives qui conduisait à la solution d'un problème. Ils pouvaient voir autant de suggestions qu'ils voulaient, ou pouvaient choisir une réponse pour le problème à tout moment. Les résultats ont montré que les élèves qui ne se sentaient pas confiants dans leur

capacité en mathématiques étaient plus susceptibles d'avoir le comportement inadéquat d'essayer de deviner la ou les réponses correctes que les étudiants qui avaient des croyances plus positives quant à leur capacité. Cependant, dans ce cas, le concept de soi en mathématiques n'a pas été corrélé avec la recherche d'aide.

Performance académique préalable

L'étude déjà citée de Ryan et Shin (2011) a également examiné les acquis antérieurs par rapport aux deux types de comportement de recherche d'aide d'adolescents : l'évitement de rechercher de l'aide et la recherche d'aide adaptative. À partir des rapports des professeurs sur la tendance de recherche d'aide des élèves en combinaison avec les notes recueillies sur les dossiers scolaires à la fin du premier et du troisième trimestre, les auteurs ont trouvé que les élèves qui avaient de meilleurs résultats étaient plus susceptibles de demander de l'aide en cas de besoin et moins susceptibles d'en éviter.

Affect au sujet d'apprentissage

L'affect au sujet de l'apprentissage a été un autre aspect étudié par Ryan et al. (2005). Les élèves de la cinquième année avec différentes tendances de comportement de recherche d'aide en classe de mathématiques ont présenté des différences dans leur affect (positif ou anxiété) au sujet des mathématiques. Ceux qui ont tendance à éviter la recherche d'aide ont rapporté des niveaux plus élevés d'anxiété et moins d'affects positifs que les élèves ayant tendance à rechercher de l'aide de façon appropriée.

Perception

Des études consacrées à la perception de l'étudiant ou de l'élève ont évalué la corrélation entre la perception, l'utilisation d'un système d'aide et l'effort.

Schworm et Nistor (2013) ont conduit des études concernant la participation d'apprenants à des communautés de pratiques sur le web, (CoP pour *Communities of Practice*). Une CoP est un groupe de personnes qui partagent des objectifs et des intérêts. L'apprentissage au sein d'une CoP est fondé sur la participation et le partage de connaissances. Ce partage de connaissances peut être initié par la recherche d'aide. Dans une des études, l'objectif était de comprendre l'effet des perceptions à propos des difficultés liées à l'aide en ligne en général, et des attentes des membres d'une CoP à propos du système d'aide en ligne sur l'acceptation de ce système. Les résultats ont montré que la perception des difficultés liées à l'aide en ligne en général a un effet direct sur la performance et sur l'attente d'effort. Les attentes d'effort ont eu un effet dans l'intention d'utilisation du système.

Dans une autre étude, les mêmes auteurs ont essayé de savoir si la volonté de l'utilisateur de contribuer en faisant des commentaires variait en fonction de la perception de la présence de paires. Pour cela, ils ont développé un environnement d'apprentissage intitulé «*mental disorders in adolescents*» et des commentaires qui simulaient la présence de paires ont été construits. Les analyses statistiques ont montré l'effet significatif des commentaires construits : la perception de l'existence de commentaires encourage les utilisateurs à générer de nouveaux commentaires (Schworm & Nistor, 2013).

Sans que des expériences aient été directement réalisées, nous retrouvons des suppositions et des suggestions à propos des aspects qui peuvent affecter la recherche d'aide selon la perception de la personne qui a besoin d'aide, comme la perception

de la difficulté de la tâche (Stahl & Bromme, 2009 ; Bartholomé et al., 2006) et la perception de l'utilité de l'aide (Tricot & Boubée, 2013 ; Chan, 2013).

Sexe

Parce que, selon les auteurs, d'autres études avaient révélé que le comportement des étudiants est variable s'ils sont dans un groupe où toutes les personnes sont du même sexe ou si le groupe est mixte, Makitalo-Siegl et Fischer (2013) ont considéré le sexe comme une des variables dans leur étude avec des élèves de 16 à 19 ans. Néanmoins, ces auteurs n'ont pas observé de différence de comportement entre les groupes d'un seul sexe et les groupes mixtes quand ils ont comparé la quantité de demande d'aide et le contenu de l'aide. Le sexe a été exploré aussi par Ryan et al. (2005). Bien que les élèves de sexe masculin étaient plus susceptibles d'être identifiés par l'enseignant comme ayant des tendances d'évitement de recherche d'aide, aucune interaction entre la tendance de recherche d'aide et le sexe n'a été trouvée.

Âge

L'influence de l'âge dans la recherche d'aide a été examinée par Puustinen et Bernicot (2013), qui ont présenté les résultats d'une étude concernant la recherche d'aide écrite, médiée par ordinateur et asynchrone (l'aideur humain est présent grâce à des technologies de communication). L'objectif était de capturer le comportement spontané de recherche d'aide des élèves en mathématiques, en vue de déterminer si les demandes d'aide formulées ont reflété les deux facettes de la recherche d'aide : l'apprentissage auto-régulé et la relation sociale avec l'enseignant. En analysant les archives d'un forum d'aide en ligne pour les devoirs d'adolescents âgés de 11 à 15 ans qui ont utilisé «SOS-Math», elles ont trouvé que les élèves de 14-15 ans donnaient

plus d'informations significatives lorsqu'ils demandaient de l'aide que les élèves de 11-12 ans. Ces derniers avaient plus tendance à formuler des messages qui n'étaient pas compréhensibles ni socialement acceptables, en indiquant que l'âge affecte la qualité de la demande d'aide.

Généralement, s'il est possible de noter des corrélations entre les facteurs de motivation et l'intention de rechercher de l'aide, on ne peut pas dire la même chose à propos des études qui ont essayé de corréler les motivations à la recherche effective d'aide (Huet, Dupeyrat, & Escribe, 2013). Cet écart entre les intentions et le comportement de recherche d'aide nous a incités à approfondir le sujet en mettant l'accent sur la décision de rechercher de l'aide. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter un modèle rationnel de prise de décision et séparer les résultats d'études récentes dans le domaine de la recherche d'aide qui ont utilisé plusieurs approches, qui ont été réalisées dans des environnements traditionnels aussi bien que dans des environnements numériques, et qui ont considéré les coûts, les bénéfices et les probabilités de tirer des bénéfices de la recherche d'aide.

L'apprentissage par enseignement implique des facteurs liés à la fois à l'enseignement et aux apprenants. En ce qui concerne l'enseignement, des méthodes de conception plus adaptées doivent être développées. Dans le cas du contrôle aérien la méthode d'apprentissage complexe semble être appropriée pour faciliter l'apprentissage. Du côté des apprenants, avoir la capacité d'auto-réguler son apprentissage peut servir à l'améliorer. La recherche d'aide est une stratégie sophistiquée d'auto-régulation. Aucune étude sur la recherche d'aide n'a été réalisée avec les élèves contrôleurs aériens. Au plan général, même si les études montrent

que cette stratégie apporte des bénéfices à l'apprentissage, elles montrent également que la recherche d'aide n'est pas bien utilisée. Plusieurs études ont essayé de comprendre les facteurs qui affectent la recherche d'aide. La corrélation entre ces facteurs et l'intention de rechercher de l'aide est bien établie, mais il n'y a pas un consensus lorsqu'il s'agit de la recherche effective d'aide. Cela explique notre intérêt pour réaliser des études sur la décision de rechercher de l'aide.

3. LA DÉCISION DE RECHERCHER DE L'AIDE

La thématique centrale de cette thèse vise à comprendre pourquoi, fréquemment, les apprenants décident de ne pas rechercher de l'aide quand cette dernière peut améliorer l'apprentissage. Ainsi, nous avons choisi le modèle rationnel de prise de décision pour étayer nos études empiriques à propos de la décision de rechercher de l'aide. Dans ce chapitre, nous allons donc détailler ce modèle. Étant donné que notre intention n'est pas d'analyser la littérature sur la prise de décision, mais plutôt de présenter les principes du modèle, en ce qui concerne la décision rationnelle, nous faisons référence à un seul auteur : Baron (2008). Après une petite introduction, pour expliquer le modèle rationnel de prise de décision, nous présenterons la théorie de la probabilité et la théorie de l'utilité espérée. Ensuite, nous formulerons la décision rationnelle. Finalement, les études dans le domaine de la recherche d'aide qui ont considéré les paramètres qui composent une décision rationnelle seront examinées.

Les personnes sont appelées à prendre des décisions à tout moment de leur vie quotidienne. Elles décident toujours de ce qu'elles vont manger et comment elles vont s'habiller, par exemple. Quelques décisions sont parfois plus importantes et complexes que d'autres, mais toutes sont affectées par la façon dont les humains raisonnent. Le raisonnement rationnel est strictement lié aux buts du raisonneur. En s'éloignant de l'idée que le rationnel s'oppose à l'émotionnel, Baron (2008) définit le rationnel comme le raisonnement qui aide le mieux les personnes à atteindre leurs objectifs.

Chaque personne a un ensemble d'objectifs et certains d'eux deviennent des cibles pour un raisonnement ou une décision particulière. La rationalité concerne plutôt les méthodes de raisonnement utilisées et non les résultats de ces raisonnements. Un bon raisonnement implique une recherche approfondie de possibilités et de preuves ; une bonne décision est celle qui est prise par une personne qui décide d'utiliser les informations disponibles au moment de la prise de décision.

Souvent, quand il faut prendre une décision, les personnes ne sont pas sûres du résultat de leur choix. Ainsi, une décision est un choix d'action qui, en plus des objectifs, dépend des croyances sur les états possibles associés à chaque option. Les croyances varient en force et peuvent être quantifiées comme des probabilités. La force de ces croyances peut varier en accord avec les options disponibles pour effectuer un choix. En ce sens, par exemple, une personne doit croire plus fortement qu'il va pleuvoir pour décider d'aller acheter un parapluie en se détournant de sa route que pour décider de sortir en prenant le parapluie qu'elle possède déjà (Baron, 2008).

La réflexion faite pour choisir une action, dans le cadre de la prise de décision rationnelle, peut être décrite par un modèle normatif, tenu comme un idéal théorique à propos de la manière dont les gens doivent faire leurs choix entre les options possibles et dans les conditions idéales (Baron, 2008). Le critère de choix, du point de vue de Baron, doit être l'atteinte des buts. Si théoriquement ce critère semble clair, dans la vie réelle il y a des conflits entre différents buts personnels, entre les buts de personnes différentes impliquées dans la décision, ou même entre le désir d'un résultat et sa probabilité, ce qui complique le processus. La mesure de l'ampleur de l'atteinte des buts est appelée utilité et selon le modèle normatif, en prenant les décisions, nous devons essayer de maximiser l'utilité en suivant la théorie de l'utilité espérée.

Dans la suite de ce chapitre nous présentons la théorie de la probabilité qui sert à décrire la façon dont les croyances sont jugées de manière quantitative.

3.1 Théorie de la probabilité

La force des croyances des personnes à propos des conséquences de leurs actions est déterminante pour leurs décisions. Selon la théorie normative de la probabilité, quand les preuves qui concernent les conséquences possibles sont évaluées, cela peut être caractérisé comme un jugement de probabilités, qui est fait par l'attribution des valeurs aux conséquences qui sont crues possibles. Par convention, les probabilités varient de 0 à 1, où le 0 signifie que la croyance est certainement fausse et le 1 signifie que la croyance est certainement vraie. L'application de cette norme dans les décisions dépend de la compétence des personnes pour convertir leurs croyances en probabilités. S'il est possible de comparer deux croyances en disant quelle est la plus certaine, il est donc possible de leur attribuer des probabilités. Pour savoir quand les probabilités énoncées sont correctes, il faut tout d'abord savoir par quelle théorie elles ont été appuyées. Selon la théorie de la fréquence et la théorie logique, les énoncés de probabilités reflètent des faits objectifs du monde. La théorie personnelle considère que la probabilité est un jugement personnel (Baron, 2008).

Conformément à la théorie de la fréquence, la probabilité est une mesure de la fréquence relative d'un événement particulier (Baron, 2008). Par exemple, en considérant que les conséquences de demander de l'aide peuvent être d'avoir l'aide demandée ou pas, l'attribution d'une probabilité selon la théorie de la fréquence dépendra de l'observation de la fréquence de chacune de ces conséquences quand l'aide est demandée dans des circonstances identiques. Cela implique de savoir ce qui peut être considéré comme «circonstances identiques», ce qui, dans certains cas,

est difficile, parce que la façon de demander de l'aide, la personne à qui elle est demandée, le sujet de l'aide, la situation (ce qui inclut le lieu et la présence d'autres personnes) affectent la circonstance.

La théorie logique est utile pour les situations où il est possible de définir un ensemble de propositions logiquement équivalentes ou échangeables. Par opposition à la théorie de la fréquence, cette théorie peut expliquer pourquoi la probabilité d'obtenir une face dans un jeu de pile ou face est 0.5 même quand ce jeu a été déjà joué dix fois et qu'à sept occasions c'est la face qui a été trouvée. La difficulté est de trouver ces propositions logiquement équivalentes dans la vie réelle (Baron, 2008).

Le jugement de la probabilité d'un événement, ou assertion sur la base des convictions et connaissances personnelles, est ce qui définit la théorie personnelle. Selon cette théorie, une personne peut s'appuyer sur les fréquences ou l'ensemble logique pour établir son jugement, mais il est permis de considérer également d'autres facteurs. Une personne peut juger une probabilité mieux qu'une autre, même si les deux jugements sont bien justifiés. La théorie personnelle est largement applicable, puisqu'il est possible de juger la probabilité de n'importe quelle proposition et des événements uniques ; néanmoins, ces jugements doivent être construits par des méthodes appropriées (Baron, 2008).

Les méthodes de construction des jugements de probabilité doivent suivre quelques règles pour que ces jugements soient justifiables. La probabilité attribuée aux conséquences possibles doit être proportionnelle à des preuves recueillies sur chacune. En outre, il faut respecter la cohérence entre jugements. Cela implique de considérer qu'une assertion peut être vraie ou fausse et, donc, la somme de la probabilité qu'elle soit vraie et de la probabilité qu'elle soit fausse doit être égale à 1. Si deux assertions sont mutuellement exclusives, alors la somme de ses probabilités est égale à la probabilité de l'une ou de l'autre. Il faut regarder les probabilités

conditionnelles, soit la probabilité d'une assertions sur la condition qu'une autre soit vraie. La probabilité que deux assertions soient vraies en même temps obéit à la règle de multiplication ; il faut multiplier la probabilité conditionnelle par la probabilité de l'assertion plus générale. Enfin, si la vérité ou la fausseté d'une assertion ne change pas la probabilité d'une autre, ces assertions sont indépendantes (Baron, 2008).

L'exigence de cohérence dans les jugements de probabilité amène à penser au théorème de Bayes. Ce théorème permet de construire des jugements de probabilité des hypothèses, compte tenu des données observées, sur la base de jugements de probabilité des données considérant l'hypothèse et la probabilité *a priori* de l'hypothèse. Autrement dit, il est possible d'inverser la probabilité conditionnelle en déduisant la probabilité de l'hypothèse en sachant qu'une preuve est vraie à partir de la probabilité de la preuve étant donné que l'hypothèse est vraie (Baron, 2008). La sensibilité aux probabilités *a priori* fournie par le théorème de Bayes est particulièrement importante, puisque les probabilités *a priori* fondent les décisions quotidiennes comme la décision de rechercher de l'aide. Pour connaître la probabilité qu'une aide sera utile si l'aide a été demandée, il est possible de l'estimer à partir de l'information inverse : la probabilité *a priori* de demander de l'aide, en sachant que l'aide sera utile.

La théorie dit comment le processus d'attribution de probabilités aux croyances avant une prise de décision doit fonctionner. Dans la pratique, les jugements sont parfois erronés parce que les décideurs prennent en compte des variables qu'ils devraient ignorer et ignorent les variables importantes. Les personnes ont tendance à surestimer la fréquence des événements à faible probabilité, et vice-versa. Les jugements sont également soumis à distorsions, ce qui cause des incohérences. Il y a notamment une tendance à chercher des preuves en faveur d'une croyance initiale plutôt que de chercher des preuves contre cette croyance ; autrement dit, les gens ont tendance à

générer des raisonnements favorables à ce qu'ils aimeraient être vrai. Il y a en outre la tendance à croire en une preuve trouvée, sans s'interroger sur sa crédibilité. Dans certains cas, les personnes se fondent sur leurs croyances sur la similarité et la représentativité et méprisent leurs croyances sur la probabilité *a priori* et les principes de cohérence (Baron, 2008).

Par exemple, les erreurs liées à la représentativité incluent l'attribution d'une probabilité supérieure à une conjonction de facteurs qu'à l'un de ces facteurs. Une autre erreur réside dans l'attribution d'une probabilité supérieure à un événement dans une séquence aléatoire de deux événements possibles juste parce que l'autre événement est déjà arrivé plusieurs fois de façon successive dans la séquence. Souvent, les jugements de probabilité sont appuyés sur la recherche d'exemples disponibles (qui ne représentent pas toujours la réalité et sont affectés par l'expérience personnelle et l'humeur). En outre, lorsqu'une chose n'est pas représentée dans l'analyse, la tendance est de ne pas penser à cette chose (Baron, 2008). Ces exemples ne sont pas exhaustifs, d'autres erreurs ou distorsions sont utilisées dans les jugements de probabilité.

En plus du jugement des probabilités, une décision rationnelle repose sur la considération de l'utilité des résultats possibles. La théorie de l'utilité espérée montre dans quelle mesure les résultats possibles atteignent les buts de celui ou celle qui décide. Elle est présentée ci-après.

3.2 Théorie de l'utilité espérée

Comme cela a été vu ci-dessus, après que tous les choix possibles, les buts et les preuves nécessaires ont été pris en compte, il faut estimer les résultats que chaque option permet d'obtenir. L'estimation des résultats est basée sur la probabilité des

Tab. 3.1: Tableau de décision

OPTIONS	ÉTATS	
	L'AIDE EST UTILE	L'AIDE N'EST PAS UTILE
DEMANDER DE L'AIDE	Très bien	Gêne mineure
NE DEMANDER PAS DE L'AIDE	Très mauvais	Vie normale

propositions possibles. Ainsi, le résultat ne dépendra pas juste de l'option choisie, mais aussi de quelle proposition - appelée état - est vraie (Baron, 2008). Ces concepts sont exprimés dans le tableau 3.1. Le tableau contient les options, les états et les résultats.

Les états sont exhaustifs et mutuellement exclusifs, de façon que seul l'un d'eux est vrai, et l'un d'eux est forcément vrai. Les probabilités sont attribuées à ces deux états. Les options sont les actions considérées possibles et les résultats sont les conséquences de la combinaison de l'option choisie avec l'état probable. Dans le cas de la décision de rechercher de l'aide que nous abordons, il est possible de choisir entre les options «demander de l'aide» ou «ne demander pas de l'aide». Les états non connus avant le choix sont : «l'aide est utile» ou «l'aide n'est pas utile» (dans ce cas nous considérons également la possibilité de n'avoir pas reçu l'aide demandée). Les résultats se trouvent au centre du tableau et décrivent ce qui va arriver si une option est choisie et si un état a lieu.

Pour simplifier, nous avons réduit les résultats à quelques mots dans le tableau, mais nous pouvons les explorer un peu plus. Dans le cas où une personne décide de demander de l'aide et que l'aide est utile, un très bon résultat est espéré, l'aide permettra un meilleur apprentissage et une meilleure réussite (en considérant qu'apprendre est un but du décideur). Si la même personne décide de ne demander pas de l'aide, en considérant que l'aide serait utile, le résultat est mauvais, elle a

gaspillé une occasion d'améliorer son apprentissage. L'option de ne pas demander de l'aide associée à l'état où l'aide ne serait pas utile ne produit pas de changement dans la vie de la personne. En même temps qu'elle ne gagne rien, elle n'a aucune raison de le regretter, parce que le but d'apprentissage ne pourrait en aucun cas être atteint. Enfin, le choix de l'option de demander de l'aide avec l'état d'aide non utile cause une gêne, dont l'importance va varier selon la perception des coûts de la personne qui a décidé. Si, à son avis, l'effort qu'elle a fait pour demander de l'aide a été mineur, la gêne est mineure, mais si l'effort a été important, la gêne est importante aussi.

Selon Baron (2008), il est possible d'exprimer chacun de ces résultats mathématiquement, en attribuant des valeurs numériques à l'utilité espérée. L'unité de l'utilité est arbitraire, imposée par la propre convenance du décideur et représente la mesure dans laquelle le résultat atteint ses objectifs. L'utilité espérée de chaque option peut également être calculée. En plus d'attribuer une valeur d'utilité à chaque résultat, il faut accorder une probabilité à chaque état. Le calcul est fait à partir de la multiplication de la valeur de l'utilité de chaque résultat par la probabilité de l'état. La somme des résultats de chaque ligne donne un résultat pour chaque option, ce qui montre quelle est la décision la plus avantageuse. Ces attributions numériques (de valeur d'utilité et probabilité) sont composées du jugement personnel qui considère que, idéalement, le juge connait les faits pertinents liés au résultat. Un exemple des valeurs attribuées peut être vu dans le tableau 3.2.

Certaines «erreurs» de décision (c'est-à-dire, quand le résultat ne permet pas l'atteinte de l'objectif) peuvent être pires que d'autres. Dans l'exemple donné, ne pas demander de l'aide quand l'aide aurait été utile a été classé comme moins utile que demander de l'aide et ne pas recevoir une aide utile. Néanmoins, il serait possible d'attribuer d'autres valeurs en considérant les coûts relatifs à chacun de ces choix erronés. Prenant en compte les coûts supposés de rechercher de l'aide dans l'appren-

Tab. 3.2: Attribution de valeurs

OPTIONS	ÉTATS	
	L'AIDE EST UTILE (50%)	L'AIDE N'EST PAS UTILE (50%)
DEMANDER DE L'AIDE	Très bien (10)	Gêne mineure (-2)
NE DEMANDER PAS DE L'AIDE	Très mauvais (-5)	Vie normale (0)

tissage qui seront mentionnés plus loin dans ce chapitre, si une personne croit que demander de l'aide menace ses valeurs personnelles, la gêne occasionnée par l'absence d'une aide utile lors d'une demande d'aide peut favoriser l'attribution de moindre utilité à ce résultat que ne pas demander de l'aide. Dans ce cas la décision n'est pas uniquement entre demander et ne demander pas de l'aide, mais entre demander de l'aide et voir ses valeurs personnelles menacées ou ne pas demander de l'aide. Cette personne a des buts qui concernent ses valeurs personnelles.

Deux principes majeurs qui créent une cohérence interne parmi les choix faits à un moment donné sont implicites à la théorie de l'utilité espérée : les principes *weak-ordering* et *sure-thing*. Selon le *weak-ordering* les choix doivent être connectés de façon qu'ils soient comparables et mis en ordre : pour tous les choix entre x et y, il faut préférer x plutôt que y, y plutôt que x ou bien ils sont équivalents, mais on ne peut pas dire qu'ils ne sont pas comparables. Le *sure-thing* indique que s'il y a un certain état qui mène au même résultat quel que soit le choix fait, alors le choix ne devrait pas dépendre de ce résultat.

Même si les principes de cette théorie normative semblent raisonnables, il est commun qu'ils soient violés lors des prises des décisions, ce qui peut être expliqué par des modèles descriptifs de choix dans l'incertitude (Baron, 2008). Dans ce cadre, nous

présentons maintenant la théorie des perspectives et, après, nous exposons comment les émotions affectent l'utilité espérée et, en conséquence, les décisions.

