

Université de Lille, site Pont de Bois
Ecole Doctorale SHS, Lille Nord de France
UFR de Psychologie
Laboratoire SCALab

Étude de la procédure de stimulus fading dans l'apprentissage d'une discrimination visuelle

Thèse présentée pour obtenir le grade de
DOCTEUR

Discipline : Psychologie

Par

Margot BERTOLINO

Sous la direction du Pr. Vinca RIVIÈRE
Avec la collaboration du Pr. Lanny FIELDS

Composition du Jury

Professeur Méлина Rivard, Université de Québec (rapporteur)

Professeur Gerson Y Tomanari, Universidad de São Paulo (rapporteur)

Professeur Céline Clément, Université de Strasbourg

Professeur Erik Arntzen, Oslo Metropolitan University

Professeur Vinca Rivière, Université de Lille (directrice)

Soutenue publiquement le 11 décembre 2019

Study of stimulus fading in
visual discrimination learning

"There is no world as it "appears to be"; there are simply various ways of seeing the world as it is"

Blanshard & Skinner (1967, p. 330)

Remerciements

Je remercie en premier lieu, le Professeur Vinca Rivière, directrice de cette thèse. Il y a 4 ans de cela vous m'avez accordé votre confiance pour démarrer ce projet de thèse encore flou à l'époque. Au cours de la première année, vous avez su me guider et me conseiller pour développer le protocole qui est actuellement présenté dans ce travail de thèse. Je vous remercie également pour toute la liberté que vous m'avez accordée durant ces années. Bien que travaillant sur l'apprentissage sans erreur, je ne peux nier que certaines erreurs m'ont formé et m'ont permis d'acquérir des compétences que je n'aurais su acquérir autrement. Il était important pour vous que ce travail de thèse soit mien, et je vous en remercie. Je tiens également à vous remercier pour tous les échanges que nous avons eus, qui ne concernaient pas uniquement la thèse et qui ont toujours été des plus enrichissants. J'ai appris beaucoup de choses en travaillant à vos côtés. Je n'oublierais jamais ces histoires que vous nous racontiez et souvent plusieurs fois.

Je tiens également à remercier le Professeur Laurent Madelain, pour vos conseils et recommandations de dernière minute.

Je remercie sincèrement le Professeur Mélina Rivard et le Professeur Gerson Y. Tomanari d'avoir accepté d'évaluer mon travail et d'y apporter leur expertise, ainsi que le Professeur Céline Clément et le Professeur Erik Arntzen d'avoir accepté d'être examinateurs de cette thèse.

Mes remerciements vont également au Professeur Lanny Fields que j'ai eu la chance de rencontrer en congrès. Nos nombreux échanges sur le stimulus fading ont été des plus enrichissants et des plus formateurs pour moi. Je vous remercie pour la collaboration que nous avons entreprise depuis un an et demi maintenant et sans laquelle l'étude 2 n'aurait sans doute jamais existé telle qu'elle l'est aujourd'hui.

Je tiens à remercier le laboratoire SCALab et l'équipex, pour le matériel mis à notre disposition. Merci également à l'ensemble des membres du laboratoire, aux doctorants pour nos nombreux échanges sur la recherche mais aussi sur des sujets banaux du quotidien autour d'un repas ou d'un verre. Merci à Manue, Sabine et Diane, sans vous le laboratoire ne tournerait certainement pas rond.

Merci à l'association Pas à Pas Grand Paris qui m'a financé durant 1 an et demi dans le cadre d'une convention CIFRE.

Je remercie également le docteur Charlotte Laloux qui m'a ouvert les portes de son laboratoire pendant un mois et qui m'a permis de découvrir la recherche comportementale en pharmacologie chez le rat.

Merci aux nombreux participants, aux écoles et à leurs directrices qui m'ont ouvert la porte de leur classe, aux parents des enfants qui m'ont confié leurs enfants, et sans qui les résultats présentés dans cette thèse ne seraient pas.

Merci à Alice, Audrey, François, Clément W. et Vincent. La thèse c'est aussi une histoire de belles rencontres. Vous êtes passés de « collègues » doctorants à amis et il me semblait essentiel de vous l'écrire. Sans vous les moments difficiles mais également joyeux et festifs n'auraient pas été ce qu'ils ont été. Je tiens à préciser que les moments joyeux et festifs ont d'ailleurs été mille fois plus présents que les moments difficiles. Merci également pour tous nos échanges (particulièrement à propos des stats) qui m'ont été très utiles pour cette thèse. Charlotte, non je ne t'ai pas oublié, merci d'avoir été là durant toute cette thèse, et nous avons particulièrement partagé cette grande aventure ensemble. Merci à Rémy pour les 2 années de colocation que l'on a partagé pendant ces deux premières années de thèse et pour tous les supers moments, et voyages que l'on a pu faire ensemble. Merci aussi à tous les copains.

Merci à ma famille et plus particulièrement à vous Papa, Maman et Martin, pour m'avoir mille fois demandé ce que je faisais et sur quoi je travaillais. C'est toujours un bon entraînement pour la vulgarisation, ou alors vous faisiez simplement semblant de comprendre. Merci Papa pour ta relecture du français, ça n'a pas dû être une tâche facile, merci également à toi Tonton Benoit pour la relecture en anglais. Enfin, merci à toi Lucie d'avoir été à mes côtés durant ces années et les années à venir.

Publications au cours de la thèse

Article dans revue scientifique avec comité de relecture

Bertolino M., Rivière V., and Fields L. (accepté avec révision). Two reinforcement contingencies that influence discrimination learning in stimulus fading. *The Psychological Record*.

Communications orales lors de congrès internationaux

Margot Bertolino, Vinca Rivière, & Lanny Fields (2019). *Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent stimulus change*. ABAI 45th Annual Convention, Chicago, IL, USA, May.

Margot Bertolino & Vinca Rivière (2018). *How to become a better learner? A study of learning transfer across different visual properties of stimuli*. ABAI 44th Annual Convention, San Diego, CA, USA, May.

Margot Bertolino & Vinca Rivière (2017). *When errorless learning enhances visual perception of stimuli during discrimination training*. ABAI International Convention, Paris, France, November.

Communications affichées

Margot Bertolino & Vinca Rivière (2018). *Errorless Learning With Stimulus Fading in Discrimination Learning With Autistic Children*. ABAI 12th Annual Autism Conference; Miami, FL; February.

Margot Bertolino & Vinca Rivière (2017). *Errorless Learning across Intra-Dimensional Stimuli*. ABAI 43rd Annual Convention, Denver, Co, USA, May.

Margot Bertolino & Vinca Rivière (2017). *Are you looking at the relevant characteristic? Using errorless learning during discrimination training*. SQAB Annual Symposia, Denver, Co, USA, May.

Margot Bertolino & Vinca Rivière (2015) *Effects of physical characteristics of stimulus on eye tracking among people with autism*. Les nouvelles technologies au service des neurosciences, Lille, France.

Résumé

La discrimination visuelle est une compétence importante pour l'adaptation d'un individu à son environnement au cours de son développement. Dans les années 60, de nombreuses études ont démontré que l'augmentation progressive de la difficulté et la modification perceptive des stimuli permettaient de réduire voire d'empêcher les erreurs, et facilitaient ainsi l'acquisition d'une nouvelle discrimination. La procédure de stimulus fading fut l'une des premières procédures démontrant l'acquisition d'une discrimination en absence d'erreur et est largement utilisée auprès de population avec troubles du développement. L'efficacité de cette procédure dans l'acquisition d'une nouvelle discrimination chez différentes populations (chez l'animal, l'adulte, l'enfant et l'enfant avec troubles du développement), n'a cependant pas toujours été démontrée.

La littérature semble prétendre que l'observation des stimuli joue un rôle important dans la mise en place d'une discrimination, d'autant plus lors de l'utilisation d'une procédure de stimulus fading. Ainsi, un même opérant impliquant l'observation et le contrôle visuo-moteur a été utilisé dans l'ensemble des études de cette thèse. Cela a été rendu possible par l'utilisation d'un oculomètre.

La première étude de cette thèse portait sur la réplique de l'efficacité d'une procédure de stimulus fading dans le cas d'une discrimination intradimensionnelle comparativement à une procédure d'apprentissage par essai-erreur. Nos résultats ont démontré qu'une procédure de stimulus fading impliquant la modification de la dimension pertinente pour l'apprentissage était plus efficace qu'une procédure d'apprentissage par essai-erreur. Cependant, ces résultats n'ont pas été répliqués chez l'enfant lorsque cette forme d'apprentissage était réalisée après un apprentissage par essai-erreur. Nous avons également mis en évidence que l'observation des stimuli pouvait jouer un rôle important dans l'acquisition d'une discrimination.

La deuxième étude de ce travail investiguait la relation entre la contingence de renforcement et la procédure de stimulus fading. Ces deux premiers travaux du genre ont permis d'émettre l'hypothèse que la modification contingente du discriminanda pouvait également avoir des propriétés renforçatrices et ainsi contribuer à l'efficacité de la procédure de stimulus fading.

Enfin, lors de la troisième étude, nous avons étudié l'effet d'un premier entraînement par stimulus fading sur l'acquisition d'une discrimination quasi identique à la première entraînée. Nos résultats ont mis en évidence qu'un entraînement préalable par stimulus fading pouvait favoriser le transfert d'apprentissage et ainsi permettre une facilitation dans l'apprentissage d'une seconde discrimination. De plus, chez l'enfant il semblerait que l'apprentissage par essai-erreur au préalable ralentirait voire bloquerait l'acquisition de la nouvelle discrimination.

L'ensemble de ces études a permis d'aborder la question de l'observation des stimuli et de l'importance de l'attention dans l'apprentissage d'une discrimination. De plus, l'identification de la présence d'une seconde contingence dans la procédure de stimulus fading pourrait favoriser l'efficacité de cette procédure en milieu clinique.

Mots-clés : Discrimination, stimulus fading, observation, contingence, oculomètre, apprentissage sans erreur, transfert d'apprentissage, troubles du développement.

Abstract

Visual discrimination is an important skill for the adaptation of an individual to his environment during his development. In the 1960s, numerous studies showed that the gradual increase in difficulty and the perceptual modification of stimuli made it possible to reduce or even prevent errors, and thus facilitate the acquisition of new discrimination. The stimulus fading procedure was one of the first procedures demonstrating the acquisition of discrimination in the absence of error and is widely used among people with developmental disabilities. The effectiveness of this procedure in acquiring new discrimination in different populations has not always been demonstrated. The literature seems to claim that the observation of stimuli plays an important role in the establishment of discrimination, especially when using a stimulus fading procedure. Thus, the same operant involving observation and visuo-motor control has been used in all studies of this thesis. This has been made possible using an eye tracker.

The three studies conducted in this thesis in the adult, the typical child and the child with neuro-developmental disorders highlighted the efficiency of a fading stimulus procedure in intradimensional discrimination learning. We have also shown that stimulus observation can play an important role in the acquisition of discrimination. The presence of a second contingency involving modification of a discriminative stimulus produced by the response was for the first time studied in the fading stimulus procedure. Thus, this contingency could play a role in the efficiency of the fading stimulus procedure. Finally, prior training by fading stimulus enhanced the transfer of learning and thus facilitated the learning of a second discrimination. In addition, in children, prior learning by trial and error would slow down or even block the acquisition of the new discrimination.

All of these studies have addressed the issue of observing stimuli and the importance of attention in learning discrimination. The identification of the presence of a second contingency in the fading stimulus procedure could promote the effectiveness of this procedure in a clinical setting.

Keywords: Discrimination, stimulus fading, observation, contingency, eye tracking, errorless learning, transfer of learning, developmental disorders.

Table des matières

Remerciements	4
Publications au cours de la thèse	6
Résumé	7
Table des matières	10
INTRODUCTION THÉORIQUE	14
Chapitre 1 : La discrimination, la généralisation et le stimulus	15
1.1. Définitions	15
1.2. Perception visuelle et discrimination	18
1.3. Effets des propriétés du stimulus sur le gradient de généralisation	23
Chapitre 2 : L'apprentissage sans erreurs	29
2.1. Origine de l'apprentissage sans erreurs	29
2.2. Les procédures d'apprentissage sans erreurs	32
2.3. Effets du stimulus fading sur la discrimination	37
Chapitre 3 : De l'efficacité à l'échec du stimulus fading dans l'acquisition d'une discrimination	44
3.1. Transfert du contrôle du stimulus par stimulus fading avec superposition	44
3.2. Influence de l'observation des stimuli	48
3.3. Implication d'une seconde contingence dans le stimulus fading	63
Chapitre 4 : Effet de transfert dans l'acquisition d'une nouvelle discrimination	68
4.1. Stimulus fading et transfert d'apprentissage dans une discrimination subséquente	68
4.2. Reversal, changement intradimensionnel et changement extradimensionnel	71
Problématique Générale de la thèse	79
EXPERIMENTATION	82
Hypotheses of the research	83
Study 1: The effects of stimulus fading in training an intra-dimensional discrimination ...	86
1.1. Introduction	86

1.2. Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.	89
1.3. Experiment 2: Training an intra-dimensional discrimination with the use of stimulus fading and trial-and-error learning in children.....	112
1.4. Observing responses using an eye-tracking system during a stimulus fading protocol with a child with 18q deletion syndrome: a case study.	125
1.5. General Discussion of the effects of stimulus fading in training an intra-dimensional discrimination	132
1.6. Conclusion of the effects of stimulus fading in training an intra-dimensional discrimination	140
 Study 2: Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent discriminative stimuli change.....	142
2.1. Introduction.....	142
2.2. Experiment 1: Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent stimulus change in Adults.....	147
2.3. Experiment 2: Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent stimulus change in children	165
2.4. General Discussion of Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent discriminative stimuli change.....	174
2.5. Conclusion of learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent discriminative stimuli change.	186
 Study 3: Transfer effect in learning a new discrimination with stimulus fading and trial-and-error learning as learning history.....	187
3.1. Introduction.....	187
3.2. Experiment 1: A comparison of trial-and-error learning and stimulus fading as learning history in a new discrimination.....	191
3.3. Experiment 2: Learning transfer across two intra-dimensional discriminations in children trained with stimulus fading	207
3.4. General Discussion of Transfer effect in learning a new discrimination with stimulus fading and trial-and-error learning as learning history	220
3.5. Conclusion of Transfer effect in learning a new discrimination with stimulus fading and trial-and-error learning as learning history.	226
 DISCUSSION GÉNÉRALE.....	228
1. Implications théoriques	231
1.1. La contingence de renforcement et du changement du stimulus dans le stimulus fading	231
1.2. Théories attentionnelles appliquées au stimulus fading.....	237

2. Implications méthodologiques	244
3. Implications cliniques	246
References	249
Annexes	272

INTRODUCTION THÉORIQUE

Chapitre 1 : La discrimination, la généralisation et le stimulus

1.1. Définitions

D'un point de vue adaptatif, tout organisme doit être en mesure de répondre de manière différenciée à certains stimuli de son environnement. Ainsi, un animal fuira en présence d'un prédateur, et chassera en présence d'une proie. Lorsque le comportement d'un organisme diffère en fonction des stimuli présents dans l'environnement, on va alors parler de discrimination. Nous ne pouvons évoquer la discrimination sans aborder le concept de contrôle du stimulus et de généralisation. La généralisation du stimulus est observée lorsque l'animal (un chat par exemple) chasse à la vue d'une souris, mais également à la vue de tout autre rongeur tel que le lapin. D'un point de vue plus global, la généralisation et la discrimination s'inscrivent dans le contrôle du stimulus. Le contrôle du stimulus fait référence à la capacité d'un stimulus antécédent à une réponse comportementale à déterminer la probabilité d'occurrence d'une réponse conditionnée (Terrace, 1966). Ainsi, à travers notre exemple de départ, la présence de la proie détermine la probabilité du comportement de chasser. La discrimination ainsi que la généralisation ont souvent été définies comme un processus ou un phénomène empirique. À travers les définitions de différents auteurs, nous aborderons à la fois la discrimination et la généralisation comme processus, mais également comme phénomène empirique.

Hull (1943) aborde la généralisation et la discrimination comme des processus et afin de bien comprendre sa conception, il est essentiel de présenter son analyse de la force de la réponse émise à un stimulus. Effectivement, sa théorie repose sur la présence de connexions dans le système nerveux dans lequel il y a un récepteur afférent appelé « s », impliqué dans le renforcement, qui va initier une décharge efférente appelée « r », également impliquée dans le renforcement. L'activation du récepteur afférent (s) est initiée par l'énergie d'un stimulus (S) qui lui produit la réponse (R) (1.1).

$$S \rightarrow s \cdots r \rightarrow R \quad (1.1)$$

$$S \rightarrow sHr \rightarrow R \quad (1.2)$$

Le renforcement est défini comme le renforcement d'une connexion entre un stimulus et une réponse. Plus amplement, il définit la loi du renforcement comme la diminution d'un besoin après l'émission de la réponse (R) et une diminution du « drive », qui entraînent une augmentation de la tendance d'une même situation à évoquer la réponse. La force de la réponse (sHr) serait soumise à des règles. Par exemple, son augmentation serait fonction du nombre de renforcements jusqu'à un niveau asymptotique déterminé par des limites physiologiques. La généralisation du stimulus surviendrait par le fait que la connexion ne s'établirait pas uniquement au stimulus (S), mais à une zone de stimuli adjacents au stimulus impliqué dans le conditionnement. La généralisation de la réponse quant à elle apparaîtrait lorsqu'un stimulus impliqué dans le conditionnement serait connecté à une zone de réponses liées à la réponse originelle. Spence (1936) étend la théorie de Hull en évoquant l'apprentissage de la discrimination et son effet sur la force de la réponse. Il explique que selon la théorie du renforcement, si une réponse est suivie par une récompense consommée, les tendances excitatrices des composants du stimulus sont renforcées. Le principe d'inhibition est également un pilier de sa théorie, postulant que si une réponse n'est pas récompensée alors les tendances excitatrices des composants du stimulus sont affaiblies. Keller et Schoenfeld (1950) abordent également la discrimination du stimulus comme un processus par lequel on parlera de discrimination lorsqu'une réponse est maintenue en présence d'un stimulus et est affaiblie en présence d'un autre stimulus.

Skinner (1938) aborde quant à lui la discrimination à la fois comme un processus et un phénomène empirique, bien qu'il stipule que seul le phénomène empirique est observable. Il a distingué la discrimination d'un stimulus de type S et d'un stimulus de type R. Le type S

correspond au conditionnement répondant mis en exergue par Pavlov, alors que le type R correspond au conditionnement opérant. Lors d'un conditionnement répondant, un stimulus dit neutre est associé à un stimulus dit inconditionnel qui provoque un réflexe appelé aussi réponse inconditionnelle. Par association, le stimulus neutre acquiert des propriétés et va provoquer une réponse similaire. Par exemple, un son associé à de la nourriture va par la suite induire une salivation chez l'organisme. La présentation d'une image qui n'aura pas été associée à de la nourriture ne sera pas en mesure de produire la salivation alors que le son oui. La provocation de réponses différentes en fonction des stimuli illustre la mise en place d'une discrimination. Néanmoins, si la présentation d'un son avec une tonalité proche de celui conditionné provoque la salivation alors on observe une généralisation du stimulus, puisque deux stimuli différents sont à même de provoquer une réponse identique. Lors d'un conditionnement opérant, un stimulus est présenté avant l'émission d'un comportement, une réponse est émise et cette réponse est suivie d'un renforçateur. La probabilité d'émission de la réponse sera augmentée en présence du stimulus que l'on appelle stimulus discriminatif. La probabilité d'émission de la réponse sera faible en absence du stimulus.

Brown (1965) conçoit la généralisation et la discrimination uniquement comme un phénomène empirique. Il considère que l'on parle de généralisation lorsqu'un stimulus a été conditionné et que l'on observe la même réponse à un stimulus non conditionné. Ce stimulus non conditionné est appelé stimulus généralisé. A contrario, l'absence de réponse au stimulus non conditionné signifie qu'il n'y a pas eu de transfert entre le stimulus utilisé en entraînement et le stimulus non conditionné, une discrimination est alors observée.

Nous constatons que la discrimination comme processus semble en réalité décrire la procédure par laquelle la discrimination telle qu'elle est définie de manière empirique est observée. En d'autres termes, la plupart des auteurs évoquant la discrimination comme processus décrivent ce qu'on appelle un apprentissage de la discrimination lors de laquelle une

réponse spécifique sera renforcée en présence d'un stimulus spécifique, alors que cette même réponse sera affaiblie en présence d'un autre stimulus.

Il semble essentiel de prendre en considération à la fois le phénomène empirique, car c'est ce phénomène empirique qui peut rendre compte d'une discrimination et d'une généralisation, mais également le processus, la mise en place d'un apprentissage de la discrimination. En effet, de nombreux paramètres tels que le choix des stimuli, le type de procédures d'apprentissage, l'observation des stimuli et les contingences, que nous aborderons dans les différentes parties et chapitres qui suivent, sont impliqués dans l'acquisition d'une discrimination, mais également dans l'échec de cette acquisition. Dans un premier temps, l'apprentissage d'une discrimination implique l'utilisation d'au moins un stimulus spécifique qui possède à lui seul différentes propriétés. Les propriétés perceptives des stimuli impliqués dans l'apprentissage de la discrimination pourraient donc avoir des effets sur l'acquisition d'une discrimination.

1.2. Perception visuelle et discrimination

En analyse du comportement, de nombreux auteurs prennent en considération la perception dans l'analyse de la discrimination et la généralisation. Par exemple, ils émettent l'hypothèse que la généralisation se mettrait en place lorsque des stimuli partagent des composantes d'un point de vue perceptif (Brown, 1965; Guthrie, 1930; Hull, 1943). En psychologie cognitive, la perception est définie comme l'activité complexe qui permet à l'organisme de connaître son environnement par la détection d'informations utiles saisies par ses systèmes perceptifs. Ainsi une perception peut être auditive, olfactive, tactile, gustative et visuelle. Au cours de cette thèse, le terme de perception sera parfois employé, cependant il est essentiel de souligner qu'en analyse du comportement, les processus sous-jacents ne sont pas étudiés et que seul le comportement observable peut être étudié. Les cinq perceptions sont dépendantes des stimuli présents dans l'environnement et manipulables. Par ailleurs, la vision est l'une des modalités sensorielles des plus performantes et des plus utiles à l'Homme pour

appréhender son environnement (Bagot, 1999). C'est pourquoi notre analyse sera principalement centrée sur la perception visuelle et plus spécifiquement la discrimination visuelle. Avant d'aborder l'impact des propriétés des stimuli dans la mise en place d'une discrimination via l'utilisation du gradient de généralisation, il est nécessaire d'évoquer dans un premier temps le développement de la perception visuelle chez l'Homme et dans un second temps certaines études chez le pigeon. En effet, le comportement du pigeon est largement étudié dans la littérature afin d'évaluer les capacités perceptives visuelles de ces derniers.

1.2.1. Le développement de la perception visuelle chez l'Homme

L'Homme possède cinq sens, le goût, l'odorat, le toucher, l'ouïe et la vue. Le système visuel est un système complexe impliquant l'œil en tant qu'organe réceptif des stimulations lumineuses, et le nerf optique qui transmet les informations aux différentes aires corticales impliquées (p. ex. aire V1, V2, V4 ; Duchowski, 2007). L'œil est composé d'un iris permettant de réduire les aberrations sphériques, et de la rétine contenant des récepteurs sensitifs à la lumière (Duchowski, 2007). Les rayons lumineux sont réfléchis sur l'objet, ils passent par la pupille et sont ensuite déviés par la cornée et le cristallin, pour enfin atteindre la rétine (**Figure 1.1**). Lorsque la stimulation lumineuse atteint la rétine, cette dernière déclenche l'excitation des récepteurs sensoriels visuels (Vurpillot, 1972). Les stimulations captées par la rétine à un moment précis (stimulus proximal), sont représentées sur la rétine relativement à un objet, c'est ce qu'on va appeler projection rétinienne. La projection rétinienne est souvent vue comme le reflet d'une image inversée de l'objet regardé. La perception des couleurs qui n'est pas une propriété propre de l'objet est permise grâce à la présence de cônes dans la rétine présentant 3 pigments (bleu, vert et rouge) sensibles aux différentes longueurs d'onde qui composent la lumière (Bagot, 1999). Les longueurs d'onde visibles par l'œil humain s'étendent de 400nm (violet) à 700nm (rouge).

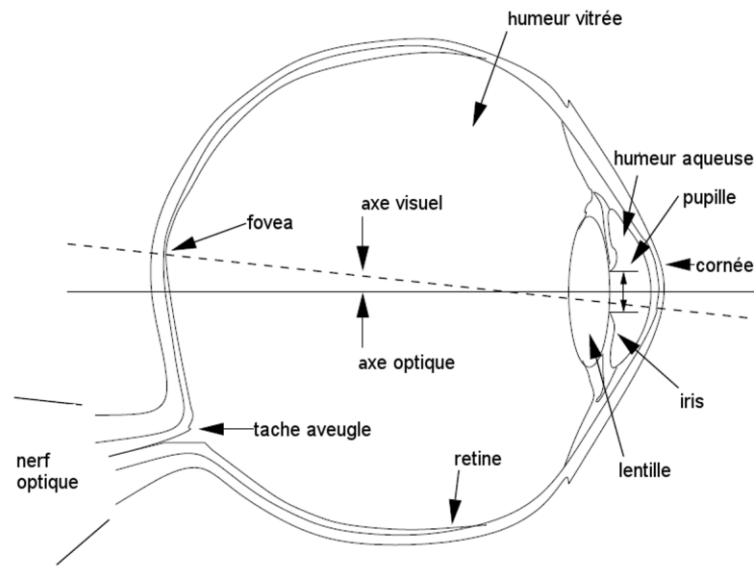


Figure 1.1. Schéma de l'œil tiré de Duchowski (2007).

Il a longtemps été pensé que le bébé humain n'avait qu'une vision brouillée et floue du monde qui l'entoure. Cependant, il a été démontré que le nouveau-né percevait en 2 dimensions, quelques couleurs, et qu'il était en mesure de distinguer un visage à moins de 20 cm de distance (Lane, 2012). Par ailleurs, le développement visuel est rapide et à l'âge de 3 à 4 mois le bébé possède des fonctions visuelles proches de l'adulte telles que l'habilité à scruter des objets, la sensibilité au contraste et la discrimination des couleurs (Slater, 2002). L'étude de la perception visuelle implique nécessairement l'utilisation de stimuli spécifiques. Les études effectuées chez le nouveau-né et le jeune enfant ont à la fois investigué la perception du visage humain, considéré comme essentiel dans le développement social, mais également la perception de stimuli différents dans la forme et dans leurs composantes. Par exemple, en présentant différents stimuli de configuration faciale (visage avec ou sans cheveux, visage brouillé) et des stimuli peu ressemblants au visage (présence de ronds à la place des yeux uniquement, forme ovale blanche ou noire), il a été mis en évidence que le nouveau-né de moins d'une semaine présentait une préférence pour les stimuli ayant une configuration faciale (Easterbrook, Kisilevsky, Muir,

& Laplante, 1999; Fantz, 1965). D'autres auteurs ont mis en exergue chez le nouveau-né de 10 semaines que la préférence pour les visages relèverait plus de la complexité qu'il représente que d'une préférence en soi pour le visage ou pour un stimulus d'une brillance particulière (Haaf, 1974; Haaf & Brown, 1976). La complexité du stimulus était définie par le nombre d'éléments qui composaient le stimulus, ainsi plus le stimulus possédait d'éléments plus il était considéré comme complexe. En 1965, Fantz a mis en évidence que des bébés âgés de moins de deux mois regardaient plus souvent les stimuli composés de rayures noires et blanches que des surfaces planes peu importe la forme géométrique (triangle ou rond) alors que les bébés âgés de plus de deux mois regardaient plus le stimulus ressemblant à une cible (alternance de trait noir et blanc circulaire).

Ces quelques études sur le développement perceptif du bébé mettent en exergue l'influence des stimuli dans l'émission d'un comportement tel que l'observation de ces stimuli. Cependant, il serait erroné de penser que seul le stimulus induise ce type de comportement. D'un point de vue comportemental, il est essentiel de replacer le comportement dans le contexte dans lequel il est émis. Par ailleurs, il serait également erroné de ne pas considérer les limites physiologiques dans la perception d'un stimulus. Quant est-il chez le pigeon ? Un certain nombre d'études réalisées chez le pigeon ont permis de démontrer les limites perceptives dans des tâches de discrimination.

1.2.2. La perception de stimuli visuels chez le pigeon

Le pigeon est un animal possédant de bonnes capacités visuelles proches de celles de l'Homme. Par exemple, tout comme l'être humain, le pigeon est capable de séparer et localiser un stimulus cible dans différents types de textures (Cook, Cavoto, & Cavoto, 1996). C'est également l'animal, avec le rat et le chimpanzé dont le comportement est plus étudié dans l'apprentissage de la discrimination. Certaines discriminations pourraient être considérées comme difficiles à établir chez un animal tel que le pigeon puisqu'elles feraient appel à des

concepts. Or il a été mis en exergue que par l'utilisation de procédure de renforcement, une discrimination entre le style de peinture de Picasso et de Monet pouvait être établie chez le pigeon (Bhatt, Wasserman, Reynolds, & Knauss, 1988; Herrnstein, 1985; Watanabe, 2010; Watanabe, Sakamoto, & Wakita, 1995). Ainsi les pigeons apprenaient à catégoriser des stimuli selon des classes, mais également à généraliser ces classes à de nouveaux stimuli (Bhatt et al., 1988). En d'autres termes, une généralisation s'était également mise en place puisque lors de la présentation d'une peinture de Picasso non apprise, une réponse était émise.

Néanmoins, certains stimuli ne semblent pas acquérir de contrôle différentiel sur les réponses du pigeon. Par exemple, Kelly, Bischof, Wong-Wylie, & Spetch (2001) ont mis en évidence que contrairement aux humains les pigeons n'étaient pas en mesure de discriminer différents « glass patterns ». Rappelons ici qu'un « glass pattern » est une image composée de nombreux points qui sont répartis spatialement de façon à former de manière globale un pattern distinctif (**Figure 1.2**).

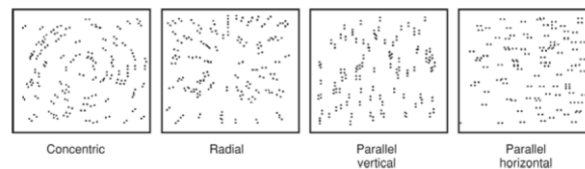


Figure 1.2. Exemple de "glass patterns" utilisé dans l'étude de Kelly et al. (2001).

L'absence de discrimination sur ce type de pattern suggérerait que les pigeons répondraient plus à des informations locales sur des petites échelles spatiales plutôt que sur l'ensemble du stimulus (Cerella, 1977, 1979, 1980). Cependant, cette théorie a été réfutée par une autre intitulée la « recognition by-components ». Cette théorie propose que la reconnaissance d'objet apparaisse en étapes dont les dernières sont les suivantes : l'extraction des bords correspondant à l'orientation et aux profondeurs discontinues de l'objet, la segmentation des parties de l'objet, l'activation d'unités pour chaque partie correspondant à un membre particulier d'un set de primitives géométriques (geons) et des propriétés de ces unités (comme l'orientation, le rapport d'aspect, les relations spatiales des geons), et l'activation d'une

représentation de l'objet basée sur les composants identifiés et leurs relations spatiales les unes aux autres » (Van Hamme, Wasserman, & Biederman, 1992). Ces mêmes auteurs ont entraîné des pigeons à émettre une réponse à des stimuli représentant linéairement des objets ou animaux dont des parties étaient manquantes. Malgré ces lignes manquantes, l'œil humain est toujours en mesure de discriminer les stimuli. Lorsque les mêmes stimuli composés cette fois-ci des parties manquantes étaient présentés, les pigeons émettaient également une réponse, démontrant ainsi une généralisation (Van Hamme et al., 1992, **Figure 1.3**).



Figure 1.3. Exemple de stimuli utilisés dans l'étude de Van Hamme et al. (1992).

Ces recherches sur la perception visuelle chez le pigeon ont mis en évidence que la variabilité et la complexité des stimuli utilisés pouvaient influencer à la fois la discrimination et la généralisation des stimuli. Nous allons maintenant nous intéresser aux effets des propriétés du stimulus sur la généralisation du stimulus.

1.3. Effets des propriétés du stimulus sur le gradient de généralisation

Le gradient de généralisation réalisé suite à un entraînement à la discrimination est la méthode la plus utilisée à la fois pour rendre compte de la discrimination et de la généralisation. Il est également nommé gradient de généralisation. Bien que son nom puisse différer, le principe est quasi identique. L'animal humain ou non humain est entraîné à émettre une réponse en présence d'un stimulus ayant certaines propriétés physiques (S+) et à ne pas répondre en présence d'un autre stimulus (S-). Les réponses, émises en présence du S+, sont renforcées et les réponses en présence du S- ne sont pas renforcées, cela définit la procédure de renforcement différentiel. Cependant, l'utilisation d'un S- explicite, c'est-à-dire manipulé et intégré par l'expérimentateur n'est pas une condition nécessaire à la mise en place du contrôle du stimulus.

Suite à l'acquisition de l'entraînement, le test de généralisation est administré sous extinction (c.-à-d. en l'absence de renforcement) et consiste en la présentation de stimuli différents de celui d'entraînement. Ce test permet d'obtenir une courbe avec pour abscisse les valeurs des stimuli en test et en ordonnée le taux de réponse pour chaque stimulus. La forme de la courbe met en exergue le contrôle exercé par chacun des stimuli. Comme le démontre la figure plus le gradient est pointu, plus la pente est raide, meilleur est le contrôle du S+ utilisé en entraînement. Un gradient arrondi, mettant en évidence un taux de réponses quasi identique aux stimuli adjacents au S+, rend compte d'une certaine généralisation (**Figure 1.4**).

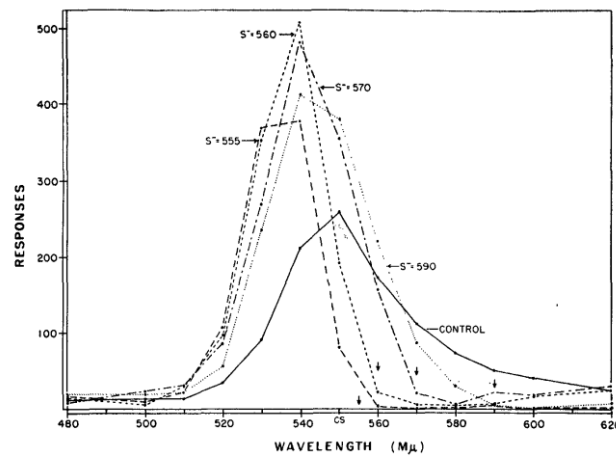


Figure 1.4. Exemple de gradient de généralisation sur la couleur exprimée en longueur d'onde obtenu par Hanson (1959).

L'étude de Guttman & Kalish (1956) n'impliquait pas la présence d'un stimulus directement associé à l'absence de renforcement (S-). Ils ont formé six groupes de pigeons, chacun entraîné à donner des coups de bec sur un stimulus conditionné (S+) de différentes couleurs (variation dans la longueur d'onde ; 530, 550, 560 et 600 nm). Après avoir réalisé un renforcement continu, ils ont mis en place un renforcement intermittent basé sur un intervalle variable de 1 minute. Par la suite, 11 stimuli différents, variant de -70nm à +70nm par rapport au S+, étaient présentés aléatoirement aux pigeons. Un second test de généralisation était effectué après une deuxième phase d'entraînement avec la longueur d'onde du S+ utilisée en première phase d'entraînement. Le gradient de généralisation était obtenu par la représentation graphique du nombre total de réponses pour chaque stimulus. Les gradients obtenus

présentaient une symétrie ainsi qu'une forte pente indiquant un contrôle important du S+. Par ailleurs, ils ont effectué une comparaison entre les pentes des gradients en corrélation avec le seuil perceptif obtenu chez le pigeon. Les seuils perceptifs étaient très bas dans les zones de bleu (450-495 nm) et jaune (570-590 nm) alors qu'ils étaient haut en vert (495-560 nm). Leur analyse met en évidence une asymétrie inverse aux seuils de discrimination obtenus pour les valeurs 550 nm et 600 nm. En d'autres termes, le gradient de généralisation possédait une très forte pente à 600nm alors que le seuil perceptif était bas et le gradient de généralisation pour la valeur 550nm avait une pente moins importante alors que le seuil perceptif était plus haut. Cependant, le comportement à réaliser entre le test de seuil et le test de généralisation était différent, et cette variable aurait pu contribuer à la divergence de ces deux résultats. Par ailleurs, les auteurs n'avaient pas pris en compte la luminosité dans l'étude et celle-ci aurait pu jouer un rôle en accentuant la pente du gradient.

L'étude de Guttman & Kalish (1956) a mis en évidence que malgré une faible capacité perceptive pour une longueur d'onde, celle-ci pouvait acquérir un contrôle important sur le comportement, ce contrôle étant observé par une pente raide du gradient de généralisation. Newman & Baron (1965), par l'utilisation d'un S+ composé ont démontré que certaines caractéristiques visuelles d'une clef lumineuse ne semblaient pas acquérir de manière indépendante un contrôle sur le comportement. Dans leur étude, le S+ utilisé était une clef lumineuse verte avec en son centre une ligne blanche à la verticale, et le S- différait selon les groupes. Pour le groupe 1, la clef était verte sans ligne, pour le groupe 2, la clef était rouge sans ligne et enfin pour le groupe 3, la clef était rouge avec une ligne. Les résultats ont mis en évidence que lorsqu'un stimulus était composé de couleur et de l'orientation d'une ligne, la couleur prônait sur l'autre dimension dans le contrôle du comportement. Effectivement, les performances en discrimination étaient bien moindres pour le groupe 1 que pour les deux autres groupes. Cependant, en test de généralisation sur l'orientation de la ligne, seul le groupe 1

présentait un gradient raide alors que les deux autres groupes présentaient un gradient plat. Ainsi, l'orientation de la ligne était en mesure de contrôler le comportement uniquement lorsque celle-ci était l'unique dimension pertinente pour discriminer les deux clefs. Ce phénomène observé est le phénomène « d'overshadowing » premièrement observé par Pavlov (1927, cité dans Rescorla, 1969). Ce phénomène sera plus amplement abordé dans la partie dédiée à l'observation des stimuli.

Les résultats mis en évidence par Butter (1963) concordent avec l'étude précédente. Après avoir entraîné des pigeons à répondre à une clef verte avec une ligne verticale (90°), il présentait en test de généralisation des combinaisons de trois valeurs d'onde et d'inclinaison de ligne pour le premier groupe et cinq valeurs combinées pour le second groupe. Pour les deux groupes, le gradient de généralisation était plus plat lorsque les stimuli variaient dans les deux dimensions. Autrement dit, lorsqu'une des dimensions utilisées en apprentissage était présente en test de généralisation, le taux de réponses était plus important et le gradient plus pointu. L'auteur a postulé que la généralisation multidimensionnelle était fonction de la similarité perçue entre les stimuli dans chacune des dimensions pertinentes. Ainsi, la similarité entre des stimuli qui différaient dans plusieurs dimensions était relative à la similarité de chaque dimension pertinente dans l'apprentissage.

Baron (1965) émet l'hypothèse que toutes les dimensions d'un stimulus ne maintiennent pas un contrôle équivalent sur la réponse d'organismes différents. En d'autres termes, il suggère que chaque organisme posséderait une organisation naturelle qui déterminerait la sensibilité des dimensions du stimulus à contrôler le comportement. Cette hypothèse s'intitule la hiérarchie attentionnelle. Ainsi, si un organisme est entraîné à discriminer un stimulus haut dans la hiérarchie accompagnée d'un stimulus bas dans la hiérarchie, comme par exemple la couleur et la ligne, et s'il est testé en généralisation sur la dimension du stimulus haut dans la hiérarchie, un gradient de généralisation pointu devrait être obtenu ; alors que s'il est testé sur la dimension

du stimulus bas, le gradient devrait être relativement plat. De plus, Baron évoque trois effets du renforcement différentiel sur la hiérarchie des éléments des stimuli utilisés : « 1) la position d'un élément bas dans la hiérarchie peut être élevée en renforçant différentiellement sa présence et en fournissant un renforcement non différentiel en présence d'un élément haut dans la hiérarchie. 2) le renforcement différentiel de deux éléments, l'un bas dans la hiérarchie et l'autre haut est peu probable de produire un contrôle par l'élément bas. 3) le renforcement différentiel d'un élément haut dans la hiérarchie avec le renforcement non différentiel de la présence d'un élément bas dans la hiérarchie est peu probable d'augmenter le contrôle par l'élément le plus bas. ». Ainsi, le contrôle du stimulus dépendrait de la position du S+ dans la hiérarchie mais également de la position du S-.

Par ailleurs, Tomie, Davitt et Thomas (1975) ont également mis en évidence que la similarité des stimuli, c'est-à-dire un ou plusieurs éléments communs entre les stimuli utilisés en entraînement avec renforcement différentiel, donnait lieu à des variations dans la pente du gradient de généralisation en fonction du degré de différence des stimuli. Ainsi, des stimuli présentant plus de similarités entraînaient un gradient de généralisation plus pointu dans la dimension similaire que des stimuli ayant plus de variations.

Enfin, il s'est avéré qu'une intensité lumineuse forte et un nombre d'essais plus important en phase d'entraînement augmentaient le contrôle du comportement (Spiker, 1956). L'utilisation d'un renforcement différentiel et la perceptibilité des éléments semblent donc influencer le contrôle des éléments du stimulus, et par conséquent la discrimination et la généralisation du stimulus. Le choix de la différence perceptive entre le S+ et le S- en entraînement influence également le gradient de généralisation et l'acquisition de la discrimination. Lorsqu'en entraînement les valeurs du S+ et du S- sont proches, le nombre d'essais pour acquérir la généralisation est alors plus important, et le gradient de généralisation se décale du côté opposé au S- (Derenne, 2006; Hanson, 1956). En effet, la forme du gradient

de généralisation et sa pente seraient fonction de la différence de valeurs entre le S+ et le S-, plus cette différence est petite, plus la pente est raide vers le S- et se décale à l'opposé de celui-ci. Raben (1949) a étudié la généralisation du stimulus en fonction des différences d'intensité du stimulus par la mesure du temps de parcours du couloir d'un labyrinthe. Les groupes ayant eu en entraînement une intensité plus faible pour le S-, et par conséquent une différence plus importante entre les deux stimuli, ont acquis la discrimination plus rapidement. Quant à Frick (1948), il a émis l'hypothèse que plus la différence entre S+ et S- diminue, plus il y a de la généralisation, en observant plus de réponses en S- lorsque la différence était petite. Néanmoins, comme nous avons pu le voir précédemment, les capacités perceptives de l'animal peuvent aussi entrer en jeu dans la discrimination. Ainsi, si une différence trop petite est non perçue, en dessous du seuil limite, alors le contrôle du comportement peut éventuellement s'étendre aux valeurs voisines du S+ incluant le S-. L'étude de Pierrel et Sherman (1962), réalisée chez des rats avec des stimuli auditifs, a également mis en évidence que le nombre total de réponses pour obtenir une acquisition de la discrimination était fonction inverse de la différence entre le S- et le S+. Ils avaient également mis en évidence un déplacement du gradient de généralisation à l'opposé du S-.

L'utilisation d'une variété de caractéristiques physiques des stimuli dans les études mettant en place un apprentissage de la discrimination ont démontré avoir un impact sur le contrôle du stimulus. Ainsi, en fonction que celui-ci soit complexe, ait une certaine différence avec le S-, ait des propriétés perceptives particulières (c.-à-d. intensité), l'apprentissage de la discrimination s'établit différemment. Dès les années 60, ces découvertes ont permis le développement de nouvelles techniques d'apprentissage, appelées apprentissage sans erreurs.

Chapitre 2 : L'apprentissage sans erreurs

2.1. Origine de l'apprentissage sans erreurs

Dans la littérature, il a été supposé que lors d'un apprentissage, des réponses devaient être émises sur le S-, que l'on considère communément erreur, pour que la discrimination puisse se mettre en place (Spence, 1936). Le fait de présenter le S+ et le S- de manière simultanée ou alternée selon le type de programmes, est appelé apprentissage par essai-erreur. Ainsi l'organisme a la possibilité d'émettre des erreurs en répondant au S- qui est généralement suivi de l'absence de conséquence (extinction) ou d'un stimulus « aversif ». Les réponses au S+ étant renforcées, la probabilité de répondre à ce dernier augmente jusqu'à ce qu'un critère d'acquisition soit atteint. Les réponses émises sur le S+ sont considérées comme étant des réponses correctes. Ainsi, au début de l'apprentissage, les réponses sont émises autant sur le S+ que sur le S-, résultant en un pourcentage de réponses correctes avoisinant le hasard. Par renforcement, les réponses au S+ seront proportionnellement plus importantes que les réponses au S-, mettant ainsi en évidence un apprentissage.

Nous avons vu précédemment que les caractéristiques perceptives des stimuli influençaient l'acquisition de la discrimination. Ainsi, il a été mis en évidence qu'une discrimination considérée comme difficile pouvait être acquise en passant par des discriminations plus faciles (House & Zeaman, 1960; Lawrence, 1952; Schlosberg & Solomon, 1943). Une discrimination peut être a priori considérée comme difficile dans le cas où celle-ci implique des stimuli possédant des propriétés peu perceptibles pour l'espèce animale. Par exemple, cela serait le cas pour un rat qui a des capacités visuelles limitées, exposé à des stimuli visuels. Dans l'étude de Lawrence (1952), un groupe de rats appelé « hard discrimination group » avait reçu un entraînement avec deux stimuli gris de luminosités très proches ; un groupe appelé « abrupt transition group #1 » avait reçu un entraînement avec les deux stimuli les plus perceptivement éloignés (très clair et très foncé) et ensuite avec les deux stimuli tests

qui étaient les gris proches ; un troisième groupe de rats avait reçu le même type d'entraînement en commençant par un des stimuli légèrement différents des stimuli tests (« abrupt transition group #2 ») ; enfin, un dernier groupe « gradual transition group » avait reçu un entraînement avec les deux stimuli les plus éloignés, puis tous les dix essais, chaque stimulus était changé pour être plus proche perceptivement. Ainsi, pour tous les groupes l'entraînement de la discrimination se terminait par les deux stimuli tests les plus proches perceptivement. Au cours de l'apprentissage, et ce jusqu'à la fin de l'apprentissage, le dernier groupe présentait un pourcentage d'erreurs plus faible que les autres groupes, mettant ainsi en évidence que la part d'erreurs lors d'un apprentissage de la discrimination pouvait être réduite en passant d'une tâche facile à une tâche difficile. Par ailleurs, l'étude démontrait qu'une transition trop abrupte générait un pic d'erreurs alors qu'une transition progressive maintenait une diminution progressive des erreurs. L'effet d'une transition de facile à difficile sur l'apprentissage d'une discrimination a également été mis en évidence chez l'humain. House et Zeaman (1960) avaient entraîné des enfants présentant une déficience intellectuelle à discriminer des stimuli qui différaient dans la couleur et la forme, présentés soit peintes en deux dimensions sur fond gris, soit en objets tridimensionnels. Tout comme l'étude précédente, trois groupes avaient été réalisés en fonction de la modification des stimuli. Un premier groupe avait reçu un entraînement avec les stimuli tests qui étaient présentés en deux dimensions, un deuxième groupe avait reçu un entraînement avec tout d'abord une paire d'objets ayant la même couleur et la même forme que la paire en deux dimensions, un troisième groupe avait reçu un entraînement avec en premier temps une paire d'objets différents dans la couleur et la forme de la paire en deux dimensions, et dans un deuxième temps la paire test. Les résultats ont mis en évidence que les enfants ayant reçu un entraînement préalable avec une paire d'objets identiques en couleur et en forme aux stimuli en deux dimensions avaient appris plus rapidement la discrimination cible. L'augmentation progressive de la difficulté de la tâche et la

modification perceptive du discriminanda a donc permis à la fois chez l'animal et chez l'enfant l'apprentissage d'une discrimination difficile.

Les travaux de Terrace (1963a), premiers travaux établissant un apprentissage de la discrimination sans erreurs, se sont basés sur les études précédentes. L'auteur cherchait à mettre en évidence les conditions favorables pour réduire les réponses sur le S- lors de l'acquisition de la discrimination en se basant sur le moment auquel est introduit le S- et comment celui-ci est introduit. Ainsi, quatre groupes de pigeons ont été créés en fonction de la manipulation de ces deux caractéristiques. Tous les groupes étaient soumis à un programme multiple avec deux composantes, l'une avec un renforcement à intervalle variable sur une clef rouge et l'autre avec extinction sur une clef verte. Lors d'un programme multiple, deux programmes ou plus s'alternent et chacun est corrélé avec un stimulus différent. Une procédure de correction était appliquée lorsqu'une réponse était émise sur le S-, la composante suivante démarrait 3 minutes après afin d'éviter tout renforcement accidentel. Le groupe « early progressive » a reçu un entraînement durant lequel le S- passait de noir (éteint) avec une durée de 5 secondes à totalement lumineux pendant 3 minutes. Lors de la première session, la durée était tout d'abord modifiée passant de 5 secondes à 30 secondes, puis la durée se rétablissait à 5 secondes et la luminosité de la clef était progressivement augmentée jusqu'à ce qu'elle atteigne la même luminosité que la clef rouge (S+). À la fin de la première session, lorsque la luminosité maximale était atteinte, la durée de présentation du S- était de nouveau augmentée de 5 à 30 secondes. À la deuxième session, la durée passait de 30 secondes à 90 secondes, et la troisième session de 90 secondes à 3 minutes. Pour le groupe « early constant », le S+ était également intégré dès le départ à l'entraînement de la discrimination, mais aucune modification n'était réalisée. Les groupes « late progressive » et « late constant » reproduisaient des conditions identiques à leur homologue avec seule différence d'avoir le S- après 21 sessions de S+ seul. Une deuxième expérience avait été réalisée en manipulant la durée et l'intensité du S- de

manière différente pour les groupes « progressive ». Le S- avait tout d'abord une durée constante de 0.5 seconde et une intensité qui augmentait progressivement jusqu'à ce qu'elle soit identique au S+, puis la durée passait de 0.5 seconde à 5 secondes. Une autre distinction faite avec l'expérience 1 était la définition d'essai. Un essai était déterminé par une période de temps durant laquelle l'une des clefs était allumée et chaque essai se terminait par l'émission d'une réponse ou l'absence de réponse dans les 5 secondes qui suivaient l'apparition du stimulus. Par ailleurs, les réponses au S+ n'étaient pas renforcées avec un intervalle variable, mais étaient placées sous renforcement continu, donnant ainsi une probabilité de renforcement de 1. Les deux expériences ont démontré qu'intégrer le S- plus tardivement lors de l'entraînement engendrait un nombre plus important d'erreurs, d'autant plus si celui-ci était maintenu constant. Les groupes « early progressive » ont réalisé très peu d'erreurs lors de l'apprentissage avec un maximum de 13 erreurs en expérience 1, et 8 en expérience 2, la majeure partie réalisée durant la première session. Ainsi, cette étude a permis de mettre en évidence la possibilité d'acquérir une discrimination avec peu d'erreurs sur le S- en fonction de la manière dont il est introduit dans l'apprentissage.

Ces études ont été les prémices de l'apprentissage sans erreurs. De par la modification perceptive des stimuli discriminatifs, une discrimination originellement acquise avec émission d'erreurs a pu être entraînée en absence ou quasi absence d'erreurs. Suite à ces travaux, d'autres techniques d'apprentissage sans erreurs se sont développées.

2.2. Les procédures d'apprentissage sans erreurs

L'apprentissage sans erreurs est une procédure qui permet de réduire ou d'éliminer les erreurs lors de l'apprentissage d'une discrimination, néanmoins cela ne signifie pas que les erreurs ne peuvent survenir lors de l'entraînement. Suite aux découvertes mises en lumière par Terrace (1963), l'apprentissage sans erreurs a suscité un grand intérêt dans la littérature afin de développer au mieux des procédures pour acquérir des compétences sans erreurs. Celles-ci sont

nombreuses et variées impliquant soit une modification directe du stimulus soit un ajout dans l'environnement. Ces modifications ou ajouts sont appelés guidances. Une guidance peut être effectuée sur le stimulus impliquant la modification physique de celui-ci ou l'ajout d'un stimulus comme par exemple le pointage. Une guidance peut également être effectuée sur la réponse, elles peuvent être verbales, physiques ou consister en la démonstration de la réponse. En théorie, la guidance permet de faciliter l'apprentissage d'une nouvelle compétence, néanmoins, elle nécessite d'être estompée afin de favoriser le transfert de contrôle de la guidance sur la réponse au stimulus devant par la suite contrôler cette réponse. La procédure de « stimulus fading » peut dans certain cas consister en l'estompage progressif de la guidance faite sur le stimulus ou en l'intégration progressive d'un des stimuli (généralement le S-) dans l'environnement en modifiant l'une de ses caractéristiques physiques (luminosité, son). Par exemple, Moore et Goldiamond (1964) ont tout d'abord exposé des enfants à une tâche dans laquelle ils devaient faire correspondre un stimulus test avec un stimulus échantillon parmi un distracteur. Les stimuli étaient des triangles différents dans leur orientation et étaient présentés avec une luminosité totale (110 volts). Par la suite, une tâche impliquant un « stimulus fading » était réalisée. Au début de celle-ci, le stimulus correspondant à l'échantillon avait une intensité lumineuse de 110 volts, l'intensité des autres stimuli était augmentée au fur et à mesure des essais. Alors que la procédure d'essai-erreur ne permettait pas aux enfants de sélectionner le stimulus correspondant à l'échantillon, la procédure de stimulus fading induisait peu d'erreurs. La procédure de « stimulus fading », étant au cœur de ce travail de thèse, sera développée plus amplement à la fin de ce chapitre en présentant notamment ses différents effets sur la discrimination, et également les potentielles raisons de son efficacité et de son échec dans le chapitre trois.

La procédure de « stimulus fading » n'est pas l'unique procédure qui a été développée afin d'obtenir un apprentissage sans erreurs. Le « stimulus shaping » a permis de mettre en

évidence des résultats similaires (Guralnick, 1975; Schilmoeller, Schilmoeller, Etzel, & Leblanc, 1979). Cette procédure implique la modification de la forme physique des stimuli. Ainsi au départ, le ou les stimuli ont une forme éloignée de celle pour l'apprentissage. Cette procédure a notamment été utilisée pour apprendre la discrimination des formes géométriques (Stoddard & Sidman, 1966), ou encore la reconnaissance de mots ou de lettres (Karraker & Doke, 1970; Smeets, Lancioni, & Hoogeveen, 1984). En effet, Smeets et al. (1984) ont dans un premier temps présenté des cartes sur lesquelles l'objet était dessiné; les dessins étaient graduellement transformés en lettres. Grâce à cette procédure, tous les mots entraînés ont été identifiés correctement.

Le « *delayed prompting* » est une autre procédure permettant d'éviter l'émission d'erreurs lors d'un apprentissage. Une guidance est apportée immédiatement sur la réponse correcte ou sur le stimulus correct afin d'empêcher l'erreur, puis le délai de présentation de cette guidance est alors réduit jusqu'à émission de la réponse correcte avant présentation de la guidance. La présentation d'une guidance immédiate permet ainsi la prévention de l'erreur. La guidance peut être présentée sous différentes formes résultant toujours en l'ajout d'un élément dans l'environnement permettant de guider la réponse sur le stimulus correct. Par exemple, Touchette (1971a) avait, dans un premier temps, entraîné des enfants avec déficience intellectuelle à répondre à une clef rouge et à ne pas répondre à une clef blanche. Dans un second temps, il souhaitait entraîner les enfants à répondre en présence d'un stimulus représentant un « E » les jambes vers le bas (S+) et à ne pas répondre au « E » jambes vers le haut (S-). Afin de guider la réponse correcte, le S+ était tout d'abord éclairé en rouge. Si la réponse était correcte, les deux clefs de réponse (S+ et S-) étaient tout d'abord illuminées en blanc puis le S+ en rouge après 0,5 seconde. Chaque réponse correcte donnait lieu à un retardement de la présentation de la guidance de 0,5 seconde supplémentaire. La guidance peut également impliquer un pointage sur la réponse correcte (Touchette & Howard, 1984). Dans cette étude, les enfants devaient

pointer la lettre indiquée par l'expérimentateur parmi plusieurs lettres. Le délai de guidance était modifié après 4 réponses correctes, et était réduit lorsque deux erreurs étaient émises de manière consécutive. Ce type de procédure a également été utilisé dans la littérature appliquée (souvent appelée « time delay prompting ») afin de favoriser l'émission de comportements appropriés et le transfert à des stimuli naturels (Charlop, Schreibman, & Thibodeau, 1985; Heckaman, Alber, Hooper, & Heward, 1998).

Plus récemment, la littérature en neuropsychologie en se basant sur les techniques de l'analyse du comportement a étudié et développé des procédures portant également le nom de « Errorless Learning » (EL) et de « Vanishing Cue » (VC) avec pour objectif de réhabiliter la mémoire de personnes avec déficiences mnésiques (Clare & Jones, 2008; Clare, Wilson, Breen, & Hodges, 1999; Evans et al., 2000; Page, Wilson, Shiel, Carter, & Norris, 2006; Wilson, Baddeley, Evans, & Shiel, 1994). L'étude de Haslam, Moss et Hodder (2010) s'est portée sur la comparaison des différentes méthodes utilisées dans la littérature. La procédure d'EL consistait en la présentation totale de la réponse correcte, ici le nom de l'objet (expérience 1) ou d'une personne (expérience 2). La procédure de VC s'apparente à une procédure de chaînage dans laquelle l'absence de réponse correcte résulte en l'ajout de lettres correspondant au nom cible. La procédure mixée de EL + VC, correspond à une procédure de chaînage arrière où des lettres sont retirées progressivement. Ces procédures peuvent porter différents noms dans la littérature en neuropsychologie, mais ont toujours pour objectif la prévention de l'erreur par la présentation d'une guidance estompée ou non. Les auteurs ont démontré que les trois procédures permettaient d'obtenir des performances significativement supérieures à la procédure d'essai-erreur et que seule la différence entre EL et VC était significativement différente, induisant ainsi une meilleure efficacité de la procédure d'EL.

Enfin, la procédure de « graded choice » permet elle aussi de prévenir l'erreur puisqu'au départ seule la réponse correcte est disponible. Storm et Robinson (1978) ont présenté à des

enfants soit une lumière rouge (S+) soit une lumière verte (S-) sans que les couleurs de celles-ci soient mentionnées. L'enfant avait pour tâche d'actionner un levier qui allumait une lumière puis d'appuyer sur un bouton, soit à droite, soit à gauche en fonction de la couleur de la lumière. En condition « *graded choice* », seule la lumière rouge s'allumait et seul le bouton correspondant était disponible. Puis après 16 essais, les deux couleurs pouvaient être allumées, mais seul le bouton correspondant au S+ était disponible. Enfin, à partir de l'essai 31 jusqu'à l'essai 70, la condition impliquait la présentation possible des 2 stimuli et la disponibilité des deux réponses. La procédure de « *graded choice* » a permis l'acquisition de la discrimination en l'absence d'erreurs pour une majorité de participants. Terrace (1963) avait mis en évidence qu'un entraînement au préalable avec le S+ uniquement engendrait plus d'erreurs dès que le S- était intégré. Or, les résultats obtenus par Storm et Robinson (1978) semblent être contradictoires. Cela s'explique par un choix méthodologique différent résultant de l'exposition au S- sans possibilité de réponse. Ainsi les enfants de Storm et Robinson bien qu'ils soient exposés au S- après avoir eu le S+ en exclusivité, ne pouvaient pas émettre de réponses, contrairement aux pigeons de Terrace.

Ces procédures ont également fait l'objet de comparaisons et de modifications méthodologiques par la combinaison de plusieurs d'entre elles (Bradley-Johnson, Sunderman, & Johnson, 1983; Guralnick, 1975). Selon le comportement et les stimuli utilisés, l'une peut être plus efficace que l'autre dans l'acquisition de la discrimination et la réduction d'erreur. Par ailleurs, la procédure de stimulus fading présente des variations méthodologiques qui peuvent remettre en question les raisons de son efficacité. Avant de se porter sur les potentiels facteurs pouvant influencer son efficacité, il est nécessaire d'exposer les effets du stimulus fading sur la discrimination.

2.3. Effets du stimulus fading sur la discrimination

L'un des premiers atouts du stimulus fading est sa capacité à faire émerger une nouvelle discrimination alors même que celle-ci n'aurait pu être acquise par simple essai-erreur. Ainsi, Sidman & Stoddard (1967) ont été en mesure de mettre en place une discrimination d'un cercle parmi des ellipses par l'utilisation d'une procédure de stimulus fading au cours de laquelle les ellipses étaient intégrées progressivement. L'effet de facilitation du stimulus fading dans l'acquisition d'une nouvelle discrimination qu'elle soit considérée comme difficile ou non a largement été démontré dans la littérature (Moore & Goldiamond, 1964; Walker, Lee, & Bitterman, 1990). Cependant, la procédure de stimulus fading a soulevé de nombreuses questions concernant son efficacité et son impact sur le contrôle des stimuli.

Dans le processus de discrimination, la réponse est renforcée en présence du S+ et ne l'est pas en présence du S-. Ainsi, le S+ devient un stimulus excitateur alors que le S- devient inhibiteur puisque les réponses en sa présence ne sont pas renforcées (Spence, 1936). La théorie de Hull-Spence postule donc qu'une discrimination ne peut s'installer en l'absence d'erreurs (Hull, 1943; Spence, 1936). Pourtant, le stimulus fading peut permettre l'acquisition d'une discrimination en l'absence d'émission d'erreur ou du moins avec un minimum d'erreurs, remettant en question le rôle des erreurs et la valeur du S- dans l'apprentissage de la discrimination.

Chez l'animal humain ou non humain, le déplacement du pic du gradient de généralisation à l'opposé du S- est un indicateur de la fonction inhibitrice voir aversive du S- (Hanson, 1956). Les animaux humains ou non humains tendent donc plus à répondre à des stimuli qui ont des caractéristiques physiques à l'opposé de celles du S-. Le gradient d'inhibition a également permis de mettre en exergue les propriétés inhibitrices ou neutres du S- en fonction du type d'entraînement reçu en discrimination (Terrace, 1966). Ce qui distingue principalement le gradient de généralisation et le gradient d'inhibition est la forme qu'il va présenter. Le gradient

d'inhibition est marqué par une forme de U contrairement au gradient de généralisation qui lui présente une forme de cloche. Ainsi, un gradient en forme de U, caractérisé par un minimum de réponse au S-, indiquerait que le S- est inhibiteur alors qu'un gradient plat indiquerait que le S- est neutre (Terrace, 1966). Rescorla (1969) définit le stimulus inhibiteur comme un stimulus qui par apprentissage va contrôler une tendance opposée à celle du stimulus excitateur conditionné. Hearst et al. (1970) effectuent la distinction entre un stimulus inhibiteur et un contrôle dimensionnel inhibiteur. « Un stimulus inhibiteur est un stimulus qui développe pendant un conditionnement, la capacité à diminuer la force d'une réponse en dessous du niveau auquel elle apparaît quand le stimulus est absent. [...] On peut parler d'effets inhibiteurs seulement quand toutes les conditions qui maintiennent la réponse sont maintenues constantes, et qu'ensuite un stimulus est présenté menant à l'émission de moins de comportements comparativement à ses occurrences sous ces conditions ».

En 1964, Terrace réplique son étude sur l'apprentissage sans erreurs en y ajoutant un test de généralisation avec 15 stimuli variant du vert au rouge (de 490 à 670 nm). Il a comparé les gradients de généralisation d'un groupe ayant reçu un entraînement sans S-, un groupe ayant reçu un entraînement sans erreurs, et un groupe ayant reçu un entraînement avec erreurs. Le premier et le deuxième groupe ne montraient aucun déplacement du gradient alors que le troisième montrait un déplacement du gradient loin du S-. Les résultats obtenus pour le groupe 2 mettent en évidence qu'en absence de réponse sur le S-, il n'y a pas d'extinction sur ce stimulus et ainsi aucune déviation du gradient n'est observée. Par ailleurs, l'auteur note que des réponses « émotionnelles » telles que des battements d'ailes et se détourner du S- apparaissaient uniquement si l'apprentissage avait été établi avec erreurs. En 1966, Terrace a réitéré une expérience en émettant l'hypothèse que l'absence d'un déplacement du gradient implique que le S- n'est pas inhibiteur lorsque la discrimination a été acquise sans erreurs. Pour cette expérience le S+ était une ligne verticale sur fond noir et le S- une lumière verte (550 nm) ou

jaune (580 nm). Suite à 4 sessions d'entraînement, les longueurs d'onde et les orientations de ligne ont été respectivement testées en généralisation. En fonction du nombre d'erreurs réalisées en entraînement, les pigeons étaient classés soit comme apprenant sans erreurs, c'est-à-dire réalisant de 0 à 19 erreurs soit comme apprenants avec erreurs avec un total d'erreurs compris entre 171 et 1551. En test de généralisation, les pigeons avec erreurs avaient tendance à ne pas du tout répondre au S- et à répondre de plus en plus lorsque la distance entre le S- et le stimulus test augmentait, mettant ainsi en exergue un déplacement du pic du gradient loin du S-. Quant aux pigeons classés comme sans erreur, ils présentaient un gradient plat. Cependant, la présence d'un gradient d'inhibition plat n'excluait pas la présence de potentielles réponses antagonistes, telles que se détourner du stimulus ou secouer la tête. En définition, les réponses antagonistes sont des réponses incompatibles à la réponse renforcée. En d'autres termes, les réponses dites « émotionnelles » présentées précédemment et les réponses dites « antagonistes » présentent une même topographie, mais l'interprétation qui en est faite est quelque peu différente. Terrace (1974) a également étudié ces réponses antagonistes chez l'humain. Les participants étaient placés dans une tâche de discrimination en programme multiple et avaient pour tâche de tirer le levier vers eux lorsqu'un stimulus était présenté. Après chaque réponse, ils devaient replacer le levier en position neutre pour émettre de nouveau une réponse. Afin de mesurer les réponses antagonistes, un système avec un joystick avait été mis en place qui consistait à maintenir le joystick en position neutre et à ne pas dévier vers la position opposée. Ainsi, une réponse antagoniste était mesurée lorsque le participant exerçait une force poussant le levier en direction opposée de la réponse renforcée. Un groupe de 4 participants avaient reçu un entraînement traditionnel par essai erreur et un second groupe de 4 participants avaient reçu un entraînement sans erreurs. Le S+ était un carré avec au centre un carré ayant une probabilité de points de 0,12 et le S- avec une probabilité de points de 0,88. La procédure de fading impliquait la modification du temps d'apparition du S- étant au départ de 2 secondes pour arriver à une présentation de 30

secondes. De plus, la probabilité de points dans le carré intérieur évoluait de 0,50 à sa représentation finale de 0,88 (**Figure 2.1**).

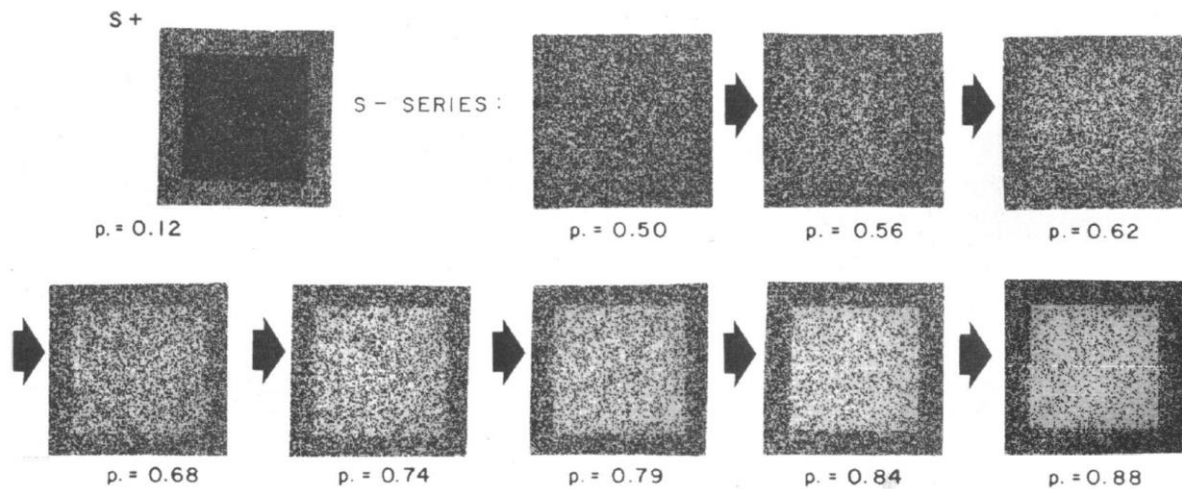


Figure 2.1. Stimulus fading utilisé dans l'étude de Terrace (1974). La probabilité de présence de points était manipulée. La probabilité pour chaque niveau de fading est inscrite sous le stimulus.

Tout comme les études réalisées chez l'animal, les participants ayant reçu un apprentissage traditionnel réalisaient un nombre important d'erreurs alors que les participants ayant reçu un apprentissage par stimulus fading n'émettaient pas d'erreurs. Par ailleurs, la présence d'erreurs semble être une condition suffisante pour observer des réponses antagonistes. Effectivement, seuls les participants faisant des erreurs réalisaient des réponses antagonistes. Autre fait intéressant, les réponses antagonistes s'éteignaient après les erreurs. L'auteur considère que l'émission de ces réponses antagonistes ferait partie du processus d'extinction, puisqu'elles apparaissent uniquement quand il y a eu des erreurs au préalable et qu'elles sont encore émises lorsque les réponses incorrectes ne sont plus présentes. De plus, la présence de réponses antagonistes marquerait l'inhibition du S- en apprentissage avec erreurs. Ainsi, lors d'un apprentissage sans erreurs, le S- n'acquerrait pas de propriété inhibitrice et resterait neutre. Par ailleurs, une procédure d'apprentissage sans erreurs ne semble pas nécessaire pour mettre en évidence ce type de résultats. En effet, dans l'étude précédemment réalisée chez le pigeon, Terrace (1966) avait démontré un gradient plat lors du test de généralisation chez les pigeons sans erreurs, or cette étude n'impliquait pas de procédures

d'apprentissage sans erreurs, mais une sélection a posteriori de pigeons ne dépassant pas un certain nombre d'erreurs. Ainsi ce qui semble importer dans la valeur inhibitrice du S- est la présence d'un certain nombre d'erreurs ayant été placées sous extinction. Lyons (1969) a répliqué cette étude en induisant un apprentissage sans erreurs par utilisation du stimulus fading. En test de généralisation, la ligne superposée (S-) était présentée de manière concomitante à la clef lumineuse variant de couleurs. Le gradient de généralisation était alors plus pointu pour les pigeons ayant eu un apprentissage avec erreurs. Selon l'auteur, les sujets en apprentissage avec erreurs apprendraient à « prêter attention » aux 2 stimuli et ainsi la couleur acquerrait plus de contrôle sur le comportement. Par ailleurs, contrairement aux interprétations de Terrace, Lyons considère que le S- n'a pas une valeur neutre chez les pigeons ayant reçu un apprentissage sans erreurs. En effet, le taux de réponse sur la clef lumineuse était beaucoup moins important lorsque la ligne était présentée avec les différentes couleurs.

La neutralité du S- lors d'un apprentissage sans erreurs a beaucoup été controversée dans la littérature. Notamment, il a été démontré qu'après la mise en place d'une discrimination visuelle simultanée, les pigeons ayant reçu un apprentissage sans erreurs par stimulus fading du S- répondaient plus à un stimulus neutre, c'est-à-dire nouvellement introduit et non appris, qu'au S- alors que des pigeons en apprentissage traditionnel répondaient de manière aléatoire sur le stimulus neutre et sur le S- (Biederman & Colotla, 1971). Les auteurs interprètent ces résultats comme le fait que le S- serait inhibiteur en apprentissage sans erreurs et non neutre. Cependant, dans quelle mesure cette interprétation est-elle valide puisque le S- est également censé être inhibiteur pour le groupe avec erreurs ? La neutralité du nouveau stimulus avait été vérifiée au préalable, mais il semblerait que l'introduction d'un nouveau stimulus n'évoquerait pas de réponses comparativement à un stimulus connu. Karpicke et Hearst (1975) remettent également en question les travaux de Terrace, en postulant que l'extinction produit un effet plancher durant le test de généralisation. Ainsi, lors du test de généralisation, les réponses de

coup de bec sur les stimuli étaient renforcées afin de pallier un potentiel effet plancher. Les pigeons issus de l'apprentissage sans erreurs et étant classés comme tels émettaient un maximum de réponses loin du S-. Par conséquent, un déplacement du gradient de généralisation était observé et le S- était inhibiteur.

L'utilisation du gradient de généralisation ou d'inhibition, ainsi que l'analyse des réponses antagonistes ne sont pas les seules techniques ayant permis d'étudier les propriétés du S- en apprentissage sans erreurs. La mise en place d'une réponse alternative qui consistait en la réponse de coup de bec sur une clef blanche présente simultanément avec le S-, et produisant un « timeout » (cage plongée dans le noir) a également permis de mettre en exergue un pattern de réponses différent en fonction du type d'apprentissages reçu par les animaux (Rilling, Askew, Ahlskog, & Kramer, 1969; Rilling, Kramer, & Richards, 1973). Cette réponse démontrerait une aversion du S- puisqu'elle permet l'échappement à ce dernier. L'étude de Rilling et al. a également mis en évidence que la procédure pour introduire le S- (de manière précoce ou tardive) semblait cruciale pour déterminer l'aversion au S-. Effectivement, les pigeons pour qui le S- a été intégré progressivement de manière précoce réalisaient moins d'erreurs de façon générale sur le S- et peu de « timeout » contrairement aux autres groupes. Ainsi, selon cette autre technique pour mesurer la valeur du S-, celui-ci ne serait pas aversif lorsqu'il est inséré par « fading in » dès le début de la discrimination.

La procédure de stimulus fading peut donc également présenter l'avantage de maintenir le S- neutre par l'absence d'erreur, bien que ce postulat soit quelque peu controversé et dépende de la méthodologie. Néanmoins, Karpicke et Hearst soulèvent un point essentiel pour la littérature en apprentissage sans erreurs. Sur une trentaine de pigeons ayant reçu un apprentissage avec utilisation d'un stimulus fading, seuls 9 d'entre eux apprenaient avec moins de 30 erreurs et étaient donc considérés comme apprenant sans erreurs. Cela signifie que la procédure de stimulus fading n'est pas une condition suffisante pour générer un apprentissage

sans erreurs. Cette procédure a souvent démontré une efficacité dans la mise en place d'apprentissages difficiles, des apprentissages n'étant pas acquis par une procédure classique par essai-erreur ; pourtant certaines études échouent dans la mise en place d'apprentissage par l'utilisation de cette procédure. Schwartz, Firestone et Terry (1971), ont mis en évidence une absence d'efficacité de leur procédure de stimulus fading comparativement à une procédure standard. Ils souhaitaient apprendre à des enfants le concept de symétrie. Trois groupes avaient été réalisés : un groupe recevant un fading extrinsèque lors duquel la saturation était augmentée sur le stimulus symétrique, un groupe recevant un fading intrinsèque où la modification de la saturation était appliquée uniquement sur la moitié du stimulus symétrique, et un groupe avec une procédure classique lors de laquelle aucune modification n'était apportée. Il s'avérait que seuls 20% des enfants du groupe extrinsèque acquéraient le concept de symétrie, 60% du groupe intrinsèque et 70% du groupe standard.

Dans quelle mesure expliquer l'efficacité ou l'absence d'efficacité lors de l'utilisation d'une procédure de stimulus fading ? Quels paramètres sont à prendre en compte afin de favoriser l'acquisition d'une nouvelle discrimination ? Nous tenterons de répondre à ces questions dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : De l'efficacité à l'échec du stimulus fading dans l'acquisition d'une discrimination

3.1. Transfert du contrôle du stimulus par stimulus fading avec superposition

Le stimulus fading par superposition peut être considéré comme étant un autre type de fading lors duquel une première discrimination est établie. Ensuite, les stimuli utilisés sont estompés pour laisser place à de nouveaux stimuli, ce qui donne lieu à une nouvelle discrimination. Nous avons vu précédemment que l'utilisation d'orientation de ligne comme stimulus discriminatif menait à une part d'échec importante dans l'acquisition de la discrimination (Newman & Baron, 1965). En 1963, Terrace utilise différentes procédures afin de mettre en évidence un apprentissage de la discrimination d'orientation de ligne chez le pigeon. Son étude met en évidence qu'afin d'établir une discrimination entre une ligne horizontale et une ligne verticale sans erreurs, il est nécessaire de réaliser dans un premier temps une discrimination facile puis de passer progressivement à une discrimination plus difficile. Cela a été réalisé par la superposition des lignes sur des clefs de couleurs différentes, puis progressivement l'intensité de la couleur de chaque clef était diminuée jusqu'à non-visibilité de celle-ci (clef noire). Ainsi, au départ de l'apprentissage, la clef de couleur acquiert le contrôle sur le comportement, puis par estompage des couleurs, le contrôle se transfère à l'orientation de la ligne. Par ailleurs, l'effet facilitateur de transfert du stimulus contrôle par superposition et stimulus fading n'est pas spécifique à la modalité visuelle. En effet, Arantes et Berg (2009) ont répliqué l'étude de Terrace en changeant de modalité sensorielle entre la première discrimination et la seconde. Un groupe expérimental a tout d'abord été entraîné sur un écran tactile à une discrimination rouge-vert par stimulus fading, puis deux sons d'intensité différente ont été couplés aux stimuli visuels. Tout comme dans l'étude de Terrace, la couleur présente dans les cercles était estompée progressivement par une diminution de la luminance. Dans un premier temps, par l'utilisation d'un matériel différent, cette étude réplique les résultats mis en exergue par Terrace sur l'apprentissage sans erreurs, en démontrant qu'un stimulus fading

permet de réduire les erreurs et l'absence de réponse comparativement à un apprentissage sans erreurs. Dans un second temps, seuls les pigeons ayant reçu la procédure de stimulus fading avec superposition acquièrent la discrimination des sons d'intensité différente. De quelle manière des stimuli impliquant des propriétés perceptives différentes peuvent acquérir tour à tour le contrôle sur le comportement par le biais de ce type de procédure ? Trois études portées par Fields (Fields, 1978, 1979; Fields, Bruno, & Keller, 1976) ont étudié le transfert du contrôle du stimulus par la mise en place de stimuli tests lors de l'entraînement. Ces trois études cherchaient à répondre aux questions suivantes : à quel moment se transfère le contrôle d'une dimension préentraînée à la dimension ajoutée ? Quelles sont les conditions qui permettent ce transfert ? Dans chacune de ces études, on retrouve comme étapes (i) la mise en place d'une discrimination entre deux couleurs différentes (ii) la superposition et l'insertion progressive (fading in) de la seconde composante (p. ex. une ligne blanche), et (iii) l'estompage (fading out) de la première composante couleur. Lors de la première étape, une dimension spécifique acquiert le contrôle sur le comportement. La seule présence de la seconde étape ne permettait pas l'acquisition du contrôle par l'orientation de la ligne en S+, car aucune réponse n'était émise à ce stade de l'apprentissage sur le stimulus test impliquant uniquement l'orientation de la ligne (Fields et al., 1976). De plus, l'intensité relative des composantes du stimulus influait sur le transfert du contrôle du stimulus. Lorsque la première composante (la couleur) était présentée à une pleine intensité en compagnie de la seconde composante (la ligne), seul l'estompage de la première composante par une diminution de son intensité permettait la mise en place d'un contrôle par cette seconde composante (Fields et al., 1976). L'estompage de la couleur permettait de réduire le contrôle de celle-ci et ainsi favoriser la mise en place d'un contrôle par l'orientation de la ligne. Cependant, lorsque l'intensité de la première composante est faible, l'insertion progressive de la ligne permettait un transfert du contrôle du stimulus sur la ligne (Fields, 1979). De plus, lors de cette deuxième étape, la présentation de stimuli tests composés

uniquement de la ligne semblait faciliter le transfert du contrôle. L'estompage de la couleur du S+, en d'autres termes la première composante du S+, semble tout de même être une condition nécessaire pour permettre le transfert du contrôle du stimulus, puisque l'estompage seul de la couleur du S- ne permettait pas le transfert (Fields, 1978). De plus, l'estompage de la première composante peut entraîner un transfert du contrôle sur une autre dimension que celle désirée, ici la ligne. Lorsque l'estompage était réalisé à la fois sur le S+ et le S-, le transfert se produisait sur la dimension différenciant le nouveau S+ et S- (l'orientation de la ligne), et lorsque l'estompage était réalisé uniquement sur le S+, le taux de réponses aux stimuli tests augmentait tout d'abord, puis le transfert se mettait en place par un maintien des réponses sur le test S+ et une diminution des réponses sur le test S-.

Les études chez l'humain et plus particulièrement les études réalisées auprès de populations présentant des troubles développementaux ont mis en évidence que le simple fait d'ajouter un premier stimulus servant de guidance et d'estomper cette guidance ne sont pas des conditions suffisantes pour permettre un transfert du contrôle du stimulus. Par exemple, il a été démontré qu'il était possible d'apprendre à des enfants avec déficience intellectuelle et/ou Troubles du Spectre Autistique (TSA) à lire de nouveaux mots par superposition du mot à l'image illustrant celui-ci et l'estompage de la présence de l'image (Birkan, McClannahan, & Krantz, 2007; Smeets et al., 1984). Cependant, dans le cas où l'image et le mot n'étaient pas spatialement liés, le transfert du contrôle du stimulus s'établissait plus lentement et plus difficilement. Dans la littérature, le stimulus fading avec superposition est également désigné comme « within or extra-stimulus prompt fading » (Schreibman, 1975). Ces deux appellations différencient deux procédures différentes et ayant des effets sur le transfert du contrôle du stimulus. Schreibman (1975) a entraîné des enfants avec TSA à une procédure « d'extra-stimulus prompt fading » et de « within-stimulus prompt fading » à la fois sur des stimuli auditifs et des stimuli visuels. Pour les discriminations visuelles, la procédure "d'extra-stimulus

prompt fading" consistait tout d'abord à apprendre aux enfants à répondre à une guidance de pointage, puis une procédure d'apprentissage était mise en place sans guidance. Si le participant n'apprenait pas la discrimination, le S+ était alors pointé et la guidance était estompée lorsque 10 essais étaient réussis de manière consécutive. Au départ de la procédure de "within-stimulus prompt", la composante pertinente du S+ était présentée seule et de manière accentuée, puis la composante distinctive du S- était introduite progressivement (fading in). Ensuite, la taille et la position des composantes étaient estompées progressivement (fading out). Enfin, les composantes similaires aux deux stimuli étaient intégrées (fading in). Cette étude a mis en évidence qu'une discrimination non acquise sans guidance dans un premier temps n'était apprise que lorsqu'un "within-prompt fading" était mis en place, quelle que soit la modalité sensorielle. Rincover (1978) a mis en évidence que le "within-stimulus prompt fading" était d'autant plus efficace lorsqu'une caractéristique distinctive, c'est-à-dire une caractéristique présente dans le S+ et absente dans le S- était accentuée et utilisée comme guidance, alors que la même procédure perdait en efficacité quand la caractéristique était non distinctive, c'est-à-dire commune au S+ et au S-. Pour cela, une discrimination entre deux mots composés de trois lettres avait été mise en place chez des enfants avec TSA (p. ex. mot JAR vs mot SON) par l'utilisation soit d'un "within-stimulus prompt" impliquant soit une caractéristique distinctive soit une caractéristique non distinctive, soit un "extra-stimulus prompt" impliquant également une caractéristique distinctive ou non distinctive. De plus, dans une seconde expérience, le contrôle exercé par les éléments composant le S+ a été testé. Pour cela, 4 stimuli tests différents ont été présentés aux enfants de manière aléatoire ayant reçu le "within distinctive stimulus prompt fading". Le set de stimuli tests consistait en la présentation des stimuli utilisés dans l'apprentissage (p. ex. JAR comme S+ et SON comme S-). Lors du deuxième set de test, la composante utilisée comme guidance était retirée de la lettre (la barre du J, p. ex. JAR). Pour le troisième set de test, la composante utilisée comme guidance était présente dans les deux

stimuli (p. ex. JAR vs EON). Enfin, lors du quatrième, la lettre sur laquelle il y avait eu guidance était la même pour les deux stimuli, le S- était donc modifié (p. ex. le J, JAR vs JON). Les résultats démontrent que les enfants répondaient à plusieurs caractéristiques de la première lettre et non pas uniquement à la composante accentuée, néanmoins, la lettre sur laquelle la guidance avait été mise en place contrôlait le comportement puisque lorsque celle-ci était similaire, les enfants avaient seulement 50% de bonnes réponses.

La procédure de stimulus fading par superposition devrait permettre le transfert de contrôle du stimulus, puisque le stimulus servant de guidance est estompé progressivement. La sursélectivité du stimulus peut expliquer l'absence de transfert du contrôle du stimulus lorsque des stimuli ou la modification de propriétés des stimuli sont surajoutés en guise de guidance.

3.2. Influence de l'observation des stimuli

3.2.1. La sursélectivité du stimulus

Lorsqu'un individu est confronté à un stimulus complexe, c'est-à-dire composé de plusieurs caractéristiques perceptives, il répond sélectivement à seulement une composante, ou de façon réduite aux composantes du stimulus (Lovaas, Schreibman, Koegel, & Rehm, 1971). La sursélectivité du stimulus a été principalement étudiée auprès d'enfants avec ou sans troubles du développement, et plus particulièrement avec troubles du spectre autistique. Il a été mis en évidence que la sursélectivité du stimulus n'était pas spécifique à une modalité sensorielle (Lovaas & Schreibman, 1971; Lovaas et al., 1971). Par exemple, des enfants entraînés à répondre à des stimuli composés de ces différentes modalités, répondaient sélectivement soit à une des modalités, soit à deux de ces modalités, mais sans qu'une modalité spécifique induise de la sursélectivité chez l'ensemble des participants. Certaines études ont démontré que l'entraînement d'une discrimination avec un stimulus composé chez des enfants neurotypiques et avec troubles du spectre autistique n'entraînait pas systématiquement une sursélectivité du stimulus (Bailey, 1981; Rieth, Stahmer, Suhrheinrich, & Schreibman, 2015).

Ainsi, l'efficacité d'une procédure de stimulus fading pourrait être mise à mal par cette sursélectivité en empêchant le transfert de contrôle du stimulus comme cela a pu être observé chez l'enfant typique dans l'étude de Schwartz, Firestone et Terry (1971). En effet, il a été démontré dans une tâche de recherche visuelle que les enfants détectaient plus rapidement une couleur qu'une forme (Day, 1978). La littérature développementale fait également état des lieux d'une sursélectivité du stimulus se modifiant en fonction de l'âge de développement. Des enfants de 3 ans choisissent plus un stimulus en se basant sur sa couleur alors qu'à l'âge de 2 ans et 4 ans, ils choisissent plus un stimulus en se basant sur sa forme (Melkman, Koriat, & Pardo, 1976; Pitchford & Mullen, 2001; Suchman & Trabasso, 1966). Néanmoins, Reed et collaborateurs (2013), par l'utilisation de blocs en bois se différenciant à la fois sur la couleur et sur la forme, ont mis en exergue que seuls les jeunes enfants à partir de 3 ans étaient en mesure de répondre non sélectivement à des stimuli composés. Day (1978) a mis en évidence une facilitation de la recherche d'un stimulus lorsqu'un indice de couleur était donné verbalement à des enfants âgés de 7 à 12 ans. Lors de son étude, l'auteur s'intéressait aux effets des variations du fond du stimulus ainsi que de l'effet de l'ajout d'un indice, que l'on pourrait appeler guidance, sur la vitesse d'identification d'un élément. Une matrice de 4 éléments était présentée aux participants, et les éléments pouvaient varier dans leur forme et/ou dans leur couleur. Les enfants avaient pour tâche d'identifier une lettre dans cette matrice et recevaient en guise de guidance une information de type « la lettre se trouve dans une forme rouge ». Les auteurs ont mis en évidence que le temps de recherche diminuait avec l'âge, et lorsqu'un indice de couleur était donné, la recherche était accélérée de manière plus importante. Enfin, la forme ralentissait l'identification pour les enfants de 9 et 12 ans.

Lorsqu'une dimension est préférée par rapport à une autre dimension, comme par exemple la couleur préférée à la forme, on peut parler de saillance dimensionnelle. La notion de saillance est généralement définie comme le fait qu'un stimulus ou une dimension soit plus

perceptible que les autres. Néanmoins, objectivement la saillance d'un stimulus est mesurée par le comportement observable, ainsi un raisonnement circulaire est rapidement en place. Ce raisonnement circulaire consiste généralement à dire qu'un stimulus est saillant, car il évoque une réponse comparativement aux autres, et à dire que dans le cas où la réponse soit émise spécifiquement en présence de ce stimulus, c'est parce qu'il saillant. Certains chercheurs justifient la modification des préférences dimensionnelles des enfants par le renforcement de l'une ou l'autre dimension au cours du développement notamment dans l'environnement scolaire (Melkman et al., 1976). Par exemple, Odom et Guzman (1972) ont étudié la mise en place d'une hiérarchie de la saillance dimensionnelle chez des enfants de 5 à 12 ans pour la forme, la couleur, le nombre et la position. Ils émettent l'hypothèse que plus une dimension est saillante, plus il est probable qu'elle soit prise en compte dans la résolution d'un problème, peu importe qu'elle soit pertinente ou non dans la résolution du problème. Trois cartes étaient présentées aux participants, sur chacune d'entre elles les dimensions étaient combinées d'une certaine façon à ce que deux cartes partagent une même dimension, donnant lieu soit à la possibilité de réaliser deux paires différentes dans la dimension soit de réaliser trois paires. Par exemple, deux cartes pouvaient être associées partageant le même nombre d'éléments, et l'une de ces cartes pouvait être associée à une autre carte partageant la même couleur. Ainsi, la tâche de l'enfant était de réaliser une paire par set en choisissant les deux cartes qui selon lui se ressemblaient le plus. Les groupes de grande section de maternelle (« Kindergarten » 5-6 ans) et de CP (« 1st grade », 6-7 ans) réalisaient les paires en se basant sur la forme et la couleur plus fréquemment. Ils avaient également un temps de réaction plus rapide pour choisir les stimuli en se basant sur la couleur. Dès 7 ans, la proportion de réalisation de paires basées sur le nombre augmentait, et le temps de réaction pour réaliser ce type de choix diminuait à 8 ans. Ainsi, la couleur et la forme sont les dimensions les plus saillantes dans la hiérarchie pour les deux groupes les plus jeunes alors que le nombre et la position ont une faible saillance. Pour les

groupes les plus vieux (de 9 à 12 ans), et pour le groupe des CE1 (« 2nd grade », 7-8 ans), les dimensions forme, couleur et nombre ont une forte saillance. Enfin les enfants de CE2 (« 3rd grade », 8-9 ans), ne possèdent pas de hiérarchie de saillance, chaque dimension est égale. Ces résultats sont en partie expliqués par le fait qu'en fonction de l'âge les enfants n'ont pas la même expérience avec les dimensions. Par exemple, dès 7 ans, les enfants apprennent à l'école à manipuler les chiffres. Ainsi, chez l'enfant dit typique, une sursélectivité peut également être observée dû à son histoire de renforcement avec les dimensions d'un stimulus.

Une préférence, ou une sursélectivité déterminée par l'histoire de renforcement d'une certaine dimension a été abordée et mise en évidence par le phénomène de blocage (Kamin, 1967; Lovaas et al., 1971; Mackintosh, 1971; Rescorla, 1968). Dans le cadre d'un conditionnement répondant, le phénomène de blocage est observé quand un nouveau stimulus ajouté à un stimulus pré entraîné déclenche peu ou pas de réponse. On dit que le stimulus préentraîné bloque l'acquisition du stimulus ajouté. Dans l'expérience 2 de Johnson & Cumming (1968), un phénomène de blocage a été mis en évidence dans le cadre d'un apprentissage de la discrimination. Un entraînement préalable sur un stimulus dit simple (couleur ou orientation de ligne) bloquait l'acquisition du contrôle de l'autre dimension lorsqu'un apprentissage subséquent était réalisé avec des stimuli complexes (couleur + ligne). La sursélectivité peut également être expliquée par l'effet d'overshadowing (Lovaas et al., 1971). L'effet d'overshadowing est observé lorsqu'un stimulus composé a été utilisé en apprentissage et que les parties de ce stimulus présentées séparément déclenchent une réponse moins importante que l'ensemble du stimulus. Les études de Miles & Jenkins (1973) et de Mackintosh (1976), ont mis en évidence que l'intensité d'un composant d'un stimulus complexe avait un impact sur l'acquisition du contrôle sur chacune des parties du stimulus complexe. En d'autres termes, plus l'un des éléments du stimulus composé est intense plus il ombragera le second élément du stimulus, a contrario si l'un des éléments est moins intense

alors il sera ombragé par le second élément. Leader, Loughnane, McMorland et Reed (2009), ont également mis en évidence une sursélectivité chez des enfants et adolescents avec TSA lors de laquelle le stimulus le plus saturé était plus choisi que le stimulus le moins saturé. Si deux éléments sont d'intensité similaire, les deux éléments s'ombragent réciproquement, uniquement lorsque l'intensité absolue des deux éléments est faible (Mackintosh, 1976). Autrement dit, la réponse en présence de l'un des éléments sera similaire peu importe l'élément présenté, mais restera moindre comparativement à la présentation simultanée des deux éléments. La notion de saillance ne fait pas uniquement référence à l'intensité entre deux stimuli comme exposé précédemment. Elle est également définie comme un contraste variant en fonction de l'intensité propre du stimulus et de l'environnement dans lequel il se trouve (Kellman & Garrigan, 2009). Par exemple, deux stimuli possédant exactement les mêmes propriétés perceptives, la même intensité, se situant chacun sur un fond ayant une intensité différente pourraient être discriminés comme étant différents.

Dans le stimulus fading, les dimensions d'un stimulus discriminatif sont manipulées et l'absence de transfert pourrait survenir due soit à une sursélectivité du stimulus soit par effet de blocage, soit par « overshadowing ». Ces effets sont donc à prendre en considération pour optimiser l'efficacité de la procédure de stimulus fading. Par ailleurs, une sursélectivité ne peut survenir en l'absence d'observation des stimuli.

3.2.2. La réponse d'observation

Dans la littérature, la notion de saillance, et de sursélectivité ont souvent été associées à la notion d'attention et aux réponses d'observation (Dinsmoor, 1995b; Dinsmoor et al., 1983; Dube et al., 2016; Leader, Loughnane, McMoreland, & Reed, 2009). En effet, le manque « d'attention » pourrait expliquer un échec de mise en place du contrôle du stimulus (Johnson & Cumming, 1968; Terrace, 1966b). Wyckoff a été l'un des premiers à théoriser l'implication des réponses d'observation dans l'apprentissage d'une discrimination (Wyckoff Jr, 1952;

Zeigler & Wyckoff Jr, 1961). La réponse d'observation est un opérant qui expose le sujet aux stimuli discriminatifs. Wyckoff a établi 4 hypothèses concernant la probabilité d'occurrence d'une réponse d'observation (p_o) :

1. p_o augmentera dans le cas d'un renforcement différentiel.
2. p_o diminuera dans le cas d'un renforcement non différentiel.
3. Lorsqu'une discrimination bien établie est renversée, p_o diminuera temporairement et redeviendra haute.
4. Si la discrimination est basse à un moment de l'apprentissage, p_o sera également basse mais restera différente de zéro.

Zeigler et Wyckoff (1961) ont étudié ces hypothèses en mettant en œuvre une réponse d'observation mesurable chez le pigeon. En effet, une réponse d'observation est tout opérant qui expose un organisme aux stimuli discriminatifs. Pour cela, deux pédales étaient installées dans l'environnement expérimental, et lorsque l'animal se positionnait sur l'une des pédales, le stimulus correspondant s'allumait. Ils ont mis en évidence que les pigeons qui n'avaient pas acquis la discrimination passaient très peu de temps à émettre la réponse d'observation, alors que le groupe ayant acquis la discrimination passait plus de temps à émettre la réponse d'observation. De plus, la proportion de temps passé sur les pédales était proportionnelle au nombre de réponses correctes. Ils ont également démontré qu'à chaque introduction d'une nouvelle discrimination, le temps d'observation diminuait. Enfin, le groupe contrôle pour qui l'apparition du stimulus n'était pas contingente à l'appui sur la pédale passait très peu de temps sur les pédales. L'étude de Kendall et Gibson (1965) vérifie l'hypothèse selon laquelle la réponse d'observation est maintenue par les stimuli discriminatifs agissant comme renforçateurs conditionnés. Par définition, un renforçateur est dit conditionné quand il a été apparié avec un autre renforçateur et acquiert des propriétés renforçatrices. Deux pigeons étaient placés dans un programme mixte FI 2 minutes – FR 50. Lors d'un programme à

intervalle fixe (FI), le comportement est renforcé après le temps défini et lors d'un programme à renforcement fixe (FR), le comportement est renforcé quand le ratio est atteint. Une clef d'observation était disponible et lorsque l'animal répondait deux fois sur celle-ci, le stimulus discriminatif correspondant à la composante en cours apparaissait. Lorsque le stimulus discriminatif de la composante FR 50 était retiré, le ratio de réponse d'observation diminuait considérablement alors que le retrait seul du stimulus discriminatif de la composante FI 2min ne diminuait pas le ratio de réponse d'observation. Ainsi, en ratio fixe, la densité de renforcement était importante et le SD de cette composante était donc un renforçateur conditionné puissant. Le retrait de ce renforçateur conditionné ne permettait pas le maintien des réponses d'observation. Mais qu'en est-il lorsqu'un stimulus discriminatif (S-) est corrélé avec l'absence de renforcement ? Deux hypothèses ont été émises concernant le maintien des réponses d'observation dans le cas d'un renforcement différentiel, la première étant celle de Wyckoff, l'hypothèse du renforcement conditionné, et la seconde étant l'hypothèse de l'information. Selon l'hypothèse de l'information, tout stimulus pouvant réduire l'incertitude serait renforçant (Berlyne, 1957). Chez l'animal humain ou non humain, de nombreuses études ont obtenu des résultats en faveur de l'hypothèse du renforcement conditionné, seul le S+ est renforçant et permet de maintenir la réponse d'observation, le S- est quant à lui punisseur réduisant le taux de réponses d'observation (Blanchard, 1975; Case, Ploog, & Fantino, 1990; Dinsmoor et al., 1983; Mueller & Dinsmoor, 1986; Silberberg & Fantino, 2010). Par ailleurs, chez l'humain il a été mis en évidence que dans certains cas, les réponses d'observation étaient émises à un taux important lorsqu'il était indiqué une « mauvaise nouvelle » plutôt que lorsqu'il était indiqué une « absence de nouvelle » (Fantino & Silberberg, 2010; Lieberman, Cathro, Nichol, & Watson, 1997). Ainsi, lorsque l'information est fournie de manière occasionnelle sous un programme à intervalle variable par exemple, les participants émettent plus de réponses sur le stimulus indiquant « absence de nouvelle » alors que dans le cas où l'information est

fournie de manière continue, il est observé plus de réponses sur « mauvaise nouvelle». Ces résultats n'entrent néanmoins pas en contradiction avec l'hypothèse du renforçateur conditionné.