Théorie des perspectives

La théorie des perspectives explique comment et pourquoi les décisions ne suivent pas la théorie de l'utilité espérée. La première théorie peut être considérée comme une modification de la seconde. L'idée de que les prises de décision ressemblent à la multiplication de probabilités subjectives par les utilités demeure en vigueur. Toutefois, la théorie des perspectives apporte l'idée selon laquelle les gens déforment les probabilités et l'idée que les utilités sont pensées à partir de points de référence, c'est-à-dire du contexte, montrant comment il est possible de prendre différentes décisions pour le même problème, selon la façon dont il est présenté (Baron, 2008).

La déformation des probabilités peut être observée lorsque quelqu'un décide de ne pas risquer d'avoir un résultat meilleur quand ce quelqu'un a une option dont le résultat est moins bon, mais certain ; c'est-à- dire que la certitude est surpondérée. Comme l'explique Baron (2008), les gens sont plus sensibles à des changements dans les probabilités quand ils sont proches des limites impossible (0) et certain (1). Cette tendance de décision est appelé «*certainty effect*» et peut être expliquée par une fonction pi (π). Ainsi, il est notable qu'une seule personne dans deux situations égales de décision, où les résultats possibles sont les mêmes et la différence entre les probabilités des résultats est la même, prend décisions contradictoires si, dans une des situations, une des options a la probabilité égal à 1. La surpondération est détectée aussi dans les cas de probabilités très faibles. Dans une décision, les gens ont tendance à ne pas tenir compte d'un résultat dont la probabilité est trop petite (Baron, 2008).

L'autre propriété de la théorie des perspectives qui explique les décisions contradictoires est l'idée que les utilités sont pensées à partir de points de référence. Dans cette théorie, l'utilité a une «Valeur», dont la fonction varie selon les changements dans les ressources totales du décideur. La fonction Valeur montre que, en ayant l'occasion de gagner ou de perdre une même chose, les personnes attribuent une valeur plus grande à la perte. Ce phénomène est appelé «*loss aversion*» et signifie que la façon dont le problème est présenté, c'est-à-dire en soulignant un gain ou en soulignant une perte, change les références du décideur pour qu'il décide.

Également, les décisions sont influencées par la manière dont les gens envisagent la situation (Baron, 2008). Dans la prochaine section nous allons aborder comment les émotions affectent les décisions.

Les émotions dans les décisions

Les prises de décision sont affectées par l'anticipation des réactions émotionnelles du décideur quand il compare les résultats possibles. Les comparaisons entre les résultats de différents états et entre ceux de différentes options peuvent causer des émotions de regret, de joie, de déception et d'exultation. Tandis que certaines émotions sont désirées, d'autres ne le sont pas. Ainsi, des objectifs concernant à ces émotions existent aussi et doivent être considérés lors de l'estimation de l'utilité des résultats (Baron, 2008). Par exemple, considérons le tableau 3.3. Dans ce tableau nous conjuguons le but d'apprentissage avec l'objectif de ne pas être exposé publiquement. Quatre possibles états sont associés à des options de demander ou ne demander pas de l'aide : deux états où l'aide reçue est utile et deux où l'aide n'est pas utile. Pour chacun de ces états nous considérons les possibilités que le décideur soit exposé à des jugements de la personne qui l'aide ou d'une tiers (EJ) et qu'il ne

Tab. 3.3: Influence des émotions

OPTIONS	ÉTATS			
	L'AIDE EST UTILE		L'AIDE N'EST PAS UTILE	
	NEJ (25%)	EJ (25%)	NEJ (25%)	EJ (25%)
DEMANDER DE L'AIDE	Très bien (10)	Bien (5)	Gêne mineure (-2)	Grande gêne (-5)
NE DEMANDER PAS DE L'AIDE	Très mauvais (-10)	Mauvais (-5)	Vie normale (0)	Vie normale (0)

soit pas exposé au jugement d'autrui (NEJ).

Par exemple, nous avons attribué des utilités à chaque résultat possible et nous n'avons favorisé aucun des états, en suivant le principe de la raison insuffisante [1]. En plus des buts d'apprentissage et d'exposition, les buts concernant les émotions sont pris en compte avant la décision. Ainsi, si une personne imagine qu'elle aura des vifs regrets particulièrement si elle décide de demander de l'aide et se trouve dans l'état dans lequel l'aide n'est pas utile conjugué à la situation où elle est exposée à des jugements d'autrui, l'utilité de ce résultat doit être augmentée. Dans un autre exemple, peut-être que la joie anticipée de recevoir une aide utile et n'être pas jugé aura un effet majeur que l'anticipation de la déception d'avoir choisi de ne demander pas de l'aide et avoir ce même résultat. Dans ce cas, la tendance sera le choix de prendre le risque et demander de l'aide. Si le décideur met l'accent sur comment il va se sentir s'il perd plutôt que s'il gagne, le risque sera évité.

La sensibilité aux émotions lors d'une décision ne rend pas la décision moins rationnelle. Si, comme déjà mentionné, on considère que les émotions sont des conséquences des décisions et que ces émotions sont prises en compte dans l'analyse qui

1. Selon ce principe, quand nous n'avons pas raison d'espérer qu'une option est plus probable que l'autre, nous devons considérer que la probabilité est la même.

est antérieure à la décision, le raisonnement est rationnel. En revanche, s'il était possible de contrôler les émotions, peut-être que les personnes seraient plus capables d'atteindre leurs autres objectifs plus efficacement, sans être limitées par leurs sentiments (Baron, 2008).

Dans les deux premières sessions de ce chapitre nous avons abordé les processus d'attribution de probabilité aux croyances et d'estimation d'utilité des résultats possibles. «Probabilité» et «utilité» sont deux concepts importants du modèle rationnel de prise de décision qui sera présenté dans la suite et dernière partie de ce chapitre.

3.3 Le modèle rationnel de prise de décision

Dans le modèle rationnel de prise de décision, une personne va prendre une décision d si et uniquement si l'utilité de d est positive. Ayant déjà vu la définition de l'utilité espérée (UE) et de la probabilité, la décision rationnelle peut être formulée comme suit :

$$\mathrm{UE}(d) = \sum p_i \times u_i$$

où p_i et u_i sont la probabilité et l'utilité de la conséquence i.

En ce sens, pour décider de rechercher de l'aide le décideur doit considérer l'utilité espérée de cette action. Cela implique dans l'analyse des conséquences de cette décision, ce qui peut ne être pas simple étant donné que les personnes ne sont normalement pas capables d'être certaines de ce qui va arriver après leur décision.

Compte-tenu de la décision de rechercher de l'aide, nous présentons une version simplifiée du modèle présenté ci-dessus, dans laquelle nous considérons seulement deux conséquences (les coûts et les bénéfices), et dans laquelle les coûts sont connus,

mais les bénéfices sont incertains :

$$\mathrm{UE}(d) = p(b) - c$$

Ainsi, un apprenant va décider de rechercher de l'aide si et uniquement si l'utilité espérée de rechercher de l'aide est positive, c'est-à-dire si et uniquement si

$$p(b) > c$$

Donc, la décision de rechercher de l'aide doit être une fonction de trois paramètres : le coût de la recherche d'aide, la probabilité de recevoir l'aide à la condition de l'avoir cherchée, et les bénéfices liés à l'obtention de l'aide.

Dans la prochaine sous-section, nous examinons de la littérature sur la recherche d'aide à travers le prisme de ce modèle de décision rationnelle. Nous séparons les études qui ont approché les trois paramètres susmentionnés.

3.3.1 Bénéfices, probabilité et coûts de la recherche d'aide

Il est possible de percevoir à partir des études présentées dans la section 2.3.3 et selon Mäkitalo-Siegl et Fischer (2011) que plusieurs approches méthodologiques et technologiques ont été utilisés dans le domaine de la recherche d'aide, dans les contextes traditionnels et numériques. Même si les recherches ont pu identifier les facteurs qui contribuent à l'intention ou au comportement pertinent de recherche d'aide et que les caractéristiques individuelles puissent indiquer une prédisposition à la recherche d'aide, nous avons voulu aller plus loin, en essayant de savoir si la décision de rechercher de l'aide est rationnelle et ensuite quels sont les coûts impliqués dans ces décisions pour finalement vérifier si les mêmes résultats sont trouvés dans le cas du contrôle aérien.

Le modèle rationnel de prise de décision que nous avons choisi d'appliquer considère que la décision de rechercher de l'aide est une fonction des trois paramètres : les coûts de la recherche d'aide, la probabilité d'avoir l'aide étant donné qu'elle a été recherché et les bénéfices liés à l'aide reçue. Si, en connaissant les bénéfices de la recherche d'aide, les étudiants décident de ne pas rechercher de l'aide, il faut absolument conclure qu'il y a des coûts impliqués. Rationnellement, la décision de ne pas rechercher de l'aide alors que les coûts et les bénéfices sont pris en compte doit être soutenue par une de ces deux raisons : les coûts sont plus élevés que les bénéfices ou les coûts sont moins élevés, mais les bénéfices ne sont pas certains.

Ainsi, cette section est organisée selon chacun de ces paramètres. En premier, nous allons traiter des études qui ont considéré les bénéfices de la recherche d'aide, ensuite, nous allons considérer les études qui, d'une manière ou d'une autre, ont envisagé la probabilité d'obtenir les bénéfices de la recherche d'aide et, finalement, nous nous centrons sur les études qui se sont occupées des coûts.

Bénéfices

Selon la littérature, être capable de résoudre un problème et apprendre sont les bénéfices de la recherche d'aide, qui sont connus et établis dans le domaine depuis des années. Récemment, peu d'études ont été menées pour explorer ces bénéfices et possiblement d'autres.

L'étude de Ryan et Pintrich (1997) voulait savoir si la perception des bénéfices médiatise la relation entre les perceptions de compétence et buts d'accomplissement, et le comportement de recherche d'aide. Les auteurs ont mesuré la perception des bénéfices, les buts d'accomplissement et le comportement de recherche d'aide en utilisant une échelle de Likert en 7 points et la perception de compétence avec une

échelle à quatre choix. Ils ont trouvé que les étudiants qui estimaient qu'il y avait des bénéfices dans la recherche d'aide étaient plus susceptibles de recherche de l'aide de façon pertinente et moins susceptibles d'éviter la recherche d'aide.

De la même manière, l'étude de Roussel et al. (2011) visait à montrer que les attitudes envers la recherche d'aide (y compris la perception de bénéfices) pourrait médiatiser la relation entre buts d'accomplissement et d'amitié et recherche d'aide instrumentale. Ces trois dernières variables ont été évaluées par questionnaires et la perception des bénéfices a été saisie en utilisant une échelle de Likert en 7 points qui se référait seulement aux paires comme source d'aide. L'étude a trouvé que les bénéfices perçus médiatisaient les relations entre les buts de maîtrise (maîtrise-approche et maîtrise-évitement) et la recherche d'aide instrumentale.

Huet et al. (2011) ont évalué la perception de bénéfices de la recherche d'aide par des étudiants avec un questionnaire constitué de sept points, juste avant de présenter à ces étudiants un environnement informatique d'apprentissage de statistiques basé sur ordinateur, qui allait être utilisé pour mesurer leur comportement de recherche d'aide. La perception des bénéfices a été significativement corrélée avec la recherche d'aide instrumentale des participants après qu'ils ont reçu *feedback* les informant d'une mauvaise réponse.

En outre, deux autres approches indirectes sur ce sujet peuvent être trouvés dans la littérature, particulièrement celle qui traite de la recherche d'aide dans *Interactive Learning Environments* (ILE) : (1) études qui ont été menées en vue d'aider les étudiants à rechercher de l'aide, et (2) études qui traitent des types d'aide.

D'une part, les bénéfices de la recherche d'aide ne sont pas contestés et, bien au contraire, la littérature les considère comme si importants que les chercheurs ont proposé des études pour aider les étudiants à rechercher de l'aide lorsqu'ils utilisent un ILE (e.g. Huet et al., 2011 ; Roll et al., 2011 ; Babin et al., 2009 ; Stahl & Bromme,

2009 ; Luckin, 2013). Ces études, en général, proposent un *feedback* metacognitif aux utilisateurs d'un système d'information, en essayant d'améliorer l'auto-régulation de l'apprentissage en donnant, par exemple, des instructions ou des astuces sur comment rechercher de l'aide.

D'autre part, la littérature traite des types d'aide. Les travaux sur la recherche d'aide différencient deux types de comportement de recherche d'aide, comme déjà mentionné : l'instrumental et l'exécutif. De la même façon, entre autres caractéristiques, le contenu des outils d'aide conçus pour les ILE peut être instrumental ou exécutif. Bien que traditionnellement l'aide instrumentale soit envisagée comme celle qui promeut l'apprentissage et l'accomplissement (les bénéfices considérés), il est notable que les études plus récentes qui comparent les différents types d'aide ont conclu que les bénéfices ne sont pas toujours les mêmes dans des circonstances et catégories d'étudiants ou utilisateurs distinctes (e.g Babin et al., 2009 ; Aleven et al., 2003 ; Bartholomé et al., 2006). De plus, très récemment, Aleven, Roll, McLaren, et Koedinger (2016) ont remis en question l'efficacité réelle de l'aide dans l'apprentissage avec *Intelligent Tutoring System*, ce qui interroge les bénéfices de la recherche d'aide.

Probabilité

Au sujet des probabilités, dans une revue de la littérature sur la recherche d'aide qui intègre plusieurs domaines de la psychologie, y compris le domaine de l'apprentissage, Chan (2013) aborde les attitudes envers la recherche d'aide du point de vue de la théorie de la valeur espérée, en indiquant que la probabilité d'apprentissage subjective est impliquée dans la décision de rechercher de l'aide.

Particulièrement dans le champ de l'apprentissage, à notre connaissance, les études récentes n'ont pas été orientées vers l'incertitude des bénéfices de la recherche

d'aide. Toutefois, en regardant les préférences d'étudiants universitaires pour la recherche d'aide, Kitsantas et Chow (2007) visaient à vérifier si ces étudiants trouvaient plus efficace de rechercher de l'aide auprès d'une personne, par téléphone ou par média électronique. En quelque sorte, en comparant différentes types de contact avec la source d'aide, les auteurs ont voulu identifier de quelle manière était perçue par les étudiants celle qui propose la plus grande probabilité de fournir une aide efficace. Pour répondre à notre problème de recherche cette approche présente une limite : la probabilité d'obtenir de l'aide peut être confondue avec l'efficacité de l'aide, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de distinguer les paramètres «bénéfice» et «probabilité».

Coûts

Même si, au fil des ans, la littérature mentionne qu'il y a des coûts impliqués dans la recherche d'aide (Karabenick, 2006 ; Kitsantas & Chow, 2007 ; Nelson Le-Gall, 1981, 1985 ; Chan, 2013) et que l'idée que ces coûts doivent être trop importants pour les surmonter a été défendue (Tricot & Boubée, 2013), dans le domaine de l'apprentissage, les chercheurs se sont limités à indiquer comme coûts de la recherche d'aide la perception d'une menace pour l'estime de soi ou la perte de la compétence perçue, la perception d'une menace pour l'autonomie ou sensation d'inadéquation ou dépendance (Huet et al., 2013), et par ailleurs l'exposition ux jugements des autres et la sensation d'endettement vis-à-vis de la personne qui a aidé. Comme ces coûts présumés portent sur des perceptions, les études les ont fréquemment explorés au moyen de mesures auto-déclarées d'attitudes de recherche d'aide.

Certaines études qui ont traité de la perception des bénéfices de la recherche d'aide ont également pris en compte la perception de menaces. Dans l'étude de Ryan et Pintrich (1997), qui visait les relations entre les variables motivationnelles, atti-

tudes vers la recherche d'aide et comportement de recherche d'aide, ces perceptions ont été séparées en deux groupes : menaces provenant des collègues et menaces provenant des professeurs. Les élèves d'école secondaire qui se sentaient menacés par la recherche d'aide étaient plus susceptibles d'éviter de rechercher de l'aide.

L'étude de Roussel et al. (2011) a aussi examiné si les coûts perçus de la recherche d'aide pourraient médiatiser la relation entre buts d'accomplissement/amitié-évitement et recherche d'aide. Cinq éléments d'une échelle en 7 points ont mesuré la perception des coûts, mettant l'accent sur les pairs comme source d'aide. Les coûts perçus de la recherche d'aide ont été trouvés comme médiateurs des relations entre buts de performance-évitement, buts d'amitié-approche, buts d'amitié-évitement, et recherche d'aide instrumentale.

Huet et al. (2011), en plus de la perception des bénéfices, ont évalué la perception des menaces pour l'estime de soi et pour l'autonomie, juste avant l'utilisation réelle d'aide par les étudiants dans un environnement d'apprentissage en statistiques basé sur ordinateur. Les résultats n'ont pas montré de corrélation entre la perception de menace et comportement de recherche d'aide. En revanche, buts de performance sont corrélés positivement avec perception de menace pour la compétence, et buts de maîtrise sont corrélés positivement avec perception de menace pour l'autonomie.

Karabenick (2003, 2004) a évalué, au moyen de questionnaires, des indicateurs de recherche d'aide (telle que la menace que représente le fait de rechercher de l'aide, l'évitement de la recherche d'aide, la recherche d'aide instrumentale et exécutive, et la source d'aide) et sa relation avec la motivation, l'auto-régulation et la performance d'étudiants universitaires. Les résultats ont montré que plus la recherche d'aide était perçue comme une menace, plus les étudiants sont susceptibles d'éviter la recherche d'aide ou d'utiliser l'aide exécutive au lieu de l'instrumentale.

En comparant différents environnements d'apprentissage, Kitsantas et Chow

(2007) ont examiné les préférences de recherche d'aide, les tendances de recherche d'aide, la perception de menace personnelle liée à la recherche d'aide, et l'auto-efficacité scolaire, en interrogeant des étudiants inscrits dans des cours à distance, distribués et traditionnels. La menace perçue variait significativement en fonction du type d'environnement d'apprentissage : les étudiants des cours traditionnels se sentaient plus menacés que les étudiants des cours distribués, des cours à distance avec interaction synchrone et asynchrone et des cours à distance avec seulement interaction synchrone. En outre, la perception de menace était inversement liée aux intentions de rechercher de l'aide, aux croyances d'auto-efficacité et à la performance des étudiants.

En bref, la plupart des études présentées ont eu tendance à considérer, directement ou indirectement, les bénéfices et/ou les coûts de la recherche d'aide à partir d'un point de vue qualitatif. Il est intéressant de souligner que tandis qu'il est sûr que les coûts existent, les bénéfices de la recherche d'aide ne sont pas assurés. Il faut considérer que le simple fait de rechercher de l'aide n'implique pas d'être capable de résoudre un problème ou d'apprendre. Ces bénéfices sont à peine une possibilité lorsque l'aide est demandée.

Rationnellement, il est espéré que les perceptions des bénéfices soient plus grandes que les perceptions des coûts pour qu'une personne décide de demander de l'aide. Ainsi, dans ce sens, les attentes des personnes sur la probabilité de résoudre un problème ou apprendre une procédure devraient affecter leur comportement de recherche d'aide dans l'apprentissage et méritent d'être examinées de façon intégrée, au moyen de manipulations expérimentales.

En vue de comprendre ce qui arrive entre la conscience du besoin d'aide et la décision de rechercher de l'aide, et en tenant compte de la suggestion qu'il y a

différents coûts impliqués dans le processus de recherche d'aide qui peuvent être trop élevés (Tricot & Boubée, 2013), les expériences que nous avons menées et qui seront présentées dans la prochaine partie ont été guidées par deux questions principales : a) la décision de rechercher de l'aide est-elle rationnelle ? et b) quels sont les coûts impliqués ? Nos quatre études portent sur les coûts financiers, temporels et sociaux. Dans les deux premières expériences nous avons gardé la notion d'utilité de l'aide cherchée en manipulant la probabilité supposée de recevoir l'aide. Dans les deux dernières expériences nous avons fait varier le classement de la difficulté des tâches. Nous proposons une approche théorique et méthodologique originale, une fois que nous avons décidé d'utiliser un modèle rationnel de prise de décision pour éclairer le processus de recherche d'aide et pour fonder notre travail empirique.

La prochaine partie de ce document présente nos contributions empiriques au domaine de la recherche d'aide et à l'environnement de formation pratique des contrôleurs aériens.

La prise de décision rationnelle est celle qui vise à l'accomplissement des buts de celle ou celui qui décide. La plupart des décisions implique une incertitude par rapport aux résultats des options possibles. Les gens imaginent les résultats à partir de leurs croyances. Pour analyser la situation et choisir l'option qui permet le mieux d'atteindre les buts en question, il faut quantifier ces croyances en jugeant la probabilité de chaque résultat. En outre, il faut estimer dans quel mesure chaque résultat correspond aux buts, c'est-à-dire quelles sont leurs utilités. Comme normalement plus d'un but est impliqué dans les décisions, le poids de chaque but et les coûts et bénéfices de chaque option sont pris en compte. Le choix rationnel sera celui qui présente le meilleur rapport coût-bénéfice. Dans le

domaine de la recherche d'aide, plusieurs études ont été menées en envisageant la perception des bénéfices et des coûts et l'intention de rechercher de l'aide. Notre revue de la littérature a identifié le besoin d'entreprendre des expériences pour intégrer tous les paramètres du modèle rationnel de prise de décision dans des environnements d'apprentissage.

Deuxième partie

CONTRIBUTIONS EMPIRIQUES

Dans le chapitre 3, nous avons identifié trois paramètres qui composent le modèle de décision rationnelle : bénéfices, probabilité et coûts. Grâce à notre revue de littérature, nous avons identifié le besoin de vérifier si les personnes répondent aux variations dans ces paramètres et, en gardant à l'esprit les caractéristiques de la formation des contrôleurs aériens, nous avons voulu couvrir une variété de coûts : financier, temporel et social. En premier lieu, pour vérifier si les apprenants seraient sensibles au coût dans sa forme la plus légitime, nous avons choisi de manipuler le coût financier. Puis, croyant que, dans l'environnement d'apprentissage pratique des contrôleurs aériens, le temps joue un rôle important lors de leurs activités, nous avons décidé de tester si le coût temporel impacterai leur décision de rechercher de l'aide. Ensuite, compte-tenu de la présence de l'instructeur lors des exercices pratiques en simulateur de contrôle aérien, le coût social a été manipulé.

Nous avons donc réalisé quatre études dans des environnements numériques d'apprentissage de mathématiques, statistiques et contrôle aérien. Ces études présentent un point commun qui visait à augmenter l'implication des volontaires dans la tâche : tous les participants de toutes les études ont reçu une indemnisation financière pour résoudre une série d'exercices, dont la valeur variait en fonction du nombre de réponses correctes (l'idée étant que, en vue d'obtenir la meilleure performance pour recevoir la valeur la plus élevée, les participants n'hésiteraient pas à rechercher de l'aide si nécessaire). Compte-tenu de notre objectif d'étudier les coûts de la recherche d'aide, ils pouvaient rechercher de l'aide à tout moment pendant la réalisation de la tâche.

Dans la première étude notre objectif était de vérifier si la décision de rechercher de l'aide est rationnelle. Les variables indépendantes manipulées ont été le coût financier de l'aide et la probabilité de recevoir l'aide cherchée. Dans la deuxième étude, notre objectif était de nous rapprocher des situations réelles d'apprentissage.

Nous avons donc manipulé le coût temporel de l'aide et, à nouveau, la probabilité de recevoir l'aide cherchée. Dans la troisième étude notre objectif était d'évaluer l'aspect social de la recherche d'aide. Nous avons, ainsi, manipulé le coût social de la recherche d'aide et la difficulté des exercices. Dans la quatrième étude notre objectif était de valider ou non les conclusions des études précédentes dans l'environnement de formation des contrôleurs aériens. Les variables manipulées ont été le coût social et la difficulté des exercices.

4. ÉTUDE 1 : LA DÉCISION DE RECHERCHER DE L'AIDE EST-ELLE RATIONNELLE ?