L'étude de Dinsmoor et al. (1983) s'est portée sur l'influence respective de la saillance et de la disparité du S+ et du S- sur l'acquisition de l'observation. Afin d'éviter certains biais du protocole développé par Wyckoff, la réponse d'observation consistait à monter sur un perchoir qui était effectif comparativement à la présence d'un second perchoir contrôle. Ainsi, le temps d'activation du perchoir pouvait être mesuré indépendamment de l'appui nécessaire sur la clef de réponse, alors que dans le protocole de Wyckoff, la barre d'appui pour la réponse d'observation était située sous la clef de réponse. Il s'est avéré que pour les stimuli illuminés de 50% d'intensité, de faible saillance, les réponses d'observation n'augmentaient pas. Bien que les stimuli soient visibles par l'œil humain, les auteurs n'avaient pas testé si les pigeons étaient en mesure de percevoir ces stimuli. De plus, les stimuli étaient des lignes, forme qui a été souvent corrélée à un échec de discrimination chez le pigeon. Que ce soit avec une orientation de ligne qui différait fortement en orientation pour le groupe forte disparité et faiblement pour le groupe faible disparité, ou que ce soit avec la couleur des stimuli, ils n'ont pas été en mesure de mettre en évidence une différence significative sur le taux et la durée des réponses d'observation entre les deux groupes. Autrement dit, la différence entre le S+ et le S- ne semble pas avoir un très grand rôle dans l'émission de réponses d'observation. En 1983, l'effet de la saillance de la disparité a de nouveau été investigué par Dinsmoor et al., par un protocole différent. Des clefs de réponses d'observation concurrentes étaient disponibles à droite et à gauche. Sur chacune de ses clefs la saillance du S+ était différente alors que la disparité entre le S+ et le S-, ainsi que la saillance du S- étaient maintenues constantes. Ils avaient établi trois niveaux de saillance différents déterminés par le nombre d'ampoules sous les deux filtres de couleurs orange (594 nm et 599 nm). La saillance large consistait en la

présence des 4 ampoules sous le filtre 594 nm, la saillance médium en la présence de 2 ampoules sous le filtre 594 nm et 2 sous 599 nm, et enfin la saillance faible a une ampoule sous 594 nm et les 3 derniers sous 599 nm. Les résultats ont démontré qu'un S+ relativement plus lumineux qu'un autre, conduisait à plus de réponses d'observation. Lors de la seconde expérience, la disparité entre les deux stimuli était manipulée tandis que la saillance était maintenue constante. La différence était manipulée entre les deux stimuli ayant désormais la même couleur. La manipulation du S+ était identique à l'expérience précédente et le S- était fixé à 4 ampoules sous le filtre 599 nm. Tout comme pour l'étude une, plus la différence était grande plus le taux de réponses d'observation était élevé. En prenant en compte les deux études, nous pouvons donc considérer que la saillance entre le S+ et le S- a effectivement un effet sur le taux de réponses d'observation. D'un point de vue théorique, la possible corrélation entre taux d'observation et magnitude de la différence entre le S+ et le S- reposerait sur l'hypothèse du renforcement conditionné. Comme souligné précédemment, Wyckoff établissait qu'une réponse d'observation pouvait être renforcée uniquement lorsque la discrimination avait été mise en place, puisqu'à partir de ce moment les stimuli discriminatifs agissaient comme renforçateurs conditionnés. Ainsi, une faible magnitude de la disparité entre S+ et S- diminuerait l'efficacité des stimuli discriminatifs comme renforçateurs conditionnés. Par ailleurs, il est également possible que la discrimination n'ait pas été acquise ou difficilement lorsque les stimuli étaient proches perceptivement, ainsi le S+ n'acquerrait pas de valeur renforçatrice et ne pourrait permettre un maintien des réponses d'observation.

Il est établi un lien entre réponse d'observation et acquisition de la discrimination. Cependant, la cause et l'effet restent encore flous dans la littérature. En effet, Dinsmoor (1983) postule qu'il n'est pas clair que la discrimination soit nécessaire pour la réponse d'observation, mais plutôt qu'il faille que le S+ et S- soient corrélés avec une variation dans le programme de renforcement. Ainsi, selon lui, les performances discriminatives ne sont pas nécessaires pour

l'observation, mais c'est au contraire l'observation qui est nécessaire pour les performances discriminatives. Effectivement, pour qu'une discrimination se mette en place il semble évident que l'organisme doive observer les stimuli. Plusieurs études réalisées auprès de participants démontrant une absence d'acquisition ou une sursélectivité du stimulus sont en faveur de cette hypothèse (Doughty & Hopkins, 2011; Dube et al., 2006, 2010, 1999; Wallace Walpole, Roscoe, & Dube, 2007). Par exemple, en manipulant le nombre de réponses d'observation nécessaires, Doughty et Hopkins (2011) ont démontré que le pourcentage de réponses correctes augmentait lorsque le nombre de réponses d'observation était élevé. En 2010, Dube et ses collaborateurs ont entraîné des enfants ayant obtenu un score intermédiaire dans une tâche de correspondance de stimuli soit par "extra-stimulus prompt" ou "within-stimulus prompt" avec ou sans "fading". L'utilisation de ces procédures visait à favoriser les réponses d'observations sur les éléments pertinents dans la résolution du problème. Les auteurs ont également enregistré les observations des enfants par un oculomètre, qui permettait une mesure objective de l'observation. Ainsi, ils ont mis en évidence une corrélation entre une augmentation de l'acquisition et une augmentation de la durée d'observation. Les procédures d'apprentissage sans erreurs ont donc permis l'augmentation de la réponse d'observation sur le stimulus pertinent.

3.2.3. L'oculométrie, outil de mesure des réponses d'observation

Les fixations oculaires ainsi que les saccades sont appréhendées comme étant des réponses d'observation. Ces comportements tout comme un mouvement de tête vers des stimuli visuels, permettent à un organisme de maintenir ou d'amener l'image du stimulus sur la fovéa. Ainsi, l'organisme entre en contact avec des stimuli discriminatifs. La fixation oculaire est une position stable de l'œil avec un seuil de dispersion d'environ 2 degrés, d'une durée maximum de 100 msec à 200 msec et une vélocité de 15 à 100° par seconde (Jacob & Karn, 2003). Le nombre de fixations, la durée de regard (cumul du temps de fixation), ou la proportion de

regards sur une zone d'intérêt permettent de rendre compte de l'observation d'un stimulus. Une saccade est un mouvement rapide de l'œil vers une cible apparue dans la vision périphérique, ayant une latence d'environ 100 ms et permettant ainsi d'amener l'image de la rétine sur la fovéa (Montagnini & Chelazzi, 2005). L'étude de ces comportements oculaires a été rendue possible par le développement de l'oculométrie.

Les systèmes et techniques d'oculométrie ont connu bien des évolutions depuis leurs premières apparitions dans les années 1920 (Young & Sheena, 1975). Jusque dans les années 70, l'électro-oculographie était la technique la plus utilisée. Elle consiste à placer des électrodes sur la peau autour des yeux. Les électrodes mesurent un changement dans le potentiel d'action rendant ainsi compte du mouvement des yeux. Cette technique présente l'avantage d'être peu coûteuse, mais l'inconvénient d'être invasive. Chez l'animal, notamment le singe, la technique de bobine sclérale a souvent été utilisée. Cette technique consiste à placer des lentilles de contact sur les yeux, liées généralement par un câble faisant objet de référence. Elle présente l'avantage d'être une technique très précise. Néanmoins par son caractère très invasif, elle est peu applicable chez l'humain (Duchowski, 2007; Shic, 2008; Young & Sheena, 1975). La technique de réflexion cornéenne a fait son apparition dans les années 60 (Salapatek, 1968; Young & Sheena, 1975). Elle est basée sur la réflexion d'une source lumineuse sur la cornée, appelée première image de Purkinje. Mackworth et Mackworth (1958) ont développé un appareil permettant l'enregistrement par réflexion cornéenne. Une lumière était projetée d'un côté sur l'œil, et du côté opposé une caméra était disposée afin d'enregistrer la réflexion. La scène projetée au participant était quant à elle face à lui. Afin d'étudier de manière non invasive les mouvements oculaires de bébés sur des formes géométriques, Salapatek (1968) a élaboré un système utilisant une caméra chargée avec un film infrarouge. Il a ainsi mis en évidence que les nouveau-nés effectuaient plus un balayage visuel horizontal que vertical et que plus la taille de la figure était importante plus ils passaient de temps à les observer. Aujourd'hui, on distingue

deux techniques utilisant les infrarouges. La technique de la « pupille lumineuse » qui consiste à projeter des infrarouges directement dans l'œil, produisant un effet lumineux dans la cornée (**Figure 3.1**). C'est cette réflexion lumineuse qui est trackée par le système monté d'une caméra. La technique de la « pupille sombre » quant à elle projette des infrarouges sur les côtés, la pupille alors absorbe les infrarouges et apparaît sombre. Le programme détermine le centre de la pupille, et permet ainsi de localiser la position du regard. Les systèmes utilisant cette technique présentent l'avantage de compenser les mouvements de la tête et ne nécessite donc pas le maintien de la tête.

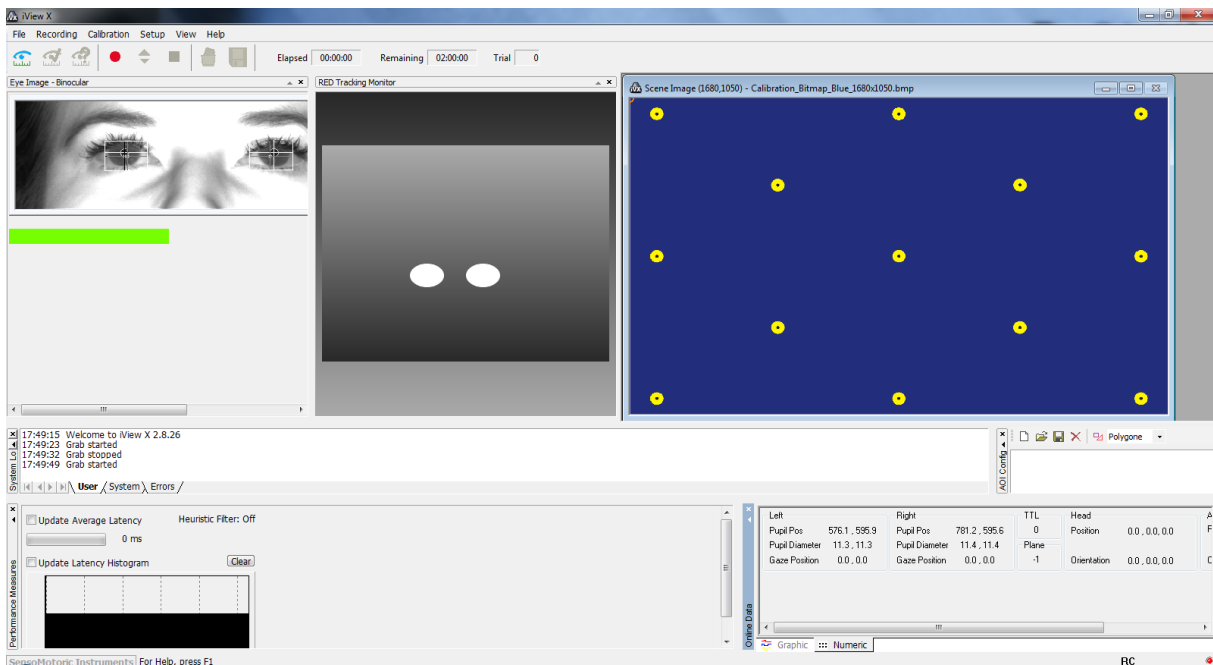


Figure 3.1. Exemple de la technique de la pupille lumineuse avec un RED500 de chez SMI et le logiciel iView X.

Les techniques d'oculométrie ont permis de mettre en évidence le développement des comportements visuels du bébé à l'enfant face à différents stimuli et dans le cas de tâches spécifiques comme par exemple les tâches de recherche visuelle. Par exemple, les stratégies d'observation et de balayage d'un objet différent en fonction de l'âge (Zaporozhets, 1965). Vurpillot (1972) a présenté à des enfants allant de 3 à 9 ans, des stimuli représentant des maisons avec fenêtres pareilles ou différentes. La tâche était d'indiquer verbalement si les maisons

étaient pareilles ou différentes. Le balayage visuel réalisé par l'enfant lors de cette tâche était mesuré. Plus le balayage de l'enfant impliquait de nombreux déplacements oculaires, plus la tâche était correctement réalisée. Les enfants en dessous de 6 ans se contentaient de regarder des zones limitées des maisons. Cependant, certains de ces résultats peuvent être remis en question sur la méthodologie utilisée. Effectivement, il se peut que le concept verbal de pareil et de différent ne soit pas encore acquis chez de jeunes enfants. L'observation des stimuli dépend également du type de mouvement que l'œil va effectuer. Dans l'étude de Girgus (1967), les participants regroupés en 3 groupes distinctifs (8 ans, 10 ans et 21 ans) avaient pour tâche d'identifier la forme ou la lettre qui leur était présentée. La possibilité de regarder la forme était contrôlée selon 3 conditions. Lors de la première, le participant devait regarder le centre du stimulus, lors de la seconde il devait faire des mouvements lents de poursuite oculaire et enfin dans la troisième des saccades. Par ce paradigme, il a démontré que la perception de la forme est améliorée avec l'âge dans les trois conditions. De plus, afin de saisir les informations de forme de façon précise, les participants devaient réaliser des mouvements oculaires de manière continue dans des conditions de présentation limitée du stimulus.

L'évolution des comportements visuels à travers les âges de développement d'un enfant peut être en majeure partie induite par des modifications environnementales. En effet, Montagnini et Chelazzi (2005) ont mis en évidence que la latence des saccades pouvait être modifiée en fonction de la tâche à réaliser après l'émission d'une saccade. Les participants adultes devaient discriminer une lettre après avoir réalisé une saccade entre 2 points. La lettre apparaissait après un délai propre à chaque participant, en prenant en considération leur latence médiane et leur durée médiane. Les auteurs ont démontré que la latence des saccades était plus rapide dans la condition avec tâche que dans la condition contrôle sans tâches. De plus, le pic de vitesse de la saccade était également plus rapide dans la condition expérimentale. Schroeder et Holland (1968) faisaient partie des premiers à mettre en évidence que des mouvements

oculaires pouvaient être placés sous le contrôle de programme de renforcement. La tâche du participant était d'indiquer si une aiguille située dans l'une des quatre zones avait effectué un mouvement. Pour réaliser la tâche, il devait donc regarder dans les quatre zones dans lesquelles il y avait une aiguille. Le mouvement oculaire était défini à la fois comme une saccade et une fixation. Ces mouvements oculaires étaient donc des réponses d'observation. Les auteurs avaient tout d'abord mis en place un renforcement différentiel à taux bas (DRL) de 10 secondes, car les participants avaient un taux de réponses très élevées. Lors de ce programme, un mouvement d'aiguille survenait lorsqu'une réponse était émise après dix secondes d'absence de réponses. Ensuite, un FR 45 était mis en place et enfin un FI 2 minutes. Un programme multiple impliquant ces trois programmes de renforcement avait été mis en place. Pour rappel, un programme multiple est un programme dans lequel deux programmes de renforcement ou plus s'alternent et chacun est corrélé avec un stimulus différent. Lors du programme multiple, à chaque changement de composante, la fréquence de réponses d'observation se modifiait, mettant ainsi en évidence une modification de ce comportement en fonction du programme de renforcement. Dans une étude de Rosenberg (1973), les réponses d'observation avaient également été sous contrôle des programmes de renforcement par l'utilisation d'un programme concurrent. Lors d'un programme concurrent, les programmes de renforcement sont disponibles en simultané sur des clefs de réponses différentes, les clefs de réponses ici étant les cadrans avec aiguille.

Ces études montrent que les saccades et les fixations, qualifiées de réponses d'observation, peuvent être modulées par l'environnement et plus particulièrement être modifiées par l'utilisation de programmes de renforcement.

La valeur de la conséquence d'une réponse oculaire influence également cette réponse. Dans l'étude de Stritzke, Trommershauser et Gegenfurtner (2009), les participants devaient réaliser une saccade oculaire entre une croix de fixation et l'un des deux cercles présentés

simultanément soit adjacents soit légèrement superposés. Une saccade sur le cercle vert engendrait un gain de 100 points et une saccade sur le cercle rouge était suivie soit d'une perte de 500 points soit de l'absence de perte. Les saccades des participants se localisaient en majorité sur le cercle cible faisant gagner des points. Cette tâche est une tâche de discrimination, dans lequel le S+ était le cercle vert et le S- le cercle rouge. On constate donc que les saccades oculaires peuvent être placées sous contrôle discriminatif.

Lorsque la discrimination implique une réponse manuelle, les réponses d'observations, et plus particulièrement les réponses oculaires sont également modifiées par les contingences de renforcement. L'oculométrie présente l'avantage de pouvoir mesurer objectivement les observations, donc fixations et saccades réalisées sur les stimuli discriminatifs (Tomanari et al., 2007). Ainsi, il a été démontré que des participants effectuaient plus d'observations sur le S+ que sur le S- (Pessoa, Huziwara, Perez, Endemann, & Tomanari, 2009; Tomanari et al., 2007). Enfin, il semblerait qu'une réponse d'observation manuelle sous-estime le nombre d'observations réalisées sur les stimuli. Cela est en partie expliqué par le fait que la réponse oculaire est peu coûteuse et peut être émise très rapidement.

La réponse d'observation est un élément essentiel à considérer dans l'acquisition d'une discrimination. Naturellement, nous effectuons saccades et fixations pour observer les stimuli de notre environnement. Ainsi, les réponses d'observation consistant en des saccades et des fixations, sont des réponses d'observation écologiques pouvant être mesurées par l'utilisation d'un oculomètre. De plus, il a été démontré que ces réponses pouvaient être placées sous un contrôle discriminatif et sous contrôle de programme de renforcement. Afin d'éviter tout défaut d'observation, une réponse opérante impliquant des mouvements oculaires peut être utilisée dans l'apprentissage d'une discrimination. Enfin, il est également intéressant de pouvoir faire un lien entre stimulus fading et réponses d'observation, en émettant l'hypothèse que la procédure de "stimulus fading" puisse favoriser la mise en place de réponses d'observation.

3.3. Implication d'une seconde contingence dans le stimulus fading

L'acquisition d'une discrimination est dépendante d'un renforcement différentiel entre un S+ et un S-. Ainsi, le contrôle discriminatif d'une réponse est établi lorsque cette réponse est émise avec une probabilité différente en présence de deux stimuli différents, S+ et S- (Skinner, 1938; Spence, 1936; Terrace, 1966b). Ce contrôle discriminatif est typiquement mis en place lorsque la réponse en présence de S+ est suivie de renforcement et la réponse en présence de S- n'est pas suivie de renforcement.

La fréquence de renforcement en présence du S+ ne semble néanmoins n'avoir aucune influence sur l'acquisition d'une discrimination dès lors qu'un renforcement différentiel est mis en place. Par exemple, dans l'étude de Nevin (1967), des pigeons avaient été exposés à un ratio variable au cours de la procédure de discrimination et la probabilité de réponses correctes restait constante et élevée au cours des différents ratios. Cependant, ce résultat est peu étonnant. En effet, les pigeons étaient tous exposés à un ratio de 1, c'est-à-dire que chaque réponse émise en présence du S+ était renforcée. Puis, le ratio était ensuite varié avec dans certains cas une augmentation progressive (p. ex. RV 2-RV 5). Eckerman (1969) a varié la probabilité de renforcement sur le S+ dans 4 groupes, allant d'une probabilité de renforcement de 1 à 0.16 pour la plus faible. La probabilité de renforcement n'affecte pas l'acquisition de la discrimination, puisque le taux de réponses sur le S+ était beaucoup plus important que le taux de réponses sur le S- en fin d'entraînement. Néanmoins, la probabilité de renforcement du S+ a un effet sur les réponses émises sur le S-. En effet, plus la probabilité de renforcement était faible, plus il y avait de réponses émises sur le S-, et plus l'extinction de ces réponses était retardée. L'absence d'influence de la probabilité de renforcement sur l'acquisition d'une discrimination a également été mise en évidence par Williams (1989). Ainsi, dès lors qu'il y a un renforcement différentiel entre le S+ et le S-, que la probabilité de renforcement en présence du S- est de zéro, et peu importe la magnitude de renforcement sur le S+, l'acquisition peut se

mettre en place. On peut émettre l'hypothèse que la possibilité d'une probabilité de renforcement en présence du S- puisse défavoriser la mise en place de la discrimination.

Le renforcement non contingent (NCR) est une condition contrôle qui permet de séparer les effets de la présentation d'un stimulus (le renforçateur) de ceux produits par la contingence de renforcement positive. La contingence de renforcement est dite positive quand la probabilité de renforcement d'une réponse est supérieure à la probabilité de renforcement en absence de cette même réponse. Cette condition contrôle a largement démontré l'importance de la contingence de renforcement lors de la mise en place ou du maintien du contrôle d'un comportement (Charles B. Ferster & Skinner, 1997; Goetz, Holmberg, & LeBlanc, 1975; Thompson & Iwata, 2005). Le NCR implique la présentation du renforçateur de manière non contingente au comportement, en d'autres termes la présentation de ce renforçateur ne dépend pas de la réponse. Par exemple, Hart, Reynolds, Baer, Brawley, & Harris (1968) ont mis en évidence que l'attention de l'enseignante était effective comme renforçateur du comportement de jeu coopératif avec les autres enfants uniquement lorsqu'elle était délivrée de manière contingente au comportement. Le design de « yoked control » est également une condition impliquant un renforcement non contingent pour le groupe contrôle (Catania, 1998; Catania, Matthews, Silverman, & Yohalem, 1977a). Ce plan expérimental a été élaboré afin d'étudier l'effet de la relation temporelle entre la présentation d'un renforçateur et la réponse. Il consiste à appairer des participants du groupe expérimental au groupe contrôle. Pour le participant se situant dans le groupe expérimental, la présentation du renforçateur dépend de l'émission de la réponse, alors que pour le participant en groupe contrôle, placé dans une condition d'apprentissage identique, la présentation du renforçateur dépend de la réponse de l'autre participant. Par exemple, dans un premier cas, le participant en condition expérimentale émet une réponse correcte et que le participant en « yoked control » émette une mauvaise réponse ou une bonne réponse, les deux participants reçoivent le renforçateur. Dans un deuxième cas, si le

participant en situation expérimentale effectue une mauvaise réponse, il ne reçoit pas de renforçateur et que le participant en « yoked control » réalise une bonne ou mauvaise réponse, il ne reçoit également pas de renforçateur. Ainsi, le participant contrôle et le participant expérimental reçoivent le même nombre et la même distribution temporelle d'événements. Le participant contrôle recevant un renforcement non contingent ne devrait pas apprendre la discrimination contrairement au participant expérimental ayant reçu un renforcement contingent.

La contingence de renforcement dans l'utilisation d'une procédure de stimulus fading n'a jamais clairement été étudiée. A priori, il ne serait pas pertinent de remettre en question l'importance de la contingence de renforcement dans ce type de procédure. Il serait même inattendu que des participants recevant un renforcement non contingent comme cela est réalisé dans un « yoked control », dans l'utilisation d'une procédure de stimulus acquièrent la discrimination. Cependant, une analyse méthodologique de la procédure de "stimulus fading", nous invite à considérer la présentation de deux événements distincts. Une première contingence est mise en place afin d'établir l'un des stimuli comme S+, cette contingence implique la présentation d'un événement renforçateur de manière contingente à la réponse correcte. Une seconde contingence pourrait également être considérée, car la procédure de stimulus fading implique également un changement dans l'environnement en fonction des réponses du participant, la modification perceptive du S-. Ainsi, un certain nombre de réponses correctes consécutives résulte en la modification du S- (Aronsohn, Castillo, & Pinto-Hamuy, 1978; Pashler & Mozer, 2013). Par exemple, 4 réponses correctes consécutives résultant en la réduction en taille du S-. Parfois, l'émission d'une série de réponses incorrectes résulte en l'augmentation de la différence entre les stimuli, ou la présentation du S- moins saillant (Sidman & Stoddard, 1967), enfin l'émission de réponses incorrectes isolées peut résulter en la présentation des mêmes stimuli. Ces différentes modifications du ou des stimuli dépendent du

comportement du participant tout comme la présentation du renforçateur dépend du comportement du participant.

Dans le cas où, l'utilisation d'un renforcement non contingent dans une procédure de stimulus fading mènerait à l'acquisition de la discrimination, nous pouvons nous demander dans quelle mesure ces modifications peuvent-elles fonctionner comme renforçateur ? Chez l'adulte, mais également chez l'enfant, les modifications d'un stimulus différentiel aux comportements pourraient être considérées comme un renforçateur conditionné voir généralisé (Donahoe & Palmer, 1994). Un renforçateur est conditionné lorsque celui-ci a été apparié avec un renforçateur inconditionné tel que la nourriture. Un renforçateur conditionné peut également avoir été apparié à un autre renforçateur conditionné. Un renforçateur généralisé est un renforçateur qui a été apparié à différents renforçateurs. Par exemple, l'argent est un renforçateur généralisé puisqu'il a été apparié à divers items comme de la nourriture, des livres, des activités. Ainsi, une modification d'un stimulus de l'environnement pourrait devenir renforçateur conditionné voire généralisé par association avec un autre renforçateur. Prenons l'exemple du milieu scolaire, la présentation d'un nouveau problème mathématique qui est donc un changement de stimulus suite à la résolution du problème précédent pourrait avoir été appariée à un renforçateur explicite et ainsi fonctionnerait comme renforçateur conditionné. Par ailleurs, le nouveau problème mathématique peut également être considéré comme renforçateur conditionné et également stimulus conditionné, comme cela serait le cas dans une chaîne comportementale (Horner & Keilitz, 1975; Skinner, 1938). Ainsi, les différents problèmes mathématiques, ou plus largement les modifications de stimuli, seraient liés à un renforçateur terminal et auraient ainsi une histoire large de renforcement. Dans le cas du stimulus fading, la modification du S- pourrait fonctionner comme renforçateur conditionné par appariement avec le renforçateur présenté après chaque émission correcte.

La sursélectivité du stimulus, l'effet de blocage, l'effet « d'overshadowing », l'observation des stimuli mais également la présence d'une seconde contingence impliquant la modification d'un stimulus discriminatif produit par la réponse ont été identifiés comme facteurs influençant l'efficacité d'une procédure de stimulus fading. Il semble donc essentiel de prendre en compte ces facteurs dans l'élaboration d'une procédure de stimulus fading.

Une procédure de stimulus fading efficace permettra donc de favoriser au mieux l'apprentissage d'une discrimination. Dans quelles mesures peut-elle influencer l'acquisition d'une nouvelle discrimination par essai-erreur ?

Chapitre 4 : Effet de transfert dans l'acquisition d'une nouvelle discrimination

La procédure de stimulus fading a présenté l'avantage de faciliter l'acquisition d'une discrimination par la réduction d'émission d'erreur. Les raisons de ses effets sur l'apprentissage d'une discrimination restent encore peu soulignées, bien que nous puissions désormais émettre l'hypothèse que les choix des propriétés perceptives des stimuli et l'observation de ces derniers en soient responsables.

Dans l'étude de la discrimination, la littérature s'est également intéressée aux effets de transfert entre deux ou plusieurs discriminations en fonction de différents paramètres comme la procédure d'apprentissage utilisée. Ainsi, la procédure de stimulus fading aurait-elle également un effet facilitateur sur l'acquisition d'une discrimination subséquente ?

4.1. Stimulus fading et transfert d'apprentissage dans une discrimination subséquente

Certaines études indiquent un effet facilitateur du stimulus fading sur l'acquisition d'une nouvelle discrimination (Aronsohn et al., 1978; Fields, 1980; Gollin & Savoy, 1968). Afin d'étudier l'effet facilitateur d'une procédure de stimulus fading, les participants humains ou non humains sont tout d'abord entraînés à la discrimination par l'utilisation d'une procédure de stimulus fading puis d'une autre discrimination par essai-erreur. Si ces participants acquièrent la seconde discrimination avec moins d'erreurs et plus rapidement, c'est-à-dire avec moins d'essais, que des participants contrôles ayant reçu le premier apprentissage par essai-erreur, on parlera alors d'effet facilitateur. Aronsohn, Castillo et Pinto-Hamuy (1978) ont tout d'abord entraîné deux groupes de rats soit par essai-erreur soit par stimulus fading. Ces deux groupes étaient ensuite subdivisés en deux autres groupes. Ils étaient entraînés sur une nouvelle discrimination dans laquelle le S+ et le S- était interverti (« reversal »), soit par stimulus fading soit par essai-erreur. Les rats entraînés tout d'abord par une procédure de stimulus fading puis

par essai-erreur sur le reversal émettaient moins d'erreurs et moins d'essais dans cette condition, comparativement aux rats entraînés dans un premier temps par essai-erreur. Dans l'étude de Gollin et Savoy (1968), des enfants étaient entraînés sur une discrimination simple dans laquelle le S+ était un triangle sur une ligne blanche et le S- un cercle sur une ligne blanche. Dans la seconde condition, la forme du S+ et du S- était intervertie, donnant donc comme S+ un cercle sur plusieurs lignes blanches et comme S- un triangle sur plusieurs lignes blanches. Une partie des enfants recevaient un entraînement avec stimulus fading dans les deux conditions. Lors de ce stimulus fading, le S+ était parfaitement illuminé et le S- noir. La forme géométrique était ensuite intégrée progressivement puis les lignes étaient intégrées. L'autre partie des enfants avaient reçu un entraînement par essai-erreur dans les deux conditions. Les performances des enfants étaient comparées lors d'une discrimination conditionnelle dans laquelle les stimuli des deux conditions précédentes étaient présentés. Ainsi, la réponse correcte était conditionnelle au nombre de lignes présentes en fond. Pendant la discrimination conditionnelle, les enfants ayant reçu au préalable un apprentissage avec stimulus fading réalisaient plus d'erreurs. Dans chacune des deux discriminations simples, la forme géométrique avait acquis le contrôle sur le comportement puisque c'est cette information qui était rendue saillante par la procédure de stimulus fading. Ainsi, en discrimination conditionnelle, les lignes ne semblaient pas être observées et prises en considération pour l'acquisition de la discrimination. En d'autres termes, un effet de blocking est observé, car seule la ligne préalablement entraînée contrôlait le comportement. Schilmoeller, et ses collaborateurs (1979), ont répliqué cette étude par l'ajout d'un groupe recevant un apprentissage par façonnage du stimulus. Le S+ et le S- étaient tous deux modifiés. Par exemple, dans la première condition, au départ, le S- était une carte blanche et le S+ un arbre sur une colline, puis le S- était intégré comme une pomme traversée d'un vers. Les auteurs ont mis en évidence que la procédure de façonnage du stimulus était plus efficace, en réduisant le nombre d'erreurs en discrimination conditionnelle comparativement aux deux

autres procédures. Par ailleurs, aucune différence n'avait été observée entre les enfants ayant reçu le stimulus fading et ceux ayant reçu un entraînement par essai-erreur contrairement à l'étude de Gollin et Savoy.

Le stimulus fading semble induire un effet de blocage sur l'acquisition d'une discrimination subséquente. En effet, Marsh et Johnson (1968), ont effectué un reversal à travers deux tâches de discrimination. Les pigeons ayant reçu en premier lieu une procédure de stimulus fading n'acquerraient pas la discrimination subséquente, car aucune réponse n'était émise sur l'ancien S- devenu S+. Dans l'étude de Richmond et Bell (1986), quatre discriminations successives avec pour même dimension pertinente, la taille relative entre S+ et S-, ont été entraînées soit par façonnage du stimulus soit par essai-erreur. Ensuite, les participants étaient confrontés successivement à quatre nouveaux problèmes impliquant une discrimination de forme. De nouveau, la procédure d'apprentissage sans erreurs avait un effet délétère sur l'acquisition d'une discrimination subséquente par essai-erreur. Cependant, cet effet n'était pas observé pour tous les participants et pour toutes les discriminations subséquentes. Certains participants émettaient peu d'erreurs dans l'une de ces discriminations.

Comme nous en avons fait l'hypothèse dans le chapitre précédent, le stimulus fading semble augmenter les réponses d'observation sur les dimensions pertinentes pour l'apprentissage d'une discrimination. Ainsi, la procédure de stimulus fading permet à la caractéristique de la dimension pertinente de contrôler la réponse. Dans le cas d'une transposition entre S+ et S-, cela peut avoir un effet délétère plutôt que facilitateur, cependant ce résultat n'est pas toujours obtenu. Dans le cas d'une nouvelle discrimination, les effets de l'apprentissage sans erreurs ne semblent pas non plus être clarifiés. Si l'effet délétère est dû à un phénomène de blocage, cela ne devrait pas être observé lorsque la discrimination subséquente est totalement nouvelle. Pour rappel, l'effet de blocage est observé lorsque la caractéristique de la dimension pertinente de la discrimination précédente bloque l'acquisition

de la caractéristique de la dimension pertinente de la discrimination subséquente. Si l'effet facilitateur est induit par une augmentation des réponses d'observation sur la dimension pertinente, alors cet effet facilitateur ne devrait pas être retrouvé lorsque la dimension pertinente diffère catégoriquement entre les deux discriminations.

Fields (1980) a mis en évidence un effet facilitateur entre deux discriminations utilisant des stimuli différents. Des adultes avaient été entraînés à discriminer des lettres en braille en les nommant. La procédure de stimulus fading impliquait une superposition de la lettre en alphabet latin qui était estompée progressivement. Le nombre d'essais pour apprendre les nouvelles lettres dans la seconde condition était moins important pour les participants ayant reçu un entraînement par stimulus fading sur la première condition. Ces résultats montrent qu'en utilisant des stimuli différents d'une condition à l'autre, le phénomène de blocage n'est pas observé. De plus, ce qui permet de discriminer les lettres en braille est la disposition des points les uns par rapport aux autres. Ainsi, la dimension pertinente restait la même dans les deux conditions. La manipulation de la dimension pertinente pour l'apprentissage et son effet sur un apprentissage subséquent ont été largement étudiés dans les études impliquant un reversal, un changement intradimensionnel et changement extradimensionnel.

4.2. Reversal, changement intradimensionnel et changement extradimensionnel

Les effets facilitateur ou délétère entre des discriminations successives sont également appelées effet de transfert positif et effet de transfert négatif. Les résultats, mais également les théories expliquant ces effets de transfert peuvent également être transposés aux transferts mis en évidence par une procédure de stimulus fading. De plus, ces études apportent des éléments supplémentaires sur la divergence de résultats. Ces effets de transfert ont tout d'abord été étudiés dans le cas de reversal et de non reversal (NR). En reversal, le participant est entraîné à répondre à une caractéristique dans une dimension spécifique (p. ex. la couleur rouge), puis une autre caractéristique dans la même dimension est renforcée (p. ex. la couleur verte). En non

reversal, la dimension pertinente est changée entre les deux conditions (p. ex. de la couleur rouge à la forme triangle). Une première étude de Kendler et D'Amato (1955) a mis en évidence qu'une tâche de reversal était plus facilement réalisée qu'une tâche de non reversal chez l'être humain. Ils émettent l'hypothèse qu'un mécanisme de médiation se met en place, et permet la facilitation en tâche de reversal. Ce mécanisme de médiation implique une représentation interne de certaines dimensions du stimulus. Cette réponse de médiation est vue comme une réponse verbale faisant partie du processus d'apprentissage. Selon cette hypothèse, en reversal, le transfert devrait être positif, c'est-à-dire que la tâche de reversal devrait être mieux réussie et plus rapidement acquise que la tâche de non reversal. En effet, la réponse médiatrice verbale faciliterait la sélection de la dimension pertinente. Alors que, selon la théorie de Spence (1936), le transfert positif devrait être plus observé en tâche de non reversal car la caractéristique non pertinente en NR serait neutre alors que la caractéristique incorrecte dans le premier apprentissage serait inhibitrice. Cette hypothèse est testée quelques années plus tard chez de jeunes enfants (T. S. Kendler & Kendler, 1959; T. S. Kendler, Kendler, & Wells, 1960). Les auteurs mettent en évidence un point de transition chez les enfants âgées de 2 ans $\frac{3}{4}$ à 6 ans. Effectivement, les plus jeunes nécessitent moins d'essais en non reversal. Ceci d'autant plus lorsqu'ils ont été classés comme apprenants lents, alors que les plus vieux nécessitent de moins d'essais en reversal, également lorsqu'ils sont classés comme apprenants rapides. Ainsi, les enfants jeunes n'effectueraient pas de réponses verbales de médiations et le transfert ne pourrait pas s'effectuer en reversal alors les plus jeunes suivraient donc un modèle S-R tel que présenté par Spence.

Néanmoins, cette théorie est controversée puisque, Coldren, Colombo et Gholson (1994), ont obtenu un effet facilitateur dans le cas d'un reversal chez des bébés de 9 mois, alors qu'ils n'ont pas encore accès au langage.

House et Zeaman (1962), adoptent une autre théorie afin d'expliquer l'effet facilitateur dans le cas de tâche de reversal. En se basant sur la réponse d'observation, ils postulent qu'une réponse d'observation vers les stimuli impliqués dans la discrimination est nécessaire pour l'acquisition de la discrimination. Dans le cas où un individu aurait des difficultés à émettre des réponses d'orientation, l'acquisition de la discrimination serait ralentie. Cette théorie concorde avec les résultats mis en exergue par Dube et ses collaborateurs (1999). Par l'utilisation d'un oculomètre ils avaient montré que l'absence d'observation sur le stimulus pertinent était corrélée avec un échec d'apprentissage. La théorie de House et Zeaman a été testée dans une autre forme de reversal, dans laquelle le changement peut être intradimensionnel ou extradimensionnel. De manière générale, lors d'un changement intradimensionnel, la dimension pertinente est identique entre les deux discriminations. Lors d'un changement extradimensionnel, la dimension pertinente dans la première condition devient non pertinente dans la seconde condition. Dans l'étude de House et Zeaman, la dimension non pertinente pouvait être variable ou constante, et ce, dans le changement intradimensionnel et extradimensionnel. Dans le cas où la dimension pertinente est la couleur et la non pertinente la forme. Si la dimension non pertinente est variable, les stimuli utilisés peuvent être par exemple un triangle rouge versus un carré vert et un carré vert versus un triangle vert. Si la dimension non pertinente est constante, les stimuli peuvent être un cercle jaune versus un carré jaune. En changement intradimensionnel, lorsque la dimension non pertinente est variable, les caractéristiques de la dimension pertinente sont changées (p. ex. jaune et noir) et les non pertinentes restent inchangées (p. ex. carré et triangle) par rapport à l'entraînement initial mais ces dernières changent durant l'entraînement. Lorsque la dimension non pertinente est constante, les caractéristiques de la dimension pertinente et non pertinente sont changées (p. ex. croix verte et triangle vert) par rapport à l'entraînement initial, mais la dimension non pertinente reste constante au cours du changement. En changement extradimensionnel, pour la variable

non pertinente variable, l'ancienne variable non pertinente devient pertinente et une nouvelle non pertinente est ajoutée (p. ex. carré jaune vs triangle noir, carré noir vs triangle jaune). Pour la variable non pertinente constante, deux nouvelles caractéristiques de la dimension non pertinente deviennent pertinentes (p. ex. triangle vert vs triangle rouge). La **Figure 4.1** résume les exemples donnés ci-dessus.

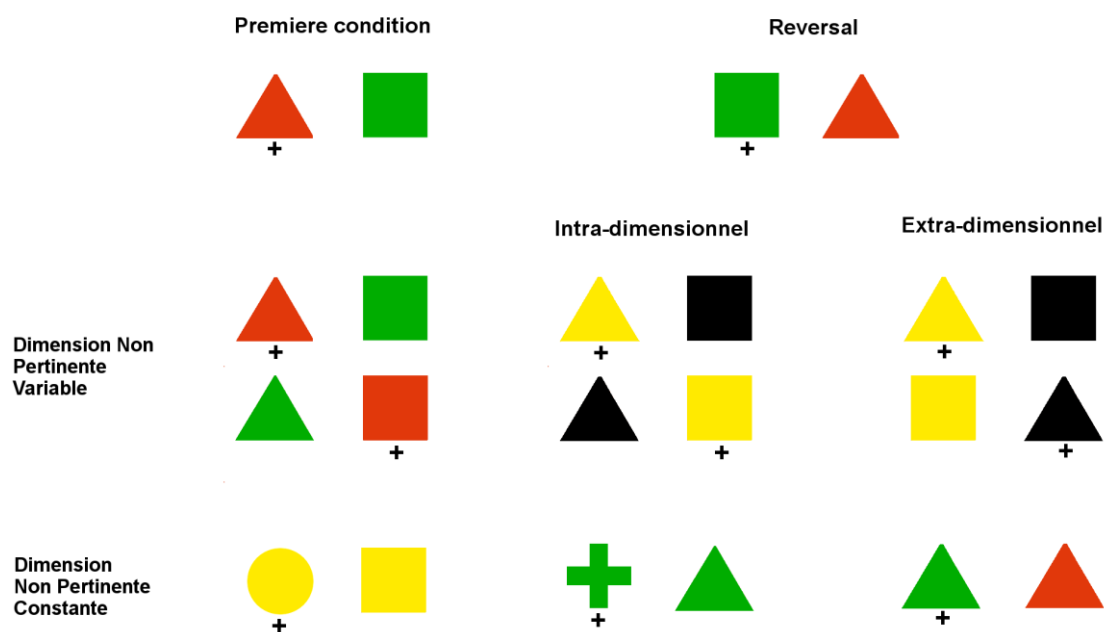


Figure 4.1. Paradigmes utilisés dans l'étude de House et Zeaman (1962 : le reversal, le changement intradimensionnel, le changement extradimensionnel. "Le plus", sous la figure géométrique, indique le S+ soit la réponse correcte.

Les auteurs ont mis en évidence que le pourcentage de réponses correctes était plus élevé en reversal et en changement intradimensionnel comparativement au changement extradimensionnel où le pourcentage de réponses se maintenait autour de 50%. Par ailleurs, aucun effet n'a été mis en évidence concernant la pertinence de la dimension (variable ou constante). Cependant, il est à noter qu'en changement intradimensionnel, lorsque la dimension non pertinente était maintenue constante, et que la dimension pertinente était la forme, un minimum d'erreurs avait été réalisé. Cette configuration s'apparente à celle mise en œuvre par Fields (1980), dans laquelle les stimuli sont changés entre les deux apprentissages, mais la

dimension pertinente reste identique. Par l'utilisation d'une procédure de stimulus fading, Fields avait également montré un effet de transfert positif.

Les résultats obtenus chez l'animal apportent des éléments en faveur de la théorie de l'attention de House et Zeaman. Par exemple, Shepp et Eimas (1964) ont mis en évidence une acquisition plus rapide de la discrimination en changement intradimensionnel comparativement à un changement extradimensionnel chez le rat. Roberts, Robbins et Everitt, ont étudié le transfert en intradimensionnel et extra-dimensionnel, avec un même protocole, chez le singe et chez l'humain. Chaque discrimination entraînée était suivie de plusieurs reversals. Les participants étaient tout d'abord entraînés sur une discrimination dite simple, dans laquelle une seule discrimination variée. Une discrimination avec stimuli composés d'une ligne et d'une forme était ensuite entraînée suivie également de multiple reversals. Et enfin, les participants recevaient soit un changement intradimensionnel soit extradimensionnel. Chez le singe et l'humain, il y avait significativement beaucoup moins d'erreurs en intradimensionnel qu'en extradimensionnel. Chez le singe, il y avait plus d'erreurs en reversal que sur le premier changement, et plus particulièrement, après un transfert en intradimensionnel tous les animaux sauf un apprenaient dans chacun des reversals alors qu'après un transfert extradimensionnel seulement 2 sur 6 apprenaient dans les reversals. Chez l'humain, aucune différence n'avait été observée concernant les reversals.

Les effets de transfert en reversal, en changement intradimensionnel et extradimensionnel ont également été étudié en conjonction avec les effets de surentraînement. Lors d'un surentraînement, des essais supplémentaires sont effectués après que le participant ait acquis la discrimination. Chez l'enfant de 7 à 9 ans, il a été démontré qu'un surentraînement facilitait l'acquisition de la discrimination en reversal (Furth & Youniss, 1964; Youniss & Furth, 1964). Cependant, ce résultat n'est pas retrouvé chez de jeunes enfants entre 3 ans et demi et 5 ans (Gollin, 1964). Dans cette étude, Gollin manipulait le nombre d'essais en surentraînement, ainsi

les enfants avaient reçu soit 0 essai, soit 10 soit 20. Il s'est avéré qu'une relation en U était observée entre le nombre d'essais en surentraînement et le nombre de réponses incorrectes et également le nombre d'essais au critère. Selon la théorie de House et Zeaman, en reversal et changement intradimensionnel, la probabilité de réponses d'observation sur la dimension pertinente est élevée dès le début du changement de condition, ce qui favorise donc l'apprentissage. Lors de l'utilisation d'un surentraînement, cette probabilité est d'autant plus augmentée. Cependant, les résultats mis en évidence par Gollin ne peuvent être entièrement expliqués par cette théorie. En effet, si la probabilité de réponses d'observation est plus élevée avec un nombre de surentraînements plus important, il semble difficile de justifier le fait qu'un surentraînement de 20 essais puisse avoir un effet moins facilitateur qu'un surentraînement de 10 essais. Eimas (1966), a entraîné des enfants de 5 à 6 ans et de 7 à 8 ans soit sans surentraînement soit avec un surentraînement de 50 essais. Les enfants et peu importe leur âge, en intradimensionnel apprenaient la nouvelle tâche plus rapidement que les enfants en extradimensionnel, et le surentraînement réduisait d'autant plus le nombre d'erreurs dans les deux conditions. Les résultats obtenus en intradimensionnel valident donc l'hypothèse de la théorie de l'attention. Cependant, en extradimensionnel avec surentraînement, la réponse d'observation devrait avoir une probabilité très élevée sur la dimension pertinente, et devrait donc ralentir d'autant plus l'acquisition qu'en absence de surentraînement. Ce ne sont pas les résultats mis en évidence dans la présente étude. L'étude de Furth et Youniss (1964), contredit dans la totalité les hypothèses de House et Zeaman, puisque le surentraînement de 18 essais ne donnait ni lieu à une diminution du nombre d'erreurs en intradimensionnel ni à une augmentation du nombre d'erreurs en extradimensionnel. Enfin, Shepp et Turrissi (1969) ont réalisé un surentraînement individuel en fonction des performances du participant, basé sur des pourcentages. Ainsi, un enfant ayant acquis la première discrimination en 30 essais aurait eu soit un surentraînement de 100% (30 essais supplémentaires) soit un surentraînement de 200%

(60 essais supplémentaires). Un groupe contrôle ne recevait pas de surentraînement. Ils ont mis en évidence une acquisition de la discrimination en intradimensionnel très rapide lorsque les enfants avaient reçu un entraînement de 200% et moins rapide en 100%. Pour le surentraînement de 100%, il n'y avait aucune différence sur l'acquisition de la discrimination en intradimensionnel et en extradimensionnel. Néanmoins, lorsque le surentraînement reçu était de 200%, l'acquisition de la discrimination en extra dimensionnel était nettement ralentie. Les enfants acquéraient la discrimination en 14 fois plus d'essais qu'en intradimensionnel.

Ainsi, il est possible que le nombre d'essais de surentraînement soit une variable affectant la force de la probabilité de la réponse d'observation. Dans les études n'obtenant pas les effets escomptés, le nombre d'essais de surentraînement n'était peut-être pas suffisant pour renforcer la probabilité de la réponse d'observation sur la dimension pertinente dans le cas d'un changement intradimensionnel et de renforcer la probabilité de la réponse d'observation sur la dimension non pertinente dans le cas d'un changement extradimensionnel.

Le stimulus fading est une procédure pouvant favoriser et renforcer la réponse d'observation sur la dimension pertinente. Ainsi, selon la théorie de House et Zeaman, l'utilisation d'une procédure de stimulus fading dans la première condition devrait également favoriser le transfert en reversal, en changement intradimensionnel, et le retarder en changement extradimensionnel. Nolan et Harris (1981) ont investigué les effets du stimulus fading sur un reversal S+ et S-, un changement intradimensionnel et un changement extradimensionnel. Pour la procédure de fading, si la réponse correcte était « cercle » avec comme dimension non pertinente la couleur, au début, seul le cercle était visible sans couleur puis le carré était intégré progressivement en augmentant sa luminosité, et les deux figures devenaient progressivement colorées. Il s'avère que la procédure de stimulus fading a ralenti l'acquisition de la discrimination dans les trois conditions comparativement à l'apprentissage par essai-erreur. Ces résultats sont donc en défaveur de l'hypothèse de l'attention. Cependant, il est possible, tout

comme dans l'étude de Marsh et Johnson (1968), que l'absence de réponse sur le S- se soit perpétué dans les tâches de reversal et changement intradimensionnel. De plus, l'observation de la caractéristique de la dimension pertinente (p. ex. triangle) a pu être uniquement renforcée, ne favorisant pas l'observation d'une autre forme géométrique pourtant dans la même dimension. Étant donné la disparité des résultats mis en exergue à la fois dans le transfert après stimulus fading et dans les tâches de reversal, changement intradimensionnel et changement extradimensionnel, les résultats de l'étude de Nolan et Harris ne peuvent pas être pris pour acquis. L'hypothèse de la théorie de l'attention ne peut être rejetée sur la base d'une seule étude. Par ailleurs, Schusterman (1967) a mis en évidence qu'un changement d'attention sur la caractéristique pertinente était possible dans une tâche de reversal par l'utilisation d'une procédure de stimulus fading. Des lions de mer avaient tout d'abord été entraînés à discriminer un cercle d'un triangle par essai-erreur (le triangle comme S+), puis un stimulus fading était réalisé sur le premier reversal et un second stimulus fading sur le second reversal.