4.1 Objectif

Comme il a été vu dans le chapitre 3, les études sur la recherche d'aide ont eu tendance à considérer les bénéfices et/ou les coûts de la recherche d'aide d'une façon plutôt qualitative sans les intégrer dans un modèle de décision rationnelle. Cette première étude a pour but d'éclairer si la décision de rechercher de l'aide est une décision rationnelle. Pour répondre à ce problème, nous avons choisi de tester le coût financier, vu que ce type de coût est objectif et authentique, et de varier la probabilité de recevoir l'aide : c'est-à-dire que, théoriquement, il serait possible de payer pour une aide qui ne serait pas reçue. De cette façon, nous manipulons deux des trois paramètres du modèle rationnel de prise de décision.

4.2 Méthodologie

4.2.1 Participants

Les participants ont été recrutés dans l'Université de Toulouse - Jean Jaurès, qui dispense des cours dans le domaine des sciences humaines et sociales, pour participer à une étude de résolution de problèmes. Au total, parmi 65 étudiants qui ont accepté de participer à l'étude, 14 n'ont pas été intégrés dans l'étude parce qu'ils

Tab. 4.1: Variables Indépendantes

RISQUE/ COÛT	Coût nul	Coût moyen	Coût Important
	0 point	100 points	150 points
Risque nul	3/3	3/3	3/3
	0 point	100 points	150 points
Risque petit	2/3	2/3	2/3
	0 point	100 points	150 points
Risque Important	1/3	1/3	1/3

n'ont pas atteint la fin de l'étude avant le temps maximal imparti. Parmi les 51 participants restants (âge moyen = 22 ans 6 mois), trente-neuf participants (76 %) étaient des femmes. Douze d'entre eux avaient obtenu un baccalauréat scientifique (23,5%), 14 un baccalauréat économique et social (27,5%), 21 un baccalauréat littéraire (41%) et 4 ont obtenu un bac autre que ceux de la filière générale (8%).

4.2.2 Plan d'expérience

L'étude a suivi un plan d'expérience 3×3 intra-sujets, qui a manipulé le coût de la recherche d'aide et la probabilité de recevoir de l'aide. La combinaison de ces deux variables dans un plan intra-sujets signifie que chaque participant a eu neuf occasions de rechercher de l'aide (c'est-à-dire une fois pour chacun des neuf exercices). La probabilité de recevoir l'aide (conditionnelle à la recherche) était soit 1/3, 2/3, soit 1. Le coût de la recherche d'aide était de 0, 100 ou 150 points. Les neuf combinaisons possibles de ces deux variables indépendantes peuvent être vues sur le tableau 4.1. Les participants obtenaient 200 points par réponse correcte et leur total de points (récompense pour les réponses correctes moins le coût des aides cherchées) pouvait être échangé contre un bon de 10, 15 ou 20€ (plus le total de points était élevé, plus la somme était élevée).

4.2.3 Matériel

Neuf exercices de mathématiques ont été présentés aux participants. Ces exercices ont été choisis parmi plusieurs listes d'exercices de classes de troisième disponibles sur Internet. Tous les exercices proposés peuvent être trouvés en annexe ; deux exemples sont présentés ci-dessous :

a) Calculer le plus grand commun diviseur (PGCD) de 69 309 et 11 322.

b) Calculer les expressions suivantes et donner le résultat sous la forme d'un nombre entier :

$$E = (2 - 4\sqrt{2})(2 + 4\sqrt{2})$$

$$F = \frac{64\sqrt{54}}{12\sqrt{96}}$$

Pour chacun de ces exercices, les participants pouvaient rechercher de l'aide. Cette aide prenait la forme d'une solution partielle de l'exercice en cours. Les aides apportées aux exercices illustrés plus haut sont présentées ci-dessous :

a) On calcule le PGCD des nombres 69 309 et 11 322 en utilisant l'algorithme d'Euclide.

$69309 = 11322 \times 6 + 1377$

$11322 = 1377 \times 8 + 396$

$1377 = 396 \times 4 + 153$

$306 = 153 \times 2 + 0$

b)

$$E = (2 - 4\sqrt{2})(2 + 4\sqrt{2}) \quad | \quad E = 2^2 - (4\sqrt{2})^2$$

$$F = \frac{64\sqrt{54}}{12\sqrt{96}} \quad | \quad F = \frac{64 \times \sqrt{9} \times \sqrt{6}}{12 \times \sqrt{16} \times \sqrt{6}}$$

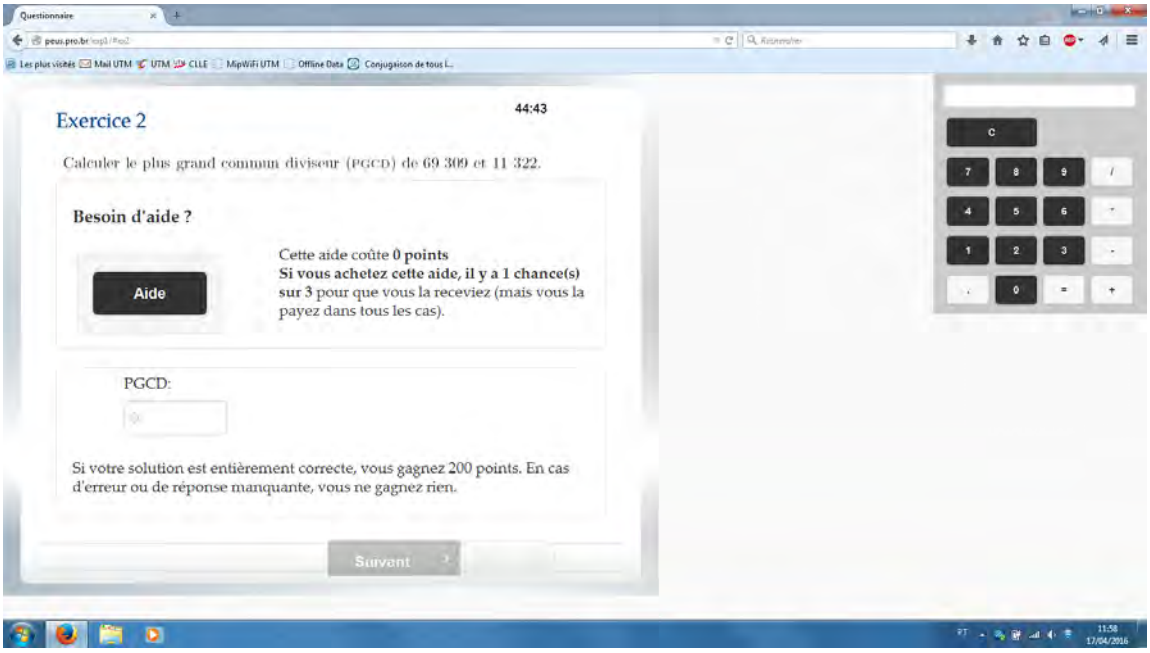


Fig. 4.1: Capture d'écran du dispositif de collecte de données - étude 1.

Le dispositif de collecte de données, un des exercices et les autres éléments expérimentaux peuvent être vus dans les figures 4.1 et 4.2.

4.2.4 Procédure

Les participants étaient placés seuls devant un ordinateur dans un bureau dédié pour utiliser un logiciel qui a été développé spécifiquement pour la réalisation de l'étude. Avant commencer l'expérience, les participants lisaient le consentement éclairé et donnaient leur accord. Puis ils suivaient un tutoriel expliquant l'expérience, en particulier le système de points et l'utilisation du bouton d'aide. Il était expliqué qu'au cours de chaque exercice, ils pouvaient clairement voir quel était le coût de la recherche d'aide et quelle était la probabilité d'obtenir de l'aide.

Le logiciel a été conçu pour toujours fournir de l'aide lorsqu'un participant le

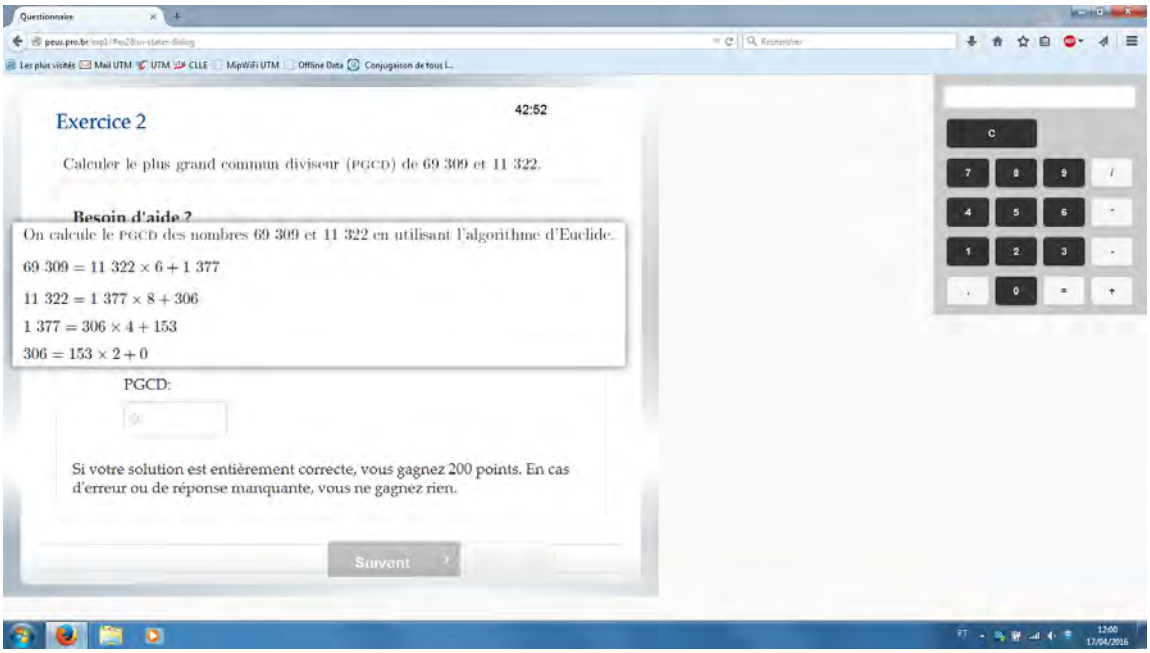


Fig. 4.2: Capture d'écran du dispositif de collecte de données avec la fenêtre d'aide ouverte - étude 1.

demandait, quelle que soit la probabilité nominale d'obtenir l'aide. Nous avons fait ce choix pour tenir compte de la trajectoire individuelle des différents participants. Par exemple, si un participant avait eu la mauvaise fortune de ne pas obtenir de l'aide deux fois de suite, ce participant pourrait être moins susceptible de demander de l'aide dans le reste de l'étude, par rapport à un participant qui avait eu la chance d'obtenir de l'aide deux fois consécutives. En fournissant toujours de l'aide à tous les participants qui l'ont demandé, nous avons éliminé cette source de variance.

L'ordre des neuf exercices de mathématiques a été randomisé pour chaque participant, tout comme l'ordre des neuf combinaisons coûts - probabilité de recevoir l'aide. Le temps pour réaliser la tâche était limité [1] à 45 minutes et un chronomètre était affiché sur l'écran. Sur l'écran une calculatrice était présentée pour réaliser les calculs numériques. Des feuilles papier et stylos étaient disponibles et leur utilisation comme brouillon était permise. L'expérimentatrice était présente dans la salle, dans une position où elle ne pouvait pas voir ce que le participant faisait.

4.3 Résultats

À la fin de la tâche, nous avons collecté deux types de mesures, les deux binomiales : si le participant a recherché ou non de l'aide dans chaque exercice et s'il a donné ou non la réponse correcte à chaque exercice.

Les résultats de cette expérience peuvent être vus sur la figure 4.3. La figure montre la proportion d'aide cherchée et de réponses correctes dans les neuf conditions (les paires coût et probabilité) présentées à tous les participants. Les boîtes présentent

1. Initialement, après avoir pré-testé l'étude, nous avons décidé de limiter le temps à 30 minutes. Néanmoins, en conduisant l'expérience, après la passation de 37 participants, nous avons noté que 1/3 de ces participants avaient échoué à terminer la tâche. À partir de ce moment, nous avons augmenté le temps maximum à 45 minutes.

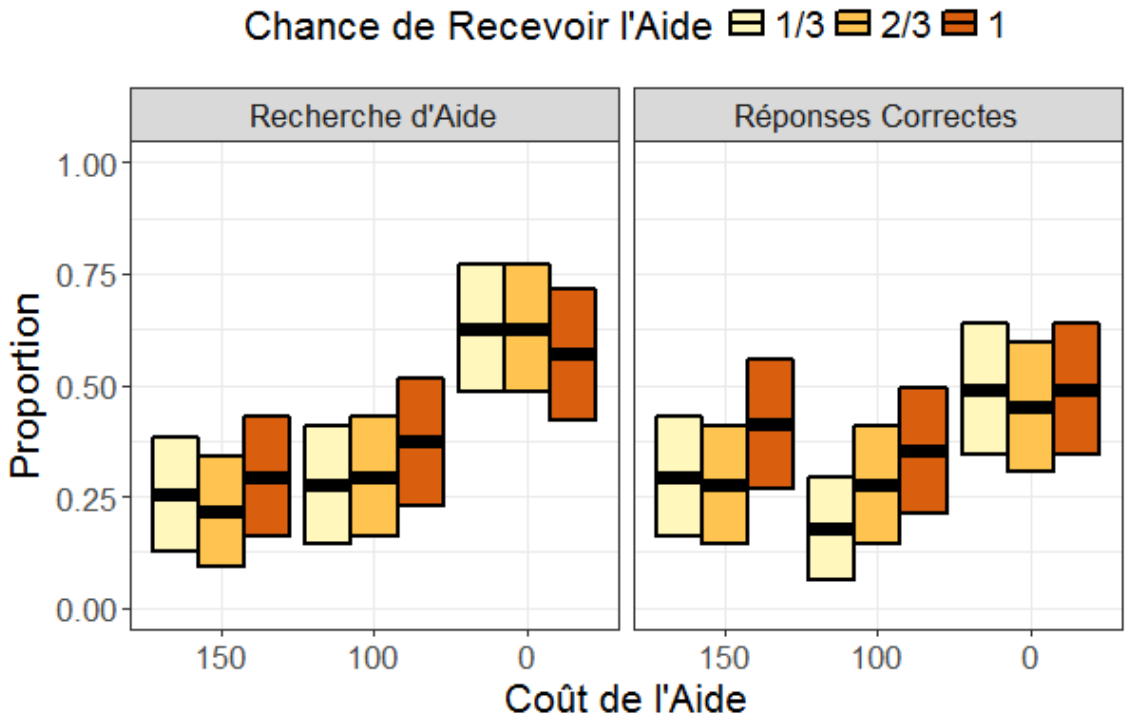


Fig. 4.3: Proportion de réponses correctes et d'aide demandée en fonction du coût de l'aide et de la probabilité de recevoir l'aide en demandant. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

la moyenne et l'erreur type de la moyenne, en utilisant un intervalle de confiance de 95%, de nos deux mesures (recherche d'aide et réponses correctes).

En regardant la figure, (1) il semble que la probabilité de recevoir l'aide demandée n'a pas un effet sur la décision de rechercher de l'aide, et (2) le coût de la recherche d'aide semble affecter la décision de rechercher de l'aide, mais uniquement d'une façon qualitative : l'important est que l'aide soit gratuite ou non, plus que son montant lui-même. L'aide gratuite a été demandée 61% des fois, tandis que l'aide coûteuse a été demandée seulement 28% des fois.

Pour confirmer ces résultats, nous avons conduit un modèle mixte généralisé (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), dans lequel la décision de rechercher de l'aide (binomiale) était la variable dépendante. Le coût de l'aide, la probabilité de recevoir l'aide et leur interaction étaient les effets fixes ; autres effets fixes étaient le sexe, le baccalauréat obtenu et la quantité d'exercices déjà résolus ; et les participants et les exercices ont été considérés comme effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et erreurs-type de cette analyse peuvent être vus dans le tableau 4.2.

L'analyse statistique montre que plus le coût de l'aide était grand, plus la probabilité de rechercher de l'aide était réduite (coefficient de régression estimé $=-2.7$, se $= 0.77$, $z = -3.548$, $p = 0.000384$). La probabilité de recevoir l'aide n'a pas affecté la décision de rechercher de l'aide (coefficient de régression estimé $=-0.190$, se $= 0.704$, $z = -0.271$, $p = 0.786$). L'analyse indique toujours que ceux qui ont obtenu un bac économique et social ont demandé de l'aide plus souvent (coefficient de régression estimé $=1.11$, se $= 0.57$, $z = 1.961$, $p = 0.049920$) que ceux qui ont obtenu un bac scientifique.

Nous avons conduit aussi un modèle mixte généralisé (Bates et al., 2015) pour vérifier si la performance a été améliorée par la recherche d'aide. Dans cette analyse, la recherche d'aide était l'effet fixe. D'autres effets fixes étaient la quantité d'exercices déjà résolus, le sexe, et le baccalauréat obtenu ; les participants et les exercices ont été considérés comme des effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et erreurs-type sont présentés dans le tableau 4.3.

Un effet considérable de la recherche d'aide dans la performance a été trouvé (coefficient de régression estimé $=1.33$, se $= 0.27$, $z = 4.915$, $p = 8.90e-07$). Les hommes ont présenté une meilleure performance que les femmes (coefficient de ré-

Tab. 4.2: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des co-variables - étude 1.

	Variable Dépendante :
	Recherche d'aide
Coût de l'aide	-2.729^{***}
	(0.768)
Probabilité	-0.189
	(0.704)
QuantitéExercicesResolus	0.036
	(0.049)
SexeHomme	-0.138
	(0.492)
BacAutre	0.420
	(0.848)
BacÉconomique et Social	1.117^{**}
	(0.570)
BacLittéraire	0.450
	(0.536)
Coût :Probabilité	0.908
	(1.034)
Constante	0.012
	(0.733)
Observations	459
Log Likelihood	-260.328
Akaike Inf. Crit.	542.656
Bayesian Inf. Crit.	588.076
Note :	*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

Tab. 4.3: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de réponses correctes en fonction de la recherche d'aide et des co-variables - étude 1.

	Variable Dépendante :
	Réponses Correctes
Recherche d'aide	1.327^{***}
	(0.270)
QuantitéExercicesResolus	0.077
	(0.050)
SexeHomme	0.880^{**}
	(0.398)
BacAutre	-1.491^{**}
	(0.680)
BacÉconomique et Social	-1.801^{***}
	(0.469)
BacLittéraire	-1.764^{***}
	(0.437)
Constante	-0.612
	(0.507)
Observations	459
Log Likelihood	-248.028
Akaike Inf. Crit.	514.056
Bayesian Inf. Crit.	551.218
Note :	*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

gression estimé =0.88, se = 0.39, $z = 2.212$, $p = 0.026$). Les participants qui avaient un baccalauréat scientifique ont présenté une meilleure performance en comparaison de ceux qui avaient d'autres baccalauréats : économique et social (coefficient de régression estimé $=-1.801$, se = 0.47, $z = -3.841$, $p = 0.0001$) ; littéraire (coefficient de régression estimé $=-1.76$, se = 0.44, $z = -4.040$, $p = 5.35e - 05$) et ; filière non générale (coefficient de régression estimé $=-1.49$, se = 0.68, $z = -2.191$, $p = 0.028$).

Les résultats montrent que, dans ce processus de prise de décision, les participants sont sensibles au coût, mais ne sont pas sensibles au risque. Bien que le risque n'influence pas la décision de rechercher de l'aide, il est possible de noter que les participants qui sont plus sensibles au coût sont également plus sensibles au risque (coefficient de corrélation = 0.692).

4.4 Discussion

Le but de cette étude était de vérifier si la décision de rechercher de l'aide est une décision rationnelle. Pour pouvoir répondre de façon affirmative, selon le modèle rationnel de prise de décision, les apprenants devaient être sensibles à trois paramètres : les bénéfices de la recherche d'aide, la probabilité de recevoir l'aide et les coûts de cette action.

Les résultats ne nous permettent pas de soutenir que la décision de rechercher de l'aide est rationnelle. Les participants se sont montrés sensibles aux variations du coût, mais n'ont pas été réactifs à la probabilité de recevoir l'aide.

Dans cette étude, nous n'avons pas fait varier les bénéfices de l'aide. Nous avons considéré que la façon dont l'aide a été proposée (en donnant la solution partielle des exercices) apporterait naturellement le bénéfice de bien résoudre le problème

en cours de réalisation. D'une certaine façon, cette considération a été confirmée lors des analyses sur la performance : lorsque l'aide a été cherchée, la performance a été améliorée.

En vue de tester d'autres coûts possibles de la recherche d'aide associés à la formation pratique des contrôleurs aériens, nous avons conduit les trois études qui suivent.

5. ÉTUDE 2 : LE COÛT TEMPOREL ET LA DÉCISION DE RECHERCHER DE L'AIDE

Cette étude suit un plan d'expérience similaire à celui de la première. En vue de nous rapprocher des situations réelles, où, normalement, dans les environnements d'apprentissage, demander de l'aide n'implique pas de perte de points ni d'argent, nous avons décidé de refaire la première étude en changeant le type de coût des aides. Il est raisonnable de penser que, parfois, une demande d'aide peut nous causer une perte de temps. En outre, dans le cas du contrôle aérien, les élèves travaillent le plus souvent sous la pression du temps. Nous avons donc décidé de manipuler le temps comme coût.

5.1 Objectif

Dans cette étude, au lieu de payer directement en argent pour une aide, le paiement se donnait sous la forme de temps. Alors que l'expérience était réalisée avec des contraintes temporelles, la recherche d'aide pouvait arrêter le chronomètre (devenant en quelque sorte «gratuite») ou pas («payante»). Nous voulions ainsi savoir s'il y aurait un effet de la perte du temps dans la décision de rechercher de l'aide. Même si dans l'étude précédente les participants ne se sont pas montrés sensibles au risque de ne pas recevoir l'aide cherchée, nous avons choisi de garder la manipulation de la probabilité comme variable.

5.2 Méthodologie

5.2.1 Participants

Comme dans la première étude, notre échantillon a été composé d'étudiants recrutés dans l'Université de Toulouse – Jean Jaurès pour participer à une étude de résolution de problèmes. Au total, 51 volontaires ont participé à cette étude, néanmoins, 50 d'eux composent l'échantillon considéré dans nos analyses. Un volontaire a dû être écarté parce qu'il n'a pas terminé les exercices avant le temps maximal imparti. Parmi les 50 participants (âge moyen = $23ans6mois$), quarante-trois participants étaient des femmes (86%). Dix-huit participants ont indiqué avoir obtenu un baccalauréat scientifique (36%), 10 un baccalauréat économique et social (20%), 10 un baccalauréat littéraire (20%) et 12 un bac autre que ceux de la filière générale (24%).

5.2.2 Plan d'expérience

L'étude a suivi un plan d'expérience 2×3 intra-sujets, qui a manipulé le coût temporel de rechercher de l'aide, et la probabilité de recevoir de l'aide. La combinaison de ces deux variables dans un plan intra-sujets signifie que chaque participant a eu six occasions de demander de l'aide (c'est-à-dire, une fois pour chacun des six exercices). La probabilité de recevoir l'aide (conditionnelle à la demande) était soit 1/3, soit 2/3, soit 1. Le coût de la demande d'aide était de 0 (c'est-à-dire gratuit), ou 60 secondes. C'est à dire que si le participant décidait de demander une aide gratuite, le chronomètre s'arrêtait pendant 60 secondes ou jusqu'à la fermeture de la fenêtre d'aide et le participant ne perdait pas de temps en lisant et en comprenant l'aide. Lorsqu'une aide non gratuite était demandée, le participant était pénalisé de 60 secondes de façon que, pendant ce temps, il était impossible de fermer la fenêtre d'aide,

Tab. 5.1: Variables Indépendantes 2ème étude

RISQUE/ COÛT	Coût nul	Coût non nul
	0 secondes	60 secondes
Risque nul	3/3	3/3
	0 secondes	60 secondes
Risque petit	2/3	2/3
	0 secondes	60 secondes
Risque Important	1/3	1/3

qui couvrait complètement l'exercice, et le temps continuait à défiler normalement. Les six combinaisons possibles de ces deux variables indépendantes peuvent être vues sur le Tableau 5.1. Les participants obtenaient une quantité variable de points par réponse correcte en fonction du temps total dépensé pour réaliser les six exercices (la fonction était présentée aux participants lors des instructions et peut être vue dans la Figure 5.1). Leur total de points (récompense pour les réponses correctes en fonction du temps, en considérant déjà le coût de 60 secondes pour certaines aides demandées) pourrait être échangé contre un bon de 10, 15 ou 20€ (plus l'ensemble des exercices était réalisé vite, plus les points attribués à chaque exercice étaient nombreux et plus la somme reçue était élevée).