En définitive, la théorie de l'attention apporte des éléments de réponses quant à l'effet de transfert positif ou négatif après une procédure de stimulus fading. Il est probable que la réponse d'observation puisse favoriser le transfert dans certains cas et le défavoriser dans d'autres cas.

Ainsi, les différents facteurs influençant l'efficacité du stimulus fading dans l'acquisition d'une discrimination mais également favorisant le transfert d'apprentissage devront être pris en considération dans les études à venir.

Problématique Générale de la thèse

Le travail de cette thèse s'est porté sur l'étude de l'efficience de la procédure de stimulus fading dans l'apprentissage d'une discrimination chez trois populations différentes (adulte, enfant typique, enfant avec troubles du développement), postulant que l'observation des stimuli est une condition essentielle pour favoriser l'apprentissage. Ainsi, nous avons développé un protocole innovant pour entraîner une nouvelle discrimination. En effet, dans chacune des études de cette thèse, un même opérant a été utilisé qui consistait à regarder l'un des stimuli et à le déplacer par un mouvement des yeux. Toute interaction entre le participant et l'ordinateur se faisait par le biais d'un oculomètre. Lors de l'apprentissage d'une discrimination, les propriétés perceptives ont directement une influence sur l'acquisition de la discrimination (voir chapitre 1). Les capacités perceptives d'un animal humain ou non humain ont un impact sur l'apprentissage de la discrimination. De plus, nous avons également constaté que la proximité des propriétés perceptives du stimulus positif (stimulus corrélé avec le renforcement) et du stimulus négatif (stimulus corrélé avec l'absence de renforcement) pouvait avoir un effet délétère sur l'apprentissage de la discrimination. Ainsi, une faible différence entre les deux stimuli peut déterminer la difficulté de l'apprentissage de la discrimination. La procédure de stimulus fading permet l'apprentissage d'une discrimination dite difficile avec un nombre d'erreurs moindre comparativement à un apprentissage par essai-erreur (voir chapitre 2). Effectivement, la procédure de stimulus fading consiste en l'augmentation progressive de la difficulté de la discrimination par la modification perceptive du discriminanda. Cependant, l'efficacité et l'efficience de cette procédure n'ont pas toujours été démontrées (voir chapitre 3). Nous faisons l'hypothèse que l'observation des stimuli a un impact sur l'efficacité de la procédure de stimulus fading. Si la manipulation de la dimension pertinente dans la procédure de stimulus fading favorise le transfert de contrôle du stimulus alors l'acquisition d'une discrimination où les deux stimuli présentent une faible différence devrait être favorisée (étude

1). Nous nous attendons donc à ce que des participants entraînés par stimulus fading apprennent la discrimination plus rapidement et avec un meilleur pourcentage de réponses correctes comparativement à des participants entraînés par essai-erreur. Par ailleurs, si l'observation du S+ est favorisée par la procédure de stimulus fading, alors on devrait enregistrer plus d'observations sur le S+ que sur le S-. Nous postulons également que la présence d'une seconde contingence dans la procédure de stimulus fading, la modification d'un stimulus discriminatif produit par la réponse, pourrait également être un facteur non identifié contribuant à l'efficacité de la procédure (étude 2). Ainsi, les participants entraînés par stimulus fading en l'absence de contingence positive de renforcement par vidéos devraient acquérir un certain nombre d'étapes de stimulus fading. Enfin, l'effet de la procédure de stimulus sur l'acquisition d'une discrimination subséquente a très peu été étudié dans la littérature et les résultats soulignés sont divergents (voir chapitre 4). Certaines études démontrent qu'un apprentissage préalable par stimulus fading favorise l'acquisition d'une discrimination subséquente par essai-erreur alors que d'autres études démontrent l'effet inverse. L'observation apportée aux stimuli, et les dimensions pertinentes entre les différentes discriminations seraient des facteurs influençant le transfert d'apprentissage. Si la probabilité d'émettre une réponse d'observation sur la dimension pertinente augmente lors d'un premier apprentissage, alors la présence de cette même dimension comme étant également pertinente dans la seconde discrimination, devrait permettre le transfert d'apprentissage dans le second apprentissage. Plus spécifiquement, nous nous attendons à ce que des participants entraînés au préalable par stimulus fading apprennent plus rapidement et avec un meilleur taux de réponses correctes une nouvelle discrimination par essai-erreur comparativement à des participants entraînés au préalable par essai-erreur ou non entraînés. Nous nous attendons également à ce que des participants entraînés préalablement par essai-erreur apprennent plus rapidement et avec un meilleur taux de réponses correctes une

nouvelle discrimination par essai-erreur comparativement à des participants non entraînés au préalable.

A travers ces 3 études, nous cherchons à mettre en évidence les facteurs pouvant favoriser l'efficacité de la procédure de stimulus fading, mais également son effet sur l'apprentissage d'une nouvelle discrimination. Enfin, une approche développementale nous permet également d'appréhender l'influence de ses facteurs et les effets du stimulus fading chez l'adulte, l'enfant typique et l'enfant avec troubles du développement.

EXPERIMENTATION

Hypotheses of the research

In the literature, some questions have been raised about the acquisition of discrimination using stimulus fading. These questions are principally methodological and few studies have answered these questions. Firstly, stimulus fading has not thoroughly investigated in human adults. Adult experimentation was needed to explore at first the methodological and fundamental questions raised in stimulus fading. Secondly, it is assumed that discrimination learning could be different for children. A comparison between adults and children on the same protocols, with some adaptations for children, will give us information about the differences in discrimination learning.

The eye gaze was the operant in all experiments of this thesis. An eye-tracking device was used in order to use the eye gaze as an operant. As presented in the introduction, the attention paid to stimuli during a discrimination training seems to be a necessary condition to the acquisition of this discrimination. Thus, by having an operant using the eye gaze, the participant was “forced” to look at the stimulus. The first study was designed to assess a new protocol of stimulus fading in which the learning of a difficult discrimination was investigated by use of an eye gaze operant. The stimulus fading was an eight increasingly difficult luminance-based discrimination. The aim of this study was first, the replication of previous studies about stimulus fading. In other words, our protocol of stimulus fading should lead to a reduction of errors compared to a traditional learning protocol.

The second study was an investigation of stimulus fading per se. During discrimination training (and any training), it has been demonstrated that contingency of reinforcement was a necessary condition to learning. During stimulus fading in most of protocol, one of the stimuli is changed or remained the same according to the responses of the participant. Thus, if the stimulus is modified when a specified string of correct responses is emitted, another

contingency could be implied. Our study investigated the potential effect of this unappreciated contingency. One group of participants (SF) received a stimulus fading discrimination in which advancement from fading level and reinforcement by video-clip were based on accuracy of responding (this group was identical to the 1st SF group in study 1) and the second group, the yoked control (YC), received the same stimulus fading condition but the video reinforcer presented in a trial was based on the delivery of video reinforcers to a participant in the SF condition, thus the video-clip reinforcement was non-contingent.

Finally, the third and last study was designed to investigate the effect of learning transfer across stimulus fading and trial and error learning. The effect of stimulus fading on subsequent discrimination was poorly studied and most of these studies were conducted in the context of reversal learning. The first condition passed by the participant was a difficult hue discrimination and the second one a difficult saturation discrimination. Some participants received during the first condition a stimulus fading protocol, whereas others trial and error learning or the absence of a first condition. The two parameters of the color dimension were used in order to obtain a new discrimination in the second phase by avoiding potential effect of extra-dimensional shift.

Thus, the present studies seek to answer the following questions:

- Could the enhancement of discrimination thanks to a stimulus fading protocol be replicated in a difficult to solve intra-dimensional discrimination by promoting the transfer of stimulus control during stimulus fading, and by adding the necessity of the observing response on the S+?
- Is the contingency of reinforcement needed for discrimination learning in stimulus fading? Could the efficiency of stimulus fading partly reside in the implication of an unappreciated contingency?
- Does the stimulus fading promote a positive transfer on a subsequent new discrimination?

Each of the present questions was investigated both in adults and young children. The number of participants differed between the two populations due to some difficulties in recruiting children. Indeed, more authorizations are needed when conducting experiments with children.

Study 1: The effects of stimulus fading in training an intra-dimensional discrimination

1.1. Introduction

The literature on discrimination learning has indicated that discrimination could be learned in the absence of error (House & Zeaman, 1960; Terrace, 1963a). This kind of training is called “errorless learning.” Responses to S+, stimulus correlated with reinforcement, are commonly called “correct responses” and responses to S-, stimulus correlated with the absence of reinforcement, are called “errors.” Terrace (1963a), trained a red/green key discrimination in pigeons by reducing responses on S-. To do so, a progressive fading in of the S- (green key) was realized by modifying the intensity of light and the duration of the key during discrimination training. This procedure is called stimulus fading and was first explored by Lawrence (1952) termed transfer along a continuum. A stimulus fading protocol generally implies the fading in of the S-, resulting in a large difference between S+ at the beginning of training. Then, step by step, the difference between the two stimuli is reduced and the difficulty of the discrimination increases. “Errorless learning” occurs when a poor number of errors are emitted during training compared to a traditional discrimination training in which S+ and S- are presented in their final form. Stimulus fading protocol proved to be efficient in teaching a new discrimination by reducing errors in typical children and children with developmental disabilities (House & Zeaman, 1960; Moore & Goldiamond, 1964; Sidman & Stoddard, 1967).

This procedure is known to facilitate the acquisition of difficult discrimination (Fields, 1978; Terrace, 1963b). For example, the discrimination of lines on keys is difficult for pigeons, the difficulty expressed by numerous errors and a large number of trials (Cohen, Looney, Brady, & Aucella, 1976; Terrace, 1963b), or discrimination between stimuli composed of multiple cues in young children or intra-dimensional discrimination (Coldren et al., 1994; Crane & Ross, 1967; Everett, 1977; Petrini, Jones, Smith, & Nardini, 2015; A. W. Siegel, 1968). Thus, the

current study investigated the use of stimulus fading in intra-dimensional discrimination with a small but remaining perceptible difference between S+ and S-.

However, stimulus fading is not a win-win procedure to train a new discrimination with a minimum of errors. Karpicke & Hearst (1975), reported that only 9 of 31 pigeons acquired the discrimination in fewer than 35 errors with stimulus fading protocol identical to that developed by Terrace. Schwartz, Firestone & Terry (1971) tried to train the concept of bilateral symmetry to first grade children (6 to 7 years old) according to three different procedures, with no convincing effect of stimulus fading.

The literature provides little information about specific methodology in order to enhance the acquisition of a discrimination using stimulus fading. However, it has been found two conditions that could enhance the efficiency of stimulus fading: the manipulation of the relevant dimension in the discrimination is more effective than the manipulation of another dimension (Aeschleman & Higgins, 1982; Koegel & Rincover, 1976; Ploog & Williams, 1995a; Schreibman, 1975; Smeets et al., 1984) and the necessity of observation of the relevant dimension to avoid overshadowing or blocking, and enhance the transfer of stimulus control (Dinsmoor, 1995b; Dube et al., 2016; Kamin, 1967; Leader et al., 2009; Lovaas et al., 1971; Mackintosh, 1976; Wyckoff Jr, 1952).

In the present study, the relevant dimension, the luminance, was manipulated during the stimulus fading condition and an eye gaze operant composed of saccades was used as the target behavior in order to enhance observing on the relevant stimulus.

The training of a new discrimination needs to be not only effective but also efficient. Effectiveness could be described as the acquisition of the target discrimination according to a predetermined criterion, whereas efficiency is a combination of the efficacy of the procedure but also a minimum of required material. For example, efficiency could be expressed by the

number of trials to criteria (Cengher, Budd, Farrell, & Fienup, 2018). Thus, the number of trials necessary to achieve the acquisition criterion was investigated both in stimulus fading and trial-and-error learning.

The aim of the present study was the evaluation of stimulus fading protocol considering the optimum parameters known in the case of a difficult intra-dimensional discrimination in both adults and children. In other words, only one dimension differed between the two stimuli. The S+ and S- were two squares with the same colors differing in luminance. In the stimulus fading condition (SF), the luminance which was the relevant dimension, increased according to response accuracy of the participant to reach a final difficult discrimination level with a small difference between S+ and S-. In the trial-and-error learning (TE), the difference between S+ and S- remained the same across trial with a small difference. The eye gaze was used as an operant using an eye-tracking system in order to ensure observing responses. This eye gaze consisted to first fixate the stimulus and then to emit either a saccade or a displacement of the eye gaze toward a target in the middle of the screen. The order of assignation was reversed in order to have half of participant beginning with the SF condition and the remaining half of the TE condition. Thus, the order of condition was also investigated in the present study.

1.2. Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.

Method

Participants

Participants were 53 healthy adult volunteers, aged between 19 and 42 years (mean = 24.5). Seventeen were students in a speech therapy program and received course credits for participating in the study. The other participants had varied backgrounds and volunteered to participate in the experiment. Thirteen participants were excluded from the experiment because of eye-tracking problems or withdrawal. Eye tracking problems were important disconnections of the signal (more than 30% of the trials with a loss of signal) or important drift of eye gaze after the calibration. The final sample consisted of 40 participants (six were myopic, two were astigmatic, one was farsighted, and four were both myopic and astigmatic). All participants had normal color vision, as documented by their performances on items 8, 11, and 13 of Ishihara test for color blindness (Ishihara, 1960), which was administered at the end of the experiment. Participants provided their consent by signing a document containing along with a brief description of the experiment and their rights.

Apparatus and Stimuli

Apparatus and setting. A Dell Precision T1650 computer was used to present stimuli and register data in MATLAB® using the Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997). We tracked binocular eye movements with a non-invasive device with an automatic compensation of head movements. The device, a RED500 (Remote Eye Tracking Device) manufactured by SMI®, detected eye movements using 920 nm infrared waves, a sampling rate of 500 Hz, with a system latency of less than 4 msec. The output signals of the eye movement

device were digitized with SDK iView X hardware and software and then recorded on a Dell Latitude E6530 laptop computer.

Participants viewed stimuli on a 22" LED computer monitor (Dell model P2213) that had resolution of 1680 pixels horizontal x 1050 pixels vertical with a 60 Hz refresh rate. Luminosity and contrast of the monitor were set at 75%. Participants viewed the monitor from about 60 cm. The experiment was conducted in a lighted room with black walls.

Discriminative Stimuli. The color values of all the discriminative stimuli in the experiment were designed in terms of the HSV color space, hue (H), saturation (S), and luminance value (V). The HSV color space is displayed in **Figure 1.1**. According to the HSV color space, the hue of 360° represents the red color, 100% of saturation is the maximum of saturation (the colorfulness of a stimulus relative to its brightness) and 100% of luminance value is the maximum of luminance. MATLAB was used to convert HSV coordinates to red, green, or blue (RGB) values. The "perceived brightness" of the stimuli used in the experiment were defined by the V values in the HSV color space and mentioned as luminance in the text. All stimuli used during preliminary training, stimulus fading and the trial-and-error learning were presented on a monitor with a gray background that had HSV values of 0° hue, 0% saturation, and 27.5% luminance.

During preliminary training, the stimulus had a hue value of 240° (blue), a saturation value of 100%, and a luminance value of 100%. During stimulus fading condition, the stimuli had a hue value of 120° (green). The luminance of S+ was constant and set at 100% and was the brightest stimulus in the experiment. The S- luminance began at 30%, and was increased in eight steps by 8.57% intervals to reach an S- luminance value that was 90% as bright as the S+.

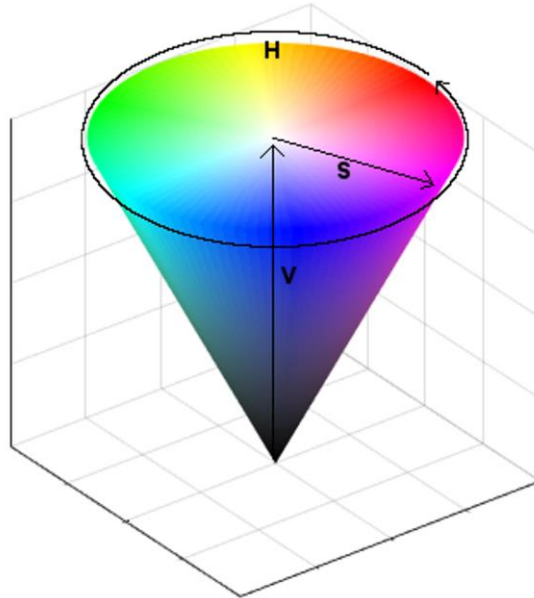


Figure 1.1. HSV color space modeled with MATLAB. The hue (H) is expressed in degree with a maximum of 360°. Saturation (S) and the value (V) in percentage from 0% to 100%.

Figure 1.2 depicts the luminance values of the S+ and the S-s, along with the numerals used to define each fading level, denoted as FL-1 through FL-8. During trial-and-error condition, the stimuli had a hue value of 360° (red), and a saturation value of 100%. The luminance of S+ was constant and set at 100%, the luminance of S- was also constant and set at 90%.

Video-clip Reinforcing Stimuli. Each participant selected four video clips from a set of 20 options, which were to be used as feedback for correct responding during the experiment. One set of four participant selected video clips are illustrated in C of Figure. 1. Because this procedure is similar to the preference assessment tests used to identify reinforcers (Cooper, Heron, & Heward, 2014; DeLeon & Iwata, 1996; Pace, Ivancic, Edwards, Iwata, & Page, 1985), the four participant-selected video-clips were presumed to function as reinforcing stimuli.

Instructions. The following letter was given to the participant before the experiment:

“We are proposing to you to participate in a study about the visual properties of stimuli. The duration of a session is about 30 minutes. In this session, you will watch a computer screen and watch videos of your choice. You will be able to use your eye gaze to move the stimuli. This is possible thanks to an eye tracking system.”

No other instructions were provided during actual experiment

On-screen display. The discriminative stimuli used in the experiment were presented in squares where the length of each side was 3.5 cm long and was equal to 1/8 the vertical dimension of the screen of the computer monitor. In addition, the target was a circle with a 0.8 cm radius. The target was filled with three concentric rings: an outer ring that was black, an inner ring that was white, and the innermost circle that was black (**Figure 1.2 C.**) The squares

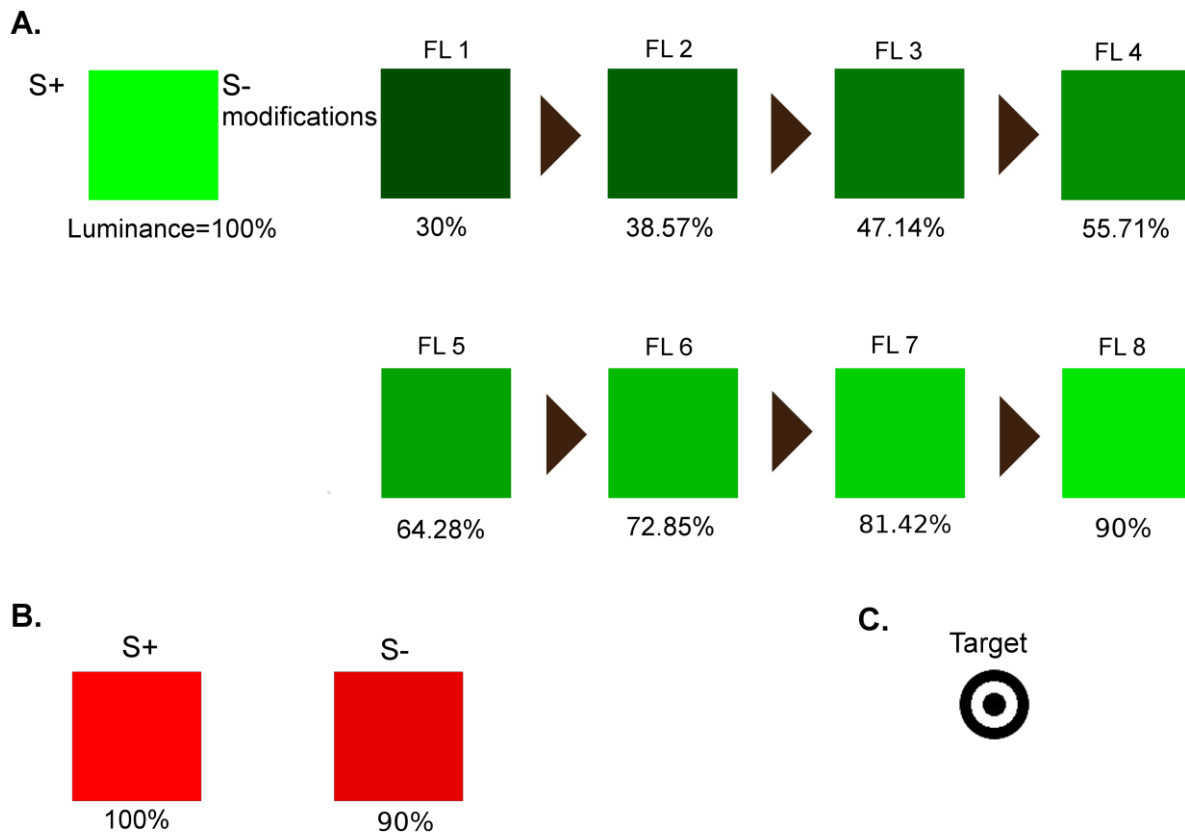


Figure 1.2. Stimuli used during the experiment. A. displays the luminance values of S+ and S- across the stimulus fading condition. Every five consecutive of Sr+ trials, the luminance of S- was increased to reach 90% consisting of a total of 8 fading levels. B. are the stimuli used during the trial-and-error condition. C. is the target displayed in the center of the screen.

were movable across the screen whereas the target was always displayed at the center of the screen. Before a participant could respond to the square(s), it appeared randomly in one corner of the screen, and then moved to a random position. The squares were at an equal distance from the target (one quarter of the horizontal screen size). After this animation and 100 milliseconds, the participant was then able to move a stimulus toward the target region.

Procedure

The eye-gaze operant. In the present experiment, eye gaze was an operant that was used in conjunction with discriminative stimuli and reinforcing stimuli in a manner that ensured that a participant was looking at the stimuli during the task. If a participant didn't look at the screen, the task was on standby and nothing happened. After the automatic displacement of the squares, the response was unavailable for 100 milliseconds. The coordinate of the eye gaze was measured by the eye tracking. When the coordinate of the eye gaze entered or were in one of the squares, the square was displayed depending on the coordinate generated by the eye gaze. Coordinates are based according to an x-axis from 0 to the max horizontal length of the screen and a y-axis from 0 to the max vertical length of the screen. For example, the left limit of the square is at 955, the right in 1063, the top at 625 and the bottom a 733, the square is thus displayed in the bottom of the screen to the right. To move this square the eye gaze of the participant needs to be superior to the left limit and the top limit and inferior to the right limit and to the bottom limit.

Discriminative stimuli, response accuracy, and reinforcement contingencies. Each trial included the concurrent presentation of an S+ that held a constant luminosity and an S- with a luminosity that varied across trials. Eye gaze that moved S+ to the target defined a correct response and was followed by the presentation of a reinforcer. Eye gaze that moved S- to the target defined an incorrect response and was followed by a blackout of 1 s (black screen). A

canceled trial was defined by an eye blink during a trial or the displacement of a stimulus off the screen. During preliminary training, it was followed by a blackout of 1 s whereas it was not during stimulus fading and trial-and-error conditions. Other than the information included in the Consent form, no additional instructions were given prior to preliminary training or the initiation of an experimental condition.

Video-clip reinforcer presentations. A correct response on a trial was followed by the elimination of the discriminanda and the presentation of static images of the four participant defined video frames, each in a separate quadrant of the computer monitor. When a participant's eye gaze fell within a quadrant, the video in that quadrant became active and remained so for up to 12 sec. If eye gaze moved in another quadrant, the initially active video paused, and the static video in the new quadrant was initiated. Each time a video was activated, it started at the last scene viewed. Participants were told that they could blink while watching the videos. The cumulative exposure to all videos was 12sec. At the end of the 12sec, the screen blanked for a 1-s intertrial interval (ITI) after which the next trial commenced. See **Figure 1.3** for an example of a successful trial and a failed trial.

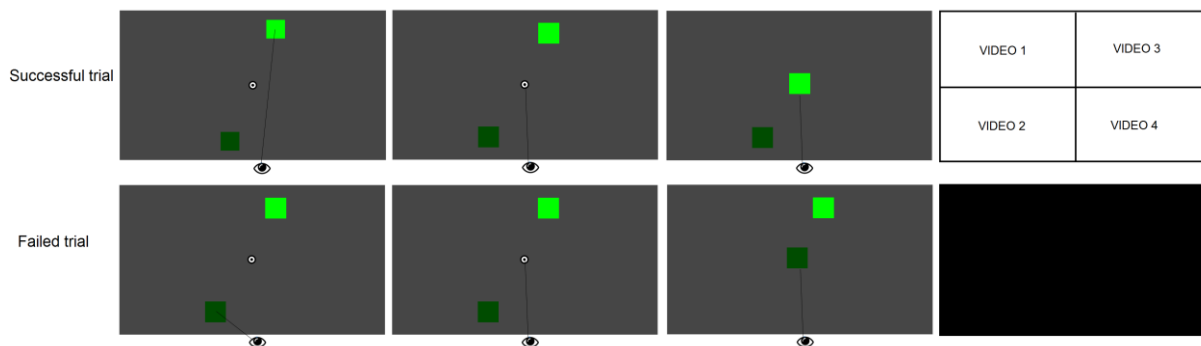


Figure 1.3. Examples of a successful trial and a failed trial during the first fading level in stimulus fading. The first three boxes illustrate the eye gaze operant and the last box the consequence of that behavior.

Experimental Design

The experiment was a within-subject design with 40 participants assigned to the stimulus fading condition and trial-and-error condition with a pseudo-randomized order of presentation. Twenty participants began with the stimulus fading condition (SF1) and then finished with the trial-and-error condition (TE2). The 20 other participants began with the trial-and-error condition (TE1) and then finished with the stimulus fading condition (SF2). Before being assigned to the first experimental condition, all participants were exposed to a calibration procedure and preliminary training.

Calibration. Before each session, the eye-tracking system was calibrated by asking the participant to look at 9 points that were at fixated known locations on the screen. The validation of each point was done manually. The purpose of the calibration was used to determine participant-specific physiological characteristics to initialize gaze tracking according to the screen space and to optimize eye tracking performance (iView X SDK manual).

Preliminary training. A shaping procedure was used to train participants to acquire the target behavior. The target behavior involved moving a square with the eye gaze to the target at the center of the screen. When the eye gaze was focused on the square, switching the location of the eye gaze moved the square to the corresponding location on the screen; thus, the square followed eye movement. Thus, when the coordinates of the eye gaze measured by the eye-tracking system were within the square, the square moved with the eye movements. The shaping procedure was as follows: a target zone was defined around the position target. At first, the size of this target zone was large, encompassing 1/3 of the vertical screen size. This zone was redefined after each correctly terminated trial. If the stimulus was placed to the target zone, the behavior was reinforced by access to the videos. The behavior was reinforced only if the center of the square was moved into the target zone. Any error resulted in the repetition of the trial.

Each correct trial resulted in further shaping by the vertical screen divided by four, then by five until the target zone reached 1/20 of the vertical screen size. This size was used for training in both conditions. A minimum of 18 trials were needed to achieve this criterion. Preliminary training was completed when the participant responded correctly when the target zone was 1/20th of the screen size. Preliminary training was completed in an average of 12 minutes across participants.

Stimulus fading condition. Green square stimuli were used during this condition. The task involved a simultaneous discrimination with an S+ and an S-. The S+ was always the brightest stimulus (100% luminance). A successful trial was defined as S+ being moved onto the target. Throughout the protocol, the S+ and prevailing S- were presented on a randomized basis at the diagonally opposite corners of the monitor, and were then moved automatically to randomly determined opposite positions, both of which were equidistant from the center of the screen. One of the stimuli was then “grabbed” by the eye and moved to the target zone at the center of the monitor. Once achieved, reinforcement was provided as indicated above.

The protocol began with the presentation of the S+ and the FL-1 30% luminance S-. When five consecutive trials were terminated by correct responses, the luminance of the S- was increased as indicated in **Figure 1.2**. If this criterion was not satisfied, the procedure continued at that fading level until the participant accumulated 80 reinforcers, at which point the experiment ended. If this criterion was mastered in the eighth fading levels, the experiments also ended when 80 reinforcers were accumulated. The entire experiment was conducted using continuous reinforcement.

Trial-and-error condition. Square red stimuli were used during this condition. The S- was never modified and started with 90% of luminance. The S+ was always 100% of luminance as in the SF condition. Thus, as in stimulus fading condition, a successful trial was defined as

S+ being moved onto the target, whereas a failed trial defined as S- moved onto the target. Reinforcement and absence of reinforcement were provided as indicated above.

Data recording and criteria. The program recorded the number of correct responses across trials, the number of trials and the dwell time per trial throughout the experiment. The dwell time per trial started after the automatic displacement of the squares and ended when a square was moved onto the target. Thus, dwell time included latency to select the square and the duration of the movement of it. Canceled trials were excluded from all data analyses. A trial could be canceled by a blink occurred during a trial, a stimulus displaced out of the screen, or a missing eye tracking signal. Each condition was run until the participant accumulated 80 reinforcers; the discrimination was acquired when 5 successful of consecutive trials were achieved 8 times. The 8x5 successful correct trials corresponding to the 8 fading levels in stimulus fading. The data obtained according to the stop criterion included the data before the acquisition and after the acquisition of the discrimination.

Statistical analysis. A multinomial logistic regression was conducted using the package `mlogit` on the software R in order to analyze the prediction of participants being learners by condition, criteria and order (Croissant, 2019; Field, Miles, & Field, 2012; R Core Team, 2019). The TE condition was used as level of reference (1.1).

```
Model 1 ← mlogit(Acquisition ~ 1 | Condition + Order + Criteria + Condition: Order  
+ Cond: Criteria + Order: Criteria, data, relevel = 2) (1.1)
```

A multilevel model analysis was conducted on each dependent variable by using the package `nlme` on the software R (Field et al., 2012; Pinheiro, Bates, DebRoy, & Sarker, 2019; R Core Team, 2019). Multilevel models present the advantage to be used when the assumption of sphericity is violated. A baseline model was built with the intercept, the condition model was built by adding the condition predictor (SF/TE) to the previous model and the order model was

built by adding the order predictor (1/2). Finally, the interaction model was built by adding the interaction to the order model. An ANOVA was conducted on the three models to analyze the main effects and interaction effect. The equations from (1.2) to (1.6) represent the code entered in R.

```
baseline ← lme(outcome~1, random = ~1|participant/condition/order, data, method = "ML") (1.2)
```

```
condition_model ← update(baseline, . ~. +condition) (1.3)
```

```
order_model ← update(condition_model, . ~. +order) (1.4)
```

```
interaction_model ← update(ordre_model, . ~. +condition: order) (1.5)
```

```
anova(baseline, condition_model, order_model, interaction_model) (1.6)
```

Nonparametric tests were also conducted as Spearman rank correlation and Mann Whitney rank test.

Results

Preliminary training

Prior to the first experimental condition (stimulus fading or trial-and-error), participants were all trained to select and move the stimulus with his eye gaze. This training was identical to all participants and could be used as baseline to evaluate inter-individual differences. The number of trials necessary to acquire the eye gaze operant is displayed in **Figure 1.4**. Sixteen participants assigned in SF-TE and 13 in TE-SF acquired the target behavior in 18 to 30 trials. There was no significant difference in the number of trials to acquisition between participants assigned in SF-TE (Mdn = 22.5; 1st quartile = 19.75; 3rd quartile = 29.95) and participants assigned in TE-SF (Mdn = 25.5; 1st quartile = 20.75; 3rd quartile = 42), $W = 173$, $p = 0.472$.

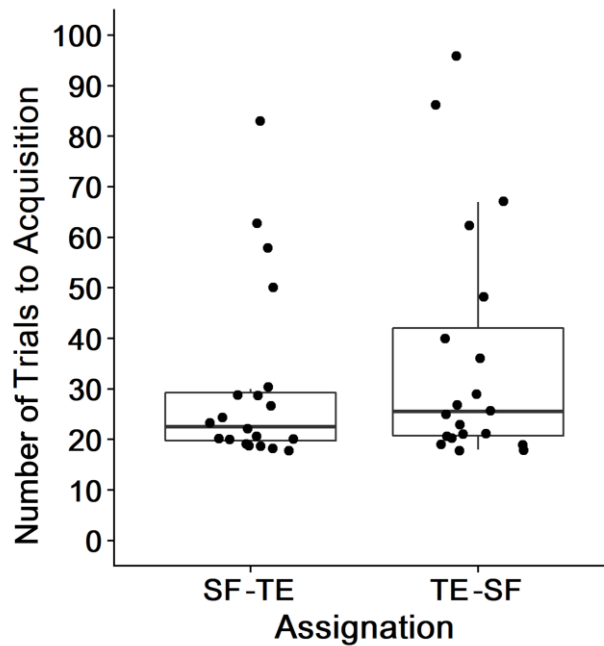


Figure 1.4. Number of trials to acquisition of the eye gaze operant according to the assignment of order of conditions.

Acquisition of the criteria in each condition per group

Five consecutive successful trials reached 8 times (8x5 criterion) was selected as the criterion for acquisition of the discrimination in both conditions, corresponding to the 8 fading levels in stimulus fading. **Figure 1.5** displays the number of participants who achieved the criteria in each condition, in the SF-TE group in the upper bar graph and in the TE-SF group in the lower bar graph. In the SF-TE group, 18 participants reached all the 8 x 5 trials in the stimulus fading condition. In the TE condition, 19 participants reached the first 3 criteria, then the number of participants who achieve the fourth criterion decreased to 15, finally only 9 participants reached the 7th and the 8th criterion. In the TE-SF group, 18 participants reached all the 8 x 5 trials in the stimulus fading condition, received as second condition. In TE condition, all participants reached at least the first criterion, however, in the next criterion the number of

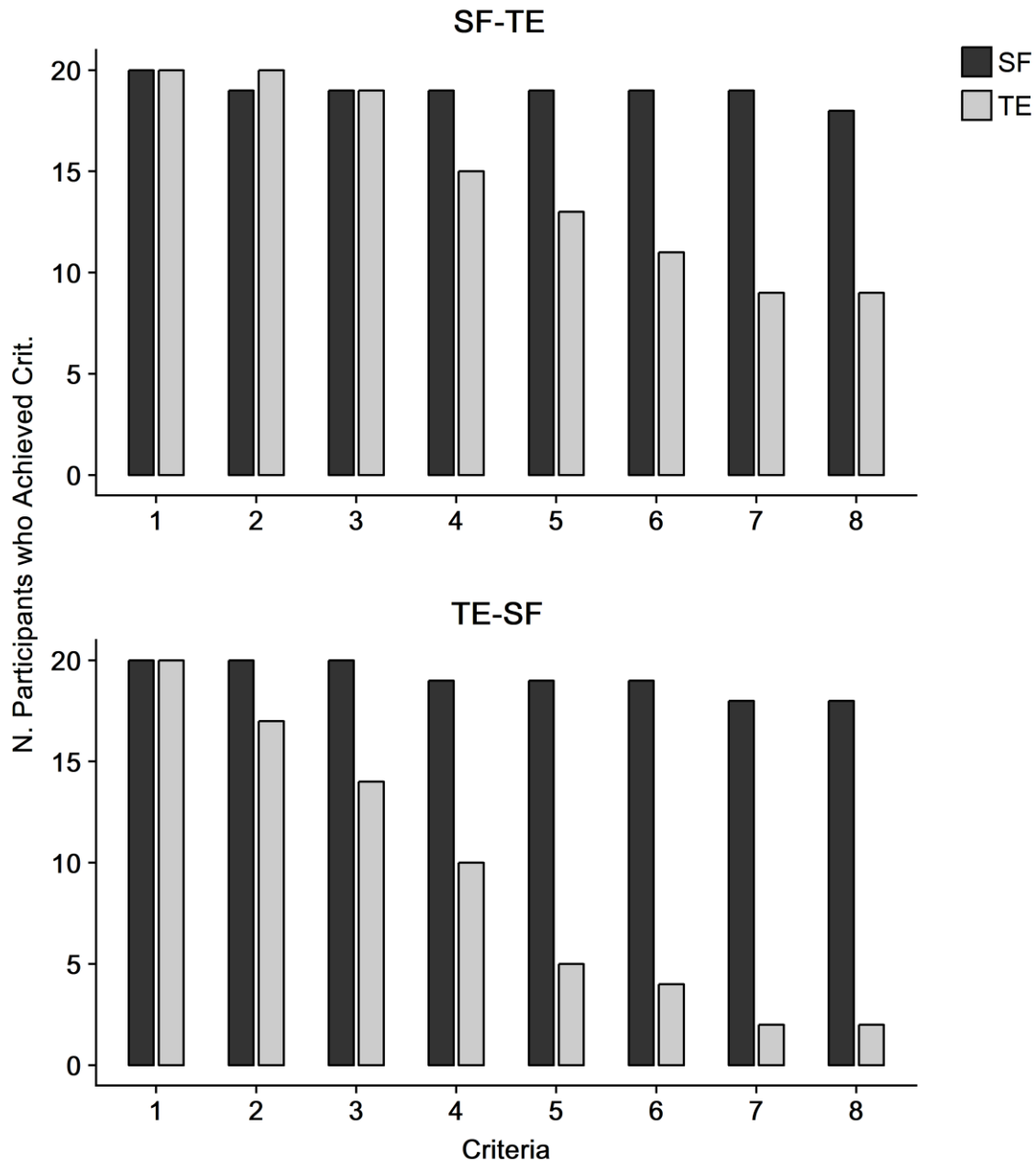


Figure 1.5. Number of participants who achieved the 8 criteria for each condition and according to the assignment of order of the condition. SF-TE participants received first the SF condition and then TE condition. TE-SF participants received first the TE condition and then the SF condition.

participants acquiring the 5 consecutive trials decreased considerably from 17 to 2 in the next criteria. The multinomial logistic regression showed that the condition SF significantly predicted that the participant will acquire the criteria, $b = 2.405$, $p = 0.009$. The odds to be a learner was 11 times higher than in TE. The order significantly predicted whether the acquisition or the absence of acquisition, $b = 1.304$, $p = 0.049$. The odds to be learner was 3.685 times higher when the condition was conducted as second than as first. The criteria significantly

predicted whether the acquisition or the absence of acquisition, $b = -0.601$, $p < 0.0001$. The odds to be learner decreased as the criterion increased. The acquisition in one condition depended on whether it was the second or the first $b = -1.415$, $p = 0.023$.

Table 1.1. Parameter estimates of multinomial logistic regression on acquisition predicted by condition, order and criteria.

	B(SE)	95% CI for odds ratio		
		Lower	Odds ratio	Upper
intercept	2.199 (0.423)			
Condition SF	2.405** (0.925)	1.806	11.074	67.917
Order 2	1.304* (0.654)	1.023	3.685	13.278
Criterion	-0.601*** (0.093)	0.456	0.548	0.658
Condition SF : Order 2	-1.416* (0.623)	0.072	0.243	0.823
Condition SF : Criteria	0.283 (0.149)	0.991	1.327	1.777
Order 2 : Criteria	0.044 (0.124)	0.819	1.047	1.333

Note.;* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Correlation Analysis

It has been shown that overtraining trials could reduce the number of trials to acquire a subsequent discrimination in reversal (Shepp & Turrisi, 1969). Overtraining trials are additional trials after the acquisition of the discrimination. In order to evaluate a potential overtraining effect in the second condition, a correlation analysis was conducted between the overtraining trials obtained in the first condition experienced and the number of trials to acquire the first criterion of the subsequent condition. The correlation was conducted only for SF-TE. In TE-SF group, only two participants reached the 8th criterion in TE, thus, a correlation on two participants was not relevant. SF-TE received stimulus fading (SF) as first condition and then received trial-and-error learning (TE). TE-SF participants first experienced the TE condition and then the SF condition. A non-significant positive correlation was found between the number

of trials to learn the first discrimination in TE and the overtraining trials, $r = 0.336$, $p = 0.172$

(Figure 1.6).

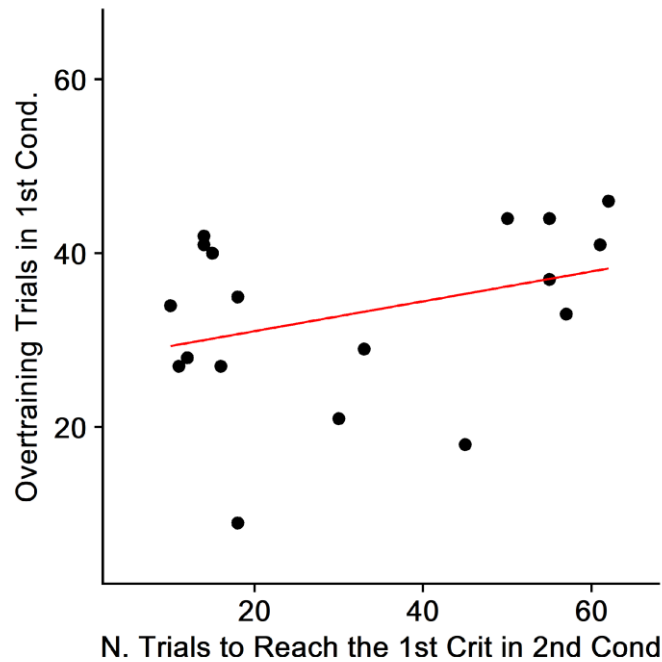


Figure 1.6. Correlation between the overtraining trials in the first condition of stimulus fading (SF) and the number of trials to reach the first criterion of 5 consecutive of correct trials in the second condition trial-and-error (TE), for the SF-TE group. The red line shows the correlation, $r = 0.336$.

Effects of condition and order on the number of trials needed to achieve each criterion

Figure 1.7 displays the difference in the number of trials to reach each criterion between the first and the second condition. The SF-TE participants received the stimulus fading condition as first condition and the trial-and-error learning as second condition. The TE-SF participants received the trial-and-error condition as first condition and the stimulus fading as second condition. Then if there had been an order effect over a condition effect, all data would have been lower than 0. The SF-TE participants obtained a negative difference until the 5th criterion showing that fewer trials were needed in stimulus fading to achieve 5 consecutive of correct trials. The TE-SF participants obtained a positive difference until the 4th criterion also demonstrating that fewer trials were necessary in stimulus fading.

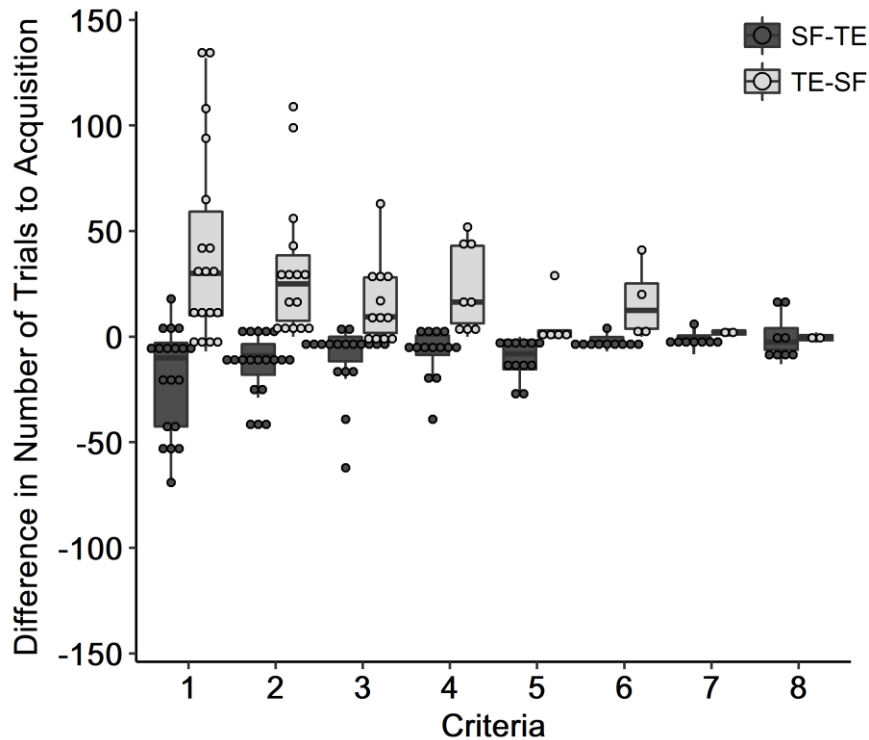


Figure 1.7. Difference in the number of trials to reach 5 consecutive of successful trials between the first condition and the second condition. The SF-TE participants received the stimulus fading condition as first condition and the trial-and-error learning as second condition. The TE-SF participants received the trial-and-error condition as first condition and the stimulus fading as second condition.

A bootstrap analysis on the median was conducted for each criterion based on one hundred resamples of the data. For the first four criteria, the absolute median of the difference between the SF-TE and TE-SF group's data (crit 1 = 40, crit 2 = 34, crit 3 = 12.5 and crit 4 = 22) was above the 97.5th percentile generated by the bootstrap (crit 1 = 18.5, crit 2 = 15, crit 3 = 6 and crit 4 = 11.5). The absolute median of the difference between the 2 groups was also above the 97.5th percentile in the 6th criterion (Mdn = 15.5 ; 97.5th percentiles = 13), however, only 4 participants remained in the TE-SF group.

Effects of condition and order on the dwell time per trial in each criterion

The dwell time per trial is the median of the dwells time obtained in each trial by participants. The timing of the dwell time started once the eye gaze operant could be emitted and stopped when the square has reached the target in the middle of the screen. Thus, the dwell

time included the latency to emit the behavior and the duration of that behavior. To notice, latency could have been 0 second by the fact that the square could be selected immediately.

In both groups, there was no trend in the difference of the dwell time per trial from the first criterion to the 6th criterion. One exception must be made for the SF-TE group in the second criterion, with a tendency to the reduction of the dwell time per trial in the second condition. 5 participants and 6 participants spent less time per trial in the second condition respectively in the 7th and 8th criteria.

A bootstrap analysis on the median confirmed the absence of a difference between the two groups.

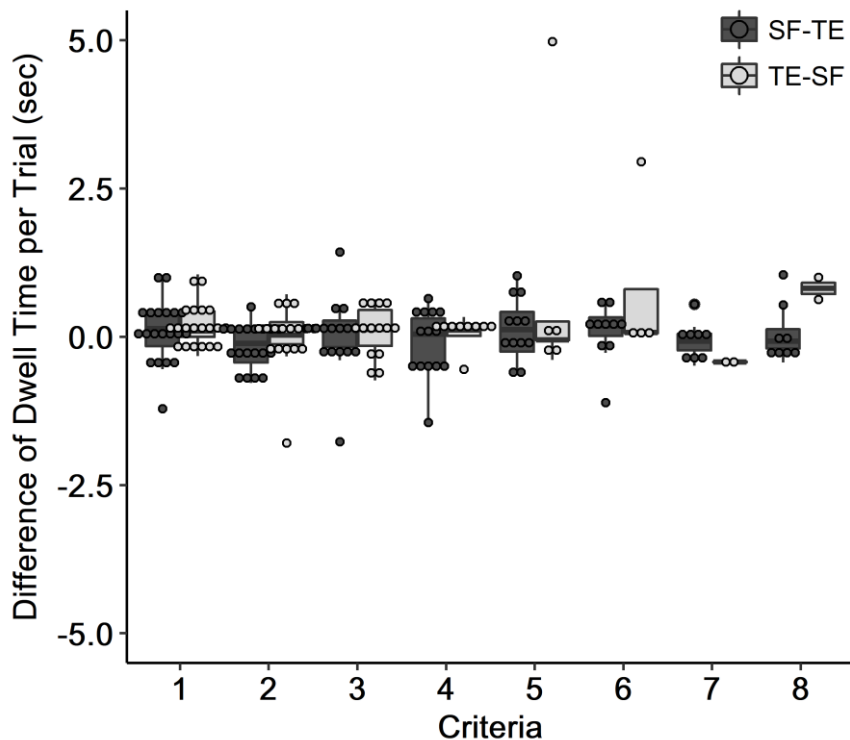


Figure 1.8. Difference to dwell time per trial (median) per criterion between the first condition and the second condition. The SF-TE participants received the stimulus fading condition as first condition and the trial-and-error learning as second condition. The TE-SF participants received the trial-and-error condition as first condition and the stimulus fading as second condition.

Effects of condition and order when the criterion was 80 reinforcers

The criterion on 80 reinforcers was the stop criterion of the experiment, the analysis of the data obtained in this criterion included the formation and the maintenance of the

discrimination. For example, a participant who achieved the discrimination in 24 trials would achieve a total of 80 reinforcers in more trials. These trials reflect the maintenance of the discrimination.

Data obtained by participants for both the number of trials and the percentage of correct responses until participants reach 80 reinforcers is displayed in **Figure 1.9**. According to the number of trials to reach 80 reinforcers, the data below the line shows that the participant needed fewer trials in SF than in TE. When the data are close to the line, there was little difference between the 2 conditions. Six participants in SF-TE obtained 80 reinforcers with a minimum of trials in both conditions. The data in the lower right of the plot show that participants needed twice trials to reach the stop criterion in TE than in SF. 9 of 10 were in the TE-SF group.

For the percentage of correct responses, 6 participants in SF-TE obtained a high percentage of correct responses in both conditions. On the contrary, 10 participants in TE-SF were twice as good in SF than in TE.

In absence of a major violation of the normality of the residuals, a multilevel model analysis was conducted. The condition had a significant effect on the number of trials to reach 80 reinforcers, $\chi^2(6) = 41.831$, $p < 0.001$. The order had a significant effect on the number of trials, $\chi^2(7) = 13.888$, $p = 0.002$. The interaction between condition and group was significant, $\chi^2(8) = 4.540$, $p = 0.0331$. Contrasts revealed that the effect of trial-and-error learning in increasing the sum of trials to reach the criterion was significantly smaller when the condition was administered as second condition after stimulus fading (SF-TE group) than as first condition (TE-SF group), $b = -26.5$, $t(37) = -2.137$, $p = 0.039$.

The condition and the order had a main significant effect on the percentage of correct responses to reach the 80 reinforcers, $\chi^2(6) = 47.853$, $p < 0.001$, $\chi^2(7) = 13.277$, $p = 0.003$. The interaction between condition and order was not significant, $\chi^2(8) = 3.214$, $p = 0.073$.

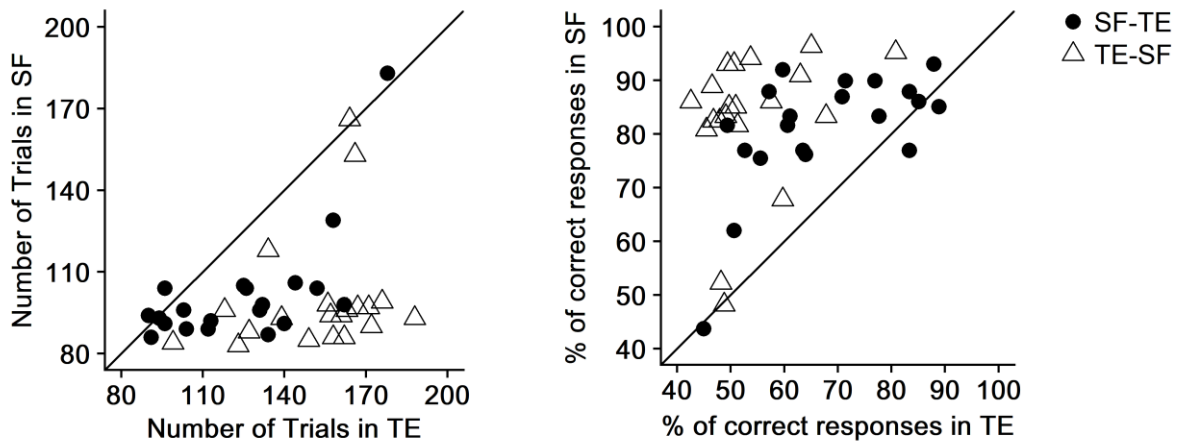


Figure 1.9. Individual data according to condition and the order of the two conditions, to reach 80 reinforcers. Circle = participants who began with a stimulus fading condition and then did the trial-and-error condition (SF-TE). Open triangle = participants who started by trial-and-error and then did the stimulus fading condition (TE-SF). A. displays the number of trials to reach 80 reinforcers of correct trials. B. displays the percentage of correct responses with the same criterion.

Individual analysis of the participants who didn't learn the discrimination in stimulus fading

Table 1.2 displays the number of trials, the percentage of correct responses and the dwell time of participants who did not learn the totality of the 8 discriminations in stimulus fading. Two participants didn't reach this criterion in both conditions. Participant 14 whom experienced SF then TE showed no difference in all measures between the two conditions. Participant 82 received a reverse order of conditions but had also a high number of trials and a low percentage of correct responses. Participants 17 and 20 didn't learn the discrimination in the primary condition (respectively SF and TE) but learned the discrimination in the second condition. Participant 86 learned the discrimination by trial-and-error but didn't achieve the acquisition criterion in stimulus fading. In the first condition, the percentage of correct responses emitted by this participant was low (around 50%). In SF, he learned the discrimination until the 7th fading level in which the discrimination was never learned. His threshold might be at this level in this condition.

Table 1.2. Data of participants who didn't learn the discrimination in stimulus fading.

ID	F/L	Order	Condition	Failed FL	Total trials	% correct	Dwell Time
14	F	SF-TE	SF	FL2	183	44	0.814
82	F	TE-SF	SF	FL4	166	48	0.801
17	F	SF-TE	SF	FL8	129	62	0.55
86	F	TE-SF	SF	FL7	153	52	0.928

Note: each row gives the participant ID, if he learned or not (L for learned), the condition given, in case of stimulus fading the failed fading level, the total trials, the percentage of correct responses, the total duration and the time spent in the condition. The duration and the dwell time are expressed in seconds.

Error Analysis in fading level. The number of errors in each fading level was different for each participant who didn't learn the discrimination in SF (**Table 1.3**). The absence of acquisition in SF could not be attributed to the order of presentation. Indeed, half-received SF as first condition and the other as second condition. Participant 14, made many errors in FL2. Participant 82 had a quasi-similar pattern but acquired more fading level. On seven FLs, participant 86 acquired two FL without any error. Participant 17 learned the discrimination in four FLs without any error and one with only one error suggesting “errorless learning” in this step. The seventh and eighth FL had 77,5% of all errors made during the condition. The reason for this failure will be addressed in the discussion.

Table 1.3. Number of errors in each fading level for participants who didn't learn the discrimination in SF.

ID	Cond	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
14	SF1	23	80							103
82	SF2	21	32	21	12					86
86	SF2	5	0	20	22	10	0	16		73
17	SF1	10	0	0	0	0	1	21	17	49

Note: each row shows the sum of errors made in each fading level.

Discussion

The results showed more participants learned the 8 criteria when the discrimination was trained by stimulus fading than by trial-and error. Fewer trials were needed to reach the criteria during stimulus fading compared to trial and error learning. Moreover, we found that the percentage of correct responses was higher during stimulus fading.

Two different protocols were used in this study in order to compare their effects on a difficult discrimination learning. During stimulus fading condition, participants had to learn 7 fading levels before reaching the 8th fading level in which the discrimination was difficult with the 10% difference of luminance between S+ and S-. Participants were exposed to an increasingly difficult discrimination. The perceptive difference between S+ (100% of luminance) and S- (30% of luminance) was large and the luminance was progressively increased to reach 90%. During trial-and-error learning, the perceptual difference between S+ and S- was constant. Thus, in stimulus fading due to the fading levels necessary to reach the final discrimination, a minimum of 35 trials was needed. In order to eliminate the effect of these needed trials, the same criterion was chosen in both conditions, corresponding to the fading levels in stimulus fading. Based on the literature, it was assumed that more participants in stimulus fading would learn the discrimination than by trial-and-error learning. In the first two criteria of 5 successful of consecutive trials, there was no difference in the two conditions, in both groups SF-TE and TE-SF almost all participants reached the criterion. However, more participants reached the criterion in the subsequent criterion in SF than in TE. Ploog & Williams (1995), also postulate that a stimulus fading condition might require more training time than trial-and-error learning because of the gradual changes defined by the experimenter and the participant behavior when the advancement of fading levels is contingent. The major finding of the study is the replication of the facilitation effect in learning discrimination by stimulus fading. In both groups (TE-SF and SF-TE), the 5 correct trials were achieved in less trials in SF

than TE regardless of the order of the conditions in the fourth first criterion. After this criterion, a poor number of participants reached the criterion in TE. Thus, stimulus fading enhanced the probability to select the S+ over the S- in an intra-dimensional discrimination. The dwell time per trial was also measured in each condition. It included the latency to select a square and the duration to move it on the target in the middle of the screen. We could have expected a reduction of the dwell time per trial in the second condition due to some training, but it seemed that a floor effect was reached. Another assumption would have been a difference between the two conditions related to the difference in the performance. However, that was not observed, meaning that participants in SF needed fewer trials to succeed in one criterion by spending the same time in SF and TE.

The data to obtain 80 reinforcers revealed additional results were found. First, fewer trials were needed to reach 80 reinforcers in SF than in TE, with a difference averaging 60 trials. The percentage of correct responses was higher in SF. Thus, the two results are related. In SF, the proportion of correct responses was higher, and the proportion of reinforcers was also higher. Therefore, participants in SF reached 80 reinforcers in fewer trials. One question could be raised from these results, why has the percentage of correct responses not increased for TE participants? The discrimination task remained difficult and the target behavior was fast as it was shown with dwell time per trial (Mdn = 0.9), thus some errors could still be emitted. The stimulus fading has reduced this effect with a better maintenance of a high percentage of correct responses. The discrimination has been facilitated by the increasingly difficult fading levels during training.

Some of the results previously presented were expected due to our knowledge about the effect of stimulus fading on discrimination learning. However, the present experiment was a within-subject design, thus all participants experienced both stimulus fading and trial-and-error, with squares differing in colors between the two conditions. Half of them experienced first

stimulus fading and then, learning the second discrimination by trial-and-error (SF-TE). The remaining received the condition in a reverse order (TE-SF). The number of trials necessary for the acquisition was fewer in both TE and SF conditions when the condition was experienced after a previous condition. More participants in the SF-TE group achieved more than two criteria in TE. The percentage of correct responses was higher in the second condition experience. Thus, the fact that participants were not naive, influenced the performance in the subsequent condition. Interactions between condition and order were also found when all data were considered (criterion of 80 reinforcers), the effect of TE to increase the number of trials and to reduce the percentage of correct responses was reduced when this condition was the second one. Thus, participants in SF-TE performed better in TE than TE-SF participants. This result was also found with an individual analysis, showing that, more participants in SF-TE acquired the discrimination in TE with a higher percentage of correct responses with performance varying from 75% to 92% in SF. Thus, a previous stimulus fading condition might facilitate discrimination learning in the subsequent discrimination. An analysis of correlation was conducted in order to ensure that overtraining had no influence on the subsequent condition. It has been demonstrated that overtraining trials could reduce the number of trials needed to acquire a subsequent discrimination in reversal training (Shepp & Turrisi, 1969; S. Siegel, 1967). Overtraining trials are trials added after the acquisition of the discrimination. The correlation revealed an unexpected result, according to the literature. For the SF-TE participants, higher the number of overtraining trials, higher the number of trials necessary to achieve the discrimination. Thus, the reduction of the number of trials in TE condition when experienced as a second condition could not be attributed to some overtraining.

In conclusion, stimulus fading is an effective procedure to facilitate discrimination learning by increasing the proportion of correct responses and seemed efficient by decreasing the number of trials necessary to acquire each criterion. The protocol was effectively using an

innovative eye gaze operant including saccades and fixations, in training an intra-dimensional discrimination with only 10% of the luminance difference between S+ and S-. Stimulus fading also had a positive effect on the subsequent discrimination learn by trial-and-error. This effect needs to be further studied. Could these results be reproduced with young children?

1.3. Experiment 2: Training an intra-dimensional discrimination with the use of stimulus fading and trial-and-error learning in children

Method

Participants

Twenty-four children (mean age: 5.9 years old), recruited in a French public school participated in this study. A written consent was obtained from parents and the child concerned. All participants were voluntary and could stop their participation at any time. Three children were farsighted, one child was myopic, and one was astigmatic. All children were tested with an Ishihara vision test in order to ensure that they don't have disabilities in color vision. Twenty-three children obtained a result of 100%, and one child was at 83%. We considered that all children have proper color vision.

Four children refused to pursue their participation and thus were excluded from the analysis.

Apparatus and stimuli

Apparatus and setting. The apparatus was identical to those used in the **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults**. A laptop Hewlett-Packard EliteBook Folio 9470m was used to present stimuli and register data in MATLAB® using the Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997) instead of the Dell Precision T1650.

The experiment was conducted in the director office of the school.

Discriminative Stimuli. See **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.** For a description of the stimuli.

Video-clip Reinforcing Stimuli. The literature found that cartoons was effective as reinforcer in children ranging in age from 4 to 5 years (Zeiler & Kelley, 1969).

Procedure

The response accuracy, reinforcement contingencies, eye-gaze operant and reinforcer presentations were identical as those in **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.**

Experimental design

The experiment was a within-subject design with 20 participants assigned to the stimulus fading condition and trial-and-error condition with a pseudo-randomized order of presentation. Ten participants began with the stimulus fading condition (SF1) and then finished with the trial-and-error condition (TE2). The 10 remaining participants began with the trial-and-error condition (TE1) and then finished with the stimulus fading condition (SF2). All participants were exposed to a calibration procedure and preliminary training. The experiment was completed in three sessions. The first session was the same for all participants and consisted of the preliminary training. The two other sessions were the experimental conditions and depended on the assignment of the order presentation.

Calibration. Before each session, and after each break during a session, the eye-tracking system was calibrated by asking the participant to look at 9 stars that were located at different locations on the screen. After each manual validation, positive feedback was given (e.g. “very good”, “You watch well at the star”).

Preliminary training. A shaping procedure combined with a visual prompt was used to train the participant to move a square from a random position on the computer screen to the target region in the center of the screen. To move the square, the eye gaze needed to be focused on it, and thus, the square followed the eye movements. A predefined target zone was used around the real target. The visual prompt was a line that linked the square and the target. At first, the size of the target zone was large, at $1/3$ of the vertical screen size and the line width was about 3 pixels. At the start of a trial, the square appeared randomly in one corner, and then moved to a random position that was an equal distance from the target. Once the animation was completed, the line appeared and the participant was able to move the square toward the target region. A correct response was defined when the center of the square was moved into the target zone and was reinforced by the presentation of the four videos. Any error was defined as moving the square out of the screen and resulted in a blackout of 1 second and in the repetition of the prevailing trial. Each correct trial resulted in further shaping by the vertical screen divided by four, then by five until the target zone reached $1/20^{\text{th}}$ of the vertical screen size and the diminution of the line by 0.2 pixels until it reached 0, corresponding to the absence of the line. The disappearance of the line was done before the target zone reached the last step, resulting in 6 trials without the visual prompt. Criteria for acquisition of the target behavior was five consecutive successful trials when the target zone was at $1/20^{\text{th}}$ of the screen size. The preliminary training last above 20 minutes.

Experimental break. During the experimental conditions, a break was programmed each 12 minutes. The duration of the break depended on the child. During this break, the experimenter proposed to the child to draw, to look at a book with her, to play a game, or to go out in the playground. After the break, the calibration was conducted again, and the condition restarted at the same point. This break was done in order to limit the fatigability of the task and maintain the attention of the child.

See Study **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults**. For the description of the stimulus fading condition, the trial-and-error condition, data recording and statistical analysis.

Results

Preliminary training

A minimum of 23 trials was needed to complete the preliminary training. Participants 1, 2, 4, and 17 received different preliminary training. For participants 1, 2 and 4, the prompting procedure was done twice, thus the minimum trials required was 36; and for participant 3, the procedure trials needed to completion. However, the supplementary trials needed to acquire the eye was conducted once with a minimum required of 18 trials. Participant 17 had two prompting/shaping training and two phases without prompting or shaping. **Figure 1.10** shows the additional gaze operant didn't differ between SF-TE (Mdn = 26.5, Q1 = 18.25, Q3 = 56.5, IQR = 38.25) and TE-SF (Mdn = 33, Q1 = 26.25, Q3 = 34.75, IQR = 8.5), $W = 41.5$, $p = 0.545$.

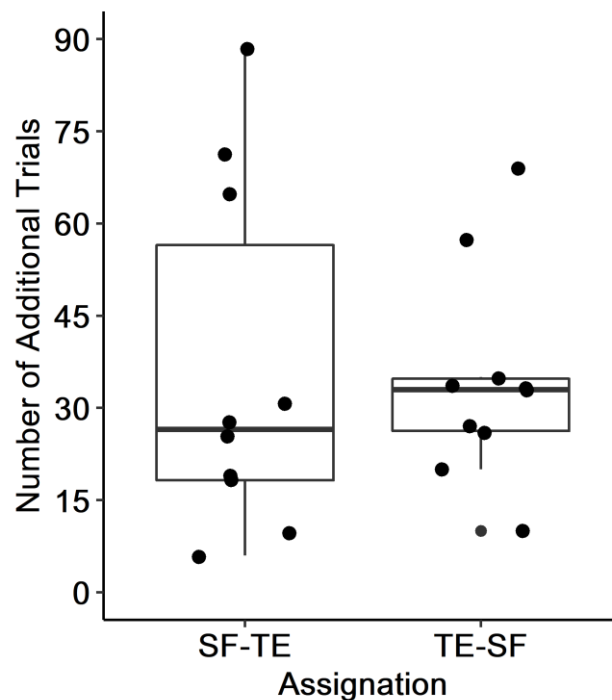


Figure 1.10. Number of additional trials needed to acquire the eye gaze operant according to condition assignment.

Acquisition of the Criteria in Each Condition per Group

Participants needed to complete 8 times a row of five correct trials giving 8 criteria in each condition. These criteria corresponding to the 8 fading levels in stimulus fading. **Figure 1.11** displays the number of participants who achieved the criterion in both conditions (SF and TE) and by group. The SF-TE group received stimulus fading as first condition and trial-and-error learning as second condition. The order of the conditions was reversed for the TE-SF group. During stimulus fading, in both groups, all participants achieved the first four criteria the fifth criterion was achieved by 9 of 10 participants in SF-TE and TE-SF. From the 6th criterion, there was a difference between the two groups, more participants achieved the criterion in SF-TE than in TE-SF. In TE condition, all participants achieved the first criterion in both groups. After that, the number of participants who reached the criterion in TE-SF dropped considerably to reach only one participant in the 5th criterion and none in the subsequent. In SF-TE, 7 of the 10 participants achieved the criterion from 4 to 7 in TE condition and half of them the last criterion.

Effects of condition and order on the number of trials needed to achieve each criterion

The difference of the number of trials needed to reach each criterion between the first condition and the second condition was measured in order to illustrate both the effects of condition and the effect of order individually (**Figure 1.12**). For the SF-TE group, the number obtained in TE was subtracted to the number of trials obtained in SF. Thus, if fewer trials had been needed in SF, the data would have been negative. This is observed in all criteria except for the 2nd and the 8th criteria. For the TE-SF group, the number obtained in SF was subtracted to the number of trials obtained in TE.

The gray boxplot of the figure 1.11 shows a positive difference in the first 5 criteria, demonstrating that fewer trials were needed in SF than in TE.

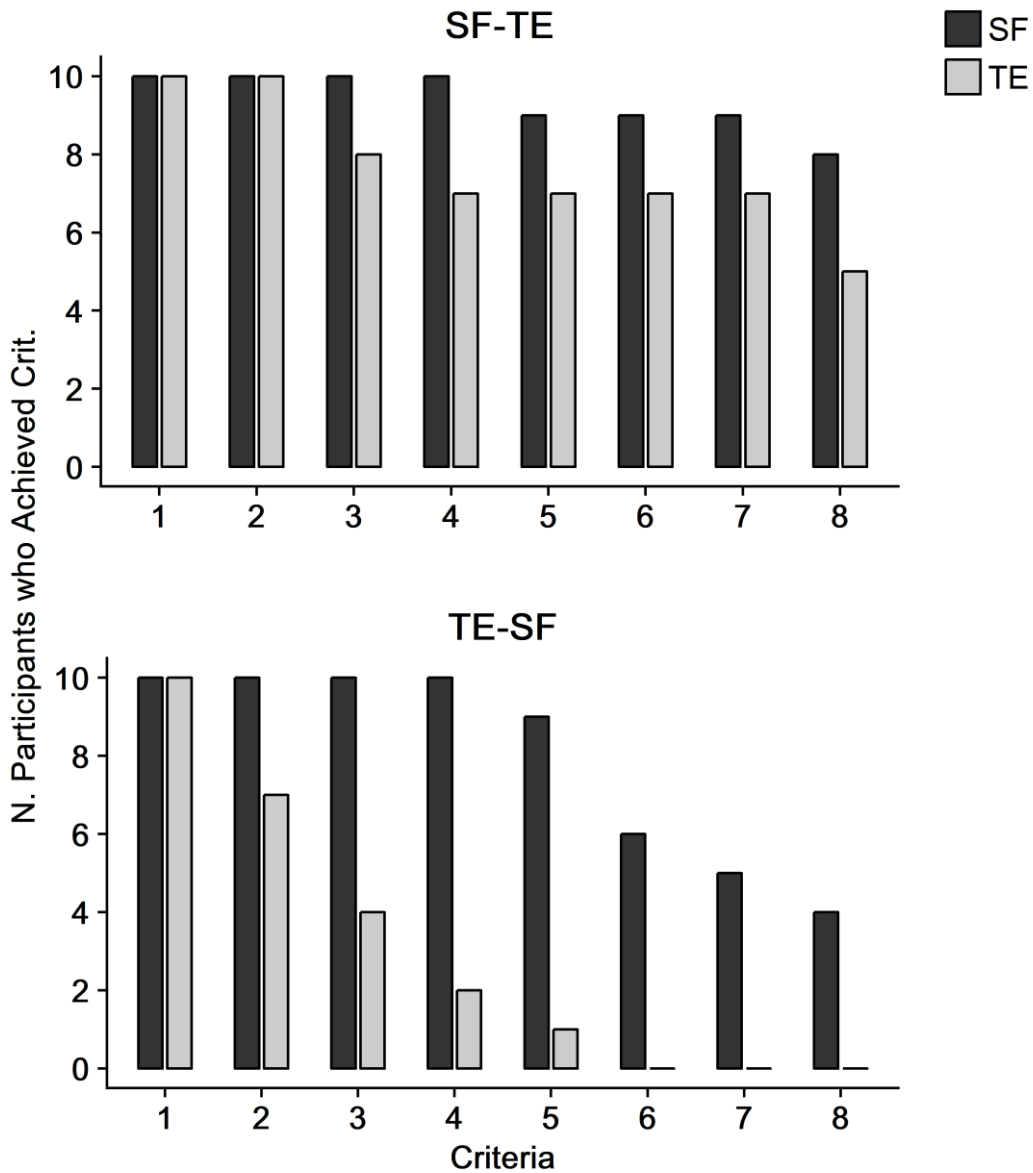


Figure 1.11. Number of participants who achieved the 8 criteria for each condition and according to the assignment of order of the condition. SF-TE participants received first the SF condition and then TE condition. TE-SF participants received first the TE condition and then the SF condition.

Moreover, the influence of the order is illustrated by a smaller difference in SF-TE than in TE-SF.

A bootstrap analysis on the median was conducted for each criterion based on one hundred resamples of the data. The absolute median of the difference between the SF-TE and TE-SF group's data was above the 97.5th percentile generated by the bootstrap in the first and the third criteria (crit 1: Mdn = 45, percentile = 36; crit 3: Mdn = 16, percentile = 15). The

absolute median of the difference between the SF-TE and TE-SF group's data was equal to the 97.5th percentile generated by the bootstrap in the second criterion (Mdn = 26, percentile = 26).

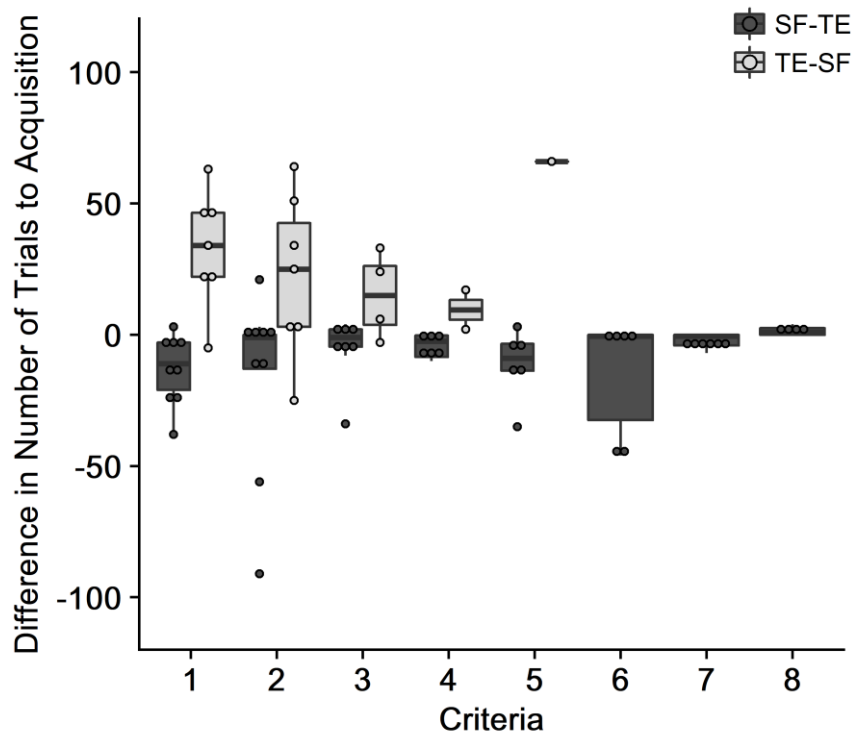


Figure 1.12. Difference in the number of trials to reach 5 consecutive of successful trials between the first condition and the second condition. The SF-TE participants received the stimulus fading condition as first condition and the trial-and-error learning as second condition. The TE-SF participants received the trial-and-error condition as first condition and the stimulus fading as second condition.

Effects of Condition and Order on the Dwell time per Trial

The difference in median dwell time per trial was calculated by participants for each criterion and it is represented in **Figure 1.13**. The difference was measured by subtracting the median dwell time per trial made in the second condition to the first condition. Almost all participants spent less time in seconds per trial during the second condition than during the first condition, no matter the type of condition (SF or TE).

Including all trials until the 80 reinforcers were reached, the dwell time per trials decreased with statistical significance across the first condition and the second condition, W

=206, $p < .0001$. Thus, the contingency and training might also influence the duration of the eye gaze operant.

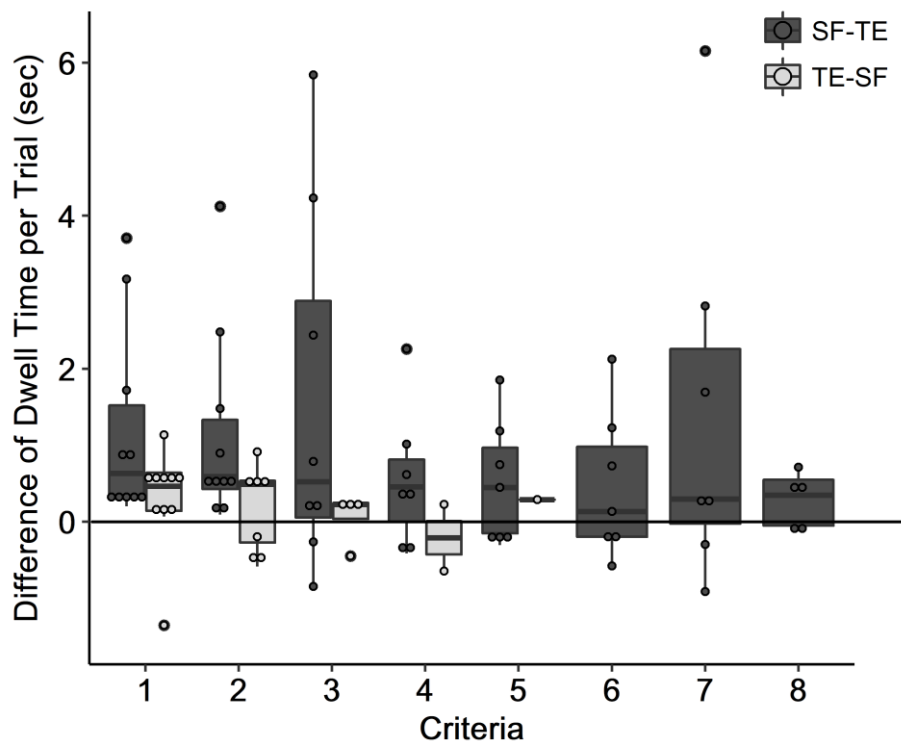


Figure 1.13. Difference to dwell time per trial (median) per criterion between the first condition and the second condition. The SF-TE participants received the stimulus fading condition as first condition and the trial-and-error learning as second condition. The TE-SF participants received the trial-and-error condition as first condition and the stimulus fading as second condition.

Effects of Condition and Order when the criterion was 80 reinforcers

The data to the left were made by the TE-SF participants and the right ones by the SF-TE participants. For quasi-all the participants, the accumulation of 80 reinforcers needed more trials in trial-and-error than in stimulus fading condition. For all TE-SF participants, the minimum number of trials in TE was 140 whereas for SF-TE participants, only 4 of 10 needed that minimum of trials. Four of these participants performed better than the remaining in TE with fewer than 110 trials and thus, with approximately the same number of trials in both SF and TE conditions. Eleven participants reached the criterion in SF in less than 110 and only two of them received SF as second condition.

Regardless of the order of the condition, the percentage of correct responses was higher in SF than in TE. 4 SF-TE participants obtained a percentage of correct responses higher than 70% in TE. Thus, 4 of 10 SF-TE participants performed as well in TE than in SF, whereas none in TE-SF achieved 70% of correct responses in TE.

On the number of trials to reach 80 reinforcers, a significant main effect of the condition was found, $\chi^2(6) = 22.167, p < 0.001$. The order of the condition was not significant, $\chi^2(7) = 1.246, p = 0.264$. Most important, the condition*order interaction was significant, $\chi^2(8) = 10.396, p = 0.001$. An analysis of contrasts revealed that the increased number of trials needed to reach the criterion in TE compared to SF found for TE-SF (condition administered as second) is significant more than for SF-TE, $b = -12.20, t(18) = -3.503, p = 0.003$.

A significant main effect of the condition was found on the percentage of correct responses, $\chi^2(6) = 23.214, p < 0.001$. The order of the condition was not significant, $\chi^2(7) = 0.137, p = 0.711$. The interaction between the condition and the order was significant, $\chi^2(8) = 10.6, p = 0.001$. Contrasts revealed that the decreased in the percentage of correct responses in TE compared to SF found for TE-SF (condition administered as second) is significant more than for SF-TE, $b = 7.105, t(18) = 3.547, p = 0.023$.

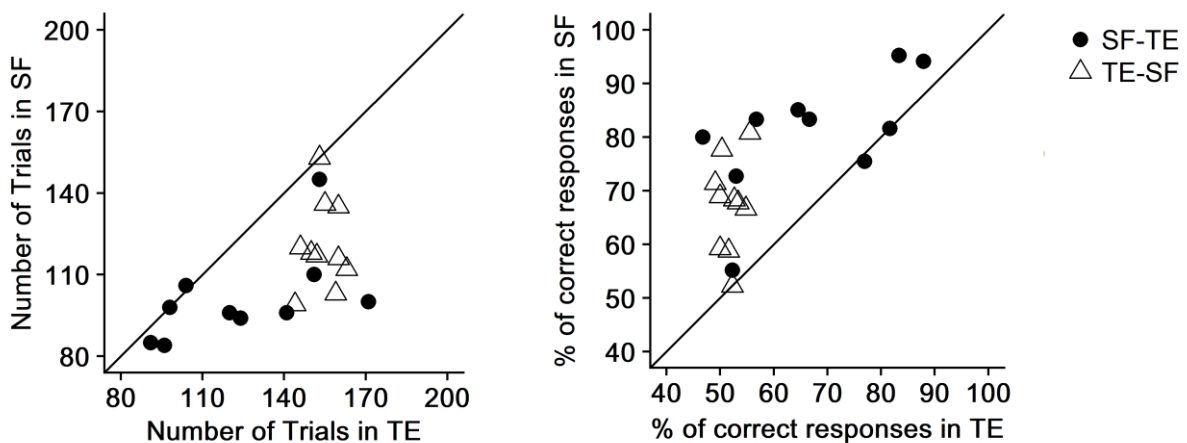


Figure 1.14. Individual data according to condition and the order of the two conditions, to reach 80 reinforcers. Circle = participants who began with a stimulus fading condition and then did the trial-and-error condition (SF-TE). Open triangle = participants who started by trial-and-error and then did the stimulus fading condition (TE-SF). A. displays the number of trials to reach 80 reinforcers of correct trials. B. displays the percentage of correct responses with the same criterion.

Exposure to fading levels and errors.

Figure 1.15 represents the number of errors that occurred during the acquisition of each fading levels in stimulus fading by each participant in the experiment for participants who learned the discrimination and those who didn't learn. Four different patterns of errors are displayed for participants who learned the discrimination. Four participants acquired all eight discrimination by making quasi-no error, with a maximum of 5 errors. Participant 4 was errorless with only one error at the last fading level. The second pattern is the acquisition of all eight fading levels by making most of the errors in FL1. For example, participant 1 made 5 errors in this fading level, and participant 6, 3 errors. Then, four participants composed the third pattern by making quasi-no errors during the seventh first fading level and a major part of errors during the last FL. Finally, two participants acquired all the discrimination by having lots of errors in FL2.

As seen, in the previous analysis, 6 participants in TE-FL and 2 in FL-TE didn't learn the discrimination during the stimulus fading condition. Participant 3 didn't acquire the discrimination in FL8 with 31 errors. Two participants didn't acquire the discrimination in FL7, three participants in FL6 and the two remaining in FL5. For those participants, only 40% (16/42) of the fading levels were learned from 0 to 2 errors, whereas for the learners, it was 96% (81/96). The absence of learning and efficacy of these participants will be addressed in the discussion.

Discussion

Stimulus fading enhanced the acquisition of a difficult intradimensional discrimination when it was administered as the first condition in young children. Children were both exposed to a stimulus fading (SF) and a trial-and-error learning (TE) protocols in an intra-dimensional discrimination. It has been assumed that intra-dimensional discrimination was a difficult task

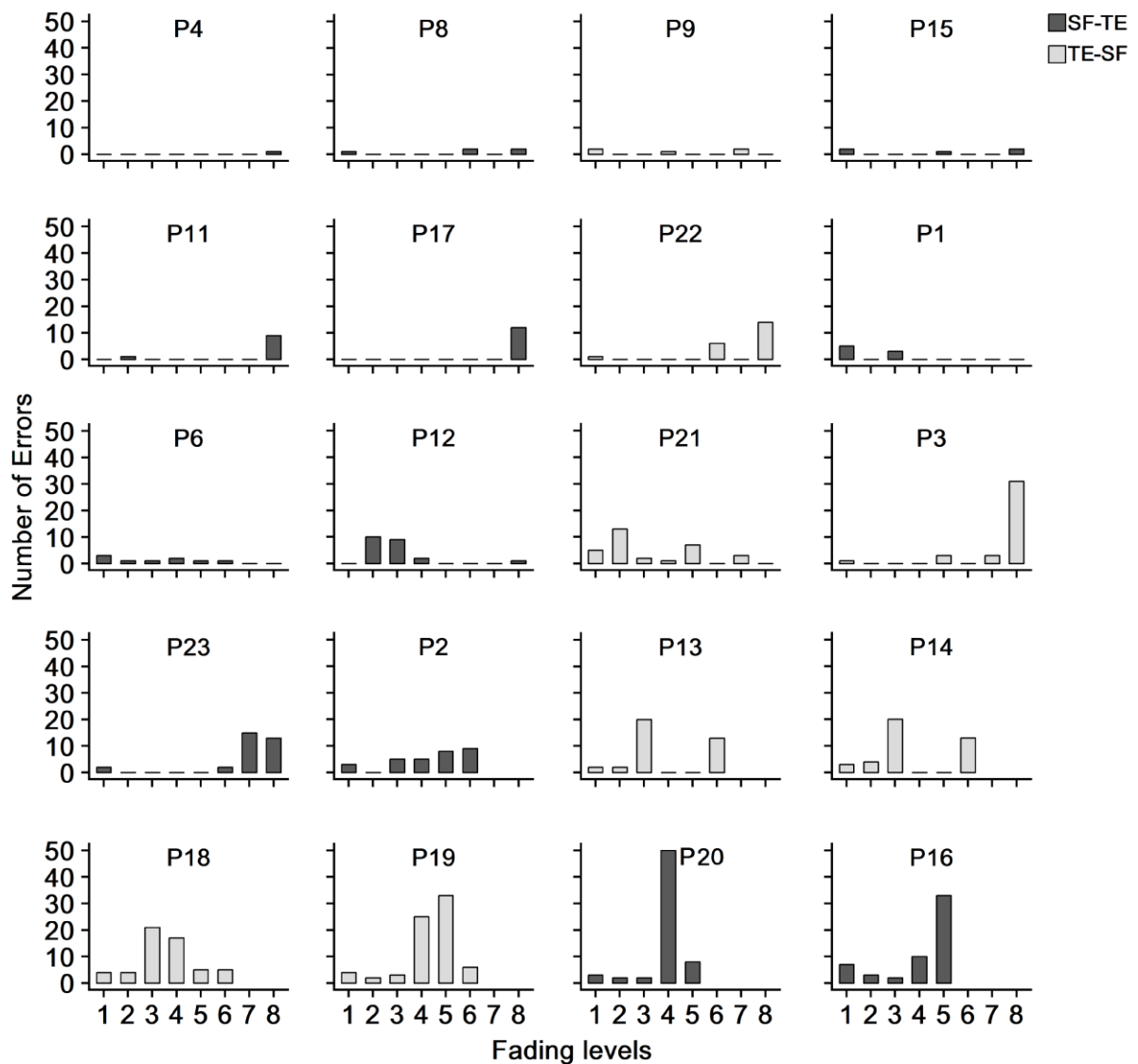


Figure 1.15. Numbers of errors in each fading level during stimulus fading. SF-TE participants received stimulus fading (SF) as first condition. TE-SF participants received trial-and-error learning (TE) as second condition. The absence of data at a fading level means that participant didn't reach that fading level.

for children due to a history of absence of acquisition of this type of discrimination in the literature (Coldren et al., 1994; Everett, 1977). In the present experiment, the luminance between S+ and S- was the relevant dimension, the color and the form were identical. Thus, the S+ was set at 100% of luminance and the S- at 90% of luminance. It has been shown that most children learned the discrimination in both conditions when it was the first condition experienced. One of the originalities of this study is the use of an eye gaze operant in which

children had to look at the stimulus to select it. Thus, the acquisition of the discrimination in both conditions could be attributed to the response used. By forcing the child to look at the stimulus enhanced the control of the behavior by the relevant dimension. However, one surprising result is the absence of acquisition of the last fading level of 60% of children in SF when it was the subsequent condition after TE.

According to the difficulty of the discrimination, it was expected that children in SF would learn the discrimination in fewer trials than TE participants. According to the 8 criteria in each condition, children needed fewer trials in SF than in TE for the first and the third criteria. According to the totality of the trials, a significant difference was found between the condition, showing that SF fading reduced the number of trials necessary to reach 80 reinforcers and enhanced the percentage of correct responses. Thus, stimulus fading was as efficient as postulated. These differences are not caused to a previous behavioral repertoire because there was no difference during preliminary training between the two groups of children.

Children not experienced either stimulus fading or trial-and-error learning, but both conditions with a reverse order of administration for half of the participants. Thus, the effect of the order was also analyzed. This analysis led to surprising results. As said previously, only 40% of participants whose experienced SF as second condition (TE-SF) learned the 8 fading levels. This finding was not demonstrated by Moore and Goldiamond (1964), who succeeded in training children with stimulus fading after an absence of acquisition by trial-and-error learning. The performances obtained by participants experiencing first SF and then TE (SF-TE) are also surprising. When TE was the second condition, the number of trials needed was fewer and the percentage of correct responses higher. Thus, a previous stimulus fading could enhance the performance in a subsequent discrimination learn by trial-and-error learning.

In the literature, stimulus fading was principally investigated for his capacity to reduce or eliminate errors during discrimination training. In the present experiment, the stimulus fading

was the modification of the luminance in 8 fading levels, after five consecutive of correct trials. The analysis of error pattern was conducted for each participant during SF. Based on participants who learned the discrimination in all eight fading levels, 7 of eleven learned the discrimination by making fewer than 10 errors, one participant made only one error. Thus, our protocol was also able to reduce errors during discrimination training. When children didn't learn the discrimination, the maximum of errors could be made at any fading level.

Another unexpected result was the diminution of the dwell time per trial between the first condition and the second condition. Due to training, independently of the condition, the dwell time per trial decreased. We cannot distinguish the effect of the training on the latency to respond or the duration of the eye gaze. Thus, training could have impacted both responses or either latency or duration of the eye gaze.

In summary, an intra-dimensional discrimination based on a 10% luminance difference was learned with a small number of errors and not a larger number of trials than by trial-and-error. A previous learning by trial-and-error impeded the learning of the discrimination in the subsequent. Stimulus fading enhanced the subsequent discrimination trained by trial-and-error. These results have a large import for training children in school settings. In the present experiment we found that the dwell time per trials reduced between the first and the second condition, thus, the observing behavior seemed to be influenced. However, the observation made on each stimulus was not investigated. The third experiment sought to investigate the effect of stimulus fading on the observing responses on S+ and S-.

1.4. Observing responses using an eye-tracking system during a stimulus fading protocol with a child with 18q deletion syndrome: a case study.

Introduction

Discrimination between stimuli could be challenging for children with developmental disabilities (Sidman & Stoddard, 1967). Errorless learning protocols derived from the experimental literature has been widely used to train a new discrimination to children with disabilities using prompt or the modification of stimulus (Birkan et al., 2007; Guralnick, 1975; Schilmoeller et al., 1979; Schreibman, 1975; Smeets et al., 1984; Touchette, 1971b).

A close link has been established between accuracy of responding, stimulus fading and observing responses. Our study investigated the observing responses using an eye-tracking system before emitting an eye gaze operant in a simultaneous discrimination using a stimulus fading. In typical children, we have shown that a stimulus fading protocol lead to a higher percentage of correct responses than a trial-and-error learning procedure, but sometimes children failed at a specific fading level. According to our knowledge about the difficulty of stimulus control in children with disabilities, could observing responses inform about failure at a specific fading level? This question was investigated in a girl with 18q deletion syndrome.

This syndrome also known as Del(18q) Syndrome or monosomy 18q syndrome is a rare genetic disorder in which there is a deletion of part of the long arm of chromosome 18. The deletion 18q is defined by genotype and not specifics clinical and developmental specifications, thus, each person with a deletion 18q is different. However, the literature has underlined some clinical and neuropsychological findings that could be present in this syndrome. According to the clinical features, it has been found a delayed myelinization of the brain, orthopedic problem, congenital heart abnormalities, dysmorphism, palatal abnormalities, hand abnormalities,

hearing impairment, strabismus, nystagmus, three-dimensional vision impairments, hypotonia, motor milestones delayed, visual and fine motor deficiencies, retarding motor development (Arguedas & Batchelor, 2009; Cody et al., 2014; Corney & Smith, 1984; Linnankivi et al., 2006). Neuropsychological evaluation revealed a marked impairment of nearly all cognitive functions as a low verbal ability, learning and recall of visual information, memory for verbal material, reduced ability to attend and focus, impulsiveness in responding (Arguedas & Batchelor, 2009). Cody et al. (2014), asked parents and found problems with activities of everyday life as communication, home living, daily self-care, managing social and leisure activity but a typical impulse control, organizational and planning skills, for example. They also underlined autism diagnosis in the 18q deletion syndrome.

In the present brief report, a girl with 18q deletion syndrome was trained by stimulus fading a luminance based discrimination. The target behavior was the displacement with the eye gaze of a square to a target in the middle of the screen. Thus, first she was trained to use her eye gaze as a remote controller. Then, during the discrimination task, the duration of eye fixations on S+ and S- was measured. According to the literature, if the discrimination was learned, it was expected more fixation time on the S+ than the S-.

Method

Participant

The participant was a girl diagnosed with a 18q deletion syndrome, with a chronological age of 11 years old. She has an auditive deficiency corrected by hearing aid, gaining 30 dB on each frequency; strabismus and visual deficiency corrected by glasses. Progressive matrices of Raven were conducted and she obtained a score of 10, situating her in the percentile 5 of her chronological age range. She is verbal and able to produce words. Autistic behaviors were observed as observing deficiency, resistance to change, auto and hetero-aggressive behaviors

and frustration. She attends a specialized school and beneficiaries of behavioral therapy at home from 3 years.

Apparatus and stimuli were similar to **Experiment 2: Training an intra-dimensional discrimination with the use of stimulus fading and trial-and-error learning in children.**

Procedure

The response accuracy, reinforcement contingencies, and eye gaze were identical as those in **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.**

Reinforcer presentation. Only one video previously chosen was presented to the participant.

Preliminary training. The shaping program was identical to the one used in Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults. Due to a failure of learning, the mouse was used as promptly. Thus, the child had to use the mouse to select the square and to move it to the target. No click was necessary when the mouse entered in the square was selected. The training with the mouse was similar to the one using eye gaze. An ABABA design was used.

Stimulus fading was the one used in **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.**

Data recording. The accuracy was measured for each trial, when S+ was displaced on the target, the response was correct and when S- was displaced the response was an error. The number of trials to reach 5 successive correct trials in each fading level was measured. The observation time was measured thanks to the eye tracking during the displacement of the square. Thus, when the eye gaze was detected in one stimulus, the timing was measured. Observation

time for one stimulus is the accumulation of each observing time in one trial. The latency was the time between the end of the displacement and the selection of one of the stimuli.

Results

Preliminary training

Table 1.2. shows the number of trials, the percentage of correct responses and the average dwell time in seconds, in each ABABA phases. Preliminary training was started using a shaping of the eye gaze operant. This condition was stopped after 79 trials, without any improvement during the session. The target mouse operant was learned in 54 trials, with a low percentage of correct responses of 33%. Thanks to the training using the mouse, the displacement of the square by the eye gaze was learned in 23 trials with a percentage of 73.91%. The last two sessions confirmed the acquisition of the two responses. The dwell time per trial decreased across the sessions, being shorter in eye gaze than in mouse condition, except for the first eye gaze condition.

Table 1.2. Performances across the training type in preliminary training

Training type	Number of Trials	% correct	Dwell time (sec)
Eye gaze	79	16.64%	9.462
Mouse	54	33.33%	5.214
Eye gaze	23	73.91%	4.122
Mouse	18	100%	4.351
Eye gaze	21	85.71%	1.698

Acquisition of the fading levels and discrimination

All fading levels were not learned by the participant. The acquisition of the discrimination stopped at the FL6 with 56% of correct responses and in 25 trials. More trials were needed to learn the FL4, 44 trials, with 12 errors and 73% of correct responses. The S+ was always more observed than S-. FL5 was learned in only 5 trials, the minimum required and the S+ observed

with a median of 115.9 msec compared to FL2 which resulted in 6 errors and with a median observation of S+ about 16.55 msec. Thus, observing time on S+ and S- seemed to be correlated with the acquisition of the discrimination. The observing time on the target in the middle of the screen was also measured. The observing time on the target was less than the discriminative stimuli. It could have been expected a diminution of the latency across fading levels, but the latency was variable across the fading levels between 12 milliseconds and 645 milliseconds. The eye gaze duration decreased across fading levels with the exception in FL3.

Table 1.3. Performances for each fading level during stimulus fading training. Duration is in milliseconds.

FL	Trials	Errors	% correct	Median observing S+/trial	Median observing S-/trial	Median observing screen center/trial	Median Latency	Median Eye gaze duration
FL1	14	3	79%	115.82	0	0	12.11	1462
FL2	17	6	65%	16.55	0	1	155.62	1186
FL3	10	2	80%	16.57	0	6.67	645.04	2068
FL4	44	12	73%	49.64	0	0	90.13	1138
FL5	5	0	100%	115.9	0	0	236.14	959
FL6	25	10	56%	49.72	0	1.64	289.05	653.77

Observing responses during discrimination training by stimulus fading

The duration of observing on S+ and S- according to the trial outcome (error or correct) is displayed in **Figure 1.16**. Independently of the trial outcome, the S+ is more observed than the S-. When the trial resulted in error, the minimum of observation on S+ was 0 msec and the maximum 380.79 (Mdn = 41.39, Q1 = 0, Q3 = 82.84) and on S-, the minimum was 0 msec and the maximum 496.57 (Mdn = 0, Q1 = 0, Q3 = 70.32). When the trial resulted in a correct response, the minimum of observation on S+ was of 0 msec and the maximum 496.48 msec (Mdn = 66.18, Q1 = 0, Q3 = 149.38) and on S-, the minimum was also 0 msec and the maximum 546 msec (Mdn = 0, Q1 = 0, Q3 = 99.27). In most trials, the S- was not observed at all, giving a first quartile at 0 msec and a median of 0 msec.

A bootstrap analysis on the median was conducted for each outcome based on one hundred resamples of the data. For the trials resulting in error, the absolute median of the observation time between S+ and S- was below the 97.5th percentile generated by the bootstrap (Mdn dif. = 41.389, percentile = 49.668). For the trials resulting in correct response, the absolute median of the observation time between S+ and S- was above the 97.5th percentile (Mdn dif. = 66.18, percentile = 49.672).

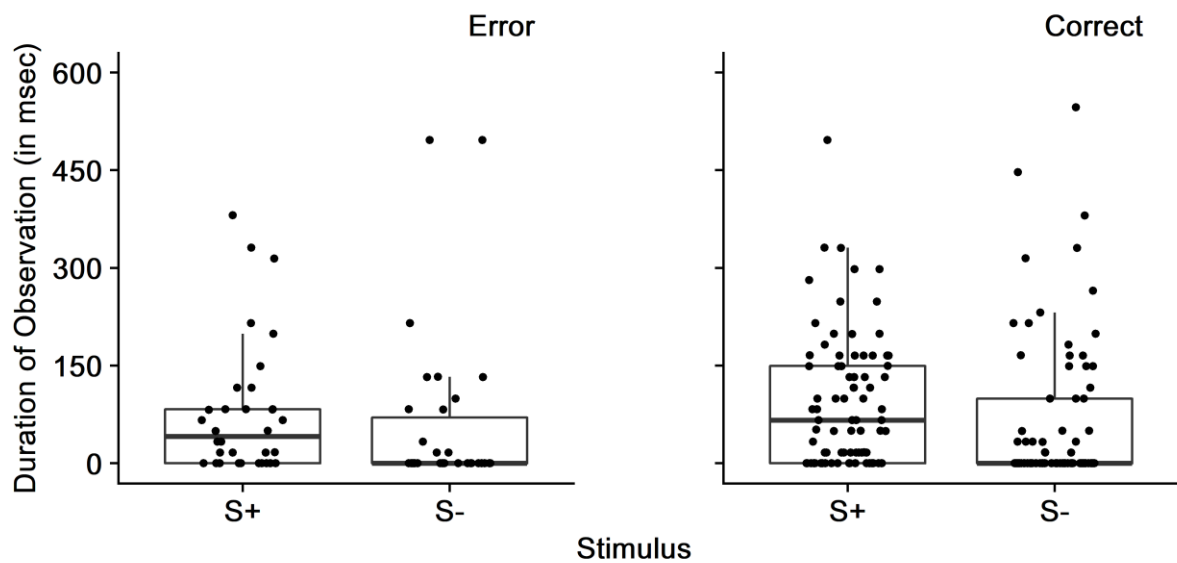


Figure 1.16. Duration of observation in milliseconds on S+ and S- for trials resulting in error and trials resulting in correct response.