5.2.3 Matériel

Cette étude a été conçue d'une façon similaire à la précédente. Néanmoins, en tenant compte des résultats de la première étude, nous avons décidé de réduire à deux le nombre de niveaux de la variable coût et de garder les trois niveaux de la probabilité.

Nous avons présenté aux participants six exercices de mathématiques de niveau de classe de troisième, choisis dans la liste des neuf exercices de la première

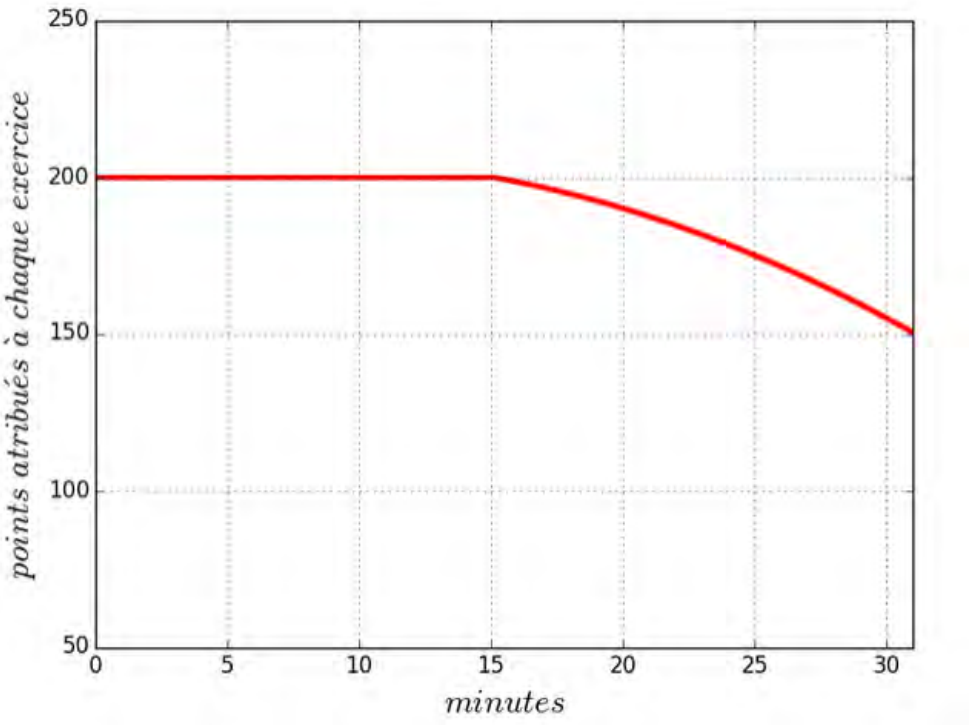


Fig. 5.1: Points attribués à chaque exercice en fonction du temps.

étude. Nous avons exclu le plus réussi, le moins réussi et un des intermédiaires. Pour chaque exercice, les participants pouvaient décider de demander de l'aide, qui donnait une partie de la solution de l'exercice en cours, comme dans la première étude.

Les adaptations faites dans l'écran d'exercice et dans les fenêtres d'aide peuvent être vues dans les figures 5.2 et 5.3.

5.2.4 Procédure

La procédure de cette expérience est équivalente à celle de la première. Les participants étaient placés seuls devant un ordinateur dans un bureau dédié pour utiliser le logiciel qui a été conçu spécifiquement pour la réalisation de l'étude. Avant

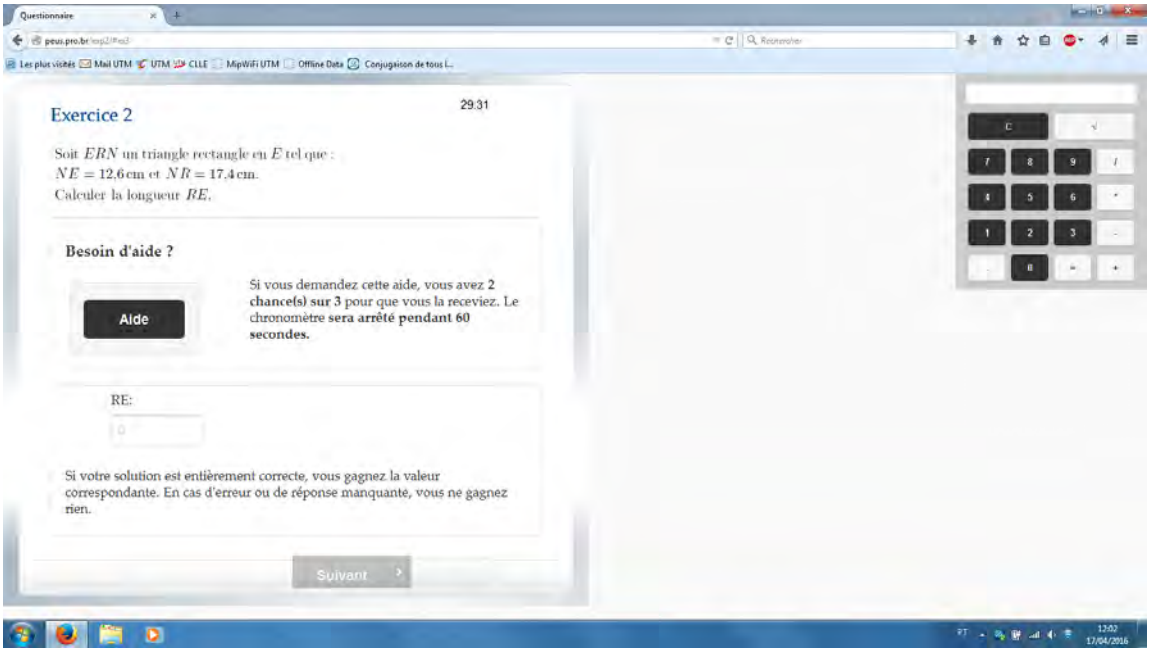


Fig. 5.2: Capture d'écran du logiciel adapté à la deuxième étude.

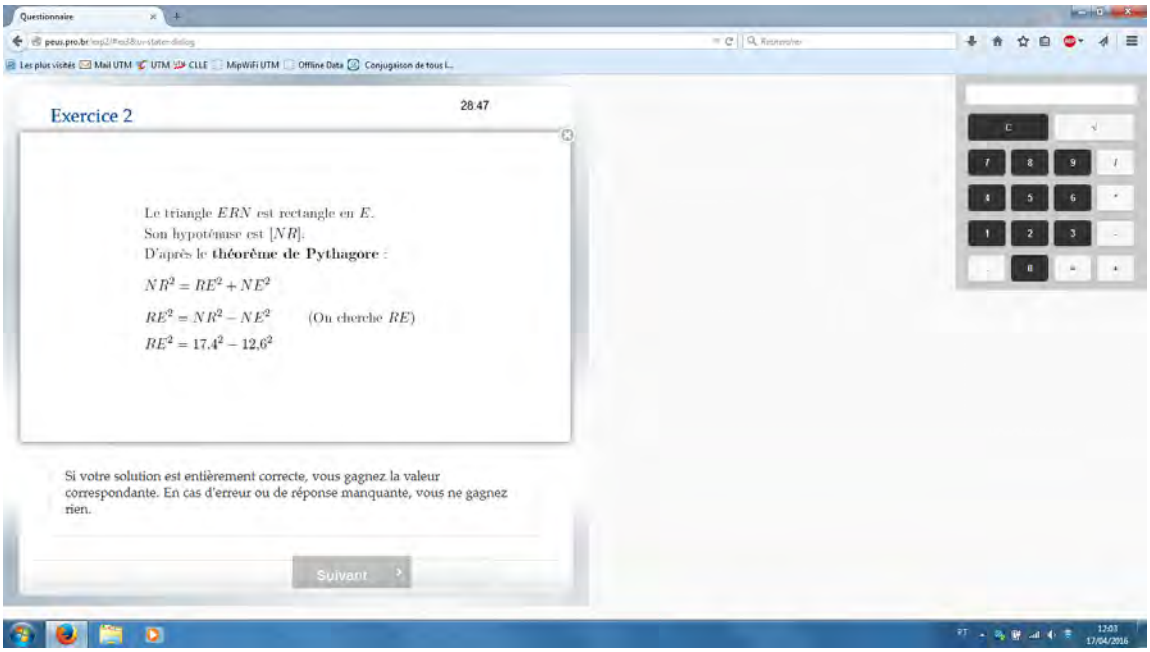


Fig. 5.3: Capture d'écran du logiciel avec la fenêtre d'aide ouverte - expérience 2.

de commencer l'expérience, les participants lisaient le consentement éclairé et donnaient leur accord. Puis ils suivaient un tutoriel expliquant l'expérience, en particulier le système de points et l'utilisation du bouton d'aide. Il était expliqué qu'au cours de chaque exercice, ils pouvaient clairement voir quelle serait la probabilité d'obtenir de l'aide et si, en demandant de l'aide, le chronomètre serait arrêté pendant 60 secondes, ou si le chronomètre continuerait à défiler normalement et la fenêtre d'aide ne pourrait pas être fermée pendant 60 secondes.

Le logiciel a été arrangé pour toujours fournir de l'aide lorsqu'un participant le demandait, quelle que soit la probabilité nominale d'obtenir l'aide. Nous avons fait ce choix pour tenir compte de la trajectoire individuelle des différents participants, comme expliqué pour l'expérience précédente.

L'ordre des six exercices de mathématiques a été randomisé pour chaque participant, tout comme l'ordre des six combinaisons coûts temporel - probabilité de recevoir l'aide. Le temps pour réaliser la tâche était limité [1] à 30 minutes et un chronomètre était affiché sur l'écran. Une calculatrice était également présentée sur l'écran pour des calculs numériques. Des feuilles de papier et stylos étaient disponibles, et leur utilisation permise comme brouillon. L'expérimentatrice était présente dans la salle, dans une position où elle ne pouvait pas voir ce que le participant faisait.

Pour vérifier si les participants avaient pensé à demander de l'aide gratuite juste pour arrêter le chronomètre et, ainsi, «gagner» du temps, sans même lire l'aide proposée, nous leur avons posé cette question à la fin des exercices.

1. Nous nous sommes basés sur la première étude pour limiter le temps de celle-ci. Étant donné qu'il s'agit de six exercices aussi utilisés dans la première étude, le temps maximum de réalisation de cette tâche a été fixé à 30 minutes, contre 45 minutes pour 9 exercices dans l'étude précédente.

5.3 Résultats

En ce qui concerne la vérification de la manipulation, seuls 4 des 50 participants ont affirmé qu'ils avaient parfois demandé de l'aide juste pour arrêter le chronomètre. Cette vérification avait un caractère plutôt informatif, donc ces participants ont été maintenus dans l'échantillon.

Les résultats principaux sont présentés dans la Figure 5.4. La figure montre la proportion d'aide cherchée et de réponses correctes dans les six conditions (les paires coût temporel et probabilité) présentées à tous les participants. Les boîtes montrent la moyenne et l'erreur type de la moyenne, en utilisant un intervalle de confiance de 95%, de nos deux mesures (réponses correctes et décision de rechercher de l'aide).

En regardant la figure, (1) il semble que la probabilité de recevoir l'aide demandée n'a pas un effet sur la décision de rechercher de l'aide, et (2) le coût temporel de la recherche d'aide ne semble pas non plus affecter la décision de rechercher de l'aide. L'aide gratuite a été demandée 65% des fois, tandis que l'aide coûteuse a été demandée 59% des fois.

Comme pour l'étude précédente, pour confirmer ces résultats, nous avons conduit un modèle mixte généralisé (Bates et al., 2015), dans lequel la décision de rechercher de l'aide (binomiale) était la variable dépendante. Le coût temporel de l'aide, la probabilité de recevoir l'aide et leur interaction étaient les effets fixes ; les autres effets fixes étaient le sexe, le baccalauréat obtenu et la quantité d'exercices résolus ; et les participants et les exercices ont été considérés comme des effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et erreurs-type peuvent être vus dans le tableau 5.2.

L'analyse statistique montre qu'aucun effet du coût et de la probabilité n'a été trouvé dans la décision de rechercher de l'aide. Autrement dit, ni la probabilité,

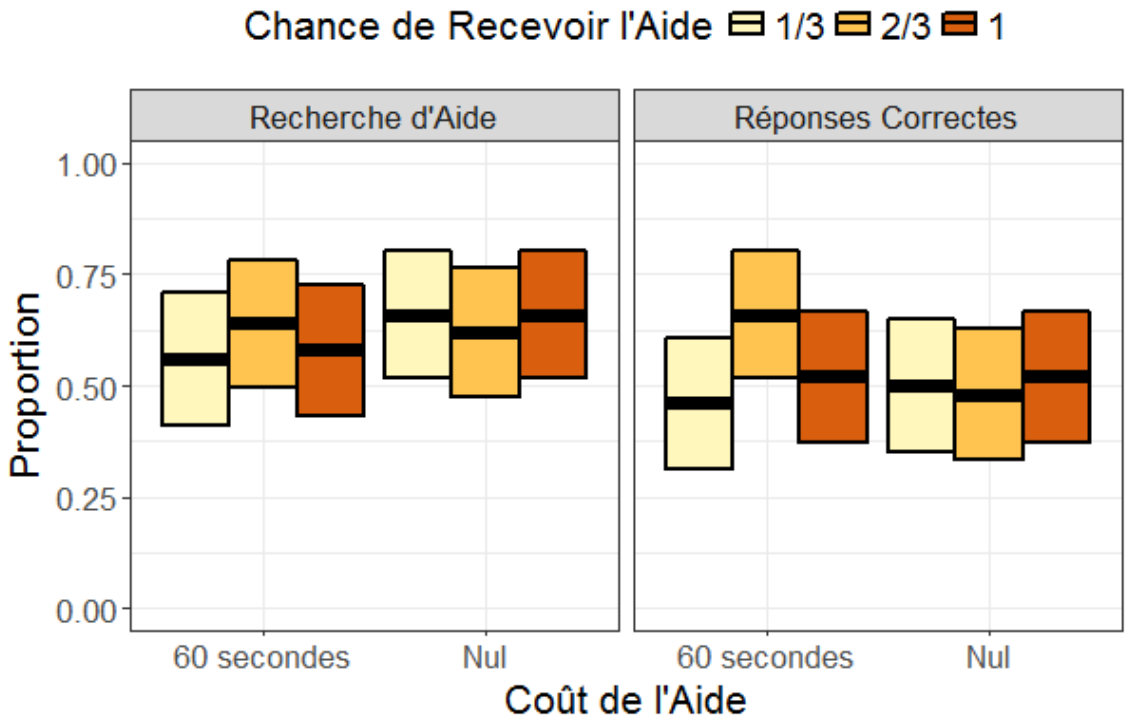


Fig. 5.4: Proportion de réponses correctes et d'aide demandée en fonction du coût temporel de l'aide et de la probabilité de recevoir l'aide en demandant. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

Tab. 5.2: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des et des co-variables - étude 2.

	Variable Dépendante :
	Recherche d'aide
Coût de l'aide	−0.368
	(0.816)
Probabilité	1.000
	(0.848)
QuanttéExercicesResolus	0.147
	(0.102)
SexeHomme	0.166
	(0.630)
BacAutre	1.370**
	(0.574)
BacÉconomique et Social	2.103***
	(0.609)
BacLittéraire	2.301***
	(0.646)
Coût :Probabilité	0.112
	(1.122)
Constante	−1.479
	(0.941)
Observations	300
Log Likelihood	−162.252
Akaike Inf. Crit.	346.503
Bayesian Inf. Crit.	387.245
Note :	*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

ni la pénalité appliquée, c'est-à-dire la perte de 60 secondes, n'ont été considérées dans la décision des participants de chercher de l'aide (coefficient de régression estimé $=-0.37$, se $= 0.82$, $z = -0.451$, $p = 0.65$). La probabilité de recevoir l'aide n'a pas affecté la décision de rechercher de l'aide non plus (coefficient de régression estimé $=0.999$, se $= 0.85$, $z = 1.179$, $p = 0.238$). Les variables sexe et quantité d'exercices résolus n'ont pas produit un effet dans la recherche d'aide. Par ailleurs, il a été observé que les participants qui ont obtenu un baccalauréat économique et social (coefficient de régression estimé $=2.102$, se $= 0.61$, $z = 3.451$, $p = 0.0005$), littéraire (coefficient de régression estimé $=2.30$, se $= 0.65$, $z = 3.561$, $p = 0.0003$) et autre que ceux de la filière générale – «autre» – (coefficient de régression estimé $=1.37$, se $= 0.57$, $z = 2.387$, $p = 0.016$), ont plus recherché de l'aide que ceux qui ont obtenu un bac scientifique.

Nous avons aussi conduit un modèle mixte généralisé pour vérifier si la performance a été améliorée par la recherche d'aide. Dans cette analyse, la recherche d'aide était l'effet fixe. Les autres effets fixes étaient la quantité d'exercices résolus, le sexe, et le baccalauréat obtenu ; les participants et les exercices ont été considérés comme des effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et erreurs-type sont présentés dans le tableau 5.3.

À la différence de la première étude, nous n'avons pas trouvé un effet de la recherche d'aide sur la performance (coefficient de régression estimé $=0.37$, se $= 0.33$, $z = 1.122$, $p = 0.26$). Aucun effet de la quantité d'exercices résolus (coefficient de régression estimé $=0.12$, se $= 0.08$, $z = 1.149$, $p = 0.13$) et du sexe (coefficient de régression estimé $=0.45$, se $= 0.53$, $z = 0.852$, $p = 0.39$) n'a été trouvé. Par contre, les participants qui ont obtenu un baccalauréats économique et social (coefficient de régression estimé $=-2.03$, se $= 0.49$, $z = -4.107$, $p = 4e - 05$), littéraire (coefficient

Tab. 5.3: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de réponses correctes en fonction de la recherche d'aide et des co-variables - étude 2.

	Variable Dépendante :
	Réponses Correctes
Recherche d'aide	0.368
	(0.328)
QuantitéExercicesResolus	0.124
	(0.083)
SexeHomme	0.449
	(0.527)
BacAutre	-1.498^{***}
	(0.468)
BacÉconomique et Social	-2.032^{***}
	(0.495)
BacLittéraire	-1.618^{***}
	(0.503)
Constante	0.500
	(0.473)
Observations	300
Log Likelihood	−183.703
Akaike Inf. Crit.	385.405
Bayesian Inf. Crit.	418.739
Note :	*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

de régression estimé $=-1.62$, se $= 0.50$, $z = -3.219$, $p = 0.001$) et non général – «autre» – (coefficient de régression estimé $=-1.50$, se $= 0.47$, $z = -3.205$, $p = 0.001$) , ont présenté une performance moins bonne que ceux qui ont obtenu un baccalauréat scientifique.

Bien que nous n'ayons pas trouvé de résultats significatifs dans cette étude, il est intéressant de noter que la proportion de la demande d'aide, qu'importe si l'aide était gratuite ou non, est la même proportion que la demande d'aide gratuite trouvée dans la première étude. Ce résultat suggère que le temps n'a pas été vu comme un coût par les participants.

5.4 Discussion

L'objectif de cette étude était de tester si le coût temporel est intrinsèque à la recherche d'aide. En outre, nous avons voulu re-tester le paramètre «probabilité» du modèle de décision rationnelle.

À nouveau, les participants n'ont pas été sensibles aux variations dans la probabilité de recevoir l'aide. En outre, les résultats ont montré que le coût temporel n'a pas affecté la recherche d'aide, même si à la fin ce coût impactait l'indemnisation reçue.

Le manque d'effet de la recherche d'aide sur la performance est remarquable, étant donné que les exercices et les aides proposés étaient les mêmes que lors de la première étude, où cet effet a été obtenu. Ce résultat peut suggérer que l'aide n'est pas bénéfique (dans le sens d'améliorer la performance) lorsqu'elle n'est pas coûteuse : les participants ont cherché l'aide comme si elle était toujours sans coût, donc, il est possible qu'ils n'aient pas valorisé l'acte de rechercher de l'aide et, après avoir appuyé sur le bouton d'aide, n'aient pas dépensé l'attention nécessaire pour la

comprendre.

Le coût temporel, de la manière dont il a été conçu dans cette étude, peut avoir été difficile à mesurer par les participants : la valeur de la réponse correcte n'était pas fixe et dépendait du temps total dépensé dans l'exécution des six exercices. En plus de comprendre le graphique de points attribués à chaque exercice en fonction du temps total, il était nécessaire de regarder la correspondance entre le total de points reçus et la valeur de l'indemnisation pour déterminer s'il serait avantageux de payer une minute pour tenter d'avoir le bénéfice de l'aide.

Les études futures pourront considérer une autre façon de manipuler le coût temporel, par exemple en limitant le temps de réalisation de chaque exercice, ce qui rendrait plus simple le calcul de la perte de temps en échange de l'aide.

6. ÉTUDE 3 : LE COÛT SOCIAL ET LA DÉCISION DE RECHERCHER DE L'AIDE

Comme nous l'avons souligné dans la revue de la littérature, l'aspect social de la recherche d'aide a bien été mis en évidence dans la théorie et dans plusieurs études sur la recherche d'aide. Cet aspect social est plutôt lié à l'identification de ce qui motive la recherche d'aide et le plus souvent mesuré à l'aide d'auto-déclarations. Compte tenu des caractéristiques de la formation pratique des contrôleurs aériens, où les élèves font les exercices en présence d'un instructeur, nous avons décidé d'examiner le coût social par manipulation expérimentale dans cette étude.

6.1 Objectif

L'objectif de cette troisième étude était d'examiner le coût social en ayant des participants qui travaillent soit seuls soit sous les yeux d'un expert. Étant donné que la manipulation de la probabilité de recevoir l'aide n'a eu aucun effet dans la décision de rechercher de l'aide dans les deux premières études, nous avons laissé ce paramètre de côté. Pour remplacer cette manipulation, nous avons décidé de faire varier la perception du niveau de difficulté des exercices. De cette façon, nous avons manipulé deux variables, avec deux niveaux chacune, dans une tâche de réalisation d'exercices de statistiques, dont le contenu correspondait à un cours de statistiques de deuxième année de psychologie de l'Université de Toulouse – Jean Jaurès.

6.2 Méthodologie

6.2.1 Participants

Les participants ont été recrutés à l'Université de Toulouse - Jean Jaurès parmi les étudiants de psychologie qui avaient suivi le cours de statistiques de deuxième année pour participer à une étude sur l'apprentissage des statistiques. Notre échantillon est composé de 106 volontaires (âge moyen = 23 ans), dont quatre-vingt-onze étaient des femmes (86%), et trente-cinq ont indiqué avoir obtenu un baccalauréat scientifique (33%), 20 un baccalauréat économique et social (19%), 31 un baccalauréat littéraire (29%) et 20 un bac autre que ceux de la filière générale (19%).

6.2.2 Plan d'expérience

L'étude a suivi un plan d'expérience 2×2 mixte, qui a manipulé la présence d'un «expert» (inter-sujets) et la perception de la difficulté de l'exercice (intra-sujets). Chaque participant a répondu à huit questions, dont la moitié était classée (aléatoirement) comme facile, l'autre moitié étant classée comme difficile. Les participants recevaient 1 point à chaque bonne réponse et leur total de points (récompense pour les réponses correctes) pourrait être échangé contre un bon de 10, 15 ou 20€ (plus le total de points était élevé, plus la somme perçue était élevée).