The S+ was more observed in duration than the S- when the trial resulted in a correct response. Thus, the observation made for each fading level previously, are confirmed by a global analysis, showing that in general S+ is more observed in duration than S- and that observations are lower when the trial resulted in error.

Discussion

The analysis of observation times revealed that the S+ was more observed than S- when the trial resulted in a successful trial which was not the case when the trial resulted in an error. The present study investigated the use of a stimulus fading to train a luminance based discrimination, in which eight fading levels were designed, with a child diagnosed with a 18q

deletion syndrome. The participant was known to have difficulty in observing, thus her observing responses were measured in milliseconds.

The target behavior was an eye gaze operant in which the participant had to look at the stimulus and move it with his eye gaze. At the beginning of the training, the child did smooth pursuit on the square and the target behavior was not acquired. To avoid any escape behavior or problem behavior as crying due to the non-access to the video, the eye gaze training was stopped and a mouse response was used as promptly. The use of the mouse as behavior allowed the child to look at the arrow and its displacement with the square. An ABABA designed was used to make a comparison between the performance using the mouse and using the eye gaze. Except for the first A phase (eye gaze), the duration of the eye gaze responses was shorter than the mouse behavior.

All eight fading levels were not learned, and the accumulation of 80 reinforcers was reached in FL6. The FL4 seemed to be the more difficult with 44 trials, but the percentage of correct responses remained high. The absence of observation could explain the failure in FL6.

A more general analysis showed that S+ is more observed than S- when the trials resulted in correct response. The median on S- was always 0, but it didn't mean that S- was not observed. Thus, there could be a link between observing S+ and the acquisition of the discrimination.

1.5. General Discussion of the effects of stimulus fading in training an intra-dimensional discrimination

The same intra-dimensional discrimination between an S+ at 100% of luminance and an S- at 90% was trained in adults, children and a child with disabilities. Adults and children received either stimulus fading (SF) as first condition or trial-and-error learning (TE); and SF or TE as second condition. Thus, two groups were considered SF-TE and TE-SF. Stimulus fading implied the modification of the luminance of the S- in 8 fading levels. The modification was made after 5 successive correct trials. In order to compare both conditions, 8 x 5 correct trials were selected as criteria, corresponding to the fading level in stimulus fading condition.

1.5.1. Effects of stimulus fading and trial-and-error learning on the acquisition of the discrimination

The literature has assumed that a stimulus fading protocol would enhance the acquisition of the discrimination compared to a trial-and-error protocol. Excluding the effect of the order of the conditions, which will be discussed further, in both adults and children, more participants learned all the 8 criteria in stimulus fading than in trial-and-error learning. For example, in adults when SF was experienced as first condition 90% reached the 8th criterion, whereas 10% reached that criterion in TE experienced as first condition. In children, the same outcome was underlined with 80% of children acquiring the 8th criterion in SF and 0% in TE.

Stimulus fading is a procedure in which some trials are needed before reaching the desired discrimination. Ploog and Williams (1995) postulate that a stimulus fading condition might require more training time than trial-and-error learning because of the gradual changes defined by the experimenter and the participant behavior when the advancement of fading levels is contingent. Thus, it is logical to think that during stimulus fading the trials needed to acquire the discrimination will be higher than by trial-and-error. However, in the case of a difficult discrimination, meaning that the number of trials needed to learn this discrimination will be higher by trial-and-error it could be expected that the facilitation by stimulus fading could

reduce the number of trials necessary for the acquisition. In experiment 1, with adults, it has been found that more trials were needed in TE to reach the first 5 criteria, with a clear difference. In experiment 2, with children, the same difference was found in the first and third criteria.

Considering all training trials, until 80 reinforcers were achieved by participants, the assumption that stimulus fading facilitates the acquisition of discrimination was also confirmed. For both adults and children, more trials were needed in TE to reach 80 reinforcers with a high significance. Stimulus fading led to a higher percentage of correct responses in both adults and children. Two differences were found between adults and children. In TE, the children reached 80 reinforcers in fewer trials than adults (117 vs 158) with a higher percentage of correct responses (68% vs 50%). The present finding adds information about the potential attenuation of the effect of the reinforcer. It could be assumed that cartoons and films used in the present experiment as reinforcers are more effective in young children than in adults. Four videos were proposed to avoid annoying effect, but in some case videos could have not been powerful. The fact that a higher percentage of correct responses was obtained by stimulus fading is coherent with previous studies. For example, Pashler et al. (2013, experiment 7), used stimuli “with a hard-to-verbalize dimension,” varying in hue, saturation, and brightness, with only saturation as the relevant dimension. The “difficult” group had to discriminate the demons with a small difference in saturation and obtained a percentage of correct responses averaging 50%, whereas the “hard-to-difficult” group obtained a higher percentage of correct responses averaging 100%. It has been assumed that stimulus fading could enhance observation on the relevant dimension and could explain the effect of stimulus fading on the acquisition of discrimination (Dube et al., 2010; Everett, 1977; Terrace, 1963a). This aspect will be discussed further in the observing response part.

In TE, all participants acquired the first criterion, however, in the subsequent criteria the number of participants who emitted 5 correct trials consecutively dropped. Thus, it could be

assumed that the discrimination is better maintained after stimulus fading than after trial-and-error learning. This hypothesis could be tested by stopping the discrimination training after the acquisition and administered after a predefined time, a maintenance test of the discrimination. Another explanation of these differences could be a diminution of reinforcer effect. One session lasted 30 minutes, and during the session a participant might have seen some disinterest, choosing a stimulus by chance.

Stimulus fading reduced variability in both adults and children. The inter-individual variability is generally considered as noise and attribute to the individual per se. The variability obtained in this experiment might be a result of participant history with experimental settings, or experience in discrimination tasks. Pretraining data served as baseline, and variability was already present between SF and TE participants (IQR of 10.25 vs 21.25). Thus, in this case it is difficult to interpret the fact that stimulus fading reduced variability. However, this difference in variability between SF and TE was also found in children (17.25 vs 31) without the same variability in pretraining. The IQR during pretraining for SF participants was 4 times larger than for TE participants (38.25 vs 8.5). The fact that the difference in variability was found in both adults and children and for both dependent variables assumed that stimulus fading reduced inter-individual variability.

An unexpected result of this study was the absence of learning for some participants in stimulus fading when it was the first condition. Respectively, two of twenty adults, two of ten children and the child with genetic disorders didn't learn the eight fading levels. One adult didn't learn the discrimination in the second fading level, and one in the last fading level. One of the children didn't learn the discrimination in the 7th fading level whereas the other one failed to acquire the 5th fading level. The child with genetic disorders didn't learn the discrimination in the 6th fading level. Thus, the absence of acquisition could have been at any fading level and not a specific one. A low threshold of luminance differences could explain the failure of

acquisition for these participants. Further studies need to add objective measurement of perceptive threshold with the use of psychophysical method as method of adjustment or staircase method (Cornsweet, 1962; Stern & Johnson, 2010).

Stimulus fading procedure is known to produce “Errorless learning” (Sidman & Stoddard, 1967; Terrace, 1963a). “Errorless learning” has been defined by less than 19 or 35 errors to acquire the discrimination (Karpicke & Hearst, 1975; Terrace, 1966). However, in these experiments, pigeons could emit a maximum of errors approaching 1600, thus, this definition could not fit to the present study. In our study, error patterns were analyzed in children, and we found that some participants emitted fewer than 10 errors representing less than 15% of errors during the training. For example, participant 4 acquired all eight-fading levels by making only one error. In TE, the total of errors was more than 20, representing more than 30% of errors.

1.5.2. The Eye Gaze Operant and Observing Responses

One of the originalities of the present study is the use of the eye gaze as the response during training. Dwell time per trial included both latency to look at a stimulus and the displacement of that one. It could have been expected in the evolution of the dwell time per trial during stimulus fading and across the two conditions. In adults, there was no such trend. In children, the time spent per trials decreased by 600 msec between the first condition experienced and the second condition experienced, and this difference was significant. One could explain the absence of this effect in adults by a floor effect, adults spending less than 1 second (870msec) per trial, whereas children spent 1.8 seconds per trial in the first condition. Considering that eye gaze operant included saccade behavior, and that saccade latency is between 100 msec and 200 msec and duration between 20 msec to 200 msec (Montagnini & Chelazzi, 2005), the behavior could not have been less than 300 msec. The dwell time per time in the study case reduced during the pretraining trials from 9.462 to 1.698. During the

discrimination training, the dwell time per trial differed of 400 msec from the median of typical children. However, the maximum dwell time for typical children was 3.914 msec, thus the child with 18q deletion did not get over this maximum (2.264 msec). The diminution of the dwell time in children could be the result of training an eye gaze operant (look at a stimulus and move it with the eye) that was not in the repertoire. The first aim to use this operant was to increase observing on the relevant stimulus, and it was not expected an amelioration between the first and the second condition. Thus, it proved that eye gaze is as other operant sensible to modification in its topography thanks to reinforcement. One critic could be raised by supporting the fact that we didn't know if this was the latency or the duration that was modified, or both, because our data did not provide differentiation. This differentiation was conducted in the study case. The latency didn't decrease across the fading level, whereas the duration of the eye gaze operant increased to FL4 and then decreased.

The literature assumed that observing the stimuli during training was necessary to learn the discrimination (Dube et al., 2006, 2010, 1999; Terrace, 1966b). Also, it has been shown that stimulus fading could enhance observing response on the relevant dimension and that S+ was more observed than S- (Pessoa et al., 2009). The study case was conducted to investigate the observing responses during stimulus fading on both S+ and S-. The fixation duration during the displacement of the stimuli was defined as observing response. We have shown that the non-acquisition or a lower percentage of correct responses could have been due to fewer observing on S+ than S-. We also found that in general, S+ was more observed than S- when the trial resulted in a correct response, and the difference in observation did not differ when the trial resulted in an error. The present results support the idea that observing responses are important in discrimination learning. The study of objective observing responses by measuring fixation duration and fixation rate has been conducted principally in matching-to-sample task (Dube et al., 2010; Hansen & Arntzen, 2018; Tomanari et al., 2007). During a matching-to-sample task,

a sample is displayed to the participant with 3 or 4 comparison stimuli. When a manual observing response is asked, the stimuli are not visible until the manual observing response is done on each stimulus. It has been shown that the use of eye tracking to measure ocular observing revealed characteristics of observing behavior that were not revealed by manual observing measurement (Tomanari et al., 2007). For example, ocular observing responses increased from the beginning of the training, whereas manual observing responses increased further in training. A study conducted by Hansen and Arntzen (2018), also demonstrate that the correct comparison stimuli were more observed than the incorrect comparison stimuli. Moreover, they have shown that fixation time decreased during training.

1.5.3. Transfer Effects in the Subsequent Discrimination

The most outcome of import was the effect of order of assignation between the two conditions. In adults, all participants reached the first two criteria in TE, when this condition was the second one (SF-TE), whereas when it was the first condition, all participants reached only the first criterion. At the fourth criterion, in SF-TE 15 participants reached that criterion and 10 in TE-SF. At the last criterion, 9 participants reached the criterion in SF-TE and only 2 in TE-SF. Thus, more participants reached the criteria in TE when it was the second condition. In children, similar outcomes were found with, for example, 7 participants who reached the fourth criterion in SF-TE and 2 in TE-SF.

In each criterion the difference between the first and the second condition was larger in the TE-SF group than in SF-TE group. Moreover, SF-TE participants needed fewer trials to obtain 80 reinforcers on the number of trials. In children, no order effect was underlined, however, an interaction between condition and order was found. This interaction showed that when TE was the first condition compared to when it is the first condition, more trials were needed to reach 80 and that the percentage of correct responses was lower. Four of 7 participants in SF-TE, learned the discrimination in TE with a minimum of 70%, whereas as only one of

four in TE-SF. These results suggest that stimulus fading might facilitate the acquisition of a new discrimination. Although the color of stimuli differed in the two conditions, the relevant dimension remained the same - i.e., the luminance. This transfer could appear thanks to the degree of similarity between the stimuli in the two conditions. Spiker (1959) showed that when children were trained to a previous discrimination with a high brightness difference between stimuli, the subsequent discrimination with a small difference in the discrimanda was facilitated. Cantor and Spiker (1978) found a facilitation effect in a discrimination task when kindergarten children verbalized the relevant dimension of the stimulus during a pretraining. Similar facilitation was found in study using intra-dimensional shift and extradimensional shift (Shepp & Gray, 1971). An intra-dimensional shift consists of two discrimination training phases in which the relevant dimension remains the relevant one, and during an extradimensional shift, the relevant and irrelevant dimension are reversed. Thus, an intra-dimensional shift led to more learning transfer than extra-dimensional shift. Positive transfer effects have also been found when stimulus fading was used in training before the training of a new discrimination by trial-and-error (Aronsohn et al., 1978; Fields, 1980; Robinson & Storm, 1978). For example, Fields (1980) in learning braille letters to adults, demonstrated that the reduction in the number of trials needed to learn the discrimination by trial-and-error learning was greater after learning another set of letters using stimulus fading.

The most surprising result in children is the absence of learning for 6 of 10 participants in SF who received TE as prior condition (TE-SF). Moore and Goldiamond (1964), trained children to discriminate between two triangles differing in their orientation. When trained by trial-and-error learning, the discrimination was not acquired, when the stimulus fading was started after trial-by-error, the number of correct choices increased. Doran & Holland (1979) found absence of acquisition with a group of six children aged from 6 to 7 years old whom began with a difficult discrimination task and then a gradual progression task. Two probe

stimuli were presented to assess the control of size or luminance. Thus, one probe has the same size as the S+ but a different luminance; the second probe has the same luminance with different size. Probe trials showed that the relevant dimension didn't control the response. An absence of control by the stimulus feature in a subsequent stimulus fading could be explained by a blocking effect (Anderson, 1972; Kamin, 1967). In the context of classical conditioning, a novel stimulus added to a pretrained stimulus (or specific dimension of a stimulus) does not elicit the conditioned response (Kamin, 1967). Stimulus fading consists of a learning of some number of increasing successive difficult discrimination. In our study, blocking effect could not have been a factor in the absence of learning because the relevant dimension was also the faded dimension. Moreover, the absence of training in stimulus fading was not as large when SF was the first condition. The only difference between the two groups of children was the presence of a trial-and-error procedure before the stimulus fading protocol. Thus, during a previous discrimination learning in TE, the target dimension, whether the difference of 10% of luminance between S+ and S-, acquired some control on the response. In trial-and-error learning, it has been shown that S- acquired some inhibitory function by the absence of reinforcement when responses occur in his presence. Thus, the absence of response to S- might be controlled by the properties of S-. During the stimulus fading condition, the luminance of S- was different in seven fading levels, thus S- could be considered as a neutral stimulus without any inhibitory function. At each fading level, for these participants, the inhibitory function of S- was lost. This theory is reinforced by the fact that for 6 participants in TE-SF (5 non-learners and 1 achiever) the number of errors by FL was higher than SF-TE.

1.6. Conclusion of the effects of stimulus fading in training an intra-dimensional discrimination

In the introduction, we have underlined the fact that some difficult discrimination not learned by trial-and-error could be learned to use a stimulus fading protocol, in which the difficulty of the discrimination is progressively increased (Moore & Goldiamond, 1964; Terrace, 1963b). The question of the efficiency has also been raised, making the assumption that more trials are needed in stimulus fading with the successive modification of the S- (Cengher et al., 2018; Ploog & Williams, 1995). Some studies have shown an absence of learning with a stimulus fading and it has been assumed that this absence of learning could have been due to the manipulation in fading of another dimension than the relevant one (Everett, 1977; Karpicke & Hearst, 1975; Schwartz et al., 1971). Thus, a blocking or overshadowing effect might be observed and impeded the acquisition of the discrimination during stimulus fading (Kamin, 1967; Mackintosh, 1971). The literature has underlined that children without or with developmental disabilities showed preference, in other words, selective responses, on some dimensions that could be due to the experience with that dimension (Lovaas & Schreibman, 1971; Lovaas et al., 1971; Melkman et al., 1976). The acquisition of discrimination depends of observing responses on the relevant dimension. It has been assumed that stimulus fading could enhance observing responses on the relevant dimension (Dube et al., 2010; Terrace, 1966b).

In the present study, an intra-dimensional was trained by trial-and-error and by stimulus fading, in which the relevant dimension was the luminance; S+ being at 100% and S- at 90% of luminance. The observation on stimuli was ensured by using an “eye gaze” operant. The participant had to focus on the stimulus (eye fixations) and then moved it to a target region. During the stimulus fading, eight fading levels were designed with the luminance of S- being increased to finally reach 90%.

The relevant dimension was manipulated in order to avoid any blocking effect during a stimulus fading condition. First, the present study highlighted that stimulus fading was more efficient than trial-and-error learning to train a difficult discrimination based on luminance by reducing the number of trials necessary to reach a criterion and enhancing the percentage of correct responses. However, we also found that not all participants learned the discrimination in stimulus fading. Thus, the manipulation of the relevant dimension does not ensure acquisition in stimulus fading. Some other explanations have been given about the failure in discrimination learning as an individual luminance threshold under the difference used in discrimination or an absence of reinforcement effect. These assumptions could be verified using psychophysical methods and evaluate reinforcers (Cornsweet, 1962).

Both typical children and adults were trained in each condition (TE and SF), receiving either TE as first condition or SF as first condition. It has been shown an effect of the order and interaction between condition and order. In adults, the performances during the discrimination were higher in the second condition received and stimulus fading had a positive effect on the subsequent discrimination trained by trial-and-error learning. This effect was also observed in children. In children a more surprising result was observed. Most children who were first trained with a trial-and-error condition, didn't learn the discrimination by stimulus fading. A blocking effect could be responsible for the absence of learning for these children (Anderson, 1972; Kamin, 1967). More studies are needed to investigate the transfer effects across two conditions.

Finally, observing responses were analyzed with a child with a rare genetic disorder. This study investigated the assumption that stimulus fading could enhance observing responses on discriminative stimuli and that an absence of learning could reside in the absence of observation. We found that S+ was more observed (in seconds) than S- when trials resulted in correct responses. When a fading level was not learned or a trial resulted in error, S+ was less observed.

Study 2: Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent discriminative stimuli change

2.1. Introduction

The discriminative control of a response has been documented when the same response occurs with different likelihood in the presence of two different stimuli, denoted as S+ and S- (Keller & Schoenfeld, 1950; Spence, 1936; Terrace, 1966b). Typically, this pattern of responding is established by occasioning reinforcement of that response in the presence of S+ and not in the presence of S-. In the context of the simultaneous presence of S+ and S-, reinforcement would be made available for the responding to S+ but not to S-. Early in training, participants respond randomly to S+s and S-s. With continuing exposure, the prevalence of errors declines, and responding to S+s and S-s increases and decreases, respectively, documenting the acquisition of the discrimination. This process is attributed to the differential reinforcement of behavior, and have been termed “trial and error” learning.

Some discrimination, however, are very difficult, if not impossible, to learn to use trial and error procedures (Pashler & Mozer, 2013). Specifically, the continued application of the experimental operation does not result in a systematic decline in errors. In some cases, that difficulty can be attributed to insensitivity to small differences in the dimensional values of an S+ and an S- (Cohen, Looney, Brady, & Aucella, 1976; Lawrence, 1952; Terrace, 1963). In such circumstances, the discriminations can be established by use of procedures that are generically called “stimulus fading” (SF). For example, stimulus fading in one form or another -e.g. by increasing luminosity intensity-, has been implemented with pigeons to teach difficult discriminations in the context of a simultaneous discrimination (Biederman & Colotla, 1971), or matching-to-sample protocol (Moore & Goldiamond, 1964). Moreover, these procedures resulted in the acquisition of a diverse range of initially difficult discriminations by children with developmental disabilities (Sidman & Stoddard, 1967; Touchette, 1968), and more

recently by individuals with Alzheimer's disease in "remembering" tasks (Clare et al., 1999; Haslam et al., 2010).

In all fading protocols, training began by teaching an easy-to-learn discrimination using differential reinforcement alone. Once acquired, the physical or perceptual difference between the S+ and S- is reduced by a small amount and the same contingency of reinforcement continues to be administered until the new prevailing discrimination was mastered. The procedure was reiterated with stimuli that were increasingly similar to each other until the original difficult to learn discrimination emerges. Because of the systematic history of stimulus manipulation, the terminal discrimination was acquired with the occurrence of relatively few or few or no errors during the procedure, and has come to be called "errorless learning".

It has been assumed that the contingency of reinforcement plays a primary role in the acquisition of all of the discriminations (Eckerman, 1969; Moore & Goldiamond, 1964; Ploog & Williams, 1995; Terrace, 1963), whether training is conducted with a differential reinforcement contingency alone or in the context of stimulus-fading. To our knowledge, however, no experiment has tested the validity of that assumption in either contexts. One goal of this experiment was to evaluate the validity of that assumption in each context by studying two experimental conditions: a traditional stimulus-fading condition (SF) which administers trial-by-trial based video-clip reinforcers that depend on accuracy of responding, and a yoked-control condition (YC) that mimics the stimulus-fading condition but involves the presentation of video-clip reinforcers that are independent of response accuracy while maintaining the same temporal pattern of reinforcer presentations as those presented during stimulus fading (Catania, Matthews, Silverman, & Yohalem, 1977a; Church, 1964; Ferster & Skinner, 1957). Participants acquiring essentially all of the discriminations during stimulus-fading and essentially none during the yoked control condition would support the view that response contingent video-clip reinforcement was the only determinant of responding during stimulus-fading. In addition,

since the first phase of either condition preceded any fading operation, that difference in the first fading level would demonstrate that the contingency of reinforcement was responsible for the acquisition of a simple discrimination unaccompanied by any fading operation. Given the vast literature on the differential effects of contingent and non-contingent reinforcement on schedule-controlled responding (Ferster & Skinner, 1957; Hart, Reynolds, Baer, Brawley, & Harris, 1968; Thompson & Iwata, 2005), those finding would support the predicted outcomes in the present experiment.

There are, however, other possible outcomes; specifically, in the yoked-control condition, the discriminations could emerge at all fading levels for some of the participants, or some of the discriminations could emerge for some or all of the participants. Because learning presumably depends on a reinforcement contingency, some unappreciated contingency of reinforcement would have to be active in the yoked-control condition to account for these unexpected outcomes.

Such an unappreciated contingency can be discerned by a close analysis of any stimulus-fading protocol. Specifically, accurate and inaccurate responses evoked by the stimuli at a given fading level result in highly predictable changes in the discriminability of the stimuli presented in subsequent trials. If the manipulation of stimulus intensity is used during fading, the occurrence of (i) a small string of consecutive incorrect responses can result in the presentation of the same stimuli, and thus no change in stimulus intensity or discriminability, (ii) a longer string of incorrect responses can result in the subsequent presentation of stimuli that differ by a greater intensity and thus are more discriminable from each other (i.e., the backup component of a stimulus-fading procedure), and (iii) a string of correct responses results in the presentation of stimuli that differ by lesser intensity and thus are less discriminable from each other (i.e., the fading-out component of a stimulus fading procedure). Thus, each of these three patterns of responding produce distinct stimulus changes; these response-produced changes in

discriminative stimuli (RPCIDS) constitute a clear contingency between response-accuracy and stimulus change. If such a change functions as a reinforcer, it could account for the acquisition of the discriminations during the yoked-control condition. Further, since the same condition exists in all stimulus-fading protocols, response-produced changes in discriminative stimuli might also influence the acquisition of the discriminations during stimulus-fading.

But, could RPCIDS be functioning as reinforcing stimuli in the YC condition and also in stimulus-fading? For typically functioning adults and college students, it is most likely that these responses produced stimulus changes have rich behavioral histories that are correlated with the delivery of explicit reinforcers. Thus, the changes in the intensity of the discriminative stimuli probably acquired conditional or generalized reinforcing value (Donahoe & Palmer, 1994). This surmise is also compatible with the notion presented by Keller and Schoenfeld (1950) and Vandbakk, Skorge Olaff, and Holth (2019) that stimuli which come to function as SDs (in this case, the set of S+s and S-s presented at a given fading level) also function as conditional or generalized reinforcers (SrD s) and, thus, can strengthen the responses that produce them.

Assuming that RPCIDS could act as reinforcers, they could account for the establishment of the discriminations during the yoked-control condition. In addition, if discriminations are acquired in the yoked-control condition, it is likely that they would require more training trials and more errors than those observed during the SF condition. Thus, the categorical and quantitative outcomes in the yoked-control condition could be used to assess the hypothesis that response-produced changes in discriminative stimuli (RPCIDS) can produce discrimination learning in the context of stimulus-fading.

In the present experiment, each participant attempted to learn up to eight increasingly difficult luminance-based discriminations. In the stimulus-fading group (SF), video-clip reinforcers were presented based on accuracy of responding. In addition, advancement from

fading level to fading level was based on accuracy of responding to the S+s and S-s presented in a given fading level - i.e., on response contingent stimulus change. In the yoked-control condition, the video-clip reinforcers presented in a trial were based on the delivery of video-clip reinforcers to a matched-participant in the SF condition and not on the accuracy of responding made by the participant in the YC condition. Thus, the density and temporal order of delivering video-clip reinforcers would be the same for matched participants in each condition, and could not account for any differences in discrimination learning across conditions.

On the other hand, advancement during the YC condition was based solely on accuracy of responding to the stimuli presented in a given fading level. Acquisition of all or some of the discriminations in the yoked-control condition would provide preliminary support for the hypothesis that the learning of each of these discriminations depended on the reinforcing effects of a response-contingent change in the discriminative stimuli that occurred when moving from one fading level to another.

Finally, the acquisition of any discrimination depends on observing the relevant dimensions of the discriminanda (Dinsmoor, 1995; Dube et al., 2016; Wyckoff Jr, 1952). Eye movements such as saccades and fixations are considered to be observing responses and can be manipulated by contingencies of reinforcement (Rosenberger, 1973; Schroeder & Holland, 1968; Stritzke, Trommershäuser, & Gegenfurtner, 2009). We ensured the observation of the discriminanda by use of an “eye-gaze” operant. This required the participant to focus on a particular stimulus on the display screen and then move it to a target location by a shifting of focus in that direction, which, in turn, dragged the stimulus along from its starting location to the target location. These changes in eye gaze, focus or fixation were operationalized by use of eye-tracking technology, and ensured that the individual was observing the stimuli presented on all trials.

2.2. Experiment 1: Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent stimulus change in Adults

Method

Participants

Participants in the experiment were 40 volunteers, aged from 19 to 41 years old (mean = 25). Eleven were students in a speech therapy program and received course credit for participating in the study. The others had varied backgrounds and just volunteered to be participant in the experiment. When asked, 26 participants said that they had normal vision. In the stimulus fading condition, four were myopic, and one was myopic and astigmatic. In the yoked control condition, five were myopic, and four were myopic and astigmatic. All the participants who were both myopic and astigmatic wore corrective glasses. All participants had normal color vision, as documented by their performances on items 8, 11, and 13 of the Ishihara test for color blindness (Ishihara, 1960), which was administered at the end of the experiment. Participants were also provided their consent by signing a document in which their rights were explained along with a brief description of the experiment.

Twenty of the 40 participants were assigned at random to the SF condition¹, while the remainder was assigned to the YC condition. In addition, each participant in the YC condition was paired with, or “yoked to”, one participant in the SF condition. These pairs are indicated in Figures 2, 3, and 4. Due to a programming error, however, participants 78 and 109 in the YC

¹ The twenty adult participants receiving stimulus fading are the same as in study 1.

condition were inadvertently matched to participant 15 in the SF condition. Thus, Participant 80 in the SF condition was not assigned a matched participant in the YC condition.

Apparatus and Stimuli were identical to those used in **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.**

Procedure

We used the same **discriminative stimuli, response accuracy, reinforcement contingencies, eye gaze operant and reinforcer presentations** as Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.

Experimental Design

Before training, participants were exposed to a calibration procedure and then were given preliminary training in which they learned to use eye gaze as an operant to move the discriminanda and activate the feedback stimuli on each trial. Thereafter, the participants were assigned to either the stimulus fading condition (SF) or the yoked control condition (YC) on a block randomized basis. Finally, each participant in the YC condition was matched one participant in the SF condition, on a random basis without replacement. Then, participants were given training in the SF or YC condition as per group assignment.

Calibration, Preliminary Training and Stimulus Fading condition were conducted as in **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.**

Yoked control (YC). Each participant in the yoked-control condition was paired with one participant in the stimulus-fading condition. As in the SF condition, the task involved a simultaneous discrimination in which each trial contained an S+ and an S-. A successful trial

was defined by the moving of S+ (the brightest stimulus – 100% luminance) into the target. A participant in the yoked-control procedure was presented with the same total number of trials as that administered to the matching participant in the SF condition. In addition, the yoked-control participants received feedback (videos and black outs) on the same trials as their matched pair participant in the fading condition. This occurred regardless of the accuracy of responding by the yoked participant on the same trial. Video-clip reinforcers, then, were presented independent of the behavior of the YC participant on any trial.

Finally, an increase in the luminance of S- was produced by the occurrence of accurate responses on five consecutive trials at a given fading level, whereas inaccurate responses did not produce these changes. Thus, a contingency existed between response accuracy and a change in S- luminance. Reinforcement by video-clip in the yoked-control condition, then, was nominally independent of response accuracy on any trial, and precisely matched the pattern and number of film clips presented to the participants in the stimulus-fading condition. Finally, the entire YC experiment was completed in one session, and ended when a participant earned the same number of film clips that had been presented to the matched SF participant or had learned the discrimination at all eight fading levels.

Data recording. The program recorded accuracy of responding on each trial during the experiment, along with the stimuli presented on each trial. Sometimes a trial was canceled because (i) a stimulus was displaced out of the screen, (ii) there was a missing eye tracking signal, or (iii) a blink occurred, which was determined by a momentary loss of pupil identification by the eye tracking software. Canceled trials were excluded from any analysis of trials that were terminated by correct or incorrect responding.

Results

Likelihood of Discrimination Learning

Overall effects. In this experiment, because each participant in the YC condition was paired with one participant in the SF condition, both were presented with the same temporal distribution and density of video-clip presentations. Thus, any differences in the number of discriminations that were acquired could be attributed to the presence or absence of the contingency of reinforcement. **Figure 2.1** illustrates the number of discriminations learned by each participant for each pair of matched participants.

When considered in terms of condition, regardless of matched participants, the discriminations were acquired in all eight fading levels by **90%** and **10%** of the participants in the SF and YC conditions, respectively, an 80% difference that was statistically significant (Fisher's Exact Test, $p < .0001$). An intermediate number of discriminations were acquired (2 through 7) by 10% and 55% of the participants in the SF and YC conditions, respectively, a 45% difference that was also statistically significant (Fisher's Exact Test, $p = .0057$). Finally, no discriminations were acquired by 35% of the participants in the YC conditions. In general, then, more discriminations were learned during stimulus fading than during the yoked control condition.

Performances of matched participants. The data in Figure 2 also permitted a comparison of performances for matched participants. For the two left-most pairs, the participants in both conditions acquired the discriminations at all eight fading levels. For the next 16 pairs of matched participants, all of the participants in the SF condition learned the discriminations in each of the eight fading levels. Of the 16 matched participants in the YC condition, nine acquired the discriminations in 5 to 2 fading levels, while seven did not learn any discriminations. Finally, the two remaining pairs of participants acquired discriminations

at only some of the fading levels in each condition. One of the YC participants learned discriminations at more fading levels than his matched participant in the SF condition. The reverse pattern occurred with the other YC participant.

Finally, we conducted a quantitative analysis of the differences in number of fading levels that resulted in discrimination learning by each SF and YC participant in a matched pair (e.g., 8 vs 0, 8 vs 2, etc.). These differences were significant when assessed with a matched pairs t-test ($t(19) = 6.892, p < .0001$). In addition, these results were observed in the context of different distributions of video-clip reinforcers across pairs of participants.

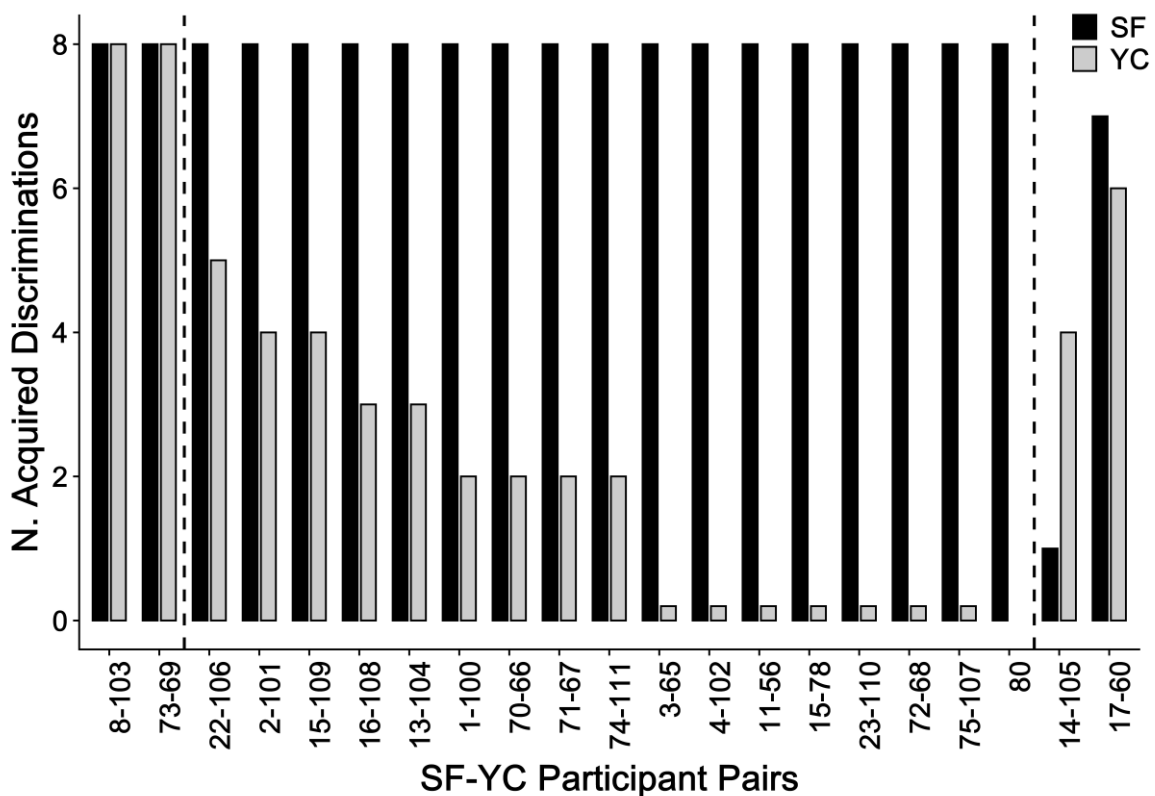


Figure 2.1. Number of discriminations acquired in the SF and YC conditions for pairs of participants who were matched by temporal distribution and density of presented reinforcers. The x-y values on the abscissa refer to the participants in the SF and YC conditions, respectively. Participants are ordered - left to right- in terms of number of fading levels in which discriminations were acquired in the SF condition, and within that sorting, number of fading levels in which discriminations were acquired by the matched participants in the YC condition. Due to scheduling errors, Participant 80 was not assigned to a matched YC participant, and two YC participants were paired with Participant 15 in the SF condition.

Pre-existing repertoires and learning. The analysis presented in **Figure 2.1** documented variations in the performances produced by participants in the same condition. To what extent, then, were these variations due to the presence of different preexisting stimulus control repertoires? That was addressed by measuring the number of trials needed to acquire the eye gaze operant during preliminary training: a repertoire that was common for all participants in the experiment. That information was depicted in **Table 2.1**. Both the SF and YC conditions showed very low correlations with the trials needed to acquire the discrimination during preliminary training and the learning of the discriminations at all eight fading levels in the SF condition ($r = .162$, $p = .495$), or the YC condition ($r = .175$, $p = .474$) Thus, the trials needed to establish a stimulus control repertoire during preliminary training did not influence the learning of the discriminations at all eight fading levels in either the SF or YC condition.

In addition, a pre-existing stimulus control repertoire acquired in the same number of trials might have influenced the likelihood of learning the discriminations in all eight fading levels in the SF and YC conditions. In fact, participants who acquired the eye gaze operant in the same or similar number of trials during preliminary training were very likely to learn the discriminations in all eight fading levels during SF, and were very unlikely to learn them during the YC condition (e.g., after acquiring the eye gaze operant in 19 trials, 100% and 0% of participants in the SF and YC conditions learned the discriminations at all fading levels). Therefore, variations in the “strength” of a pre-existing repertoire was not a likely determinant of the performances observed during the SF and YC conditions. Rather, the differential performances produced during the SF and YC conditions could be attributed to the contingencies of reinforcement that prevailed in each of these conditions.

Discrimination learning with contingent reinforcement alone. The learning of a discrimination in fading levels 2 through 8 could reflect the effects of contingent video-clip reinforcement, as well as response produced changes in fading levels.

Table 2.1. *Speed of learning the eye gaze operant and acquisition discriminations in all eight fading levels in a condition.*

ID	Trials	Condition	8 FLs	%SF/8FLs	%YC/ 8FLs
2	18	SF	Y	100	0
74	18	SF	Y		
102	18	YC	N		
4	19	SF	Y	100	33
15	19	SF	Y		
16	19	SF	Y		
65	19	YC	N		
56	19	YC	N		
103	19	YC	Y		
8	20	SF	Y	67	0
14	20	SF	Y		
23	20	SF	N		
68	20	YC	N		
15	21	SF	Y	50	0
111	21	YC	N		
108	21	YC	N		
13	22	SF	Y	100	0
106	22	YC	N		
1	23	SF	Y	100	0
78	23	YC	N		
75	24	SF	N	0	100
69	24	YC	Y		
104	26	YC	N	100	0
72	27	SF	Y		
110	28	YC	N		
17	29	SF	Y	100	0
20	29	SF	Y		
80	30	SF	Y	100	0
107	32	YC	N		
109	37	YC	N	na	0
100	39	YC	N		
67	41	YC	N		
101	44	YC	N		
11	50	SF	Y	100	0
3	58	SF	Y		
71	63	SF	Y	100	0
66	63	YC	N		
105	63	YC	N		
73	83	SF	Y	100	0
60	103	YC	N		

Note: Trials = Number of trials needed to acquire the eye-gaze operant during preliminary training. 8 Discs: Discriminations acquired at all eight fading levels. %SF/8Discs = Percentage of participants in SF condition who acquired the discriminations in all eight fading levels, %YC/8Discs = Percentage of participants in the YC condition who acquired the discriminations in all eight fading levels. na = Not Available. Each gray and white cluster designates a group of participants whose performances were used in the determine the percentage of participants, matched by identity or similarity of acquiring the eye gaze operant, who then acquired all eight discriminations in the SF and YC conditions.

In contrast, the discriminations learned in the first fading level in the SF and YC condition had to reflect the isolated effect of contingent and non-contingent video-clip reinforcement alone. Specifically, the first discrimination was learned by 20 of 20 participants in the SF condition and 13 of 20 in the YC condition, a significant difference (Fisher Exact Test, $p = .0042$). Thus, the explicit contingency of reinforcement alone influenced the likelihood of learning a discrimination, absent any effect of stimulus fading.

Discrimination learning in the absence of video-clip reinforcement. The data obtained during the YC condition was used to assess the likelihood of learning a discrimination in the absence of the response-contingent effect of video-clip reinforcement. At least one such discrimination was learned by 13 participants in that condition (see Figure 2). When aggregated, 64 fading levels were administered to these participants and 53 occasioned the acquisition of the prevailing discriminations. Theoretically, since response-contingent video-clip reinforcement was absent at these fading levels, none of should have led to the acquisition of any discriminations. A Chi Square goodness of fit analysis shows a significant difference between the empirical (53 of 64) and theoretical (0 of 64) outcomes ($\chi^2(1) = 43.8, p < 0.001$). Therefore, discrimination learning had to be produced by a factor other than the video-clip contingency of reinforcement. In the present experiment, the most likely option would be the response-produced change in discriminative stimuli.

Quantitative Analysis of Discrimination Learning

The prior analyses indicated how the likelihood of discrimination learning was influenced by the SF and YC conditions. It did not, however, indicate how the SF and YC conditions influenced the number of trials needed to acquire each discrimination in terms of learning speed or the number of errors that occurred while learning each discrimination. Nor did it evaluate the patterns of responding that emerged when a participant did not acquire a discrimination.

The next three sections explored how the SF and YC conditions influenced all of these quantitative variables.

Speed of discrimination learning. The number of trials needed to acquire the discriminations at each fading levels are illustrated in **Figure 2.2**, with data for each participant-pair presented in the same order as in **Figure 2.1**. For each participant trials to acquisition were averaged across the discriminations that were formed, and did not include the string of trials used to define mastery. Using this metric, medians of 17.5 and 49 trials were needed to acquire the discriminations in the SF and YC conditions, respectively. Thus, acquisition occurred more rapidly during stimulus fading than yoked control training. This difference was significant (Wilcoxon Mann-Whitney (69), $p = 0.017$). Of note, this occurred even though more discriminations were learned in the SF condition than in the YC condition. Thus, stimulus

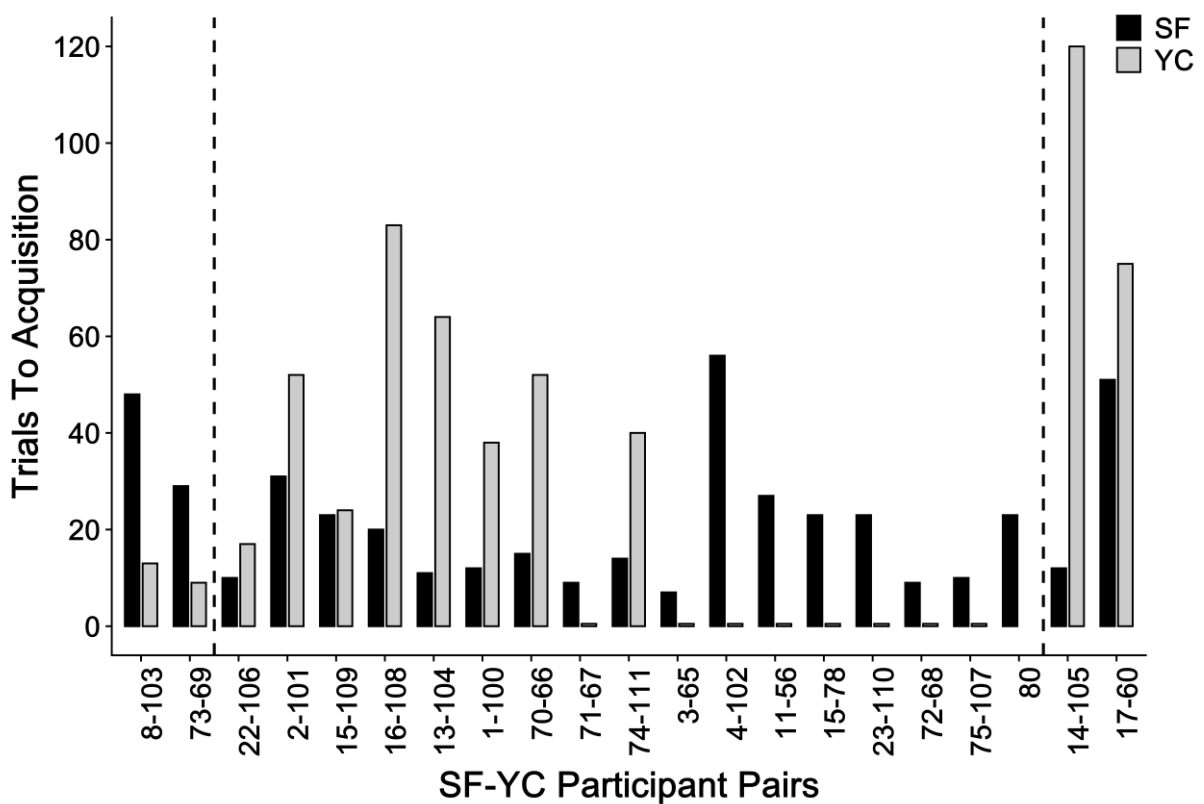


Figure 2.2. Number of trials to acquire the discriminations in the SF and YC conditions for pairs of participants who were matched by temporal distribution and density of presented reinforcers. The x-y values on the abscissa refer to the participants in the SF and YC conditions, respectively.

fading influenced both the likelihood (see **Figure 2.1**) and speed of discrimination learning (see **Figure 2.2**).

Errors during discrimination learning. Each panel in **Figure 2.3** depicts the number of errors made at each fading level, during the acquisition. The black and gray bars are for the participants in the SF and YC conditions, respectively. The discriminations at some fading levels were not acquired, each of which was indicated by an X. Because that event terminated a session, no more data points were included in a panel.

In general, the acquisition of the discriminations occurred with relatively few errors in the SF condition and with many more so in the YC condition. The range of errors to acquisition varied from zero to 28 per fading level. This distinction was quantified by considering the discriminations acquired with no errors, and those acquired with more than five errors.

In the SF condition, 152 discriminations were formed across all participants, of which 52% (83 of 152) were acquired with 0-errors. In the YC condition 53 discriminations were formed across all participants, of which 29% (18 of 53) were acquired with 0-errors. This difference in prevalence of errorless learning was significant (Fisher Exact Test, $p = .027$). In the SF condition, 8% of the discriminations (12 of 152) were acquired with the occurrence of many errors (at least 5). In YC condition, however, 36% of the discriminations (19 of 53) were acquired with the occurrence of many errors. Again, the difference in prevalence of learning in the context of many errors was significant (Fisher Exact Test, $p < .0001$).

The initial discrimination, that established in FL-1, was not preceded by other training procedure. Thus, the performances generated in that fading level provided an unencumbered measure of the effect of the contingency of reinforcement on learning speed. Of the 13 instances in which comparisons could be made, six showed many fewer errors during acquisition in the

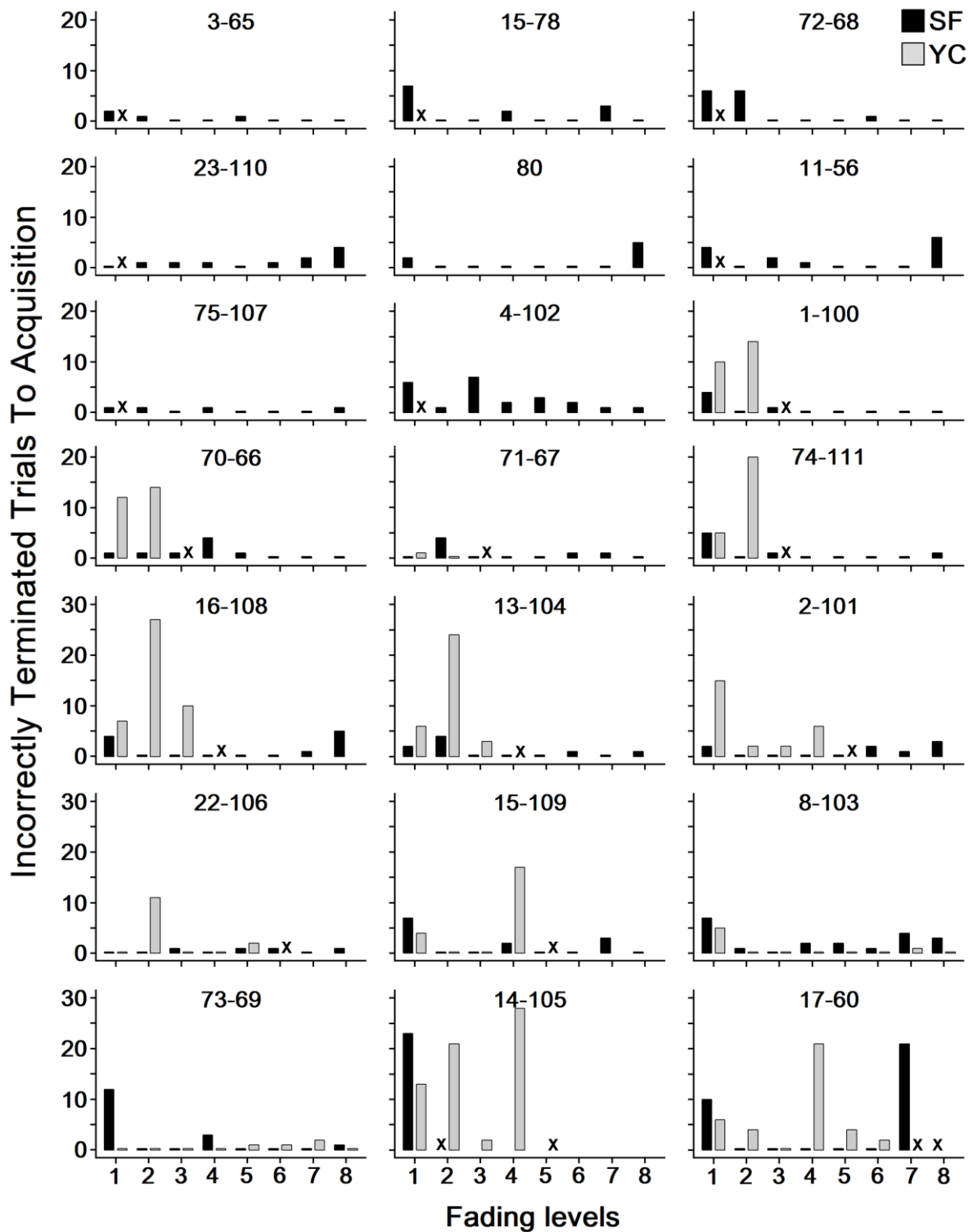


Figure 2.3. Number of errors emitted at each fading level while training the discriminations at FL-1 through FL-8. Each panel is for a matched pair of participants. Discriminations learned with no errors are indicated by bars near zero. Failed discriminations indicated by Xs. Panels are ordered in increasing prevalence of errors first from left to right and then from top to bottom.

SF condition than in the YC condition, two showed the same prevalence of errors in each condition, and five showed more errors during acquisition in the SF condition than the YC condition. Thus, the two conditions did not systematically influence error prevalence during the acquisition of the initial discrimination.

Failed acquisitions. In the SF and YC conditions, two and 18 participants, respectively, did not learn one of the discriminations. **Table 2.2** contains an analysis of the performances observed during each of these failed discriminations. Across fading levels, the discriminations did not form after training with 6 to 145 trials. Seven of the participants did not acquire the discrimination in Fading level -1, which each of the remaining 13 participants did not acquire a discrimination after previously learning one to seven easier discriminations.

Although these discriminations were not completely acquired, it is possible that continued training might have produced some learning. This was assessed by calculating accuracy of responding for the first and last 12 trials for each failed discrimination, except for participants 101, 104, and 108. Because each of them was presented with up to 24 trials, accuracy was based on the first and second half of the trials presented at the failed fading level.

For 17 of the participants, the differences in accuracy between the initial and final block were not significant. Thus, extended training did not result in the partial acquisition of the discriminations. For three other participants, however, the changes in accuracy were statistically significant. With Participants 56 and 68, the initial and final blocks produced intermediate and 0% accuracies, respectively. Conversely, for Participant 67, the initial and final blocks produced near zero and intermediate level of accuracy, respectively.

Table 2. The fading levels in which the *discriminations were not acquired*.

Cond.	ID	FL	Trials	Initial Accuracy:	Final Accuracy:	Chi Square
YC	106	6	33	54	75	Ns
YC	78	1	104	50	68	Ns
SF	17	8	42	67	67	Ns
YC	108	4	6	33	67	Ns
YC	110	1	104	67	58	Ns
YC	104	4	14	43	57	Ns
YC	100	3	38	67	50	Ns
YC	66	3	36	67	50	Ns
YC	65	1	93	50	50	Ns
YC	60	7	24	50	50	Ns
YC	111	3	39	42	50	Ns
SF	14	2	145	33	50	Ns
YC	107	1	96	57	43	Ns
YC	109	5	40	50	42	Ns
YC	105	5	42	42	42	Ns
YC	101	5	20	60	40	Ns
YC	102	1	105	42	25	Ns
YC	56	1	102	58	0	0.002
YC	68	1	98	33	0	0.03
YC	67	3	78	8	31	0.03

Note: Cond = Condition. ID = Participant identifier. FL = Fading level in which the participant did not acquire the discrimination. Trials = number of trials presented at the designated fading level. First and Last = Percentage of correct responses emitted during the during the first and last cluster of trials in the block. For all participants but 101, 108 and 104, Initial and Final were based on the first and last 12 trials. For the others, accuracy was based on the first and second halves of the trials in the block.

Discrimination Learning and Non-Contingent Video-Clip Reinforcement

Delta P Analysis and discrimination learning. It is assumed that to learn a discrimination, accuracy of responding must be highly correlated with the difference in the probability of reinforcement produced by a correct response [$p(Sr/Correct R)$] and the

probability of reinforcement produced by an incorrect response [$p(Sr/\text{incorrect } R)$] (Rescorla, 1980). This difference was called Delta P and is defined by the formula:

$$\Delta p = p(Sr | \text{Correct } R) - p(Sr | \text{Incorrect } R)$$

When the former and latter probabilities are equal to 1.0 and 0.0, Δp is equal to 1.0 and discrimination learning should occur. When the former and latter probabilities are similar to each other, e.g., 1.0 and 1.0 or .2 and .2, or .3 and .2, Δp s approximate 0.0, and discrimination learning should not occur. In addition, if the former probability is less than the latter - e.g., 0.3 and 1 -, Δp s would be negative, and once again, discrimination learning should not occur. Thus, we computed Δp values for the video-clip reinforcement of the performances for all fading levels in the experiment to determine the correspondence of discrimination learning and the value of the corresponding value of Delta P.

SF condition. By design, the Δp values were equal to 1.0 for all participants in the SF condition. For 18 of the 20 participants in this condition, the discriminations were acquired in all eight fading levels. These results then are consistent with the predicted effects of a Δp analysis. Unexpectedly, however, the two remaining participants in the SF condition did not learn all of the discriminations even though Δp was equal to 1.0. The reason for this counterintuitive finding is not clear and will be considered in the Discussion.

YC condition. In the yoked-control condition, because the probabilities of video-clip reinforcement for correct and incorrect responses should be very similar to each other, the combination should produce Δp s that approximate zero. Assuming that contingent video-clip reinforcement is necessary for operant discrimination learning, none of the participants in the YC condition should acquire discriminations at any fading level.

This prediction was evaluated for each fading level presented to each YC participant, with the data included in Table 3. For each fading level, **Table 2.3** indicated whether the

discrimination was acquired along with the Delta P value generated by the stimuli at that fading level. Seven of the participants (65, 56, 78, 68, 102, 107, and 110) did not learn the discriminations at even the first of the fading levels, and the trials presented at that fading level produced zero or near-zero Delta P values (0 or -.1).

The 13 remaining participants produced a strikingly different set of outcomes. When viewed descriptively, they acquired an aggregate of 53 discriminations across 1 to 8 fading levels. Of these 53, 20 discriminations were acquired in the context of near zero Delta P values (0 or +.1), 16 were acquired in the context of low Delta P values (.2 or .3), 4 more were acquired in the context of intermediate Delta P values (.4 to .6), and the remaining 13 fading levels were acquired in the context of high Delta P values (.8 to 1.0).

When aggregated for low values of Delta P (0 to .3), discriminations were acquired at 70% (37 of 53) of the fading levels in the YC condition and were accompanied by low Delta P values. Theoretically, none of these discriminations should have been acquired. The difference between the obtained (37 of 53) and predicted (0 of 53) outcomes were significantly different from each other (Pearson's chi square goodness of fit, $p < .0001$). An explanation of these unexpected outcomes will be considered in the Discussion section.

In addition, high Delta P values should not have occurred at any fading level in the YC condition. Actually, this occurred in 13 of the fading levels each of which also occasioned the acquisition of the corresponding discriminations. The difference between the obtained (13 of 53) and predicted (0 of 53) programming of high Delta P values in the YC condition were significantly different (Chi Square goodness of fit, $p < .0001$), implying that they were not events that occurred by chance. This unexpected outcome will be considered in the Discussion.

A final way of characterizing the data for the participants who did not learn the discriminations at all eight fading levels was to consider the number of consecutive fading

Table 3. Delta P values for each YC participant at each fading level.

Participant	Fading Level	P/ F	Δp	Participant	Fading Level	P/ F	Δp
56	1	F	0.1	101	1	P	0.0
78	1	F	0.1		2	P	0.2
102	1	F	0.1		3	P	0.9
107	1	F	0.1		4	P	0.3
65	1	F	0.0		5	F	0.2
68	1	F	0.0	60	1	P	0.0
110	1	F	0.0		2	P	0.0
111	1	P	0.2		3	P	1.0
	2	P	0.0		4	P	0.0
	3	F	0.0		5	P	0.3
100	1	P	0.1		6	P	0.6
	2	P	0.1		7	F	0.1
	3	F	0.1	109	1	P	0.3
104	1	P	0.0		2	P	0.8
	2	P	0.1		3	P	1.0
	3	P	0.1		4	P	0.1
	4	F	0.1		5	F	0.1
108	1	P	0.0	69	1	P	0.2
	2	P	0.1		2	P	0.6
	3	P	0.1		3	P	0.2
	4	F	0.1		4	P	0.6
105	1	P	0.1		5	P	0.3
	2	P	0.0		6	P	0.0
	3	P	0.3		7	P	0.2
	4	P	0.0		8	P	0.2
	5	F	0.1	106	1	P	1.0
66	1	P	0.1		2	P	0.2
	2	P	0.1		3	P	1.0
	3	F	0.4		4	P	1.0
67	1	P	0.3		5	P	0.2
	2	P	0.4		6	F	0.1
	3	F	0.0	103	1	P	0.3
					2	P	0.8
					3	P	0.8
					4	P	1.0
					5	P	0.8
					6	P	0.8
					7	P	0.3
					8	P	1.0

levels that produced discrimination learning in the context of low Delta P values for individual participants. These discriminations were acquired in consecutive strings of four fading levels

for Participants 105 and 69, in strings of three fading levels for participants 104, 108, and 60, and in strings of two fading levels for Participants 66, 100, 111, 67, and 101.

Fourth, Table 2.1 characterizes Delta P values that prevailed during the acquisition of the discriminations at each fading level. This was accomplished by listing the number of participants who acquired the discrimination at a given fading level, partitioned in terms of the prevailing Delta P value during those acquisitions. When viewed in the context of low and high values of Delta P, the discriminations were acquired by 12 and 1 participants in FL-1, 9 and 2 participants in FL-2, 4 and 5 participants in FL-3, 5 and 2 participants in FL-4, 3 and 1 participants in FL-5, and equal numbers of participants in FLs 6 through 8. Finally, very few participants acquired the discriminations at other values of Delta P across all fading levels. In general, then, the prevalence of discrimination learning with low values of Delta P was inversely related to fading level.

Table 2.1 Number of participants in the YC condition who acquired a discrimination at a given fading level and the Delta P that resulted that acquisition

FL	Delta P																
	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6
1	1							1	1	1	4	2	1	2			
2			2		1		1			3	3	1	2				
3	3	1	1					1	1			2					
4	2							1			2	1			1		
5			1										1	2			
6			1								1						1
7			1										1				
8	1								1								
Sum	7	1	6		1		1	3	3	4	10	6	5	5			1

Cancelled trials. Occasionally, a trial was cancelled for one of the reasons enumerated in the Method section. It is possible, however, that the prevalence of cancelled trials might have

been influenced by training condition (i.e., SF or YC). This was analyzed by computing the percentage of cancelled trials that occurred relative to the total number of trials used during each condition. On average, 9 and 11% of the trials were cancelled in SF and YC conditions, respectively. Because that difference was not significant ($\chi^2(5) = 1.114$, $p = 0.2911$), the prevalence of cancelled trials was not influenced by experimental condition.

Discussion

Major findings. In both the SF and YC conditions, participants could acquire up to eight increasingly difficult discriminations. All were acquired by 18 of 20 participants in the SF condition, and by only two of 20 in the YC conditions. These results indicated that these yields were directly correlated with the presence and absence of the contingency of reinforcement by video-clip. Therefore, acquisition of the discriminations in the SF condition could be attributed to the presence of the contingency of reinforcement. Additionally, when the discriminations were acquired, they did so with a higher proportion of errors in the YC condition than the SF condition. This also could be attributed to the absence and presence of the contingency of video reinforcement in the YC and SF conditions, respectively.

An analysis of the performances produced in each fading level in the YC condition showed that many of the individual discriminations were acquired even though all eight were not. These results suggested that another contingency of reinforcement was responsible for discrimination learning at these fading levels where responding to S+s and S-s was unrelated to the presentation of video reinforcers, i.e., in the context of near zero Delta P values. In addition, a small percentage of fading levels in the YC condition occasioned the acquisition of discriminations in the context of very high Delta P values; i.e., where there was a high correlation of reinforcement by video-clip and response accuracy; even though it was not actually scheduled. Each of these points will be considered in the following sections.

2.3. Experiment 2: Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent stimulus change in children

Method

Participants

Participants were 8 children recruited in a French school across two scholar years, ranging in age from 5 years old to 6.5 years old. One of those 8 children was both astigmatic and farsighted, information asked to parents. Both parents and children provided their consent by signing a document in which their rights were explained along with a clear description of the experiment for the parents. Before each session the child was told that he could leave at any moment.

Four children were assigned at random to the Stimulus Fading condition (SF) and four children to the Yoked Control condition (YC). A dim or the original background was also assigned at random to the SF participants. The YC participant received the same background as their SF pair.

The method was similar to that used in **Experiment 1** with the following modifications:

- 3 pairs received a dim background ($H = 0^\circ$, $S = 0\%$ and $V = 27.5$) and 1 pair original background ($H=0^\circ$, $S=0\%$ and $V=15.7\%$).
- The eye-tracking system was set up at a sampling rate of 250 Hz in order to minimize loss of connection with eye tracking.
- The experiment was conducted in the school, in the director office with a laptop Hewlett-Packard EliteBook Folio 9470m.
- The calibration was automatically validated and a star was used to replace the point in order to enhance the quality of the calibration and thus the reception of signal.

- Preliminary training was identical to previous experiments with children.
- Every 12 minutes a break was proposed with a maximum duration of 5 minutes, to prevent a potential fatigue effect.
- Each condition last until a criterion of a string of 5 successive trials was achieved when the S+ was at 100% and the S- 90%, or a total of 200 trials was achieved.

Threshold measurement. The luminance threshold was measured after the second condition, using a staircase method (Cornsweet, 1962). Participants were asked to select by clicking with the mouse the brightest square. The following instructions were given “You will see two red squares. Take your time, there is no wrong answer and select the one you see as the brightest.” One of the squares was at 100% of luminance, and the other started at 70% of luminance. The difference between the two squares was reduced or increased step by step by modifying the luminance of the dimmer square. The 1 up 1 down method was conducted. Thus, when the brightest stimulus was chosen, the difference was reduced of 1% of luminance and when the dimmer was selected, the difference was increased of 1%. The threshold measurement stopped when the less bright stimulus reached 95% thus a difference of 5%, or 80 trials were achieved. The position of the stimuli between left and right was truly randomized.

Results

Pairs 12-16, 19-21 and 3-9 received a dim background and pairs 1-3 received the original background. The effect of background color was investigated in a further study.

Likelihood of Discrimination Learning

Overall effects. Each participant in the YC condition was paired with one participant in the SF condition. Both participants in the YC condition and the SF condition received the same temporal distribution and density of reinforcers. The number of discriminations learned by each participant for each pair of matched participants is illustrated in **Figure 2.4**. Considering the

conditions, discriminations in all eight fading levels were learned by 4 of 5 (75%) participants in the SF condition and 1 of 5 (25%) participants in the YC condition. A difference that is not statistically significant, Fisher's Exact Test, $p = 0.486$. A total of 26 discriminations was learned by SF participants while 18 discriminations were learned by YC participants.

Performances of matched participants. For 2 of the 4 matched participants, the SF participants learned the discriminations in each fading level while their matched participant in the YC condition learned from 3 to 4 discriminations. For one pair, both SF and YC participants learned all eight discriminations. For the last pair, 2 discriminations were learned by the participant in the SF condition and 3 by his matched participant in the YC condition.

Pre-existing repertoires and learning. The number of trials needed to acquire the eye gaze operant during preliminary training is depicted in **Table 2.2**. A minimum of 23 trials were needed. Two SF participants learned the target behavior with 23 and 24 trials, thus, with a minimum of trials, and learned the eight fading levels. Three YC participants learned the eye gaze operant with 40 to 45 trials, and 1 of them learned all the fading levels. One SF participants acquired the eye gaze operant in 42 trials and did not learn all the fading levels. Finally, the two remaining participants needed more than 50 trials and the participant in the YC condition did not learn the eight fading levels. Thus, some pre-existing could have influenced the acquisition of the subsequent discrimination but, with a limited number of subjects the interpretation is not relevant.

Table 2.2 *Speed of learning the eye gaze operant and acquisition of eight fading levels in a condition.*

	All trials	Condition	8 FLs+
12	23	SF	Yes
19	24	SF	Yes
8	40	YC	No
16	42	YC	No
1	42	SF	No
9	45	YC	Yes
21	56	YC	No
3	73	SF	Yes

Discrimination learning in the absence of video-clip reinforcement. The first fading level in both SF and YC condition reflected the isolated effect of contingent and non-contingent alone. In this first condition, stimulus change was not yet experienced. The first discrimination was learned by all participants in both SF and YC conditions. Therefore, the contingency of reinforcement did not influence the likelihood of learning discrimination in this case.

In the YC condition, no reinforcement contingency was provided and this condition was used to assess the probability of learning discrimination in the absence of an explicit contingency of reinforcement. When aggregated, 18 fading levels were learned on the 22 administered were learned by these participants. If reinforcement has been necessary to learn these discriminations, none of these should have been learned. Thus, the acquisition might have been produced by some factor that was in the YC condition.

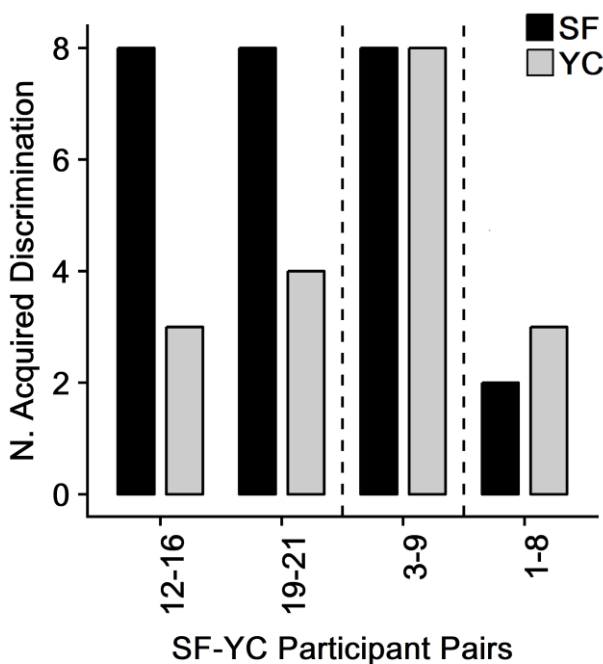


Figure 2.4. Number of discriminations acquired in the SF and YC conditions for pairs of participants who were matched by temporal distribution and density of presented reinforcers. The x-y values on the abscissa refer to the participants in the SF and YC conditions, respectively.

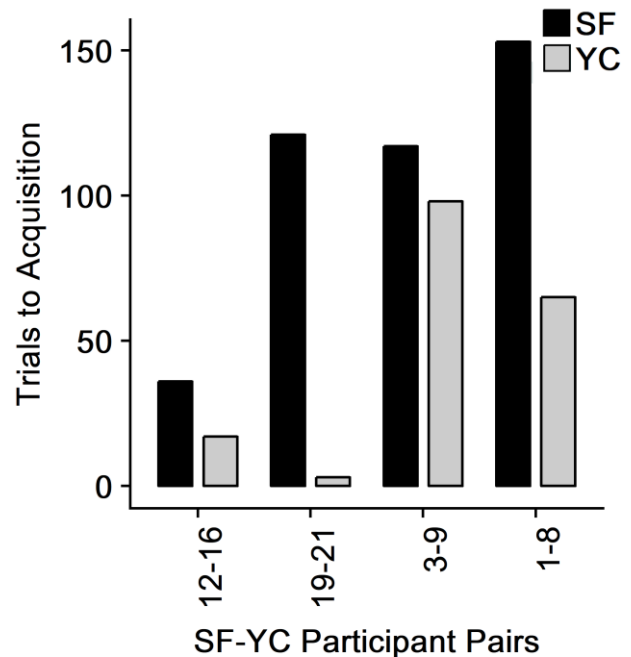


Figure 2.5. Number of trials to acquire the discriminations in the SF and YC conditions for pairs of participants who were matched by temporal distribution and density of presented reinforcers. The x-y values on the abscissa refer to the participants in the SF and YC conditions, respectively.

Quantitative analysis of discrimination learning

The present analysis focused on the influence of each condition on the number of trials and number of errors to learn the discriminations.

Speed of discrimination learning. **Figure 2.5** displayed the number of trials needed to acquire the discriminations. For each participant trials to acquisition were summed across the discriminations that were acquired and did not include the five successive of correct trials. The results are quite surprising. For all pairs, more trials were needed for the SF participant. In two pairs, the difference between the SF and YC participants was not large (12-16 and 3-9). A median of 119 trials was needed in the SF condition and a median of 41 in the YC condition. Thus, fewer trial per fading level was needed to learn the discrimination in the YC condition. A difference that was not statistically significant, $W = 14$, $p = 0.114$.

Errors during discrimination learning. The number of errors made at each fading level during training is depicted in **Figure 2.6**. The black bars are for participants in the SF condition and the gray bars for participants in the YC condition. The X indicates when discrimination was not learned. In general, the discriminations were learned with a similar number of errors in each condition. The range of errors to learning varied from 0 to 58. In the SF condition, 6 of the 26 (23%) discriminations acquired, were formed in the absence of error and 8 of 26 (30.76%) with more than 5 errors. In the YC condition, 5 of 18 (27.8%) discriminations were learned without error and 6 of 18 (33.33%) with more than 5 errors. Thus, there was no difference in errors made in both SF and YC conditions. The contingency of reinforcement did not influence the number of errors.

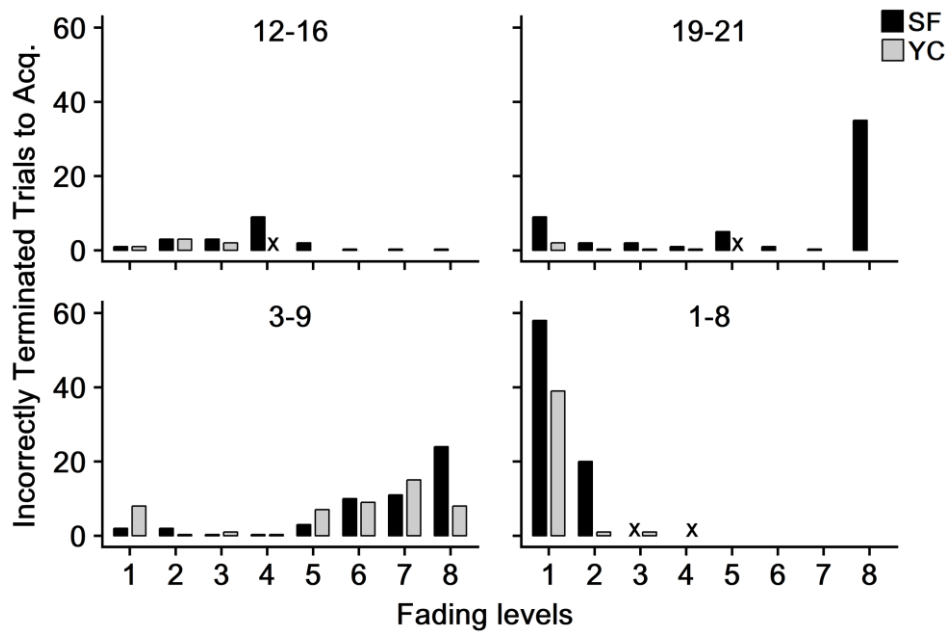


Figure 2.6. Number of errors emitted at each fading level while training the discriminations at FL-1 through FL-8. Each panel is for a matched pair of participants. Discriminations learned with no errors are indicated by bars near zero. Failed discriminations indicated by Xs.

Delta P analysis

The delta P was calculated as presented in the previous experiment:

$$\Delta p = p(Sr | \text{Correct R}) - p(Sr | \text{Incorrect R})$$

SF condition. The Δp values were equal to 1.0 for all participants in the SF condition. For 3 of 4 participants in this condition, the totally of the eight discriminations were learned. These results are consistent with the predicted effects of a Δp analysis. However, one participant did not learn all discriminations with a Δp equal to 1. Unfortunately, the threshold could not be tested for this participant.

YC condition. In the yoked control condition, the probabilities of reinforcement by video-clip for correct and incorrect responses should have been similar, resulting in a low Δp . **Table 2.1.** displayed the Δp for each YC participants for each fading level and the acquisition of the fading level.

Table 2.1. Delta P values for each YC participant at each fading level.

Participant	Fading Level	P/F	Δp	Participant	Fading Level	P/F	Δp	Participant	Fading Level	P/F	Δp	Participant	Fading Level	P/F	Δp
16	1	P	0.2	8	1	P	0	21	1	P	0.2	9	1	P	0.3
	2	P	0		2	P	0.3		2	P	0.4		2	P	1
	3	P	0.2		3	P	0.7		3	P	0.8		3	P	0.4
	4	F	0.1		4	F	0.6		4	P	0.8		4	P	1
							5		F	0.1	5		P	0.2	
													6	P	0
													7	P	0
													8	P	0

All participants learned the discrimination in the first fading level with low Δp values (0 to 0.3). Thus, there was an absence of contingency of reinforcement. Participant 16 learned the first three fading levels with a low Delta p value; the fourth fading level was not acquired with a low delta p. Participant 8 learned the discriminations in the first two fading with a low Delta p value, the discrimination in FL3 was learned with a high Δp (0.7) and the discrimination in FL4 was not also acquired with a high Δp (0.6). Participant 21, learned the discrimination in the first fading level with a low Δp (0.2), the discrimination in FL2 with a medium Δp (0.4) and the discrimination in FL3 and 4 were successively acquired with a high Δp (0.8). This participant did not learn the discrimination i FL5 with a low Δp (0.1). Finally, participant 9 acquired two discrimination in the context of a high Δp (1), one with a medium Δp (0.4) and five in the context of a low Δp .

All things considered, the discrimination learned, 11 of 18 were acquired in the context of a low Δp value. By theory, none of them (0 of 18) should have been acquired using low Delta P values. A Chi square goodness of fit was highly significant (11 and 18, vs 0 and. 18): $p < .001$. Moreover, from 2 to 4 discriminations were consecutively formed with a low Δp value.

Threshold analysis

Individual luminance difference threshold was determined by selecting the difference below which 50% of responses were on the brightest stimulus (Cornsweet, 1962).

The threshold of participants 12, 1 and 8 were not measured due to the absence of the children. All participants obtained a threshold of a minimum of 5% of luminance difference between S+ and S-. The failure in a fading level might not have been due to a difference in luminance threshold. Thus, the discrimination could have been discriminable for the five participants displayed in **Figure 2.7**.

Discussion

Four of 5 participants in the stimulus fading condition and 1 of 4 participants in the yoked control condition learned the totality of the eight discriminations. Thus, the contingency of reinforcement by video-clips played a primary role in the acquisition of all the discriminations. Some of discriminations administered were acquired by the yoked participants with a total of 18 discriminations. When considering the learned discriminations, the number of errors did not significantly differ between the SF and YC condition. This could not be attributed to the presence or absence of video-clip reinforcement.

Some factors should have been responsible for the acquisition of some discriminations in the YC condition. The analysis of the contingency showed that a lot of discriminations were learned in the absence of contingency of reinforcement by video-clip.

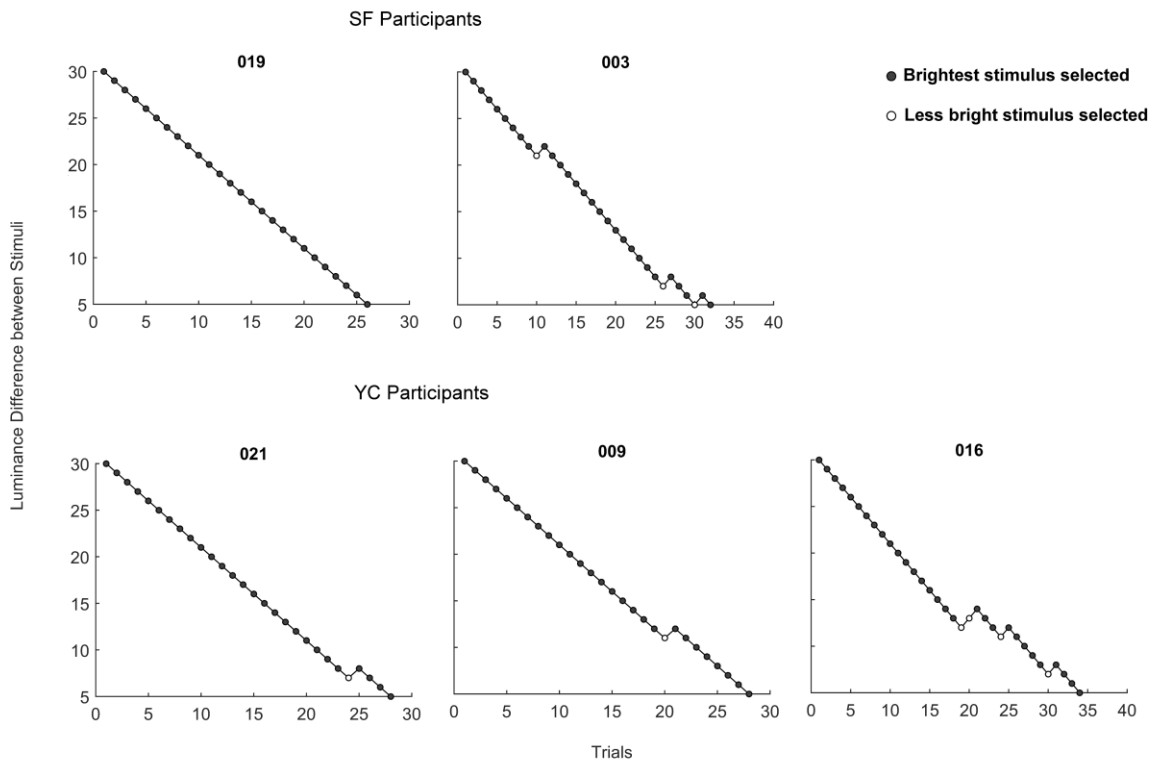


Figure 2.7. Threshold of the luminance difference between S+ and S- by participants according to their condition. Open circle indicates that the less bright stimulus was selected and the filled circle that the brightest stimulus was selected.

2.4. General Discussion of Learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent discriminative stimuli change

The present study investigated contingencies of reinforcement in stimulus fading protocol. Two conditions were designed, both with a stimulus fading based on luminance. During the stimulus fading protocol, the S- was modified across 8 fading levels after a string of five successive trials. Half participants received a stimulus fading condition in which there was a contingency of video-clip reinforcement. The other half was in a yoked control condition without contingency of video-clip of reinforcement. Both groups were exposed to a response produced changes in discriminative stimuli contingencies. Each participant in the yoked control condition was paired with a stimulus fading participants. Thus, they received the same density of reinforcement and the same temporality.

Discrimination learning and the contingency of reinforcement by video-clip. As noted in the Introduction, it has always been assumed that the acquisition of an operant discrimination has due to contact with a contingency of reinforcement; and a response to S+ occasioned reinforcement which that same response to S- would not occasion reinforcement. No experiment, however, has determined whether that factor was critical for such an outcome. The notion was evaluated by considering the first discrimination task administered in the SF and YC conditions.

A greater percentage of participants learned the initial discrimination in the SF condition than in the YC condition. Because the one factor that differentiated those conditions was the presence and absence of the contingency of reinforcement (i.e., the response contingent presentation of consequential stimuli), the difference in likelihood of learning could be attributed to that contingency. Moreover, the YC participants could receive video-clip reinforcers for both correct and incorrect response, which would have resulted in an unsolvable

discrimination. Thus, these results support the view that the differential reinforcement of responding in the presence of S+s and S-s is primarily responsible for the learning of a discrimination. The influence of the contingency based presentation of consequential stimuli (i.e., video reinforcer) could be studied by adding a condition in which no consequential stimuli were presented for any responses. The acquisition of discriminations under those conditions would document the influence of response produced changes in discriminative stimuli on discrimination learning.

Discrimination learning and the stimulus change contingency. In the adult experiment, during the YC condition, two participants acquired the totality of the eight discriminations, and 11 more acquired from one to seven discriminations for a total of 53 discriminations. Of those, 21 were acquired in the context of very low Delta P values defined as ± 0.1 . These discriminations, then, were learned where reinforcement was uncorrelated with response accuracy. When the Delta P value was relaxed somewhat to no more than 0.3, the participants acquired 35 of the 53 discriminations. In the child experiment, during the YC condition one participant acquired all the discriminations, and the 3 remaining participants learned 3 and 4 discrimination for a total of 18 discriminations. 5 of those 18 were learned in the context of very low Delta P values, and 11 were acquired in the context of a Delta P value no more than 0.3.

What was responsible for the acquisition of these discriminations when response accuracy was unrelated to the presentation of video reinforcers? It is assumed that a contingency of reinforcement is needed for the acquisition of any operant discrimination. In the context of receiving noncontingent video presentations, some other unappreciated contingency of reinforcement had been operating to account for the learning of the discriminations at fading levels in the YC condition. During the YC condition, accurate responses produced increases in the luminances of the S-s while inaccurate responses did not produce these changes. Thus, a

contingency existed between accuracy of responding and a corresponding change in the luminance of the S-.

Hypothetically, this contingency could account for the learning of these discriminations. But, for this contingency to result in the acquisition of a discrimination, these responses produced changes in luminance would also have to be functioning as conditional or generalized reinforcers. Because the individuals who were the participants in the experiment had extensive histories of reinforcement, it is likely that such changes had acquired conditional or generalized reinforcing properties (Donahoe & Palmer, 1994). Thus, it is plausible that the acquisition of some discriminations in the YC condition could be attributed to response produced changes in discriminative stimuli (RPCIDS) the unappreciated contingency mentioned above. Before accepting this hypothesis, it is necessary to consider some possible limiting conditions.

First, it is assumed that RPCIDS is, in fact, a reinforcement contingency. That could be evaluated by providing an independent measure of the generalized reinforcing function served by RPCIDS. This could be tested empirically by experimentally increase the reinforcing strength of response produced changes in discriminative stimuli. Such a manipulation should result in an increase in the number of discriminations learned during the YC condition. Such an outcome would be supportive of the view that response produced stimulus change can account for some of the discriminations acquired during stimulus fading. If it did not, however, it would still not disconfirm the notion that response produce stimulus change was responsible for some discrimination learning during stimulus fading.

Second, the YC condition documented the effects of response-produced-change in discrimination learning in the context of the administration of video-clip reinforcers, per se. To what extent was discrimination learning dependent upon the presence of these stimuli in general? This possibility can be assessed experimentally by conducting stimulus fading without the presentation of any video-clips. Acquisition of a similar percentage of discriminations at

fading levels as seen in the present YC condition would support the view that learning was dependent on response-produced-stimulus change, and not on the presence of the video-clip stimuli. Alternatively, not learning the discriminations at any of the fading levels would imply that the noncontingent presence of video-clip stimuli was a necessary context for response-produced-stimulus change to produce discrimination learning. We expect the former outcome, given a recent report in which six of eight pigeons successfully transferred stimulus control from colors to line orientations in the absence of reinforcement during stimulus-fading (Fields, 2018).

Third, the yoked control condition was designed to assess the effects of response produced stimulus change on discrimination learning, while holding constant the densities and temporal distributions of video-clip presentations across conditions. It was also assumed that yoking would result in the presentation of video-clip reinforcers that were uncorrelated with response accuracy and that would produce very low Delta P values. Thus, any acquisition of the discriminations in the YC condition would support the view that learning occurred because of response produced stimulus change only.

In fact, many discriminations were acquired in the context of low Delta P values, which supported the notion that response produced stimulus change was responsible discrimination learning. Further, it demonstrated that the acquisition of the discriminations could not be accounted for by reinforcement density and/or the temporal distribution of reinforcer presentations.

To our surprise, some other discriminations were acquired in the context of very high values of Delta P (at least 0.8). Thus, the acquisition of these discriminations could be attributed to the inadvertent correlation of responding to S+s and S-s and reinforcement by video-clip. These results, however, did not disconfirm the effect of response produced stimulus change on the acquisition of other discriminations. Rather, they indicated a limitation in the use of a yoked

control operation to study discrimination learning during stimulus fading. This problem could be resolved by substituting a truly random control (TRC) condition as described by (Rescorla (1967) for the yoked control procedure used in the present experiment. By design, the use of a TRC condition would make it impossible for responding to become correlated with the presentation of reinforcers. Of most importance, the TRC condition that mimicked the SF condition would still contain the response produced stimulus change contingency. Thus, the acquisition of some of the discriminations in the TRC condition would provide strong support for the notion that discrimination learning can be driven by the response produced stimulus change contingency.

While the use of a TRC condition would correct for the limitations of the yoked control condition, it would also produce its own problems. Specifically, a TRC condition cannot match the densities and temporal distributions of reinforcers used with participants in a stimulus fading procedure. Therefore, any differences in discrimination learning in a SF and TRC condition could be attributed to inevitable differences in the densities and temporal distributions of the reinforcers that occurred in each condition. It would appear, then, that an optimal strategy for determining the effect of response produced stimulus change on discrimination learning during stimulus fading would be to study learning with (i) a full contingency of reinforcement by video-clip (COR), (ii) a yoked control condition (YC), and a truly random control condition (TRC).

Fourth, in many fading procedures, a backup contingency was included in the event that the discrimination at a given fading level was not acquired within X trials. This contingency involved moving back to a prior fading level that included discriminanda that were more discriminable than those used in the prevailing fading level. Such a contingency has usually been included because it has been assumed that minimizing errors enhances discrimination learning. By implication, the inclusion of a backup procedure might enhance the influence of

the response produced change in discriminative stimuli, and increase the likelihood of discrimination learning in the YC condition.

To summarize, this section considered three potential limitations of the hypothesis that response produced stimulus change can influence learning during stimulus fading. For each, we have outlined experiments that could be conducted to evaluate these limitations. We also argued that none of the outcomes would rule out the predicted effects of response produced stimulus change on discrimination learning during stimulus fading. Rather, the results of the proposed experiments would identify parameters that would influence the likelihood of discrimination learning by response produced stimulus change. Finally, we noted that the inclusion of a backup contingency might enhance the effect of responses produced change in discriminative stimuli on discrimination learning.

Errors during discrimination learning. In the experiment with adults, a larger proportion of discriminations were learned with a higher absolute and relative number of errors during the yoked control condition than the SF condition. In the experiment with children, there was no difference in the number of errors in YC and SF conditions, but due to the small number of pairs (4) any conclusion could be conducted. The YC condition was characterized by the non-contingent presentation of video reinforcers while the stimulus fading condition was characterized by the contingent presentation of reinforcers. Thus, the non-contingent presentation of video reinforcers was probably a determinant of the increased prevalence of errors during the acquisition of the discriminations. This notion could be assessed by conducting stimulus fading in the absence of reinforcement by video-clip. If errors occurred less frequently than in the YC condition, the inclusion of non-contingent reinforcement by video-clip would be one of the determinants of errors during the acquisition of discriminations.

Failed discrimination learning. For adult participants who failed to learn the discrimination(s), 10 of the Initial or Final blocks showed 50% response accuracy. Although

this could reflect randomly responding to S+s and S-s, such a performance is rather unlikely to produce precisely 50% accuracy. Rather, such a specific outcome was much more likely to occur if responding was controlled by responding to stimulus position alone or stimulus preference alone. In these cases, the performances reflect forms of discriminative control that were simpler than the dimensional control of responding sought by the experiment. It is also noteworthy that these simpler forms of stimulus control emerged in the context of Delta P values that were at or near zero.

In the YC condition, participants 56 and 68 began by responding with intermediate levels of accuracy and then switched to responding in a completely inaccurate manner. These performances documented the emergence of dimensional control by luminance differences, but with responding that was opposite of that defined by the experimenter defined contingencies. All this occurred in the context of near zero Delta P values. Thus, the non-contingent presentation of reinforcers did not impede the formation of a dimensionally the luminance-based discriminations. They were counted as failures because the stimuli that were selected were always opposite to those deemed to be correct by the experimental contingencies. For these performances to have emerged, it is likely that these participants had high strength dimensionally based stimulus control repertoires that influenced responding in the context of noninformative contemporaneous reinforcer presentations. The likelihood of such an account could be illuminated by preliminary tests for the strength of dimension stimulus control topographies. It could also be manipulated by preliminary training that would explicitly strengthen those repertoires prior to the administration of YC training. If accurate, preliminary training by dimensional control based on luminance should increase the likelihood of dimensional control by luminance differences. While we do not know what stimulus control topography or topographies influenced responding on a per trial basis, it is most likely that the participants were attending to both stimuli on most trials.

Variants of stimulus fading, reinforcement, and stimulus change. Stimulus fading protocols have been administered in many variations (Moore & Goldiamond, 1964; Pashler & Mozer, 2013; Ploog & Williams, 1995b; Schreibman & Charlop, 1981). Regardless of variation, however, all variants of fading involved response contingent presentation of reinforcers as well as response produced changes in stimulus salience. Thus, discrimination learning in **all** stimulus fading protocols could be influenced by both contingencies. To date, no experiments have explored the relative influence of each of these contingencies on learning during stimulus fading. More research will be needed to identify those variables.

Eye gaze and other operants. One innovative aspect of the present experiment was the use of eye gaze as the operant. In our laboratory, eye tracking technology has been used to study joint attention to children with Autistic Spectrum Disorder (Cousin, 2013) and respondent behavior during sensory preconditioning (Renaux, Rivière, Craddock, & Miller, 2017). The present experiment broadened its use to the study of operant discrimination learning during stimulus-fading. Of note, eye gaze has not been previously used as an operant. As presented in the introduction, observing behavior in an important factor to consider when studying the acquisition of operant discriminations (Dinsmoor, 1985; Hansen & Arntzen, 2018; Tomanari et al., 2007; Wyckoff Jr, 1952). fixate on the discriminanda might influence the acquisition of the discrimination.

We do not yet know whether the results obtained in the present experiment would also be obtained in the SF and YC conditions if more traditional operants were substituted for the eye-gaze operant. Outcomes like those reported in the present experiment would demonstrate that response modality was not a determinant of the outcome of the present experiment. A different outcome would indicate that response topography influences learning in these two conditions. Finally, the use of an eye tracking system would permit us to determine whether the duration of observing the S+s and S-s before the initialization of the target behavior would

influence the acquisition of the discrimination at each of the fading levels. For example, it has been shown that S+ was more observed than S- during discrimination training (Hansen & Arntzen, 2018; Pessoa, Huziwara, Perez, Endemann, & Tomanari, 2009). In the YC condition, it might be that minimal differences would occur in the time spent observing S+ and S- for participants who did not acquire the discrimination, while differences in observation time might be found for participants who acquired the discriminations.

Discriminability of stimuli in adjacent fading levels. By design, the difference in the intensity of the S+ and S- at one fading level is similar to the corresponding difference in the adjacent fading levels. Some of these across fading level may or may not be distinguishable from each other. If they are, and a participant forms a discrimination at each fading level, that participant has acquired eight distinct discriminations. If, however, the stimulus pair at one fading level is not distinguishable from the stimulus pair used in an adjacent fading level, one can conclude that the participant has acquired one discrimination and received overtraining of that discrimination. Thus, we have described the performances in this experiment as showing the formation of discriminations as X fading levels, rather than stating that a participant has acquired X discriminations, although the latter is plausible.

There are two ways of resolving this ambiguity. If some errors are made in the initial trials presented at a new fading level, that would indicate that the new stimuli were distinguishable from the stimulus pair presented at the prior fading level. Thus, two rather than one discrimination would have been acquired. If no errors are made with the administration of a new fading level, the two stimulus sets are not distinguishable from each other or there is an errorless transfer of discriminative control between stimulus pairs. The only way of making that obtain independent measures of the discriminability of the stimulus pairs used in this stimulus fading protocol, or for that matter in any stimulus fading protocol. That, however, is an issue broader than this experiment per se.

Clearly, the 30-100% luminosity difference that characterized the stimuli used in the first fading level, is perceptually different from the 90-100% luminosity difference that characterized the discriminanda in the final fading level (8). So, it is safe to assume that many discriminations were acquired during stimulus fading. Without the collection of prior psychophysical data, however, it is not possible for us to stipulate how many actual discriminations were acquired across the eight fading levels, or for that matter how many discriminations were learned by each participant. Perhaps, the gathering of that information would further enhance the effect of stimulus fading on the acquisition of difficult discriminations.

Computer Gaming, Training, and Contingencies in Stimulus Fading. Computer games contain two kinds of feedback: First there is explicit feedback in the form of a score which is presented upon the mastery of a phase in such a game. This is akin to the video-clip that was presented upon mastery of the discrimination task at each fading level in the present experiment. Second, it is common for the levels in a computer game to be scaled so that mastery of one level results in being presented with the next somewhat more complex level of the game. This is a response contingent change in the gaming task is akin to the response produced change in discriminative stimuli that is a necessary component of the stimulus fading protocol used in the present experiment.

This point is supported by Chumbley and Griffiths (2006) who noted that participants were more willing to continue to play a game or to play the same game again when it contained small increases in difficulty compared to large increases in game difficulty. As we noted earlier, such a response produce change in discriminative stimuli is probably functioning as a generalized reinforcer, both during stimulus fading and during a well-constructed computer game. The results of the present experiment showed that both contingencies influenced mastery of the tasks presented during stimulus fading. By implication, then, both contingencies probably

influence mastery of the tasks included in a well-designed computer game. Currently, we have not found information that has clarified the relative effects of both contingencies on the continued playing of computer games.

An Alternative Account. From fading levels 1-8 in the SF condition, the S+ was always presented at 100% luminosity. Thus, this absolute stimulus intensity was always correlated with the presentation of reinforcement. Thus, it could be argued that the performances observed during the learning of the discrimination in the initial fading level in the SF condition could be attributed to the absolute intensity of the S+, rather than the dimensional difference in luminance that distinguished the S+ and S-, or to the responses produced change in discriminative stimuli, which did not occur during fading level 1. Indeed, this might have occurred with no prior training and/or because the eye gaze operant that was shaped during preliminary training, involved reinforcement for moving a single 100% luminance blue stimulus from a starting location to the target location. This training could have established stimulus control by the absolute value of the luminance of this stimulus, albeit on an inadvertent basis. If so, that form of control could generalize to a stimulus of any color that shared the same 100% luminance, such as the bright green stimulus used as the S+ in all fading levels, and would account for discrimination learning rather than learning based on dimensional stimulus control.

In addition, the same correlation of the absolute property of the S+ and response produced presentation of the consequential reinforcing stimuli prevailed during each of the subsequently administered fading levels. Thus, it might be argued that all discrimination learning in the SF condition could be attributed to the contingent presentation of reinforcers in the presence of constant high luminance S+, and not by the establishment of dimensional control where participants attended to the differences in S+ and S- and their correlations with differential reinforcement.

If this presumed source of control by the absolute property of the S+ is valid, it would predict five necessary outcomes in the SF and YC conditions. (i) The initial discriminations would have to be learned by all participants because they acquired the designated stimulus control repertoire established during preliminary training. (ii) All participants would have to "learn" the discriminations in all eight of the fading levels because each would have the 100% luminance S+. (iii) Accuracy of responding would have to be at or near 100% accuracy from the initiation of each fading level because responding would be controlled by an already established topography - absolute value of luminance. (iv) Minimal to no errors would have to occur at all fading level. (v) All discriminations in both conditions would be mastered in five trials (the minimum needed to demonstrate mastery).

In fact, none of these predictions match the empirical outcomes of the experiment. Therefore, acquisition of the discriminations based on control by the absolute luminance of the S+ does not provide a plausible account for the any performances observed in this experiment. By implication, then, it is more likely that responding to the stimuli in all phases of the experiment were caused by the dimensional difference on the luminosities of the S+ and S-, along with the contingencies of response produced changes in discriminative stimuli and consequential stimuli. Additional research that would isolate differential effects of each of these components would provide a comprehensive understanding of the many behavioral mechanisms that influence learning during stimulus fading.

2.5. Conclusion of learning in stimulus fading by response-contingent reinforcement and by response-contingent discriminative stimuli change.

The discriminations at all fading levels in the SF and YC conditions were acquired by 90% and 10% of the adult participants, and 75% and 25% for the child participants, respectively. The contingency of reinforcement was present and absent in the SF and YC conditions, respectively. Additionally, the discriminations were acquired in fewer trials and with a lower prevalence of errors during the SF condition. Therefore, the contingency of reinforcement was responsible for all of these characteristics of discrimination learning in stimulus fading. A close analysis of the performances at each fading level in the YC condition yielded two surprising results.

First, many of these participants learned some of the discriminations at many of the fading levels in the absence of an explicit contingency of video-clip reinforcement. These acquisitions probably reflected the effects of the response-produced stimulus change that is an integral procedural component of all fading protocols. Further research will be needed to identify the parameters that influence this effect. More generally, these findings indicate that two contingencies of reinforcement, rather than one, influence the learning of discriminations during stimulus fading.

Second, in some other fading levels, response accuracy was inadvertently correlated with reinforcement by video-clip. Although we do not understand the causes of this outcome, it did not invalidate the fact that many discriminations at various fading levels were acquired in the YC procedure when reinforcement was not correlated with response accuracy. This methodological limitation of the yoked-control procedure might be cured by its replacement with a truly random control procedure.