6.2.3 Matériel

Nous avons présenté aux participants huit questions à choix multiples (QCM) correspondant au contenu du cours de statistiques destiné aux étudiants de psychologie en deuxième année à l'Université de Toulouse - Jean Jaurès. Chaque QCM avait quatre options de réponses et une seule réponse correcte. Nous avons choisi

les QCM parce que nous voulions capturer des connaissances en statistiques, et l'utilisation de QCM ouvrait la possibilité de présenter des exercices qui n'impliquaient pas de calculs. L'utilisation d'exercices qui impliquent des calculs et l'alimentation avec la réponse partielle dans les aides, comme cela a été fait dans les expériences précédentes, mettrait l'accent sur la compétence des participants en mathématiques et non en statistiques (principalement si nous gardions la même façon de présenter l'aide en donnant la solution presque complète de l'exercice). Tous les QCM proposés peuvent être trouvés dans l'annexe, mais un exemple peut être vu ci-dessous :

a) Avant d'utiliser un test t de Student, il faut vérifier que :

- ☐ la variable qualitative binaire a une distribution normale.
- ☐ la variance de la population est connue.
- ☐ l'effectif est supérieur à 30 dans chaque groupe.
- ☐ les variances des échantillons sont homogènes.

Comme dans les études précédentes, à chaque exercice il était possible pour les participants de demander de l'aide. Au lieu de leur fournir l'aide sous la forme de la solution partielle de l'exercice, dans cette étude l'aide se traduisait par l'élimination d'une des options incorrectes. Autrement dit, en appuyant sur le bouton d'aide, les participants augmenteraient leur probabilité de choisir la bonne réponse. Nous avons décidé de changer le type d'aide fourni pour éviter que les participants réfléchissent à l'aide proposée - ce qui pourrait influer sur le coût social s'ils se sentaient plus embarrassés en essayant de comprendre l'aide qu'en cochant une des options au hasard sans demander de l'aide. Dans notre perception, dans la condition expert, il pourrait être embarrassant pour le participant de ne pas savoir résoudre l'exercice et de ne pas demander de l'aide dans cette situation, c'est-à-dire que nous pourrions poser

la question suivante : que ferait le participant s'il ne savait pas résoudre un exercice et qu'il ne voulait pas rechercher de l'aide parce qu'il y a un coût social ? Les QCM nous ont permis d'éviter de courir le risque qu'il soit plus gêné de ne pas essayer de répondre que de demander de l'aide. En présentant des options de réponse, le participant pourrait choisir une d'elles au hasard et le manque de demande d'aide serait finalement dû au coût social. Par ailleurs, dans la condition «seul», il n'y aurait pas de raison pour ne pas demander de l'aide étant donné qu'elle serait gratuite et il n'y aurait pas d'autres coûts impliqués. L'aide donnée à la question montrée en exemple plus haut est présentée ci-dessous :

a) Cette réponse *n'est pas* la bonne :

☐ la variance de la population est connue.

Comme on peut le voir dans les figures 6.1 et 6.2, nous avons adapté le logiciel développé dans la première étude à nos besoins.

6.2.4 Procédure

Les participants ont été aléatoirement répartis en deux groupes. La tâche et les consignes étaient les mêmes pour les deux groupes de participants. La seule différence était que dans un groupe les participants devraient compléter la tâche en présence d'un «expert», que nous avons présenté comme un étudiant en master de statistiques (condition expert), et les participants de l'autre groupe ont réalisé la tâche seuls (condition seul). Pour éviter le biais qu'un seul expert pourrait causer, nous avons réalisé cette expérience avec la participation de cinq étudiants en master de psychologie (3 femmes et 2 hommes), qui ont joué le rôle d'expert.

Les participants prenaient un rendez-vous individuel et étaient distribués entre

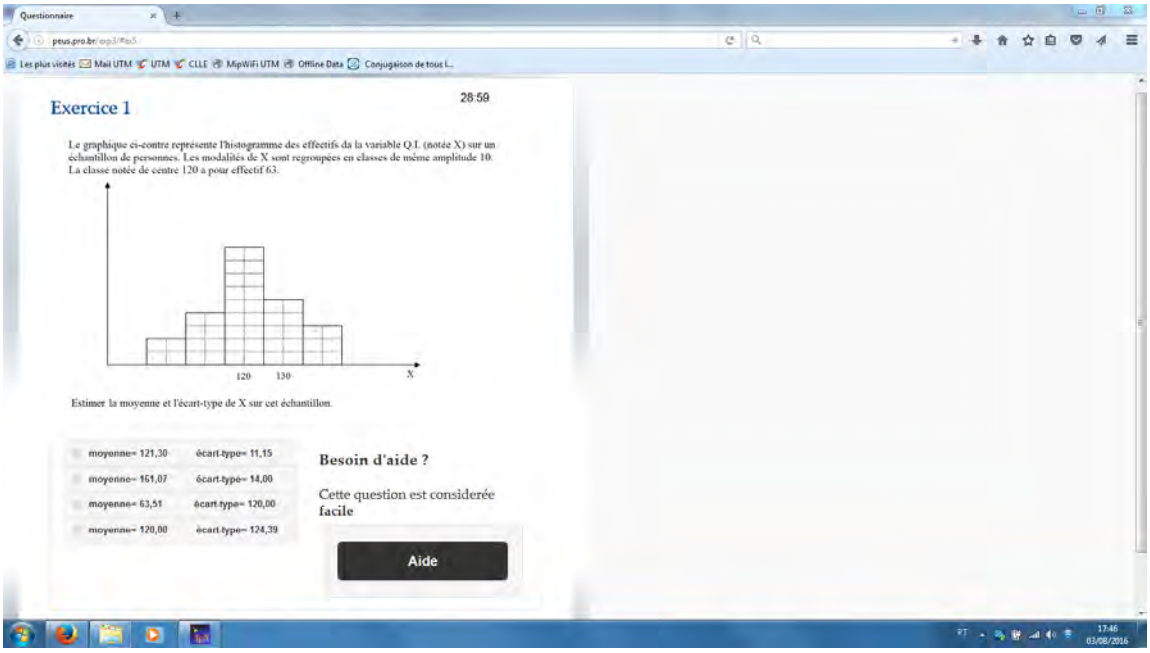


Fig. 6.1: Capture d'écran du logiciel adapté à la troisième étude.

les deux groupes en fonction de leur disponibilité et de la disponibilité des étudiants qui jouaient le rôle d'expert, c'est-à-dire que si aucun des «experts» n'était disponible, le participant était affecté à la condition seul. Lors des rendez-vous de la condition expert, l'expert sur place assurait ne pas connaitre le participant.

Dans la condition «seul», les participants étaient placés devant un ordinateur dans un bureau dédié pour utiliser le logiciel qui a été adapté spécifiquement à la réalisation de l'étude. Avant de commencer l'expérience, les participants étaient avertis qu'ils devraient lire le consentement éclairé et donner leur accord. Puis ils suivaient un tutoriel expliquant l'expérience, en particulier l'utilisation du bouton d'aide, et que les questions étaient classées en faciles ou difficiles. Il était expliqué qu'au cours de chaque exercice, ils pouvaient clairement voir quelle était la difficulté de la question.

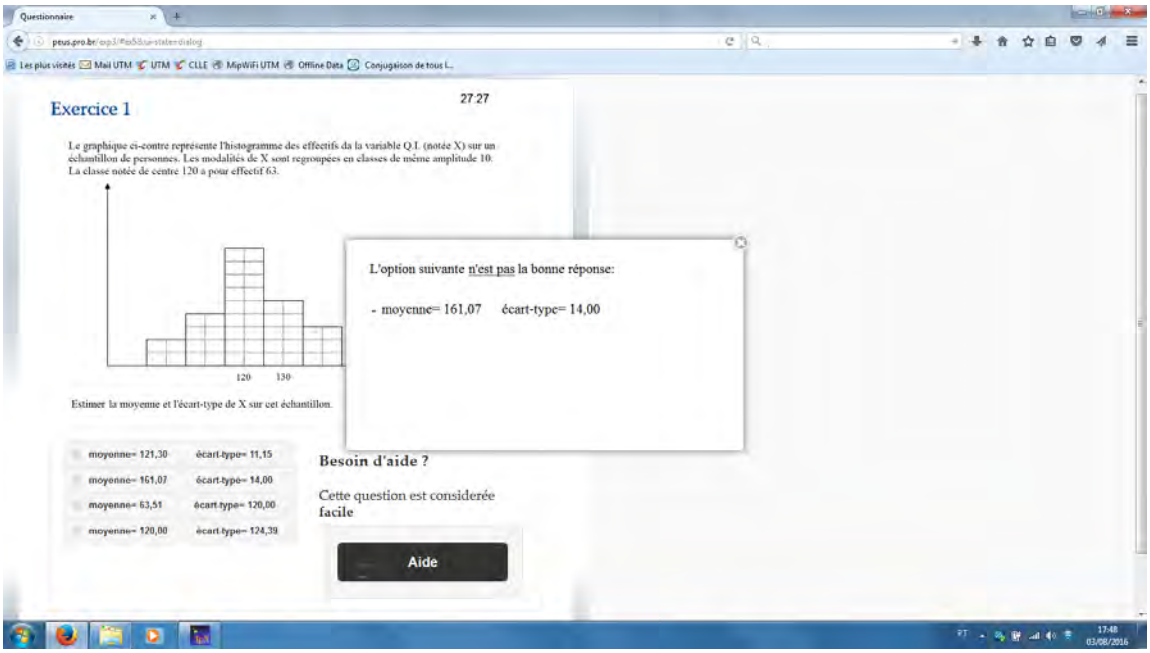


Fig. 6.2: Capture d'écran du logiciel adapté à la troisième étude avec la fenêtre d'aide ouverte.

Dans la condition «expert», les participants étaient présentés à l'expert qui était déjà assis à côté de la chaise où les participants prendraient place. L'expérimentateur disait : «Je vous présente X, il/elle est en master de statistiques et va regarder ce que vous allez faire. X ne peut pas vous aider, ni répondre à aucune question, il/elle va juste regarder». Après cette présentation les instructions et la procédure étaient les mêmes que la condition «seul».

L'ordre des huit exercices était randomisé pour chaque participant, tout comme la séquence de classement de la difficulté des questions pour contrôler un possible effet de l'ordre. Les participants avaient 30 minutes pour répondre aux huit questions et un chronomètre était affiché à l'écran. Des feuilles de papier et stylos ont été fournis, et leur utilisation permise comme brouillon. Dans les deux conditions l'expérimentatrice était présente dans la salle, dans une position où elle ne pouvait pas voir ce que le participant faisait.

Pour capturer la façon dont les participants des deux groupes avaient perçu le classement de difficulté des exercices et pour vérifier si les participants de la condition «expert» avaient fait attention à l'expertise de la personne qui observait la réalisation de la tâche, à la fin des exercices une question a été posée aux participants de la condition «seul» et deux questions ont été posées à ceux de la condition «expert». Tous les participants ont dû répondre dans quelle mesure, en considérant une échelle de 7 points, ils avaient remarqué la différence de difficulté entre les questions classées faciles et les questions classées difficiles. Ensuite, les participants de la condition «expert» ont été sollicités pour dire si selon eux l'observateur était en licence de psychologie, en licence de statistiques, en master de psychologie ou en master de statistiques.

6.3 Résultats

Seuls 8 participants ne se sont pas souvenus que l'expert était un étudiant en master de statistiques. Les analyses ont été conduites avec et sans ces 8 participants. Parce que nous avons trouvé les mêmes résultats dans ces deux analyses, nous rapportons les analyses faites avec l'échantillon complet. En moyenne, les participants n'ont été ni d'accord ni en désaccord sur le fait que les questions classées comme difficiles étaient plus difficiles que celles classées comme faciles ($M = 3.6, sd = 1.5$).

Les résultats principaux sont affichés sur la Figure 6.3. La figure montre la proportion d'aide demandée et de réponses correctes dans les 2 conditions de l'étude (seul et expert) et son interaction avec le classement des questions (facile et difficile). Les boîtes montrent la moyenne et l'erreur type de la moyenne, en utilisant un intervalle de confiance de 95%, dans nos deux mesures (réponses correctes et décision de rechercher de l'aide).

En regardant la figure, (1) il semble que la difficulté de l'exercice paraît avoir un effet sur la décision de rechercher de l'aide uniquement dans la condition expert, et (2) le coût social de la recherche d'aide paraît affecter la décision de rechercher de l'aide spécialement lorsque les participants sont confrontés à une question facile. En termes de coût social, l'aide gratuite a été demandée 51% des fois, tandis que l'aide coûteuse a été demandée 36% des fois.

Pour confirmer ces résultats, nous avons conduit un modèle mixte généralisé (Bates et al., 2015), dans lequel la décision de rechercher de l'aide (binomial) était la variable dépendante. Le coût social de l'aide, la difficulté de l'exercice et leur interaction étaient les effets fixes ; les autres effets fixes étaient le sexe, le baccalauréat obtenu et la quantité d'exercices résolus ; et les participants et les exercices ont été considérés comme des effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des

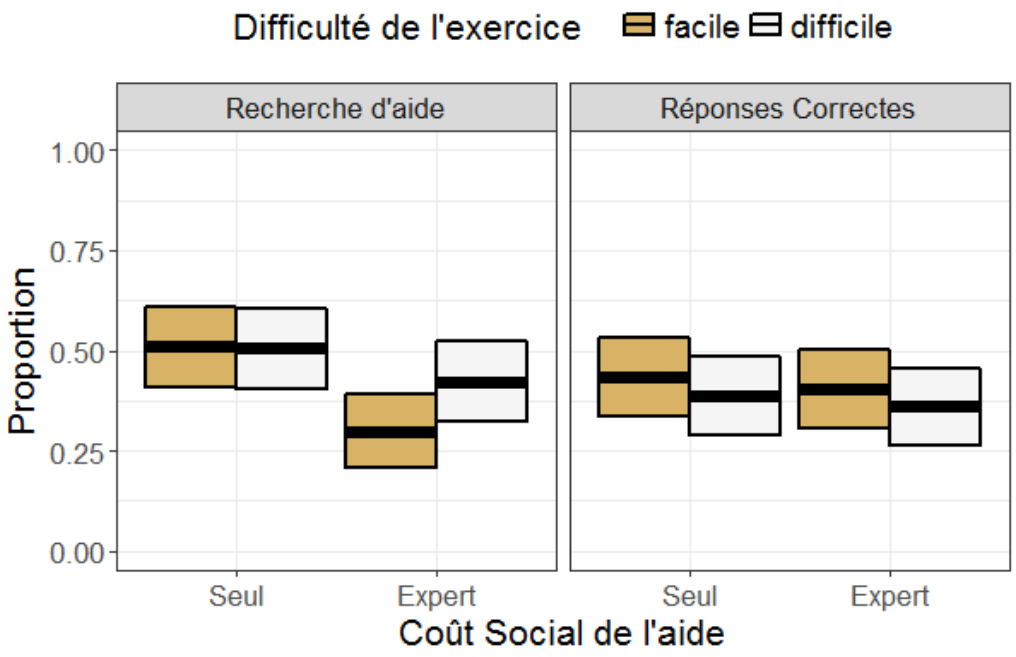


Fig. 6.3: Proportion de réponses correctes et d'aide demandée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et erreurs-type peuvent être vus dans le tableau 6.1.

L'absence d'un «expert» durant la réalisation de la tâche a augmenté significativement la probabilité de recherche d'aide en comparaison des situations où les participants étaient avec un expert (coefficient de régression estimé = 1.357, se = 0.462, z = 2.937, p = 0.0033). Cet effet a été nuancé par l'interaction marginale avec la difficulté de l'exercice : les participants observés par l'expert ont plus hésité à rechercher de l'aide lorsque l'exercice était classé comme facile (coefficient de régression estimé = 0.650, se = 0.367, z = 1.771, p = 0.08).

À l'égard des variables de contrôle, un effet de la quantité d'exercices déjà résolus a été trouvé, c'est-à-dire que les participants ont plus décidé de chercher de l'aide selon leur avancement dans la tâche (coefficient de régression estimé = 0.155, se = 0.043, z = 3.595, p = 0.000325). Aucun effet du sexe n'a été trouvé (coefficient de régression estimé = 0.74, se = 0.60, z = 1.226, p = 0.220). Il a été observé que les participants qui avaient obtenu un baccalauréat économique et social ont cherché plus de l'aide que ceux qui avaient un baccalauréat scientifique (coefficient de régression estimé = 1.26, se = 0.58, z = 2.165, p = 0.03).

Nous avons aussi conduit une analyse pour vérifier si la performance a été améliorée par la recherche d'aide. Les autres effets fixes étaient la quantité d'exercices résolus, le sexe et le baccalauréat obtenu ; les participants et les exercices ont été considérés comme des effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et les erreurs-type peuvent être vus dans le tableau 6.2.

La performance n'a pas été affectée par la recherche d'aide (coefficient de régression estimé =0.15, se = 0.17, $z = 0.882$, $p = 0.38$). Aucun effet de la quantité d'exercices déjà résolus (coefficient de régression estimé =0.003, se = 0.03, $z = 0.086$,

Tab. 6.1: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des co-variables - étude 3.

	Variable Dépendante :
	Recherche d'aide
Conditionexpert	-1.411^{***}
	(0.457)
DifficultéDifficile	-0.073
	(0.257)
QuantitéExercicesResolus	0.157^{***}
	(0.043)
SexeHomme	0.739
	(0.603)
BacAutre	0.272
	(0.599)
BacÉconomique et Social	1.256^{**}
	(0.580)
BacLittéraire	0.156
	(0.531)
Conditionexpert :DifficultéDifficile	0.650^{*}
	(0.367)
Constante	-0.983^{*}
	(0.580)
Observations	840
Log Likelihood	-444.565
Akaike Inf. Crit.	911.131
Bayesian Inf. Crit.	963.198
Note :	*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

Tab. 6.2: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de réponses correctes en fonction de la recherche d'aide et des co-variables - étude 3.

	Variable Dépendante :
	Réponses Correctes
Recherche d'aide	0.152
	(0.173)
QuantitéExercicesResolus	0.003
	(0.037)
SexeHomme	-0.457^{*}
	(0.260)
BacAutre	-0.353
	(0.255)
BacÉconomique et Social	-0.347
	(0.253)
BacLittéraire	-0.314
	(0.224)
Constante	-0.295
	(0.371)
Observations	840
Log Likelihood	-517.321
Akaike Inf. Crit.	1,052.642
Bayesian Inf. Crit.	1,095.243
Note :	*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

$p = 0.93$) et du sexe (coefficient de régression estimé $=-0.46$, se $= 0.26$, $z = -1.759$, $p = 0.07$) n'a été trouvé. Le type de baccalauréat obtenu n'a pas affecté la performance non plus.

6.4 Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner le coût social dans une manipulation expérimentale. L'importance du coût social est largement documentée, elle a été confirmée aussi dans cette étude : les participants étaient moins susceptibles de chercher de l'aide lorsqu'ils étaient observés par un expert, et ce notamment quand la question était classée comme facile.

Ces résultats nous ramènent au phénomène déjà présenté, où ceux qui ont le plus besoin d'aide recherchent de l'aide de façon moins appropriée. Les apprenants qui ont le plus besoin d'aide sont plus susceptibles d'avoir besoin d'aide pour les problèmes faciles, néanmoins, lorsqu'un expert (par exemple un instructeur) est présent, rechercher de l'aide pour un problème facile a un coût social plus élevé que pour un problème difficile. En conséquence, les apprenants qui ont le plus besoin d'aide sont enclins à surmonter un coût social plus haut.

La proportion d'aide cherchée dans cette étude a été plus faible que dans les études préalables. Cette réduction peut être due au changement dans le type d'aide. Si l'élimination d'une des mauvaises réponses assure une probabilité plus haute de choisir la bonne réponse, elle n'aide pas à trouver cette bonne réponse. De cette façon, ce type d'aide s'est montré moins attrayant. Il est intéressant de noter que le coût social ne peut pas être le seul à justifier le manque de recherche d'aide : même dans la condition «seul» les participants ont présenté un faible indice de recherche d'aide.

Compte tenu des résultats de ces trois études menées dans le cadre de l'Université de Toulouse, nous avons choisi de répliquer les manipulations de cette dernière avec les élèves contrôleurs aériens.

7. ÉTUDE 4 : LE COÛT SOCIAL ET LA DÉCISION DE RECHERCHER DE L'AIDE DANS UN ENVIRONNEMENT DE SIMULATION DE CONTRÔLE AÉRIEN

Cette thèse envisage le cas spécifique de la formation des contrôleurs aériens. Les trois premières études ont été conçues en tenant compte des caractéristiques du contexte de formation de ces professionnels pour être réalisées dans un contexte général d'apprentissage. Dans cette étude finale, nous sommes directement en situation de formation des contrôleurs aériens.

7.1 Objectif

Le but de cette étude était de vérifier si les conclusions des études précédentes étaient valides dans le contexte de la formation des contrôleurs aériens. Vu que le coût temporel n'a pas été considéré comme coût dans la deuxième étude et que la probabilité de recevoir l'aide cherchée n'a pas affecté la recherche d'aide dans les deux premières études, nous avons choisi de répliquer la troisième étude. Nous avons donc adapté la manipulation du coût social et de la difficulté des exercices aux tâches de contrôle aérien.

7.2 Méthodologie

7.2.1 Participants

Les participants ont été recrutés par le biais de l'École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC) parmi les élèves qui avaient déjà suivi le cours sur la phase de contrôle d'approche de la formation de contrôleurs aériens, pour participer à une étude sur la façon dont les élèves contrôleurs aériens utilisent leur environnement de formation (simulateurs). Ces élèves étaient parfois en cours à l'ENAC et parfois affectés à une unité de contrôle hors ENAC, mais toujours en formation. Sur un total de 39 élèves qui ont accepté de participer à l'étude, 3 ont dû être retirés de l'échantillon à cause d'un problème technique du logiciel, qui n'a pas assuré à ces participants les bonnes combinaisons de variables. Notre échantillon est donc composé de 36 volontaires (âge moyen = 25 ans 6 mois), six (17%) étant des femmes.

7.2.2 Plan d'expérience

L'étude a suivi un plan d'expérience 2×3 intra-sujet, qui a manipulé le coût social de rechercher de l'aide et la difficulté de l'exercice. La combinaison de ces deux variables dans un plan intra-sujets signifie que plusieurs occasions de rechercher de l'aide ont été données à chaque participant lors de la réalisation de chacun des six exercices, mais chaque exercice était réalisé avec une combinaison différente de ces variables. La difficulté de l'exercice variait entre facile, moyenne et difficile. Le coût social était la possibilité que les données de l'exécution de l'exercice soient mises à disposition de leurs instructeurs ou non. Les participants recevraient une quantité de points en fonction de leur performance dans les six exercices et leur total de points pourrait être échangé contre un bon de 10, 15 ou 20€ (plus le total de points était élevé, plus la somme perçue était importante).

7.2.3 Matériel

Nous avons présenté aux participants six exercices (missions) de contrôle aérien dans un environnement simulé de contrôle d'approche (APP). Les missions avaient comme objectif le contrôle des avions dans la terminale (TMA) en les mettant en séquence efficacement et en toute sécurité vers l'atterrissage. Durant la réalisation de chaque mission quatre outils d'aide étaient disponibles et pouvaient être utilisés autant de fois qu'il était nécessaire. Les outils d'aide étaient (1) le vecteur vitesse (qui indique le point où les avions se trouveront dans un intervalle de 30 secondes), (2) le vecteur de cap et distance (qui indique le cap et la distance à un point choisi dans l'écran, et peut être utilisé pour mesurer la distance entre deux avions), (3) les cercles à chaque 5 miles nautiques et (4) le radius à 36 miles nautiques. Ces outils d'aide ont été créés en tenant compte des outils existant dans le logiciel de simulation utilisé dans leur formation.

Le dispositif de collecte de données, c'est-à-dire le simulateur, a été construit spécifiquement pour les besoins de cette étude à partir d'un jeu ATC *open source* (Ross, 2016) et avec les conseils d'une instructrice de l'ENAC. Le simulateur présentait une TMA fictive, qui comprenait les pistes d'atterrissage de l'aéroport international de Rio de Janeiro - Galeão. La variation de la difficulté des missions a été établie en fonction de la quantité d'avions dans la TMA et de la nécessité d'interventions pour l'évitement de conflits entre avions. Les participants devaient contrôler 3 avions dans les missions faciles, 4 dans les missions moyennes et 6 dans les missions difficiles. Un exemple de l'écran de mission avec les outils d'aide peut être vu dans la Figure 7.1.

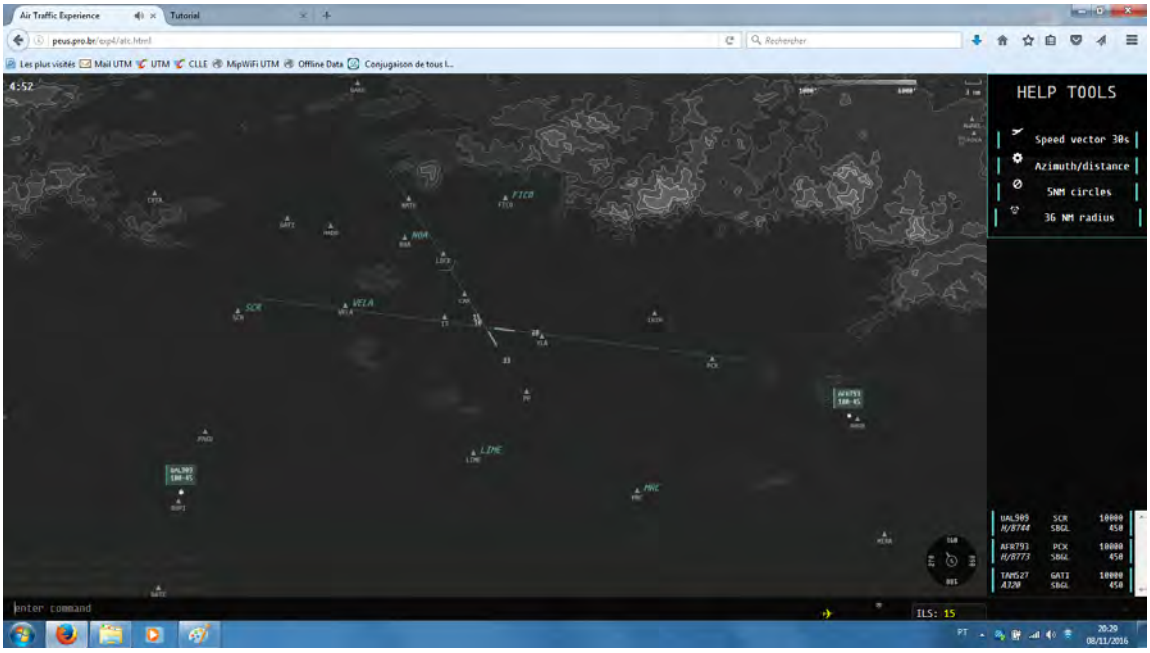


Fig. 7.1: Dispositif de collecte de données - étude 4.

7.2.4 Procédure

Cette étude a été réalisée en ligne, en langue anglaise. L'étude a été diffusée aux élèves par mail par les inspecteurs d'études responsables pour les promotions concernées. En outre, deux sessions collectives ont été proposées à l'ENAC dans une salle équipée. Le texte de diffusion suivant a été transmis à ces inspecteurs pour standardiser l'information.

> «CLLE *laboratory and the PhD student Marina Miranda invites you to participate of a study about the way* ATCO*students use the training environment. The study can be done on-line and will take about 40 minutes. The task consists of controling aircraft in a simulated radar screen. Your participation will be compensated with* FNAC *vouchers of a value that varies from 10 to 20€ in function of your performance. To participate you*

just need to be an atco student and have a computer with Internet access, a mouse and earphones or a speaker. To receive your FNAC *vouchers it's necessary to press the "The end" key so that your data can be sent to the researcher. You will be contacted by e-mail to set a date for receiving it. Please, if you have any doubt concerning the study you can contact marina.ut2jj@gmail.com directly. The link to particpate is peus.pro.br/atc*»

Lors de l'ouverture du lien, les participants devaient obligatoirement suivre un parcours jusqu'au début des missions : en premier lieu ils donnaient leur consentement, puis ils remplissaient un formulaire de données personnelles et lisaient les consignes qui expliquaient, en particulier, l'existence d'exercices de différents niveaux de difficulté, les outils d'aide et le fait que certaines missions étaient susceptibles d'être mises à disposition de leurs instructeurs. Enfin, avant les missions, ils suivaient un tutoriel qui montrait en détail toutes les composantes de l'écran des missions et réalisaient une mission d'entrainement d'une durée de 3 minutes en suivant quelques instructions spécifiques pour mettre en pratique les commandes et pour connaître les outils d'aide.

L'ordre des six missions était randomisé pour chaque participant, tout comme la séquence de variables manipulées (les paires coût social × difficulté des questions) pour contrôler un possible effet de l'ordre. Avant le début de chaque mission une fenêtre de *briefing* s'ouvrait et les participants étaient informés des conditions de la TMA comme, par exemple, la piste en service, et des objectifs. À ce moment-là ils étaient aussi informés du niveau de difficulté de la mission et s'il s'agissait ou non d'une mission dont les données seraient disponibles aux instructeurs (coût social). Lorsqu'il s'agissait d'une mission avec coût social, le participant était obligé de cocher une case pour garantir qu'il était au courant.

Les participants avaient 5 minutes pour réaliser chacune des 6 missions et un chronomètre était affiché sur l'écran. Indépendamment du niveau de difficulté de la mission, les avions arrivaient généralement à la TMA par différents points et l'objectif était de prendre des mesures pour les séquencer vers l'atterrissage efficacement et en sécurité.

À chaque commande logique 1 point positif était attribué au total de points du participant. Les situations qui causaient la perte de points étaient : monter un avion jusqu'au-dessus de la limite verticale de la TMA, et réduire la distance entre deux avions à moins de 3miles nautiques.

7.3 Résultats

Les résultats principaux sont affichés sur la Figure 7.2. Même si, dans cette étude, nous avons quatre différents types d'aide, pour cette première analyse les données ont été organisées de la façon suivante : si au moins une aide a été cherchée dans une mission par un participant, on dit que l'aide a été cherchée ; si aucune aide n'a été cherchée dans une mission par un participant, l'aide n'a pas été cherchée. Nous avons donc un modèle binomial où l'aide a été cherchée ou non. De cette façon, nous commençons l'analyse de cette étude de la même manière que nous avons analysé les études précédentes. La figure montre la proportion d'aide cherchée dans les 2 situations de l'étude (anonyme et exposé) et son interaction avec le classement des questions (facile, moyen et difficile). Les boîtes montrent la moyenne et l'erreur type de la moyenne, en utilisant un intervalle de confiance de 95%, de la décision de rechercher de l'aide.

En regardant la figure, il semble que quand nous considérons ensemble tous les types d'aide, (1) la difficulté de l'exercice n'affecte pas la décision de rechercher de

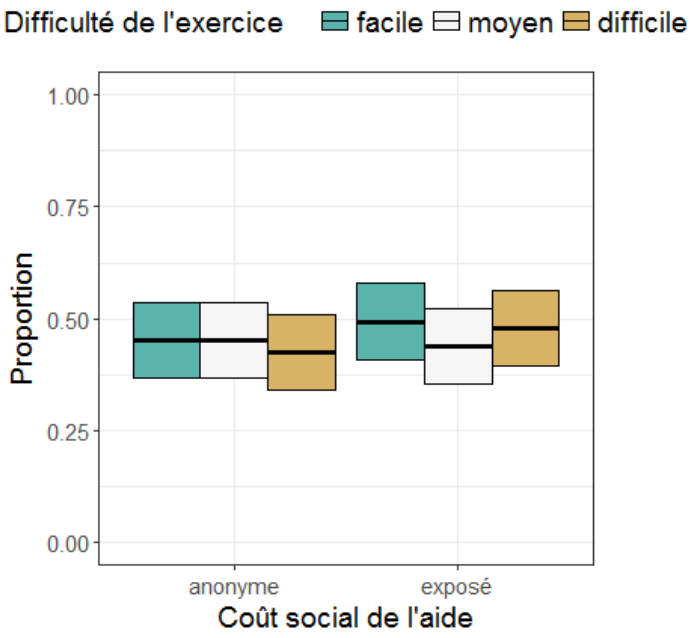


Fig. 7.2: Proportion d'aide cherchée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

l'aide, et (2) le coût social n'affecte pas non plus la décision de rechercher de l'aide. En termes de coût social, l'aide gratuite, c'est-à-dire quand les données étaient traitées anonymement, a été demandée 44% des fois, tandis que l'aide coûteuse, c'est-à-dire quand les données pourraient être exposées à leurs instructeurs, a été demandée 47% des fois.

Pour confirmer ces résultats, nous avons conduit un modèle mixte généralisé (Bates et al., 2015), dans lequel la décision de rechercher de l'aide (binomiale) était la variable dépendante. Le coût social de l'aide, la difficulté de l'exercice et leur interaction étaient les effets fixes ; les autres effets fixes étaient le sexe, la quantité d'exercices résolus et le type d'aide ; les participants et les exercices ont été considérés comme des effets aléatoires (en raison des différences individuelles et des variations dans les exercices). Les coefficients de régression estimés et les erreurs-type peuvent être vus dans le tableau 7.1.

La possibilité que les données des exercices soient exposées aux instructeurs n'a pas réduit la probabilité de recherche d'aide, en comparaison avec des situations où les données seraient traitées de façon anonyme (coefficient de régression estimé $=0.266$, $se = 0.303$, $z = 0.879$, $p = 0.380$). Aucun effet du niveau de difficulté des exercices n'a été trouvé dans la décision de rechercher de l'aide (en prenant comme référence les exercices faciles : coefficient de régression estimé $=0.027$, $se = 0.322$, $z = 0.086$, $p = 0.931$, pour les exercices difficiles, et coefficient de régression estimé $=-0.161$, $se = 0.314$, $z = -0.513$, $p = 0.608$, pour les exercices moyens).

À l'égard des variables de contrôle, un effet du type d'aide a été trouvé : les vecteurs de cap et distance et de vitesse et les cercles à chaque 5 miles nautiques ont été plus utilisés que le radius à 36 miles nautiques (coefficient de régression estimé $=1.685$, $se = 0.284$, $z = 5.930$, $p = 3.04e-09$, pour le vecteur cap et distance ; coefficient de régression estimé $=3.544$, $se = 0.305$, $z = 11.609$, $p < 2e-16$, pour les

Tab. 7.1: Coefficient de régression estimé et (erreur-type) de la recherche d'aide en fonction des variables indépendantes et des co-variables - étude 4.

	Variable Dépendante :	
	Recherche d'aide	
coûtExposé		0.266
		(0.303)
difficultéDifficile		0.028
		(0.322)
difficultéMoyen		−0.161
		(0.314)
aideCapDistance		1.685***
		(0.284)
aideCercles		3.544***
		(0.305)
aideVelocité		3.381***
		(0.301)
quantitéExercicesResolus		−0.015
		(0.061)
sexeFemme		0.076
		(0.581)
coûtExposé :difficultéDiff		−0.354
		(0.428)
coûtExposé :difficultéMoye		0.090
		(0.426)
Constante		−2.512***
		(0.411)
Observations	148	864
Log Likelihood		−435.864
Akaike Inf. Crit.		897.728
Bayesian Inf. Crit.		959.629
Note :		*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

cercles ; coefficient de régression estimé =3.380 , $se = 0.301$, $z = 11.215$, $p < 2e-16$, pour le vecteur vitesse). Le sexe et la quantité d'exercices déjà résolus n'ont pas affecté la décision de rechercher de l'aide.

Étant donné que la recherche des différents types d'aide s'est montrée significativement différente, nous avons décidé de les analyser séparément. Nous avons conduit trois modèles linéaires mixtes pour évaluer trois aspects de l'aide : (1) la quantité totale de chaque aide cherchée, c'est-à-dire qu'au lieu de seulement considérer si telle aide a été cherchée ou non, nous avons compté combien de fois une telle aide a été cherchée ; (2) le temps pendant lequel le bouton d'aide a été allumé (si un participant a utilisé une même aide plus d'une fois, les temps ont été additionnés) ; et (3) la moyenne de temps dépensé par aide, c'est-à-dire que nous avons divisé les valeurs trouvées dans l'item «2» par la quantité totale d'aide trouvée dans l'item «1». Les résultats sont représentés dans les figures 7.3, 7.4 et 7.5, et seront décrits à la suite. Les formules utilisées pour ces analyses sont les suivantes :

(1)$total_aide \sim coût * difficulté + (1|ID) + (1|mission) + sequence + sex$

(2) $temps_total \sim coût * difficulté + (1|ID) + (1|mission) + sequence + sex$

(3) $temps_par_aide \sim coût * difficulté + (1|ID) + (1|mission) + sequence + sex$

7.3.1 Radius à 36 miles nautiques

L'image 7.6 montre la capture d'écran du logiciel construit pour l'étude, avec l'outil «36NM» allumé. Généralement, le «radius à 36 miles nautiques» a été très peu utilisé. Cet outil a été activé au moins une fois dans seulement 25 (12%) des 216 [1] exercices.

1. Six exercices fois 36 participants.

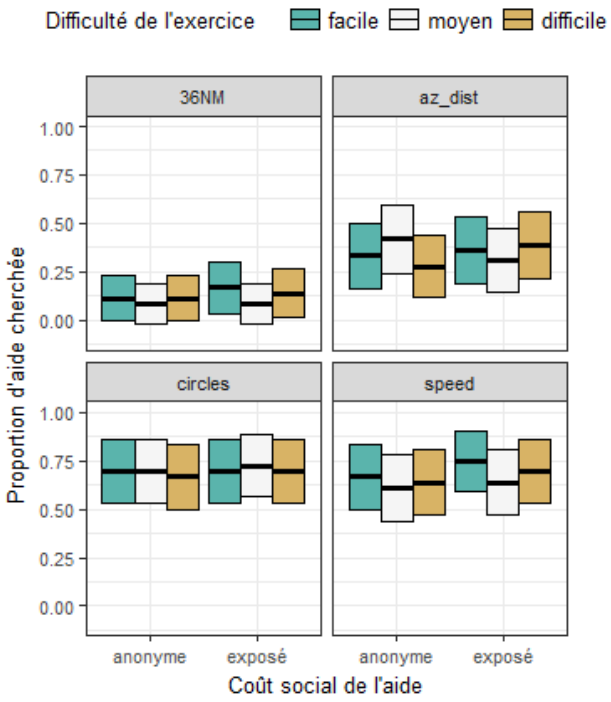


Fig. 7.3: Proportion d'aide cherchée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice selon le type d'aide. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

Aucun effet du coût social ni de la difficulté de l'exercice n'a été trouvé dans les modèles linéaires mixtes ayant comme variable dépendante la quantité totale d'aide et le temps total d'utilisation de l'aide. Les variables de contrôle – quantité d'exercices déjà résolus et sexe – n'ont pas non plus produit un effet dans la recherche d'aide. Néanmoins, la difficulté de l'exercice a produit un effet dans la recherche d'aide quand on considère le temps moyen dépensé par aide.

Le temps dépensé par aide a été inférieur lors des exercices difficiles et moyens en comparaison avec les exercices faciles, mais cet effet a été significatif uniquement lors des exercices moyens (coefficient de régression estimé $=-0.405$, $se = 0.186$, $df = 169.48000$, $t = -2.174$, $p = 0.031$). Les femmes ont dépensé plus de temps par

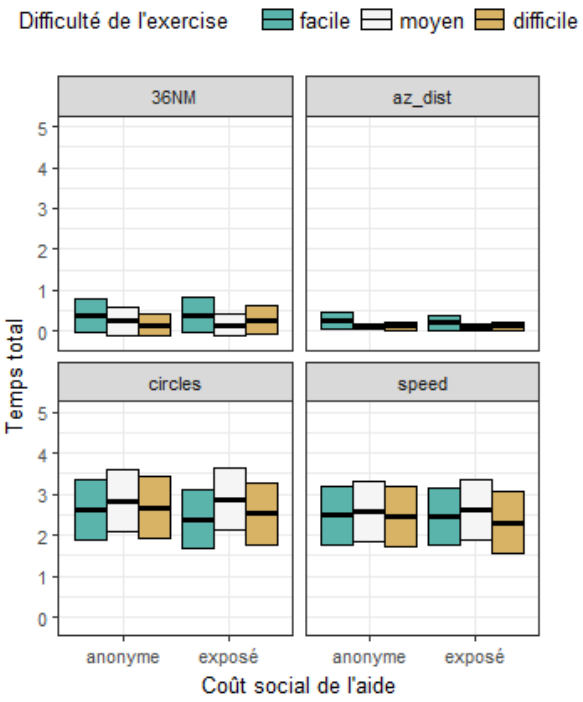


Fig. 7.4: Moyenne du temps total d'aide cherchée en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice selon le type d'aide. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

aide (coefficient de régression estimé =0.667 , $se = 0.316$, $df = 34.64000$, $t = 2.111$, $p = 0.042$)

7.3.2 Vecteur cap et distance

L'image 7.7 montre la capture d'écran du logiciel construit pour l'étude, avec l'outil «*Azimuth/Distance*» allumé. Généralement, le «vecteur cap et distance» a été utilisé au moins une fois dans 75 (35%) des 216 exercices.

Un effet marginal du coût social a été trouvé dans le modèle linéaire mixte ayant comme variable dépendante le temps moyen dépensé par aide : les participants

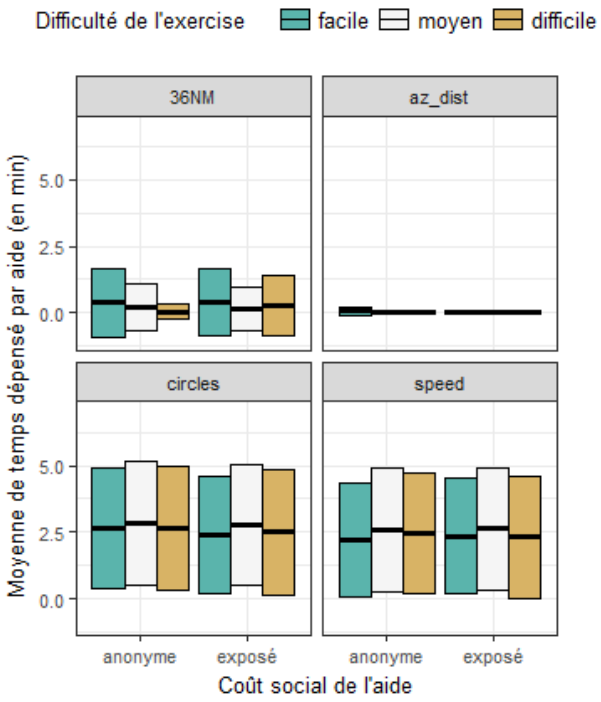


Fig. 7.5: Moyenne du temps moyen dépensé par aide en fonction du coût social de l'aide et de la difficulté de l'exercice selon le type d'aide. Les boîtes montrent un intervalle de confiance de 95% de la moyenne.

ont dépensé moins de temps dans l'utilisation du vecteur cap et distance quand leurs données étaient susceptibles d'être exposées aux instructeurs (coefficient de régression estimé $=-0.033$, $se = 0.017$, $df = 161.050000$, $t = -1.952$, $p = 0.053$). La difficulté de l'exercice a également produit un effet dans le temps moyen dépensé par aide : le temps dépensé par aide a été plus petit quand les exercices étaient moyens ou difficiles, en comparaison avec les exercices faciles. Cette différence a été marginale pour les exercices difficiles (coefficient de régression estimé $=-0.032$, $se = 0.018$, $df = 162.080000$, $t = -1.766$, $p = 0.079$) et significative pour les exercices moyens (coefficient de régression estimé $=-0.039$, $se = 0.018$, $df = 162.230000$, $t = -2.222$, $p = 0.027$).

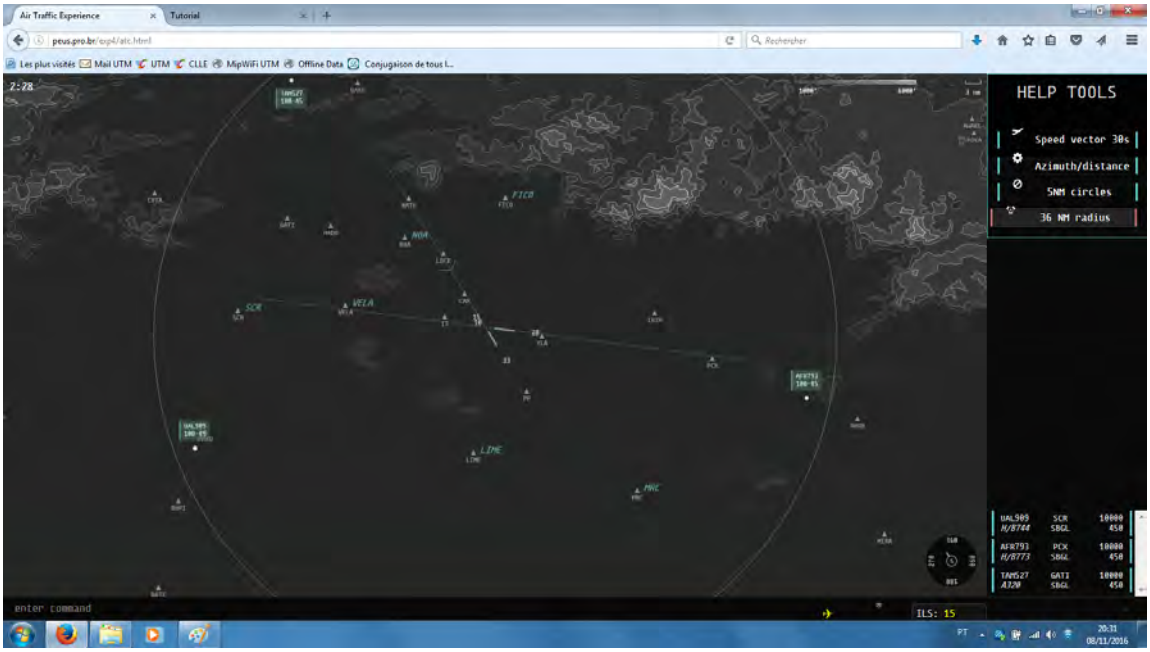


Fig. 7.6: Capture d'écran du logiciel avec l'outil «36NM» allumé.

La difficulté de l'exercice produit également un effet sur le temps total d'utilisation de l'aide : le temps total a été inférieur dans les exercices difficiles (coefficient de régression estimé $=-0.1467$, $se = 0.072$, $df = 161.270000$, $t = -2.029$, $p = 0.044$) et moyens (coefficient de régression estimé $=-0.134$, $se = 0.071$, $df = 161.510000$, $t = -1.905$, $p = 0.058$, marginal). Le coût n'a pas d'effet dans le temps total d'utilisation du vecteur cap et distance.

Aucun effet du coût social ni de la difficulté des exercices n'a été trouvé dans la quantité totale d'aide cherchée. Dans tous les modèles les variables de contrôle – quantité d'exercices déjà résolus et sexe – n'ont pas produit un effet dans la recherche d'aide.

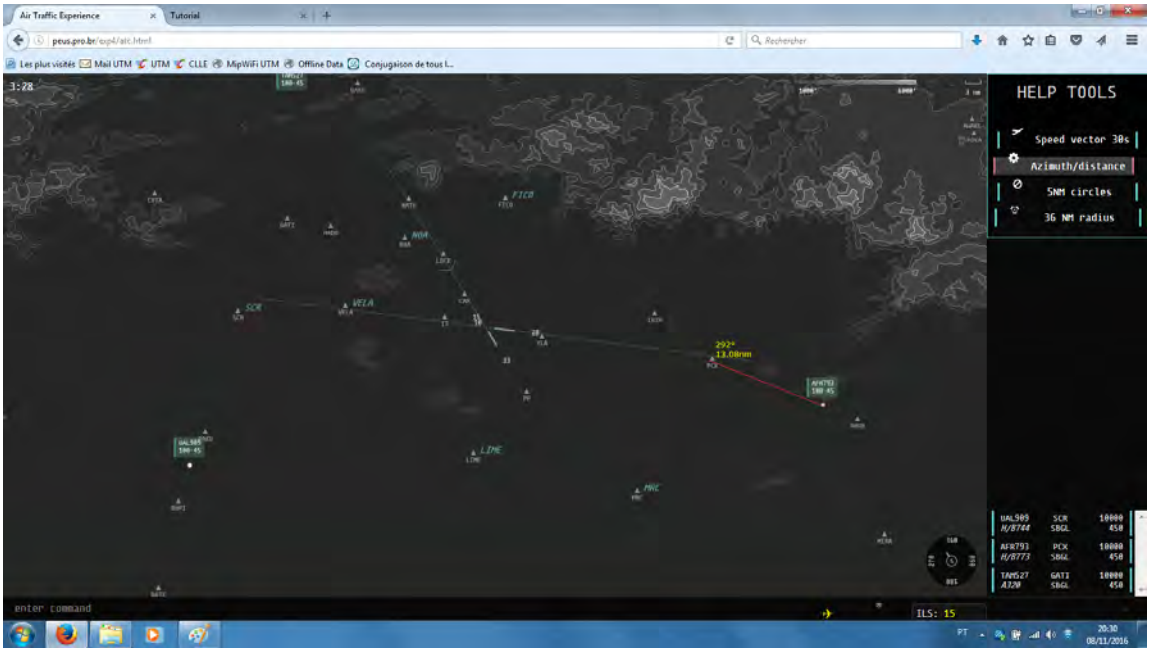


Fig. 7.7: Capture d'écran du logiciel avec l'outil «vecteur cap et distance» allumé.

7.3.3 Cercles à chaque 5 miles nautiques

L'image 7.8 montre la capture d'écran du logiciel construit pour l'étude, avec l'outil «*5NM circles*» allumé. Généralement, cet outil a été utilisé au moins une fois dans 150 (69%) des 216 exercices.

Aucun effet du coût social ni de la difficulté de l'exercice n'a été trouvé dans les trois modèles linéaires mixtes conduits. Aucun effet des variables de contrôle – quantité d'exercices déjà résolus et sexe – n'a été trouvé non plus.

7.3.4 Vecteur vitesse

L'image 7.9 montre la capture d'écran du logiciel construit pour l'étude, avec l'outil «*speed vector*» allumé. Généralement, le «vecteur vitesse» a été utilisé au moins une fois dans 144 (66%) des 216 exercices.

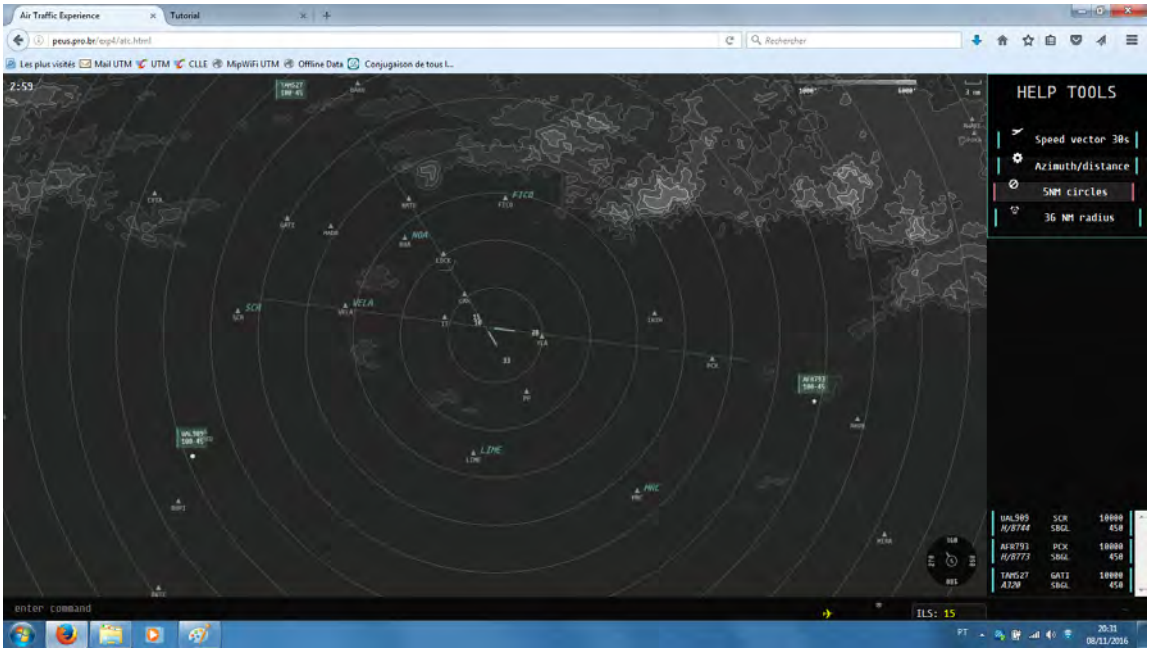


Fig. 7.8: Capture d'écran du logiciel avec l'outil «cercles à chaque 5NM» allumé.

Un effet du coût social a été trouvé dans le modèle linéaire mixte ayant comme variable dépendante la quantité totale de recherche du vecteur vitesse : l'aide a été plus cherchée lors que les données des exercices étaient susceptibles d'être exposées aux instructeurs (coefficient de régression estimé =0.642 , $se = 0.319$, $df = 173.38000$, $t = 2.011$, $p = 0.046$). Cet effet n'a pas été trouvé dans les analyses de temps total ni de temps moyen dépensé par aide.

La difficulté de l'exercice n'a pas affecté significativement la recherche d'aide dans tous les trois aspects analysés. Un effet marginal de la difficulté de l'exercice a été trouvé dans la moyenne de temps dépensé par aide : cette moyenne a été supérieure dans les exercices difficiles (coefficient de régression estimé =0.472 , $se = 0.258$, $df = 159.94000$, $t = 1.831$, $p = 0.069$).

Dans toutes les analyses, aucun effet des variables de contrôle – quantité

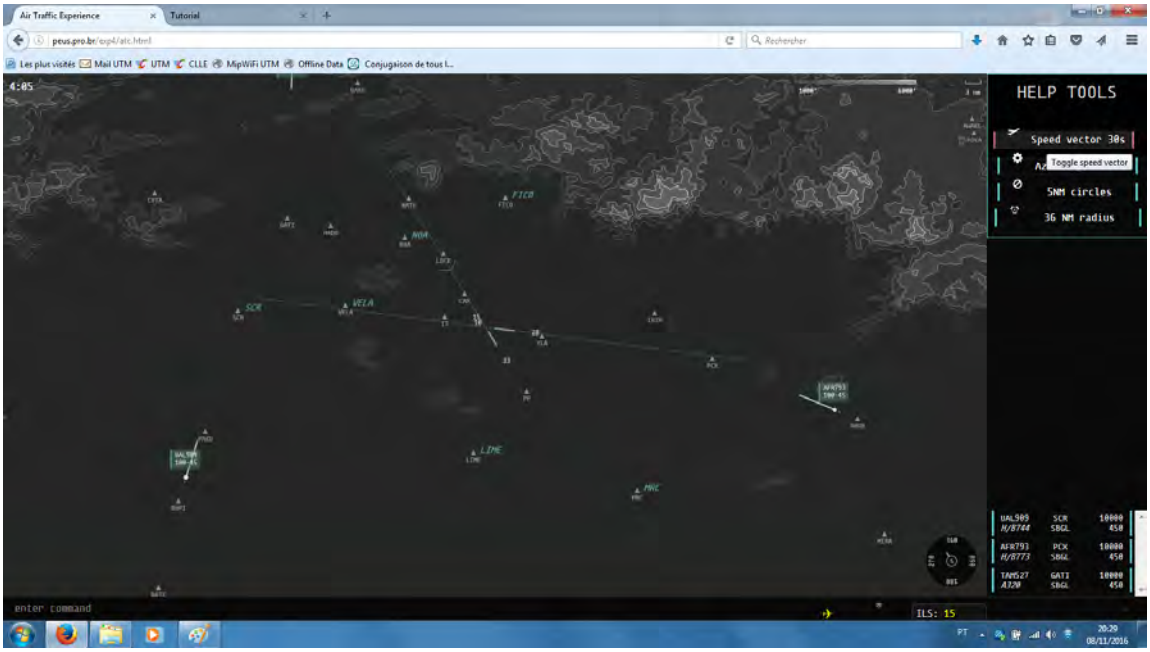


Fig. 7.9: Capture d'écran du logiciel avec l'outil «vecteur vitesse» allumé.

d'exercices déjà résolus et sexe – n'a été trouvé.

7.4 Discussion

L'objectif de cette étude était, d'abord, de vérifier si les conclusions concernant la décision de rechercher de l'aide tirées des études générales seraient valides dans le contexte de la formation des contrôleurs aériens, aussi bien que de vérifier quels outils d'aide seraient préférés par les élèves. Ainsi, nous avons adapté la manipulation du coût social et de la difficulté des exercices, réalisée dans l'étude 3, à un environnement de contrôle aérien simulé, spécialement conçu.

Les résultats de cette étude ne confirment pas les conclusions tirées dans l'étude précédente. Si dans le contexte universitaire le coût social a produit un effet dans la décision de rechercher de l'aide et qu'un effet de l'interaction du coût social

avec la difficulté perçue a même été trouvé, dans le contexte de la formation de contrôleurs aériens ces variables n'ont pas été impliquées dans la décision d'utiliser tous les outils d'aide.

Peut-être que dans cet environnement de formation, effectivement, le coût social n'affecte pas la décision de rechercher de l'aide, ou peut-être que ce scénario pédagogique, comme le scénario pédagogique peu structuré de l'étude de Mäkitalo-Siegl et Fischer (2011) présentée page 65, favorise la recherche d'aide. Mais on peut poser quelques hypothèses pour expliquer cette différence de résultats : en premier lieu, l'échantillon de cette étude a été limité par le nombre d'élèves disponibles et volontaires durant la période de réalisation de l'étude. Il est possible qu'un échantillon plus grand puisse donner plus de puissance statistique aux résultats. En outre, le manque d'effet peut être dû à l'adaptation de la manipulation faite : au lieu d'avoir un expert observateur pendant la réalisation des exercices, les données seraient susceptibles d'être exposées aux instructeurs ; la manipulation de la difficulté a également été modifiée : dans la troisième étude les exercices étaient aléatoirement classés, dans cette étude le niveau de difficulté des exercices est réel ; de plus, dans cette étude nous avons proposé quatre types d'aide. Une dernière hypothèse serait conceptuelle : il est possible que les outils qui nous avons appelés «outils d'aide» n'aient pas le sens d'aide que nous avons voulu leur donner, mais plutôt le sens d'«outils de travail».

Finalement, notre analyse des quatre outils d'aide confirme que la décision de rechercher de l'aide varie en fonction du type d'aide, autrement dit en fonction des bénéfices perçus de ce qu'apporte chaque type d'aide. Ainsi, il apparaît que le vecteur de distance et les cercles à 5NM ont été préférés par la plupart des élèves. Cette préférence peut être expliquée par une caractéristique commune à ces deux outils et qui les différencie du vecteur cap et distance : il était possible d'allumer

ces deux outils au départ de chaque exercice et les laisser allumés pendant tout le temps de l'exercice, sans qu'ils n'entravent d'autres fonctions de l'environnement. On a pu constater que, en général, c'est précisément ce qui est arrivé, ce qui explique l'équivalence des indices de recherche d'aide dans toutes les conditions de l'étude. En revanche, le vecteur cap et distance, une fois allumé, empêchait la sélection des avions par la souris, il fallait donc soit sélectionner les étiquettes des avions pour leur donner les commandes, soit éteindre le bouton de ce vecteur et le rallumer à chaque fois. Cela peut expliquer pourquoi le temps moyen dépensé et le temps total d'utilisation du vecteur cap et distance ont été inférieurs dans les exercices moyens et difficiles : avec plus d'avions à gérer il reste moins de temps pour allumer et éteindre le bouton.

Le radius à 36NM, comme le vecteur vitesse et les cercles à 5NM, pouvait être allumé pendant le temps de l'exercice sans aucune gène. Cet outil n'a intéressé qu'un très faible nombre de participants, probablement parce qu'il n'a pas été créé exactement tel qu'il se présente dans le logiciel de simulation utilisé dans leur formation. Dans la réalité, cet outil vise à fournir aux contrôleurs aériens, et aux élèves, des points, dans les routes d'arrivée, à 36 miles nautiques du seuil de la piste pour faciliter leur travail de séquençage des avions. L'outil que nous avons créé montrait un cercle de radius 36NM centré sur l'aéroport. Une autre hypothèse possible est que les participants peuvent avoir remarqué que le temps des exercices était court et ne leur permettait pas de faire atterrir les avions, donc les bénéfices liés à l'utilisation de cet outil ne seraient pas profitables.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail avait deux buts principaux : comprendre, au plan général, pourquoi les étudiants décident de ne pas rechercher de l'aide même quand ils en ont besoin pour réaliser une tâche ; et vérifier si les conclusions tirées au plan général sur cette question seraient valides dans l'environnement de formation des contrôleurs aériens. À la lumière d'un modèle rationnel de prise de décision, selon lequel les apprenants devraient être sensibles aux bénéfices de la recherche d'aide, à la probabilité d'obtenir ces bénéfices et aux coûts, et en vue d'analyser différents types de coût, nous avons mené quatre études.

Des réflexions sur les bénéfices, la probabilité et les coûts de la recherche d'aide ont été produites par des recherches antérieures. Fondamentalement, ces recherches portaient sur des questionnaires d'auto-évaluation et ces trois paramètres n'avaient pas été intégrés dans des manipulations expérimentales, comme les études que nous rapportons ici.

Tout d'abord, pour vérifier si la décision de rechercher de l'aide serait une décision rationnelle, nous avons manipulé deux des trois paramètres identifiés dans le modèle rationnel (le coût et la probabilité) ; ensuite, nous avons repris la première étude en substituant le coût financier par le coût temporel, en vue de la faire paraître plus réelle ; puis nous avons manipulé le coût social et le niveau de difficulté des exercices ; enfin, nous avons adapté la troisième étude à un environnement de simulation de contrôle aérien pour faire participer les élèves contrôleurs aériens.

Les résultats des deux premières études montrent que les participants (1) ont réagi qualitativement au coût financier : ils ont hésité à demander de l'aide quand elle n'était pas gratuite, mais la valeur de l'aide n'a pas impacté la recherche d'aide ; (2) ils n'ont pas été sensibles au coût temporel, même si ce coût correspondait à une baisse de l'indemnisation reçue, et ont cherché l'aide coûteuse comme si elle était gratuite ; (3) ils n'ont jamais été sensibles à la probabilité de recevoir l'aide cherchée : quelle que soit la probabilité de recevoir l'aide, ils l'ont cherchée dans la même mesure et ce même s'ils devaient payer pour cela.

Au plan général, l'étude concernant le coût social confirme l'importance de celui-ci : les participants ont été moins susceptibles de chercher l'aide lorsqu'ils étaient observés par un expert et notamment quand les exercices étaient classés aléatoirement comme faciles. En même temps que ce résultat est convergent avec les constatations précédentes (Kitsantas & Chow, 2007), qui suggèrent que cet effet peut être supprimé dans des environnements anonymes d'apprentissage, la quantité d'aide cherchée lorsque les participants réalisaient les exercices sans être observés montre que le coût social n'est pas le seul à affecter la décision de rechercher de l'aide : l'aide a été cherchée dans seulement la moitié des cas.

Bien que dans le cadre de la formation des contrôleurs aériens, notre étude ait été limitée par la quantité d'élèves disponibles, les résultats suggèrent que le coût social n'est pas considéré lors de la décision de rechercher de l'aide. Peut-être que la présence de l'instructeur dans l'environnement d'apprentissage pratique des contrôleurs aériens est si naturelle pour ces élèves que la possibilité de voir ses données exposées aux instructeurs n'est pas objet de menace ou coût social. Dans l'analyse de la recherche de chaque type d'aide, un effet du coût n'a été significatif que dans une seule des analyses d'un des outils, et, toutefois, dans le sens opposé à celui trouvé dans la troisième étude. Nous avons noté quelques effets, parfois marginaux, parfois

significatifs, de la difficulté de l'exercice dans les analyses de temps de l'utilisation des aides : dans la quasi-totalité des cas les outils sont plus utilisés dans les exercices faciles – toujours dans la direction opposée.

Nos conclusions aident à identifier des interventions non prioritaires pour améliorer le comportement de recherche d'aide davantage qu'ils valident un modèle de ce comportement. Autrement dit, rassurer les apprenants quant au fait qu'ils auront de l'aide s'ils la recherchent ne produit pas un grand effet, étant donné que l'incertitude ne semble pas être un souci pour eux. D'autre part, selon nos résultats, il y a très peu à gagner en rassurant les apprenants quant au fait qu'ils ne vont pas perdre du temps en recherchant de l'aide. Tandis que dans les contextes généraux l'effet du coût social semble pouvoir être réduit si les situations permettent l'anonymat de l'apprenant quant à la recherche d'aide, dans le cas spécifique du contrôle aérien, dont l'environnement de formation se caractérise par l'observation directe d'un instructeur lors de l'apprentissage pratique, les résultats suggèrent que ce coût n'a pas d'incidence sur la décision d'utiliser les outils d'aide disponibles, et que la recherche d'aide varie possiblement plus en fonction de la difficulté des exercices.

Finalement, nous avons limité la portée de ce travail à la décision de rechercher de l'aide et, compte tenu du cas spécifique de la formation des contrôleurs aériens, nous avons étudié trois types de coûts. Vu que l'environnement, tout comme les outils d'aide, sont invariables dans ce contexte, nous ne nous sommes pas intéressés à la manipulation de ces aspects. Pour tenir compte du plan général, un modèle de la décision de rechercher de l'aide devrait considérer également les aspects liés à l'environnement et au fournisseur de l'aide (soit une personne soit un logiciel), aussi bien que d'autres types de coût. Il nous semble qu'il serait intéressant d'exploiter l'existence d'un «coût personnel» lié à l'auto-défi de résoudre les exercices sans aide. Cette thèse ouvre une perspective de recherche dans le domaine de la recherche d'aide

dans le sens que des études précédentes n'ont pas considéré le processus de décision de rechercher de l'aide. Même que nos résultats ne valident pas le modèle de décision rationnelle présenté, d'autre modèles peuvent être testés dans la même optique.

Références

Aleven, V., Roll, I., McLaren, B. M., & Koedinger, K. R. (2016). Help helps, but only so much : research on help seeking with intelligent tutoring systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *26*(1), 205–223.

Aleven, V., Stahl, E., Schworm, S., Fischer, F., & Wallace, R. (2003). Help seeking and help design in interactive learning environments. *Review of Educational Research*, *73*(3), 277–320.

Amadieu, F., Van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, *19*(5), 376–386.

Babin, L.-M., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Seeking and providing assistance while learning to use information systems. *Computers & Education*, *53*(4), 1029–1039.

Baron, J. (2008). *Thinking and deciding* (4e éd.). Cambridge University Press.

Bartholomé, T., Stahl, E., Pieschl, S., & Bromme, R. (2006). What matters in help-seeking ? a study of help effectiveness and learner-related factors. *Computers in Human Behavior*, *22*(1), 113–129.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1), 1–48. doi: 10.18637/jss.v067.i01

Beal, C. R., Qu, L., & Lee, H. (2008). Mathematics motivation and achievement as predictors of high school students' guessing and help-seeking with instructional software. *Journal of Computer Assisted Learning*, *24*(6), 507–514.

Ben-Eliyahu, A., & Linnenbrink-Garcia, L. (2015). Integrating the regulation of affect, behavior, and cognition into self-regulated learning paradigms among

secondary and post-secondary students. *Metacognition and Learning*, *10*(1), 15–42.

Cavcar, A., & Cavcar, M. (2004). New directions for atc training : A discussion. *The International Journal of Aviation Psychology*, *14*(2), 135–150.

Chan, M. E. (2013). Antecedents of instrumental interpersonal help-seeking : An integrative review. *Applied Psychology*, *62*(4), 571–596.

COMAER. (2014). *Ica 63-16 : Programa de prevenção de acidentes aeronáuticos do departamento de controle do espaço aéreo para 2014.*

Corver, S. C., & Aneziris, O. N. (2015). The impact of controller support tools in enroute air traffic control on cognitive error modes : A comparative analysis in two operational environments. *Safety science*, *71*, 2–15.

Costa, J. A. M. d. (2008). *A importância dos simuladores na formação de pilotos e cta's e seu impacte na segurança de voo* (Thèse de doctorat non publiée).

de Bruin, A. B. H., & Van Merriënboer, J. J. G. (2017). Bridging cognitive load and self-regulated learning research : A complementary approach to contemporary issues in educational research. *Learning and Instruction*. Consulté sur `http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.06.001` ((in press))

Dittmann, A., Kallus, K., & Van Damme, D. (2000). *Integrated task and job analysis of air traffic controllers-phase 3-baseline reference of air traffic controller tasks and cognitive processes in the ecac area* (Rapport technique).

EATM, H. R. T. (2004). *European manual of personnel licensing - air traffic controllers. edition 2.0.*

EATMP, H. R. T. (2000). *Simulations facilities for air traffic control training* (Rapport technique).

EU, C. (2006). Directive 2006/23/ec of the european parliament and of the council of 5 april 2006 on a community air traffic controller licence. *Official Journal of*

the European Union, *114*, 22–37.

EU, C. (2015). Commission regulation (eu) 2015/340 of 20 february 2015 laying down technical requirements and administrative procedures relating to air traffic controllers' licences and certificates. *Official Journal of the European Union*, *63*, 1–122.

EUROCONTROL. (2015). *Eurocontrol specification for the atco common core content initial training. edition 2.0.*

France, C. M. d. l. C. (2007). *Du morse à la souris : 60 ans de contrôle en-route.* Mission Mémoire de l'aviation civile.

Galster, S. M., Duley, J. A., Masalonis, A. J., & Parasuraman, R. (2001). Air traffic controller performance and workload under mature free flight : Conflict detection and resolution of aircraft self-separation. *The international journal of aviation psychology*, *11*(1), 71–93.

Geary, D. C., & Berch, D. B. (2015). Evolutionary approaches to understanding children's academic achievement. *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences : An Interdisciplinary, Searchable, and Linkable Resource.*

Hauland, G. (2008). Measuring individual and team situation awareness during planning tasks in training of en route air traffic control. *The International Journal of Aviation Psychology*, *18*(3), 290–304.

Huet, N., Dupeyrat, C., & Escribe, C. (2013). Help-seeking intentions and actual help-seeking behavior in interactive learning environments. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications : The role of emerging technologies* (pp. 121–146). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Huet, N., Escribe, C., Dupeyrat, C., & Sakdavong, J.-C. (2011). The influence of achievement goals and perceptions of online help on its actual use in an

interactive learning environment. *Computers in Human Behavior*, *27*(1), 413–420.

ICAO. (1998). *Doc9683 - human factors training manual.* International Civil Aviation Organization.

ICAO. (2002). *Doc9806 - human factors guideline for safety audits manual.* International Civil Aviation Organization.

ICAO. (2007). *Doc4444 - procedures for air navigation services : air traffic management.* International Civil Aviation Organization.

ICAO. (2011). *International standards and recommended practices. annex i : Personnel licensing. 11th edition.*

ICAO. (2014). *Air navigation report 2014 edition* (Rapport technique).

Juričić, B., Varešak, I., & Božić, D. (2011). The role of the simulation devices in air traffic controller training. In *19th international symposium on electronics in traffic.*

Kallus, K., Barbarino, M., & Van Damme, D. (1997). *Model of the cognitive aspects of air traffic control* (Rapport technique).

Karabenick, S. A. (2003). Seeking help in large college classes : A person-centered approach. *Contemporary educational psychology*, *28*(1), 37–58.

Karabenick, S. A. (2004). Perceived achievement goal structure and college student help seeking. *Journal of educational psychology*, *96*(3), 569.

Karabenick, S. A. (2006). Introduction. In S. A. Karabenick & R. S. Newman (Eds.), *Help seeking in academic settings : Goals, groups, and contexts* (pp. 1–13). Routledge.

Karabenick, S. A. (2011). Classroom and technology-supported help seeking : The need for converging research paradigms. *Learning and Instruction*, *21*(2), 290–296.

Karabenick, S. A., & Knapp, J. R. (1988). Help seeking and the need for academic assistance. *Journal of Educational Psychology*, *80*(3), 406.

Karikawa, D., Aoyama, H., Takahashi, M., Furuta, K., Ishibashi, A., & Kitamura, M. (2014). Analysis of the performance characteristics of controllers' strategies in en route air traffic control tasks. *Cognition, Technology & Work*, *16*(3), 389–403.

Karikawa, D., Aoyama, H., Takahashi, M., Furuta, K., & Kitamura, M. (2012). Attempt on visualization of air traffic control tasks for supporting education and training. In *Sice annual conference (sice), 2012 proceedings of* (pp. 656–660).

Kirschner, P. A., & Van Merriënboer, J. (2008). Ten steps to complex learning a new approach to instruction and instructional design.

Kitsantas, A., & Chow, A. (2007). College students' perceived threat and preference for seeking help in traditional, distributed, and distance learning environments. *Computers & Education*, *48*(3), 383–395.

Kostons, D., Van Gog, T., & Paas, F. (2012). Training self-assessment and task-selection skills : A cognitive approach to improving self-regulated learning. *Learning and Instruction*, *22*(2), 121–132.

Luckin, R. (2013). Learning with the ecolab : Coconstructing a zone of proximal adjustment to scaffold help-seeking behavior in a simulated science microworld. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications : The role of emerging technologies* (pp. 205–226). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Makara, K. A., & Karabenick, S. (2013). Characterizing sources of academic help in the age of expanding educational technology : a new conceptual framework. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research*

and applications : The role of emerging technologies (pp. 37–72). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Mäkitalo-Siegl, K., & Fischer, F. (2011). Stretching the limits in help-seeking research : Theoretical, methodological, and technological advances. *Learning and Instruction*, *21*(2), 243–246.

Makitalo-Siegl, K., & Fischer, F. (2013). Help seeking in computer–supported collaborative inquiry-learning environments. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications : The role of emerging technologies* (pp. 99–120). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Mäkitalo-Siegl, K., Kohnle, C., & Fischer, F. (2011). Computer-supported collaborative inquiry learning and classroom scripts : Effects on help-seeking processes and learning outcomes. *Learning and Instruction*, *21*(2), 257–266.

Malakis, S., & Kontogiannis, T. (2012). Refresher training for air traffic controllers : Is it adequate to meet the challenges of emergencies and abnormal situations ? *The International Journal of Aviation Psychology*, *22*(1), 59–77.

Mayer, R. E. (2008). *Learning and instruction* (2e éd.). Prentice Hall.

Moos, D. (2013). Examining hypermedia learning : The role of cognitive load and self-regulated learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, *22*(1), 39–61.

Murphy, E. D., Albert, H. A., Chen, J. M., Anderson, G. G., Schultheis, U. W., & Aviation, M. (2011). *En route air traffic control mid-term job task analysis - volume 1* (Rapport technique).

Nelson Le-Gall, S. (1981). Help-seeking : An understudied problem-solving skill in children. *Developmental Review*, *1*(3), 224–246.

Nelson Le-Gall, S. (1985). Help-seeking behavior in learning. *Review of research in education*, 55–90.

Newman, R. S. (2000). Social influences on the development of children's adaptive help seeking : The role of parents, teachers, and peers. *Developmental Review*, *20*(3), 350–404.

Nolan, M. (2010). *Fundamentals of air traffic control*. Cengage Learning.

Oprins, E., Burggraaff, E., & van Weerdenburg, H. (2006). Design of a competence-based assessment system for air traffic control training. *The international journal of aviation psychology*, *16*(3), 297–320.

Paige Bacon, L., & Strybel, T. Z. (2013). Assessment of the validity and intrusiveness of online-probe questions for situation awareness in a simulated air-traffic-management task with student air-traffic controllers. *Safety science*, *56*, 89–95.

Puustinen, M., & Bernicot, J. (2013). Analyzing natural data to understand how students seek and obtain homework help online. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications : The role of emerging technologies* (pp. 147–177). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Puustinen, M., & Rouet, J.-F. (2009). Learning with new technologies : Help seeking and information searching revisited. *Computers & Education*, *53*(4), 1014–1019.

Roll, I., Aleven, V., McLaren, B. M., & Koedinger, K. R. (2011). Improving students' help-seeking skills using metacognitive feedback in an intelligent tutoring system. *Learning and Instruction*, *21*(2), 267–280.

Ross, J. (2016). *Atc simulator*. `https://github.com/zlsa/atc`. GitHub.

Roussel, P., Elliot, A. J., & Feltman, R. (2011). The influence of achievement goals and social goals on help-seeking from peers in an academic context. *Learning and Instruction*, *21*(3), 394–402.

Ryan, A. M., Patrick, H., & Shim, S.-O. (2005). Differential profiles of students identified by their teacher as having avoidant, appropriate, or dependent help-seeking tendencies in the classroom. *Journal of Educational Psychology*, *97*(2), 275–285.

Ryan, A. M., & Pintrich, P. R. (1997). 'should i ask for help ?' the role of motivation and attitudes in adolescents' help seeking in math class. *Journal of Educational Psychology*(2), 329.

Ryan, A. M., & Shin, H. (2011). Help-seeking tendencies during early adolescence : An examination of motivational correlates and consequences for achievement. *Learning and Instruction*, *21*(2), 247–256.

Sagasser, M. H., Kramer, A. W., van Weel, C., & van der Vleuten, C. P. (2014). Gp supervisors' experience in supporting self-regulated learning : a balancing act. *Advances in Health Sciences Education*, 1–18.

Salden, R. J., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. (2006). Personalised adaptive task selection in air traffic control : Effects on training efficiency and transfer. *Learning and Instruction*, *16*(4), 350–362.

Schworm, S., & Nistor, N. (2013). Elements of social computing in online help design. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications : The role of emerging technologies* (pp. 179–203). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Shorrock, S. T. (2005). Errors of memory in air traffic control. *Safety Science*, *43*(8), 571–588.

Shorrock, S. T. (2007). Errors of perception in air traffic control. *Safety science*, *45*(8), 890–904.

Shorrock, S. T., & Isaac, A. (2010). Mental imagery in air traffic control. *The International Journal of Aviation Psychology*, *20*(4), 309–324.

Shorrock, S. T., & Kirwan, B. (2002). Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied Ergonomics*, *33*(4), 319–336.

Stahl, E., & Bromme, R. (2009). Not everybody needs help to seek help : surprising effects of metacognitive instructions to foster help-seeking in an online-learning environment. *Computers & Education*, *53*(4), 1020–1028.

Stankovic, S., Raufaste, E., & Averty, P. (2008). Determinants of conflict detection : a model of risk judgments in air traffic control. *Human Factors*, *50*(1), 121 - 134.

Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 55, pp. 38–76). Elsevier.

Sweller, J., & Paas, F. (2017). Should self-regulated learning be integrated with cognitive load theory ? a commentary. *Learning and Instruction*. Consulté sur `http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.05.005` ((in press))

Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. une présentation des travaux de john sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, *3*, 37–64.

Tricot, A., & Boubée, N. (2013). Is it so hard to seek help and so easy to use google ? In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications : The role of emerging technologies* (pp. 7–36). Charlotte, NC : Information Age Publishing.

Tricot, A., & Sweller, J. (2016). La cécité aux connaissances spécifiques. *Education & didactique*, *10*(1), 9–26.

Van Gog, T., Kester, L., & Paas, F. (2011). Effects of concurrent monitoring on cognitive load and performance as a function of task complexity. *Applied cognitive psychology*, *25*(4), 584–587.

Van Merriënboer, J. J., & Kirschner, P. A. (2012). *Ten steps to complex learning : A systematic approach to four-component instructional design*. Routledge.

Van Merrienboer, J. J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning : Recent developments and future directions. *Educational psychology review*, *17*(2), 147–177.

Winne, P. H. (2011). A cognitive and metacognitive analysis of self-regulated learning. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 15–32). Taylor & Francis.

Winne, P. H., & Nesbit, J. C. (2010). The psychology of academic achievement. *Annual review of psychology*, *61*, 653–678.

Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of educational psychology*, *81*(3), 329–339.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner : An overview. *Theory into practice*, *41*(2), 64–70.

Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (2011). Self-regulated learning and performance : An introduction and an overview. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 1–12). Taylor & Francis.

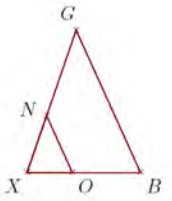
ANNEXE

.1 Liste d'exercices et d'aides

Étude 1

Exercices

1. Sur la figure ci-dessous, les droites (BG) et (ON) sont parallèles. On donne XB= 4 cm, XG= 5,3 cm, ON= 2,2 cm et OB= 2,4 cm, calculer BG et XN.



2. Calculer le plus grand commun diviseur (PGCD) de 69309 et 11322.
3. Dans une urne, il y a 1 boule verte (V), 3 boules rouges (R) et 1 boule jaune (J) indiscernables au toucher. On tire successivement et sans remise 2 boules. Quelle est la probabilité que la deuxième soit verte ?
4. Calculer les expressions suivantes et donner le résultat sous la forme d'un nombre entier :

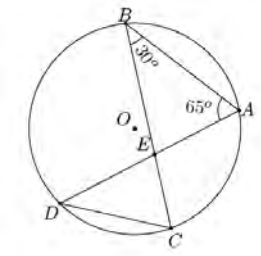
$$E = (2 - 4\sqrt{2})(2 + 4\sqrt{2})$$

$$F = \frac{64\sqrt{54}}{12\sqrt{96}}$$

5. Soit ERN un triangle rectangle en E tel que : NE = 12,6 cm et NR = 17,4 cm. Calculer la longueur RE.
6. Un agriculteur possède deux enclos. Le premier enclos contient 28 poules et 21 oies. Le second enclos contient 20 poules et 3 oies. Combien d'oies doit-on

rajouter dans le second enclos afin que la probabilité de choisir une poule dans cet enclos ait la même valeur que celle obtenue dans le premier enclos ?

7. Dans une classe de 31 élèves, la moyenne d'âge des élèves est de 15,5 ans. En tenant compte de l'âge du professeur de mathématiques, la moyenne de la classe passe à 15,86 ans. Déterminer l'âge du professeur.
8. On donne $f : x \to 4x^2 + 2x - 1$ quelle est l'image de -3 par la fonction f ?
9. Déterminer la mesure de chacun des angles du triangle EDC.



Aides

1. D'après le théorème de Thalès :

$$\frac{XB}{XO} = \frac{XG}{XN} = \frac{BG}{ON}$$

De plus, $XO = XB - OB = 1,6cm$

$$\frac{4}{1,6} = \frac{5,3}{XN} = \frac{BG}{2,2}$$

2. On calcule le PGCD des nombres 69309 et 11322 en utilisant l'algorithme d'Euclide :

$69309 = 11322 \times 6 + 1377$

$11322 = 1377 \times 8 + 396$

$1377 = 396 \times 4 + 153$

$306 = 153 \times 2 + 0$

3. On note (?,V) l'évènement : la deuxième boule tirée est verte.

$$p(?, \text{V}) = p(\text{V}, \text{V}) + p(\text{R}, \text{V}) + p(\text{J}, \text{V}) = \frac{1}{5} * \frac{0}{4} + \frac{3}{5} * \frac{1}{4} + \frac{1}{5} * \frac{1}{4}$$

4.

$$E = (2 - 4\sqrt{2})(2 + 4\sqrt{2}) \quad | \quad E = 2^2 - (4\sqrt{2})^2$$

$$F = \frac{64\sqrt{54}}{12\sqrt{96}} \quad | \quad F = \frac{64 \times \sqrt{9} \times \sqrt{6}}{12 \times \sqrt{16} \times \sqrt{6}}$$

5. Le triangle ERN est rectangle en E. Son hypoténuse est [NR]. D'après le théorème de Pythagore :

   $NR^2 = RE^2 + NE^2$

   $RE^2 = NR^2 + NE^2$

   $RE^2 = 17,4^2 + 12,6^2$

6. Le premier enclos contient un total de 49 volailles. La probabilité de choisir une poule est donc de :

$$\frac{28}{49} = \frac{4}{7}$$

   Notons x le nombre d'oies qu'on rajoute dans le second enclos. Alors, la probabilité de choisir une poule dans le second enclos devient :

$$\frac{20}{20 + 3 + x}$$

   Pour que la probabilité de tirer une poule soit la même dans les deux enclos, il

faut que le nombre de x vérifie l'égalité suivante :

$$\frac{20}{20+3+x} = \frac{4}{7}$$

7. Notons x l'âge du professeur et $\sum$ la somme des âges des élèves. La moyenne d'âge des élèves étant de 15,5 ans, on obtient la relation :

$$\frac{\sum}{31} = 15,5 \rightarrow \sum = 15,5 * 31 = 480,5$$

En ajoutant l'âge du professeur au calcul de cette moyenne, on obtient la relation :

$$\bar{x} = 15,86 \rightarrow \frac{\sum +x}{32} = 15,86$$

8. $f(-3) = 4 * (-3)^2 + 2 * (-3) - 1$
9. Les angles $\widehat{CBA}$ et $\widehat{ADC}$ sont des angles inscrits interceptant l'arc $\widehat{AC}$.
   Deux angles inscrits à un cercle et interceptant un même arc sont égaux.
   $\widehat{ADC} = \widehat{CBA}$
   Les angles $\widehat{BCD}$ et $\widehat{BAD}$ sont deux angles inscrits interceptant l'arc $\widehat{BD}$.
   Deux angles inscrits à un cercle et interceptant un même arc sont égaux.
   $\widehat{BCD} = \widehat{BAD}$
   La somme de la mesure des angles dans un triangle vaut 180°, par supplémentarité, on a :
   $\widehat{DEC}=$

Étude 2

Dans la deuxième étude nous avons utilisé les exercices et aides 1, 2, 5, 6, 7 et 8 énumérés ci-dessus.

Étude 3

Exercices

1. La variable sexe (2 modalités : homme et femme) et la variable état civil (2 modalités : marié et célibataire) ont été étudiées sur un échantillon. Après examen des résultats un statisticien déclare que : "Sur l'échantillon étudié, la fréquence de la modalité homme conditionnellement à la modalité célibataire est égale à 25%." Cela signifie-t-il que :

   ☐ On the sample, 25% is composed of men and 25% is composed of single.

   ☐ Among the males of the sample 25% is single.

   ☐ Among the singles of the sample, 25% is male.

   ☐ 25% of the sample is composed of single men.

2. Deux traitements A and B ont été proposés contre l'acné. Sur 710 personnes ayant de l'acné et soumis au traitement A, on a observé 497 guérisons. Sur 1070 personnes ayant de l'acné et soumis au traitement B, on a observé 746 guérisons. Qu'est-ce qu'on peut dire sur l'efficacité de ces deux traitements ?

   ☐ Treatment A is much more effective than treatment B.

   ☐ Treatment B much more effective than treatment A.

   ☐ We can consider that both A and B treatments have almost the same effectiveness.

   ☐ More data would be needed so we could compare the treatments effectiveness.

3. Pour déterminer s'il existait un lien entre l'allaitement maternel à la naissance et la pression artérielle dans l'enfance, une étude a consisté à mesurer la pression

artérielle systolique à l'âge de 7 ans chez des enfants dont on savait s'ils avaient été allaités ou non.

La pression artérielle systolique moyenne mesurée à 7 ans était de 98.5 mmHg (écart-type, 9.0) chez 5478 enfants qui avaient été allaités à la naissance et de 99.9 mmHg (écart-type, 9.6) chez 1125 enfants qui n'ont pas été allaités à la naissance. La pression artérielle systolique est une variable de distribution normale.

Pour cette étude il faut utiliser un test :

- ☐ of comparison of 2 means on 2 matched samples.
- ☐ of comparison of 1 mean on 1 samples to a theoretical average.
- ☐ of comparison of 2 means on 2 independent samples.
- ☐ of association of 2 continuous quantitative variables

4. La réintroduction des ours dans une région montagneuse vaut à ces animaux d'être accusés d'égorger les moutons. C'est ainsi que pour les 21 premières semaines de l'année 1 précédent le retour des ours le nombre de moutons égorgés est donné par X ; alors que pour les 21 semaines correspondantes de l'année 2 suivant le retour des ours le nombre de moutons égorgés est donné par Y :

   Durant l'année 1, pour la moitié des semaines, le nombre de moutons égorgés était au moins égal à 3. Déterminer l'indice qui a permis de conclure qu'en année 2 ce nombre était en augmentation.

   - ☐ median
   - ☐ average
   - ☐ standard deviation
   - ☐ mode

semaine	X	Y	semaine	X	Y	semaine	X	Y
1	2	3	8	0	4	15	1	10
2	3	3	9	3	6	16	1	10
3	2	4	10	4	7	17	3	11
4	4	6	11	0	6	18	2	10
5	0	4	12	3	6	19	5	11
6	3	6	13	1	8	20	2	11
7	5	5	14	3	7	21	4	12

5. Le graphique ci-contre représente l'histogramme des effectifs de la variable QI (notée x) sur un échantillon de personnes. Les modalités de x sont regroupées en classes de même amplitude 10. La classe notée de centre 120 a pour effectif 63. Estimer la moyenne et l'écart-type de x sur cet échantillon.

   ☐ moyenne= 121,30 ; écart-type= 11,15

   ☐ moyenne= 161,07 ; écart-type= 14

   ☐ moyenne= 63,51 ; écart-type= 120

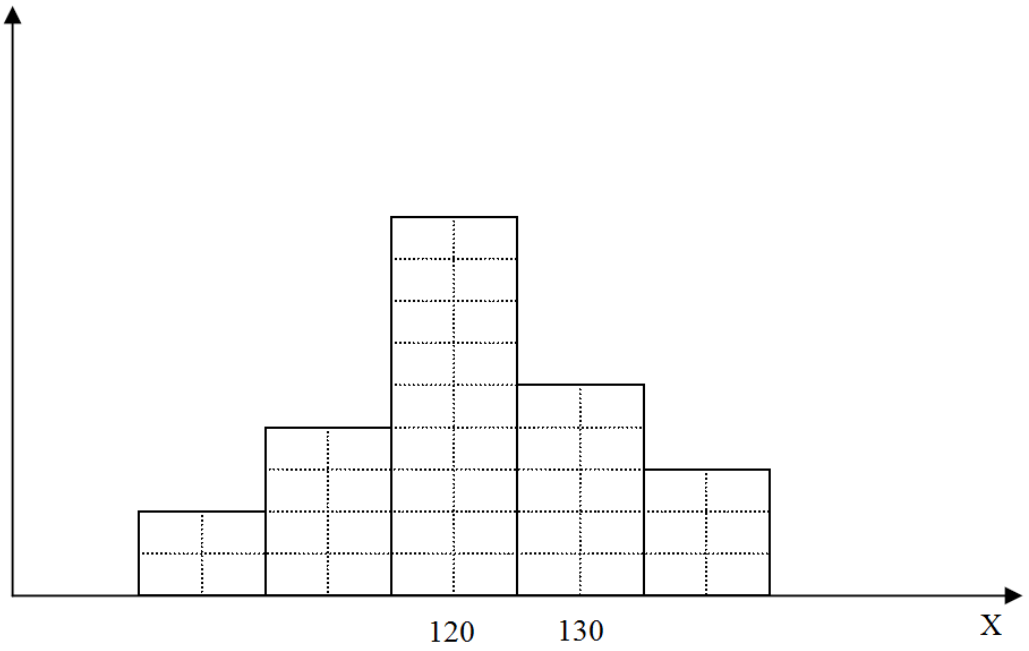
   ☐ moyenne= 120 ; écart-type= 124,39

6. Avant d'utiliser un test t de Student pour deux groupes indépendants, il faut vérifier que :

   ☐ the binary qualitative variable has a Gaussian distribution.

   ☐ the variance of the population is known.

   ☐ the number of elements is larger than 30 in each group.



☐ the variance of the samples are homogeneous.

7. Une variable X (3 modalités : x_1, x_2, x_3) et une variable Y (2 modalités : y_1, y_2) ont été étudiées sur un échantillon.

   La figure ci-dessus représente :

   ☐ the dissociated distribution of x and y.

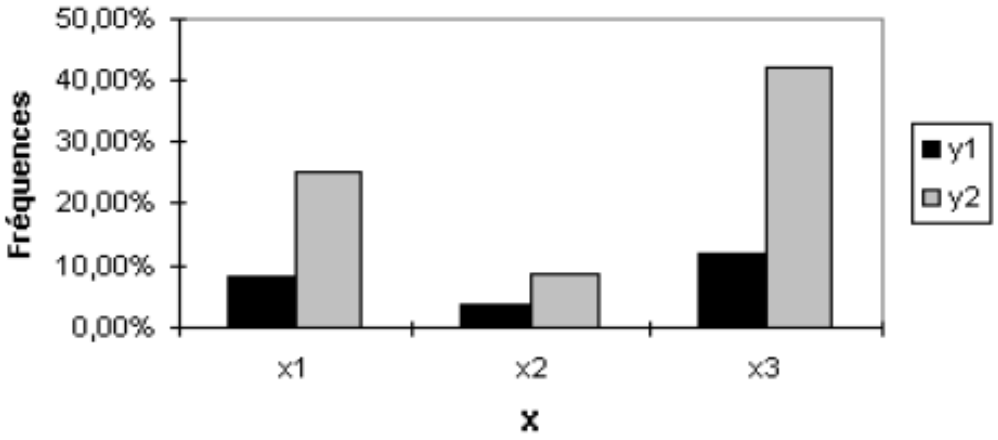
   ☐ the joint distribution of x and y.

   ☐ the distribution of x conditionally to y.

   ☐ the distribution of y conditionally to x.

8. Parmi les propositions suivantes, laquelle est exacte ?

   ☐ To use a non parametric test it is necessary to know the distribution of the studied variables.



☐ The parametric tests always require the distribution of the studied variables to be normal.

☐ The parametric tests rest on the ranking of observed values.

☐ The non parametric tests are relatively insensitive to outliers.

Aides

1. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ On the sample, 25% is composed of men and 25% is composed of single.

2. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ Treatment A is much more effective than treatment B.

3. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ of association of 2 continuous quantitative variables

4. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ standard deviation

5. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ average= 161,07 ; standard deviation= 14

6. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ the variance of the population is known.

7. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ the dissociated distribution of x and y.

8. Cette réponse *n'est pas* la bonne :

   ☐ The parametric tests always require the distribution of the studied variables to be normal.