Study 3: Transfer effect in learning a new discrimination with stimulus fading and trial-and-error learning as learning history

3.1. Introduction

Stimulus fading has been an efficient procedure to enhance discrimination learning (Moore & Goldiamond, 1964; Pashler & Mozer, 2013; Sidman & Stoddard, 1967; Terrace, 1963a). The literature investigated the efficiency of this procedure in successive discrimination training resulting in various outcomes. Schusterman (1967), underlined, in sea lion, across two reversals that both stimulus fading were efficient in producing errorless learning in an orientation shape discrimination. Aronsohn, Castillo and Pinto-Hamuy (1978), in rats, found that rats trained first with a stimulus fading protocol learned the second discrimination by trial-and error faster than the rats which received the classical protocol in the first discrimination. Thus, a previous stimulus fading seemed to influence the acquisition of the subsequent reversal discrimination received with a classical protocol. However, some studies have found a retardation effect of a previous stimulus fading in a subsequent reversal discrimination (Gollin & Savoy, 1968; Nolan & Harris, 1981; Richmond & Bell, 1986; Schilmoeller et al., 1979). The dimension modified across training and the type of reversal seem to play a primary role in the various outcomes highlighted in the literature (Fields, 1980; Nolan & Harris, 1981; Richmond & Bell, 1986; Schilmoeller et al., 1979). For example, it has been found that reversal and intra-dimensional shifts (relevant dimension identical) was learned faster following a trial-and-error procedure than extra-dimensional shift (change in the relevant dimension). However, when participants received stimulus fading in the original learning, more errors occurred in the reversal training. Fields (1980), trained adults to discriminate braille patterns with a stimulus fading protocol and then trained them to discriminate new braille pattern using a trial-and-error protocol. An enhancement effect was underlined for these participants in the second discrimination task compared to participants who received a trial-and-error protocol in the first discrimination.

Some theories have been developed to explain positive and negative transfer in reversal, intra-dimensional shift and extra-dimensional shift. A transfer is termed positive when there is a facilitation in learning the subsequent discrimination and is termed negative when no facilitation is observed. These theories could also be applied in the interpretation of the diversity found in transfer studies using stimulus fading and trial-and-error learning. In humans, reversal task is learned faster than non-reversal task (Kendler & D'Amato, 1955). According to Spence theory of learning (1936), a positive transfer should be observed in a non-reversal because the relevant characteristic is neutral whereas in reversal, the incorrect characteristic in the first training was inhibitor. According to Kendler and D'Amato, a verbal mediated response is responsible for the positive transfer in reversal. It has been assumed that young children should not show a positive transfer effect in reversal because of the absence of a verbal mediated response. Kendler and Kendler (1959), found that young children learned the discrimination in non-reversal with fewer trials. However, Coldren, Colombo and Gholson (1994) have shown by studying discrimination learning in baby, that verbal mediation was not a necessary condition for positive transfer in reversal. The attention theory of House and Zeaman (1962) is an alternative theory. This theory is based on the observing response of Wyckoff (1952), in which an observing response toward stimuli implied in the discrimination is necessary for learning. Thus intra-dimensional discrimination are learned faster than extra-dimensional discrimination because observing responses are emitted on the relevant dimension (Roberts, Robbins, & Everitt, 1988; Shepp & Eimas, 1964). This theory could explain the facilitation effect found when stimulus fading enhances a subsequent discrimination using the same dimension as relevant, as in Fields study.

The present study investigated the transfer effect of two learning histories on a subsequent new intra-dimensional discrimination. In experiment 1, three groups of adult participants were designed in order to assess the enhancement effect of a stimulus fading as learning history

across two parameters of the color dimension. The two parameters were used to study the transfer in a new discrimination with new simple stimuli. Thus, in a first hue discrimination using squares, one group received a trial-and-error learning and one group received a stimulus fading protocol. In the second saturation discrimination, all participants received a trial-and-error learning. The third group was designed as control group without any learning history. If stimulus fading enhances the strength of observing responses on the relevant dimension (color), but blocks the acquisition of a new discrimination when the characteristic is similar, when using a different characteristic in the subsequent discrimination, a high positive transfer would be found in participants receiving first stimulus fading compared to the 2 others groups. Moreover, participants receiving trial-and-error learning in the first condition would also show an enhancement in the second condition compared to the participants who did not receive previous training. The second aim of this experiment was a replication of previous finding in a different characteristic than luminance. In experiment 2, the same groups of participants were designed with children. The relevant characteristic (luminance) between the first discrimination learning and the second discrimination learning remained the same. If stimulus fading enhances the strength of observing response on the relevant dimension, it would be expected that the second condition would be learned faster in participants receiving first a stimulus fading training than participants trained by trial-and-error. In order to avoid any confounding effect of the learning history condition and overtraining trials, the conditions stopped when the discrimination was achieved (Eimas, 1966; Shepp & Turrisi, 1969; Youniss & Furth, 1964). A second aim of this experiment was the study of a contrast effect between stimuli and background. Visual information during discrimination and visual perception could also have some effect on the acquisition of a discrimination and some effect on transfer. The perceptual salience of the relevant dimension is essential in the acquisition of observing response and thus the acquisition of the discrimination. Kellman and Garrigan (2009) defined the salience of a stimulus by an

intrinsic property of a stimulus depending on the environment in which it is experienced. Thus, two similar stimuli in different background could be different. The contrast between the stimuli and the background could have an impact on the acquisition of a discrimination. In difficult discrimination training in which the difference between the two stimuli is small, the individual discrimination threshold could also impede the acquisition of learning and thus transfer effect. In each learning history group half of participants received a dim grey background whereas the remaining a standard gray background. Finally, the individual threshold was determined.

3.2. Experiment 1: A comparison of trial-and-error learning and stimulus fading as learning history in a new discrimination

Method

Participants

Participants were 60 healthy adult volunteers, aged from 18 to 39 years old (mean = 22.5). 46 participants were women and 14 men. Four of the 60 participants were excluded from the analysis because of eye-tracking problems or withdrawal. In the trial-and-error saturation (TE_s) group, 5 were nearsighted, 1 astigmatic, 1 farsighted, 1 both astigmatic and farsighted, and 2 both astigmatic and nearsighted. In the trial-and-error hue and trial-and-error saturation (TE_H-TE_s) group, 5 were nearsighted, 1 astigmatic, and 2 both astigmatic and nearsighted. In the stimulus fading hue and trial-and-error saturation (SF_H-TE_s) group, 4 were nearsighted, 2 both astigmatic and farsighted, and 2 both astigmatic and nearsighted. Participants were also provided their consent by signing a document along with a brief description of the experiment and their rights were explained.

Apparatus and Stimuli

Apparatus and setting. The apparatus and setting were identical to **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults**. The eye-tracking system was set up at 250 Hz to reduce the sensibility and the disconnection during the experiment.

Discriminative stimuli. As in Study 1, the HSV color space, hue (H), saturation (S), and luminance value (V) was used to define the color values of all the discriminative stimuli. MATLAB was used to convert HSV coordinates to red, green, or blue (RGB) values.

During preliminary training, the stimulus had a hue value of 240° (blue), a saturation value of 100%, and a luminance value of 100%. And it was displayed on a background of 0°

hue, 0% saturation, and 31% luminance. During the first condition assigned to the participant, the background was blue with $H=240^\circ$; $S=100\%$ and $V=100\%$ and the stimuli differed only in hue. The S+ was maintained with hue value of 360° (red), saturation value of 100%, and luminance value of 100%. If the first condition assigned implied stimulus fading, the S- hue was modified across 8 fading levels from blue to red. It was done by increasing the hue by 15° intervals from 240° to 345° . If the first condition was a trial-and-error procedure, the S- was constant and set at 345° , 100% of saturation and luminance. During the second condition, the background was a clear gray with $H=0^\circ$, $S=0\%$, $V=80\%$ and the stimuli had a hue value of 120° (green), and a luminance value of 100%. The saturation of S+ was constant and set at 100% whereas the saturation of S- was set with constancy at 80%. The stimuli are depicted in **Figure 3.1**.

The on-screen display was identical to **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults**.

Procedure

The response accuracy, reinforcement contingencies, eye-gaze operant and reinforcer presentations were identical as those in **Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults**.

Experimental design

The 56 participants were pseudo-randomized in three different groups. The independent variable was the type of learning received in the first condition. The first group SF_H-TE_S received as first condition a stimulus fading protocol, the second group TE_H-TE_S, began with a trial-and-error learning and the last group TE_S, had no previous condition. Thus, the second condition was identical for all groups. The experiment was completed in two sessions. During the first session, the preliminary training and the first discrimination condition were completed.

During the second session, the second discrimination condition was completed. The discrimination conditions were interrupted by a break every 12 minutes. The two sessions were conducted on the same day after 30 minutes to 1 hour break.

Calibration. The calibration was identical to Study 1 and was conducted before each session and after each break during the discrimination task.

Preliminary training. Identical to Experiment 1: Reversal of stimulus fading and trial-and-error learning in intra-dimensional discrimination in adults.

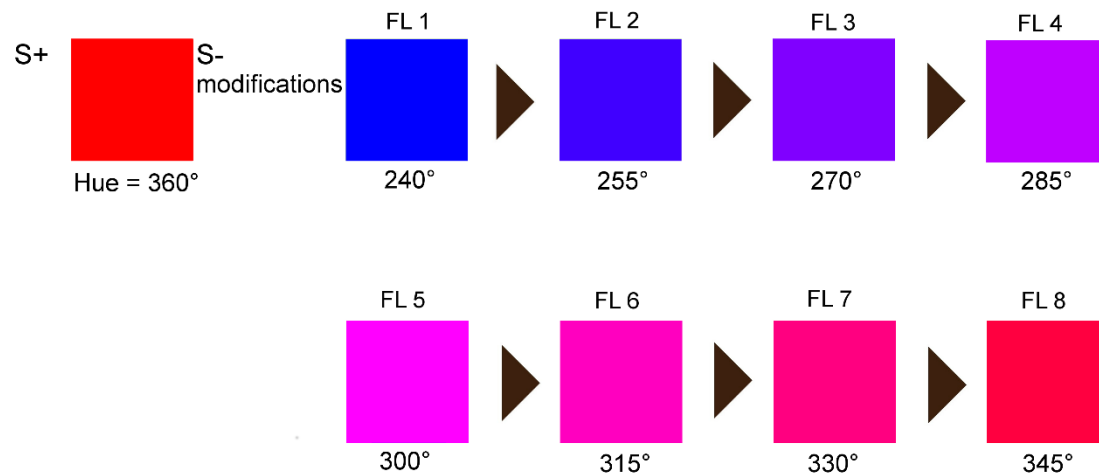
Hue discrimination condition. Only the SF_H-TE_S and TE_H-TE_S participants were exposed to this condition. The hue discrimination task involved a simultaneous discrimination task between two squares, one being totally red (S+) and the other one being pink/red (S-). When the S+ was “grabbed” and moved onto the target, the trial was successful. A failed trial was defined as the S- moved onto the target. The choice on S+ was followed by reinforcement and on S- followed by a blackout.

Stimulus fading protocol (SF_H). The discrimination training began with the constant red S+ and the FL-1 blue S-. Thus, with the blue background, the S+ appeared alone to the participant. After five consecutive of correct responses the hue of the S- changed in degree to be more proximate to the S+ (**Figure 3.1**) until it reached the last FL-8 in which the S- appeared in a pinkish red. If the criterion was not completed in a fading level, the condition stopped after the presentation of 80 reinforcers. For those who acquired all eight discrimination levels, the condition lasted until the presentation of 80 reinforcers.

Trial-and-error protocol (TE_H). During the discrimination training the hue of S+ and S- was maintained constant. Training was followed until the presentation of 80 reinforcers.

Saturation discrimination condition. This condition was common to all groups and was administered as second condition for the SF_H-TE_S and TE_H-TE_S participants. The saturation discrimination involved a simultaneous discrimination task between an S+ and an S-. The saturation of the S+ was maintained at 100% and of the S- at 80%. The definition of a successful and failed trial is the same as the hue discrimination condition.

Stimuli in hue discrimination



Stimuli in saturation discrimination

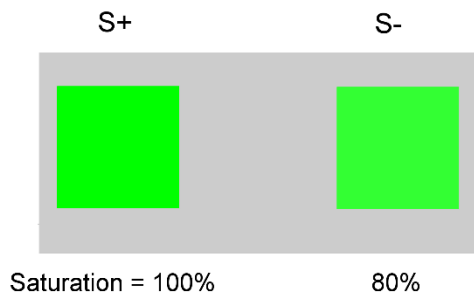


Figure 3.1. Representation of stimuli use in the hue discrimination and in the saturation discrimination. The FL8 is the S- used during TEs.

Statistical analysis. A logistic regression was ran for the analysis of the acquisition on the Software R (Field et al., 2012; R Core Team, 2019).

$$\text{Model} \leftarrow \text{glm}(\text{Acquisition} \sim \text{Group} + \text{Criteria}, \text{data} = \text{dataSbis}, \text{family} = \text{binomial}()) \quad (3.1)$$

A multilevel model analysis was conducted on the number of trials needed to reach each criterion by using the package nlme on the software R (Pinheiro et al., 2019; R Core Team, 2019).

```
baseline ← lme(outcome~1, random = ~1|participant/criterion, data, method = "ML") (3.2)
```

```
group_model ← update(baseline, . ~. +group) (3.3)
```

```
criterion_model ← update(group_model, . ~. +critetion) (3.4)
```

```
interaction_model ← update(criterion_model ←, . ~. +group: criterion) (3.5)
```

```
anova(baseline, condition_model, order_model, interaction_model) (3.6)
```

An ANOVA was conducted to analyze the effect of learning history on the number of trials needed to reach 80 reinforcers on the software R. Finally, Kruskal-Wallis test were realized on the preliminary training data and the percentage of correct responses.

Results

Preliminary training

Preliminary training was identical for all participants before being assigned to group. An analysis of this pretraining is necessary to evaluate if differences and inter-subject variability were present before any condition. A minimum of 18 trials were necessary to acquire the eye gaze operant. shows no difference between the future groups (**Figure 3.2**). A Kruskal-Wallis test showed no significant difference, $H(0.54)$, $p = 0.765$.

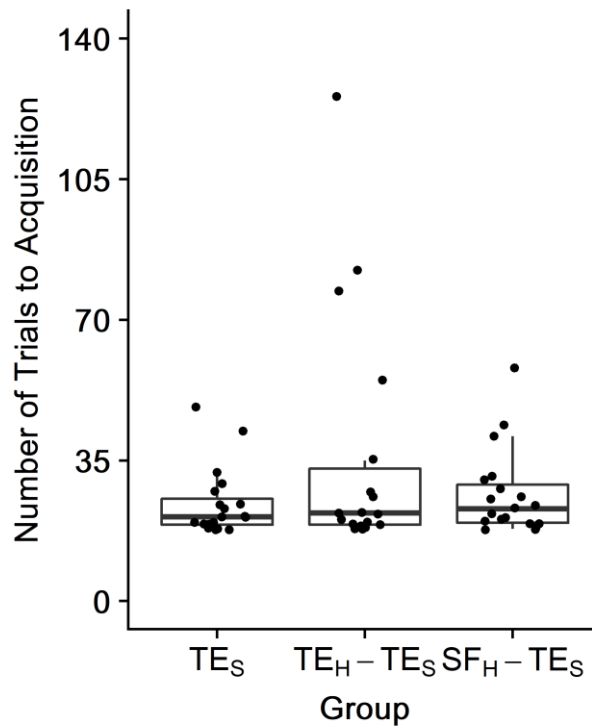


Figure 3.2. Number of trials to acquire the target behavior according to assignment in group. TE_S did not receive prior discrimination learning. TE_H-TE_S was trained by trial-and-error on the hue discrimination before the saturation discrimination. SF_H-TE_S received stimulus fading learning during the hue discrimination.

Analysis of the first condition

Acquisition of the criteria. In both SF and TE condition, all participants learned the first criterion (**Figure 3.3**). In SF condition, the percentage of participants who achieved the criterion decreased in the fourth criterion to 80% (17 of 19). In TE condition, the percentage of participants who achieved the criterion decreased from 83% (15 of 18) in the second criterion to 22% (4 of 18) in the fifth criterion to the eight criteria.

A logistic regression showed that the SF condition was a significant predictor of the acquisition, $b = 3.332$, $p < 0.0001$. The criteria significantly predicted the absence of acquisition, $b = -0.564$, $p < 0.0001$. The odds to be learner were 28 times higher when participants received

the SF condition than the TE condition. The odds to be learner decreased by 0.569 times as the criteria increased (see **Table 3.1** for estimate parameters).

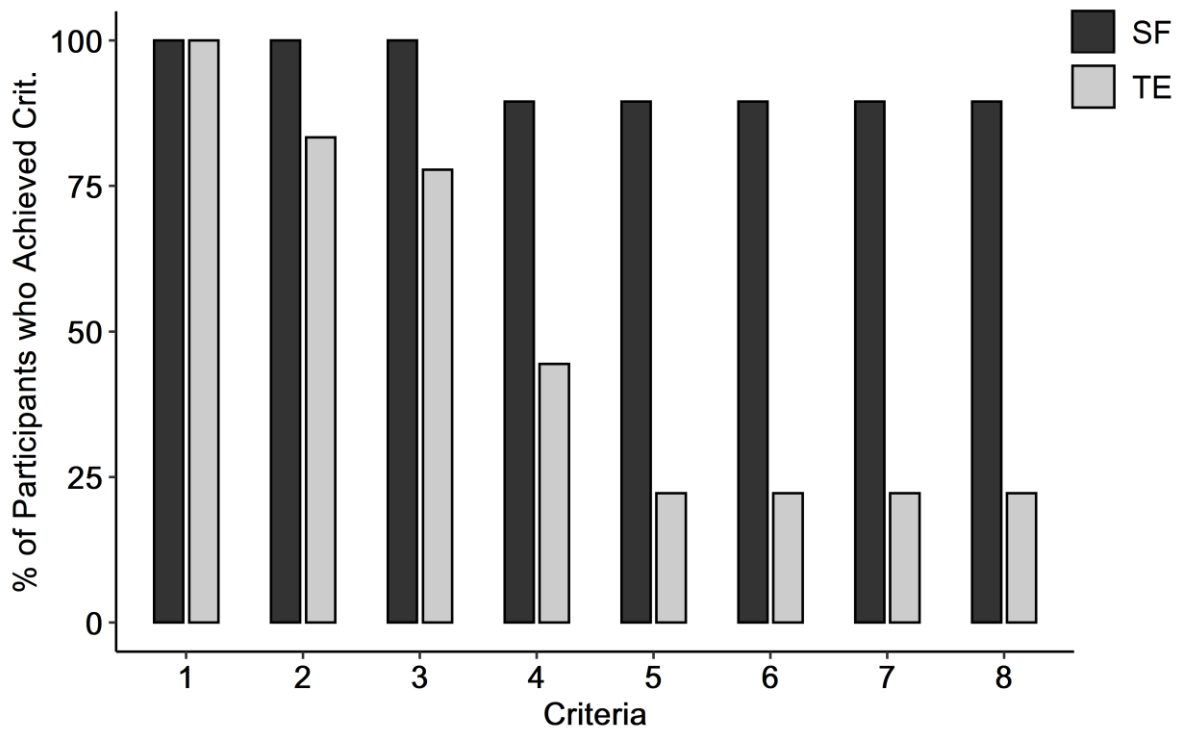


Figure 3.3. Percentage of participants who acquired of each criterion by condition SF or TE.

Table 3.1. Estimate parameters of logistic regression on the acquisition

	B(SE)	95% CI for odds ratio		
		Lower	Odds ratio	Upper
intercept	2.498 (0.445)			
SF	3.332 *** (0.434)	12.560	27.991	69.515
Criteria	-0.564 *** (0.089)	0.473	0.569	0.672

Note. $R^2 = 0.156$ (Hosmer–Lemeshow) ; *** $p < 0.0001$

Number of trials to acquisition. **Figure 3.4** shows the mean number of trials needed by condition to reach each of the eight criteria. In absence of a major violation of the normality of the residuals, a multilevel model analysis was conducted. The condition had a significant effect on the number of trials, $\chi^2(6) = 10.160$, $p = 0.001$. The criterion had no significant effect on the number of trials, $\chi^2(13) = 9.045$, $p = 0.249$. The interaction between condition and criteria was

significant, $\chi^2(20) = 18.967$, $p = 0.0083$. Contrasts were planned in order to compare each criterion to the first one. The analysis of planned contrast is given only for the first 3 criteria along with a necessary number of participants. Planned contrasts revealed that the stimulus fading in decreasing the number of trials to reach the criterion was significantly smaller in the second criterion, $b = 11.166$, $t(162) = 3.277$, $p = 0.001$, and the third criterion, $b = 11.289$, $t(162) = 3.266$, $p = 0.001$.

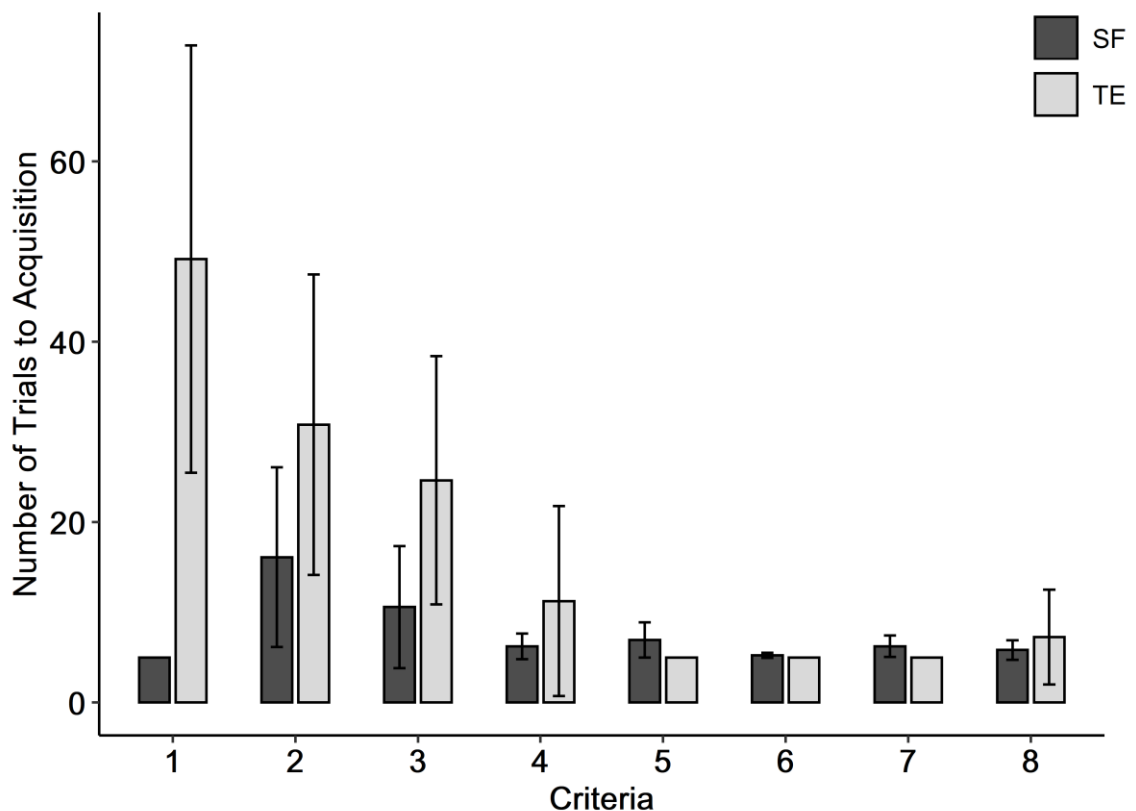


Figure 3.4. Mean number of trials to acquire each criterion according to condition SF and TE. Standard errors are displayed.

Learning history effects

Acquisition of the criteria. Figure 3.5 demonstrates the percentage of participants who acquired each criterion according to learning history. There is no clear difference between the three groups in the first criterion. However, from the second to the last criterion, more

participants achieved the criterion with a SF learning history than with a TE history and none history. More participants achieved the criterion with a TE history than none.

The TE participants received no prior discrimination training and were used as control group. A logistic regression showed that a previous SF condition (SF-TE) was a significant predictor of the acquisition compared to the absence of prior training, $b = 2.581$, $p < 0.0001$. A previous TE training was also a significant predictor of acquisition compared to the absence of prior learning, $b = 1.304$, $p < 0.0001$. The criteria significantly predicted the absence of acquisition, $b = -0.641$, $p < 0.0001$.

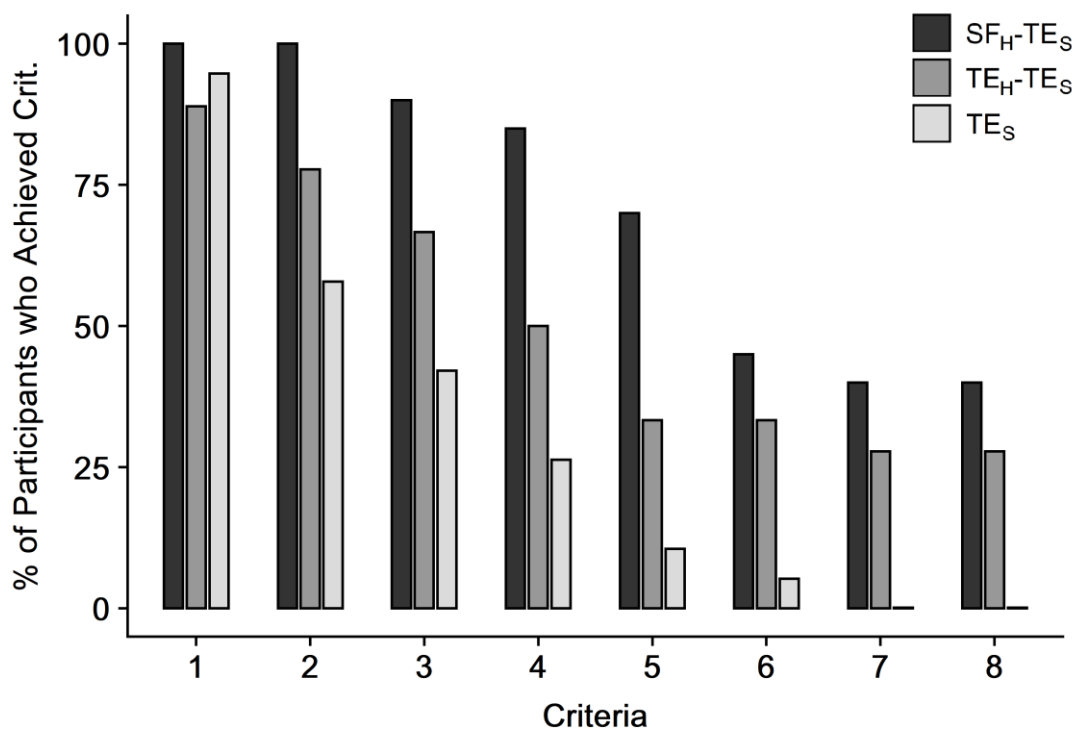


Figure 3.5. Percentage of participants who acquired each of the eight criteria according to learning history.

Table 3.2. Parameter estimates of logistic regression on acquisition

	B(SE)	95% CI for odds ratio		
		Lower	Odds ratio	Upper
intercept	1.621 (0.302)			
SF-TE	2.581*** (0.329)	7.09	13.221	25.766
TE-TE	1.304*** (0.302)	2.059	3.682	6.735
Criteria	-0.641*** (0.064)	0.462	0.526	0.595

Note. $R^2 = 0.245$ (Hosmer–Lemeshow); *** $p < 0.0001$

The odds to be learner were 13.221 times higher when participants received a SF condition (SF-TE) before than the absence of any prior condition (TE). The odds to be learner were 3.682 times higher when participants received a TE condition (TE-TE) before than the absence of any prior condition (TE). On the contrary, the odds to be learner decreased by 0.526 times as the criteria increased.

Number of trials to achieve each criterion. The number of trials to achieve each criterion for each group is displayed in **Figure 3.6**. In each criterion, an history of discrimination either by SF or TE, led to fewer trials to reach the criterion. There was no clear difference between an history of SF and TE except in the 3th and 4th criterion.

In absence of a major violation of the normality of the residuals, a multilevel model analysis was conducted, in the 5 first criteria. The absence of learning history (TE) was the control condition, with only one participant reaching the 5th criterion and none in the subsequent, the analysis could not have been conducted. The condition had a significant effect on the number of trials, $\chi^2(6) = 7.610, p = 0.022$. The criterion had no significant effect on the number of trials, $\chi^2(10) = 8.239, p = 0.083$. The interaction between condition and criteria was not significant, $\chi^2(18) = 9.228, p = 0.323$.

Effects of learning history on all trials. Three participants in TE_s were excluded from these analyses because of missing data. **Figure 3.7**, displays number of trials to reach 80 reinforcers by trial-and-error (A.) and the percentage of correct responses during acquisition (B.) according to group. The TE_s group, which didn't receive any prior discrimination training learned the saturation discrimination in as many trials as TE_H-TE_s group with respectively a minimum of 123 trials and a maximum of 183 trials (Mdn = 155.5, mean = 155.2) and a minimum of 90 trials and a maximum of 182 trials (Mdn = 155.5, mean = 144.7). The SF_H-TE_s participants needed less trials with a minimum of 90 and a maximum of 169 (Mdn = 124, mean = 122.5).

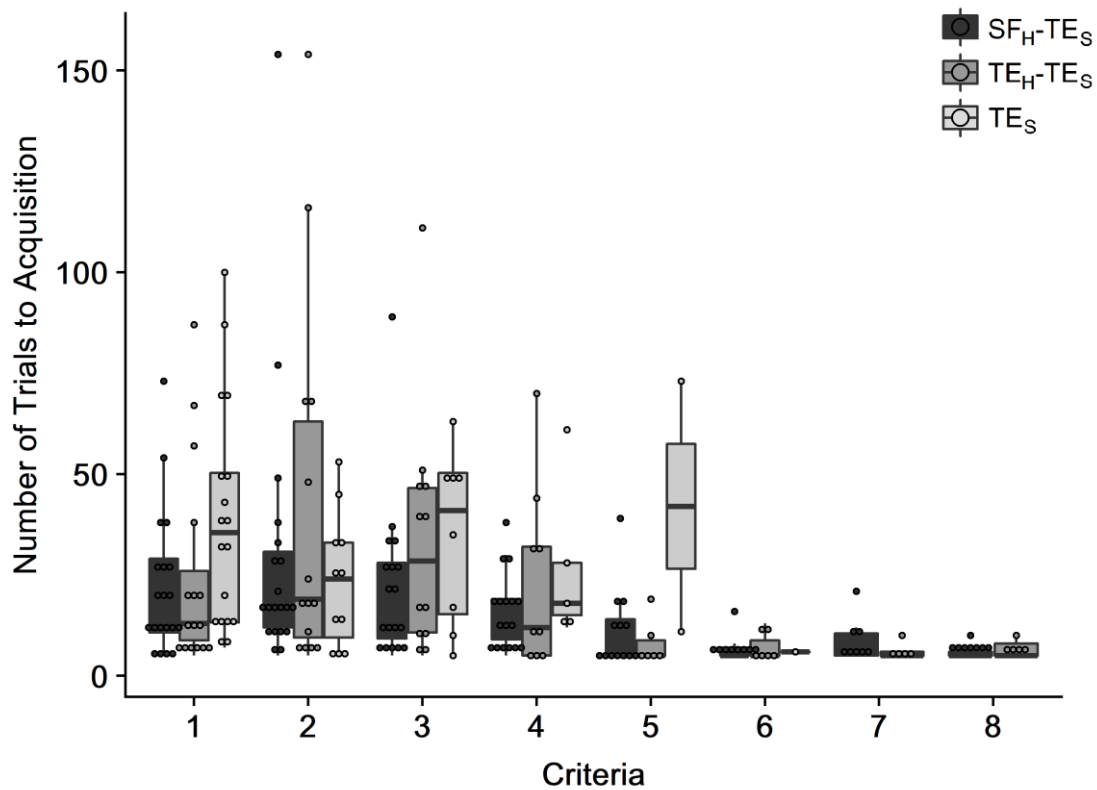


Figure 3.6. Number of trials to acquire the eight criteria according to group. TE_S did not receive prior discrimination learning. TE_H-TE_S was trained by trial-and-error on the hue discrimination before the saturation discrimination. SF_H-TE_S received stimulus fading learning during the hue discrimination.

Without any rejection of the assumptions of homogeneity of variances and normality of residuals distribution, an ANOVA was conducted on the number of trials to reach 80 reinforcers. There was a significant effect of learning history on the number of trials needed to reach 80 reinforcers, $F(2,50) = 9.077, p = 0.004, \omega = 0.234$. Planned contrasts were conducted defining the TE_S group as the control condition, and the TE_H-TE_S and SF_H-TE_S were defined as the experimental conditions. Planned contrasts revealed that receiving any kind of training before a new discrimination task significantly decreased the number of trials to reach the acquisition criterion, $t(50) = -3.087, p = 0.002, r = 0.4$ (one tailed), and that having a stimulus fading procedure significantly reduce the number of trials compared to having a trial-and-error procedure, $t(50) = -2.891, p = 0.003, r = 0.378$ (one tailed). A Bonferroni post hoc test revealed non-significant differences between the TE_S group and the TE_H-TE_S group, $p = 0.399$, and might explained the small effect size. However, there was a significant difference between the SF_H-TE_S group and both the TE_H group, $p = 0.0004$, and the TE_H-TE_S, $p = 0.015$.

The outcome of the percentage of correct responses did not differ from those obtained in the number of trials. The SF_H-TE_S participants reached a median of 64.5% of correct responses whereas TE_S and TE_H-TE_S obtained a median of 51.45% of correct responses. A Kruskal-Wallis non parametric test showed a significant effect of learning history on the percentage of correct responses, $H(2) = 13.774$, $p = 0.001$. Focused comparisons of the mean ranks between groups showed that the percentage of correct responses did not significantly differ between TE_S and TE_H-TE_S ($difference = 4$). However, the percentage of correct responses significantly differ between TE_H-SF_S and both TE_S ($difference = 18.3$) and TE_H-TE_S ($difference = 13.9$).

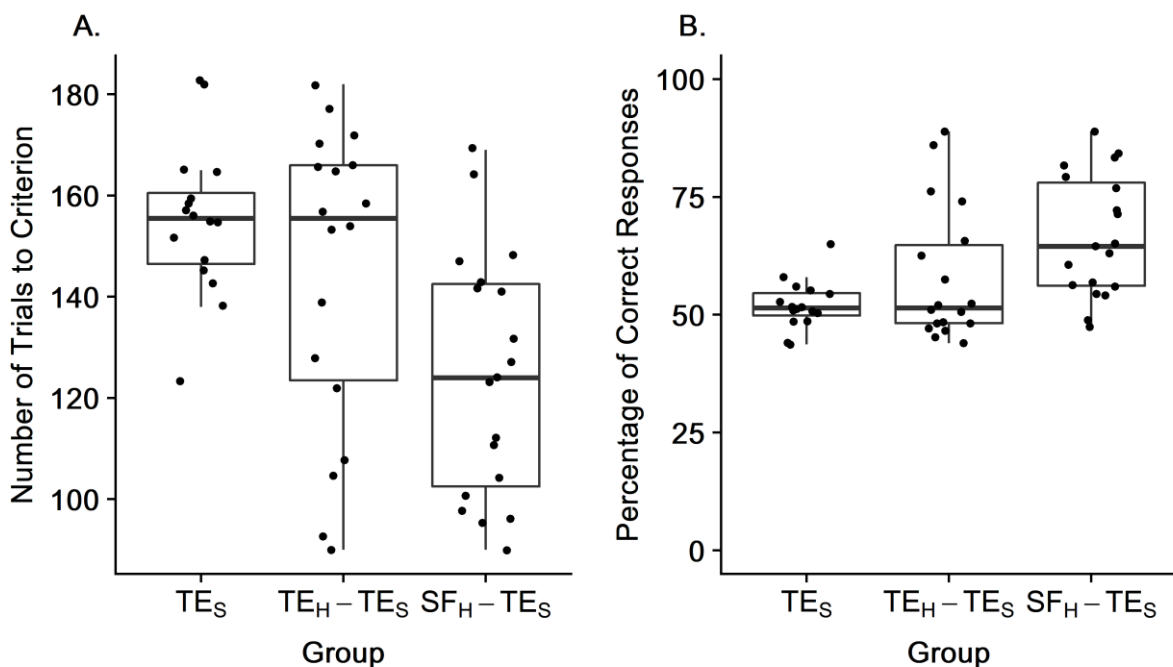


Figure 3.7 Number of trials to reach 80 reinforcers by trial-and-error (A.) and the percentage of correct responses during acquisition (B.) according to group. TE_S did not receive prior discrimination learning. TE_H-TE_S was trained by trial-and-error on the hue discrimination before the saturation discrimination. SF_H-TE_S received stimulus fading learning during the hue discrimination.

Discussion

We found that receiving a discrimination task before the training of a new one highly predicted that participant will learn the criteria in the second discrimination. Moreover, when the previous discrimination was trained by stimulus fading there was more acquisition than

when training was done by trial-and-error. A discrimination learning history reduced the number of trials needed to achieve each criterion in the new discrimination. When all data were considered, a learning history effect was also found. However, the number of trials needed to achieve the 80 reinforcers and the percentage of correct responses did not significantly differ between TE_H-TE_S and TE, but did between SF_H-TE_S and both TE and TE_H-TE_S . Thus, only a previous stimulus fading has a positive transfer on the subsequent discrimination task. We replicated the results found by Aronsohn, Castillo and Pinto-Hamuy (1978) and Fields (1980). Nonetheless, in the present study, 8x5 successive of correct trials were considered as criteria and not a single criterion. In more details, considering the first criterion of 5 successive trials, the difference between SF learning history and TE history was not outstanding. Both groups demonstrated a quasi-identical pattern. For example, the TE_H-TE_S participants and the SF_H-TE_S needed respectively, between 5 to 87 trials and 5 to 74 trials to reach the criterion. Could this small difference of pattern have been induced by some inter-subject variability? The pretraining task was similar for all participants and a minimum of 18 trials were needed to acquire the target behavior of looking at the stimulus and displacing it with his eye gaze into a target. Thus, the analysis of the pretraining is a good index of baseline variability. We found that there was a priori no difference between the future groups according to their learning speed. The difference between the groups having learning history and the group without any learning history could be an improvement from a previous discrimination learning to a new discrimination for the history learning groups. In other words, the effect of learning history could be analyzed as an effect of training or the formation of a learning set experiment as it was underlined in reversal or successive discrimination studies (North, 1950; Ronald J. Schusterman, 1962). In our study, two groups realized a first discrimination training with different protocols, and then realized a second discrimination, with the same target behavior, in the same context. North (1950) investigated three theories to explain the improvement in successive discriminations reversal,

the modified form of dominance theory, the perseverative theory and the “correction responses” theory. The first one, postulates that the more the habit strength due to more training, the more the influence in the acquisition of a new habit. In the second theory, the improvement will be due to “the acquisition of habits of responding to distinctive internal cues perseveration from one trial to the next”. Proprioception trace and frustration were considered as internal cues. The last theory is that after an incorrect choice, another response in general covert and quasi similar to the correct response is emitted, thus it is conditioned to environmental stimuli. The diverse theories presented by North, seem not to be relevant in our case because of an absence of reversal between the S+ and the S-. As said previously, the task and the environment remained identical between the two discriminations task, thus, some environmental cues could have been conditioned during the first condition and served to the acquisition of the new discrimination or the capacity of correcting responses. A way to verify this assumption would be running a group with a learning history on a truly random condition.

Overtraining trials might also impede the differential effect of the type of previous learning as history. Overtraining is characterized by adding training trials after the acquisition criterion was achieved. Mackintosh (1962, 1964) underlined that the more overtraining, the less trials in reversal. In our study, the two discriminations didn't stop at the acquisition criteria but until an acquisition of 80 reinforcers. In order to verify this bias, it would be necessary to replicate the present study by stopping the discrimination training in the first condition when an acquisition criterion is achieved.

One limitation of this study was that lot of participants in TE_H-TE_S didn't reach the totality of the eight criteria in the first condition, whereas all reached the first one. This result might have influenced the outcome found in the second condition. For example, the four participants in TE_H-TE_S who reached the 8 criteria in first discrimination also reached the 8 criteria in the

second discrimination. A way to avoid this limitation, will be the study of transfer only in participants who reached the 8 criteria in the first discrimination training.

When all data were considered, more inter-subject variability was demonstrated by each SF_H-TE_S and TE_H-TE_S groups. The inter-subject variability could also be explained by the characteristics of the dimension used in the two conditions. In the first condition, the S+ was the redder stimulus whereas in the second condition the S+ was the more saturated stimulus. A priori, these two characteristics could have been perceived as different, the first one is the hue and the second the saturation. However, according to the small disparity between S+ and S-, after observation, the dimension could also be considered as identical, by saying that the brightness is the dimension. In learning transfer reversal studies, it has been shown that some modality are more relevant for positive transfer (Nigrosh, Slotnick, & Nevin, 1975). Mackintosh (1962, 1964) demonstrated some explanations of the effect of positive transfer in reversal on non-reversal subsequent discrimination. According to his analysis, a subsequent discrimination will be learned faster if the reversal is conducted on the same dimension than the over trained condition. During overtraining, the relevant cues gained control over responses and the increase of probability that relevant cues controls the responses is responsible for the positive transfer in reversal. In our case, regardless the previous learning condition, some participants have demonstrated positive transfer whereas others negative transfer, resulting in some inter-subject variability. For participants who demonstrated positive transfer across the two conditions, the dimensions might have been considered as similar and for those without positive transfer as different. This matter could be addressed by replicating the present study by using the exact same dimension in the first and the second condition. If similar pattern with such discrepancy is found, this hypothesis could be invalidated.

Finally, the first discrimination training protocol (SF/TE), allowed us to replicate previous finding about the effect of stimulus fading on the percentage of correct responses in

another dimension than luminance, the hue dimension. We found that the percentage of correct was higher in SF.

To summarize, a learning history permitted a positive transfer effect on the subsequent discrimination in which the characteristic differed. Stimulus fading history had a more positive transfer effect than a trail-and-error training history. However, when the first criterion is considered there was no such difference between both learning histories. Further studies need to investigate the effect of learning history on transfer without overtraining. This was studied with young children keeping the same dimension as relevant between the two discriminations.

3.3. Experiment 2: Learning transfer across two intra-dimensional discriminations in children trained with stimulus fading

Method

Participants

Participants were 26 children recruited in a French school across two scholar years, ranging in age from 4 years old to 6 years old (average = 5 years and 6 months). Six children were excluded from the study because of refusal to participate in one of the sessions. Of the 20 children remaining, 6 were boys and 14 girls. Parents reported information about vision of the child, thus, two were both astigmatic and farsighted, one farsighted, and one astigmatic. Both parents and children provided their consent by signing a document along with a clear description of the experiment for the parents and an explanation of their rights. Before each session the child was told that he could leave at any moment.

Six children were assigned at random to the none history group, seven to the trial-and-error history group (TE hist) and seven to the stimulus fading history group (SF hist).

Apparatus and stimuli

The apparatus and the discriminative stimuli were similar to **Experiment 2: Training an intra-dimensional discrimination with the use of stimulus fading and trial-and-error learning in children**. The eye-tracking system was set up at 250 Hz.

The background color was set up as an independent variable and thus, it differed from the two other studies. Half of participants received preliminary training, and the two learning conditions with the original gray background ($H = 0^\circ$, $S = 0\%$ and $V = 31\%$) the remaining received all conditions with a dim gray background ($H=0^\circ$, $S=0\%$ and $V=15.7\%$). The difference of the background is depicted in the figure.

During the threshold measurement, the two squares have a length of each side of 7 cm and were red as during the second condition. The luminance of one of the stimuli was modified across trials from 70% to 95% by 1%, the other parameters remained constant ($H = 360^\circ$, $S = 100\%$). The background color was set up according to previous conditions for each participant.

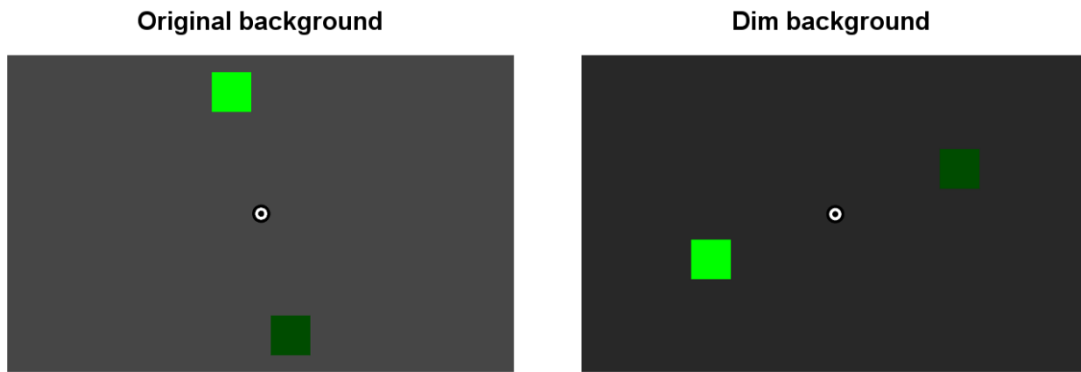


Figure 3.8. Representation of the squares at the first fading level with the original background and the dim background.

Procedure

The response **accuracy**, **reinforcement contingencies**, **eye-gaze operant** and **reinforcer presentations** were identical as those in the previous studies.

Experimental design

The 20 participants were pseudo-randomized in three groups. The type of learning received in the first condition was the independent variable. Seven children received a stimulus fading protocol as first history of discrimination learning (SF hist), seven children received a trial-and-error protocol (TE hist), and the remaining had no history (none). In each group, half of participants were trained in all conditions with the original background and half with the dim background. The second condition was a trial-and-error learning identical for all groups. The experiment was completed in four sessions. To prevent fatigue effect each session could be spaced by hours or days depending on school planning. The preliminary training was realized during the first session. Each condition consisted of one session. During the last session, a threshold test was conducted.

The calibration and the preliminary training were identical to **Experiment 2: Training an intra-dimensional discrimination with the use of stimulus fading and trial-and-error learning in children.**

An experimental break was programmed each 12 minutes, and was set up for 5 minutes.

Conditions. During the first condition, the stimuli were green squares and the type of learning could be a stimulus fading or trial-and-error learning as described in **Study 1**. During the second condition, the stimuli were red squares and the type of learning was a trial-and-error protocol as described in **Study 1**. The following table summarizes the condition according to the groups.

Table 3.3. *Type of conditions according to group assignment*

Groups	Condition 1 Green squares	Condition 2 Red squares
None		
TE history	Trial-and-error protocol	Trial-and-error protocol
SF history	Stimulus fading protocol	

Data recording and criteria. The data recording was similar **Experiment 2: Training an intra-dimensional discrimination with the use of stimulus fading and trial-and-error learning in children.**

Each condition last until a criterion of a string of 5 successive trials was achieved when the S+ was at 100% and the S- 90%, or a total of 200 trials was achieved.

Threshold measurement. The luminance threshold was measured after the second condition, using a staircase method (Cornsweet, 1962). Participants were asked to select by clicking with the mouse the brightest square. The following instructions were given “You will see two red squares. Take your time, there is no wrong answer and select the one you see as the

brightest.” One of the squares was at 100% of luminance, and the other started at 70% of luminance. The difference between the two squares was reduced or increased step by step by modifying the luminance of the dimmer square. The 1 up 1 down method was conducted. Thus, when the brightest stimulus was chosen, the difference was reduced to 1% of luminance and when the dimmer stimulus was selected, the difference was increased of 1%. The threshold measurement stopped when the dimmer stimulus reached 95% thus a difference of 5%, or 80 trials were achieved. The position of the stimuli between left and right was truly randomized.

Results and Discussion

The main concern of this experiment was the investigation of the potential effect of a specific condition of learning history on a subsequent new discrimination in the same dimension.

For all conditions, the target discrimination was acquired when five successive of correct trials were achieved. Contrary to previous experiments the second stop criterion was a total number of 200 trials and not a total of 80 reinforcers, thus, thanks to this criterion all participants achieved the discrimination both in conditions 1 and 2.

Effects of Learning History and Background Color

Figure 3.9 (A) shows the number of trials to reach the string of five successful trials, the acquisition criterion. The history of learning seems to have some effect on the number of trials to acquire the discrimination. An overview of this figure shows some escalating pattern across the three groups. Globally, the none history group, by considering the median of both background color, needed more trials to learn the discrimination than the two other groups, and the stimulus fading history groups obtained fewer trials than the none and trial-and-error groups. In the none groups, two participants achieved the criterion in more trials than others, one participant receiving the dim background needed 130 trials and one participant receiving the

original background needed 79 trials. Two participants learned the discrimination in 11 and 5 trials, respectively with dim and original background. Thus, the none group showed a large inter-individual variability across the two backgrounds. In the trial-and-error learning history group (TE hist), one participant with the dim background achieved the criterion in 12 trials and one participant with 19 trials whereas two participants with the dim background made more than 50 trials. In the stimulus fading history (SF hist), two participants with the dim background learned the discrimination in the minimum required trials, thus 5 trials, whereas three participants made fewer than 40 trials. All participants with an SF history learning needed fewer trials in the second condition whereas two participants with a trial-and-error learning history needed more than 50 trials (**Figure 3.10**).

Considering the global median (31), participants were classified as a fast learner and slow learner. Thus, 2 participants were fast learners in the none history group, 4 in the TE history group and 5 in the history group (**Table 3.4**). However due to a poor number of participants, no statistical difference was found, $\chi^2(2) = 2.57$, $p = 0.276$.

Figure 3.9 (B) shows the percentage of correct response according to group and background color. Contrary to the number of trials to acquire the target discrimination, it is more laborious to consider any difference between groups. However, some results are surprising according to our hypothesis. Two participants of the none history group achieved more than 75% of correct responses whereas all participants in the TE history group made between 45% and 63% of correct responses. Thus, the TE group made proportionally less correct responses than the other groups. In the SF group, the three participants who reached the criterion in five trials obtained 100% of correct responses. It was expected a higher percentage of correct responses when participants received prior stimulus fading. However, due to a high percentage of correct responses in the first condition only these three participants learned the subsequent discrimination with a higher percentage (**Figure 3.10**). Only one participant trained first by

trial-and-error learning improved in the second condition in more than 10% of correct responses. Finally, 5 participants of 7 with SF history performed higher than the global median in both conditions, whereas only 1 of 7 with TE history in the second condition.

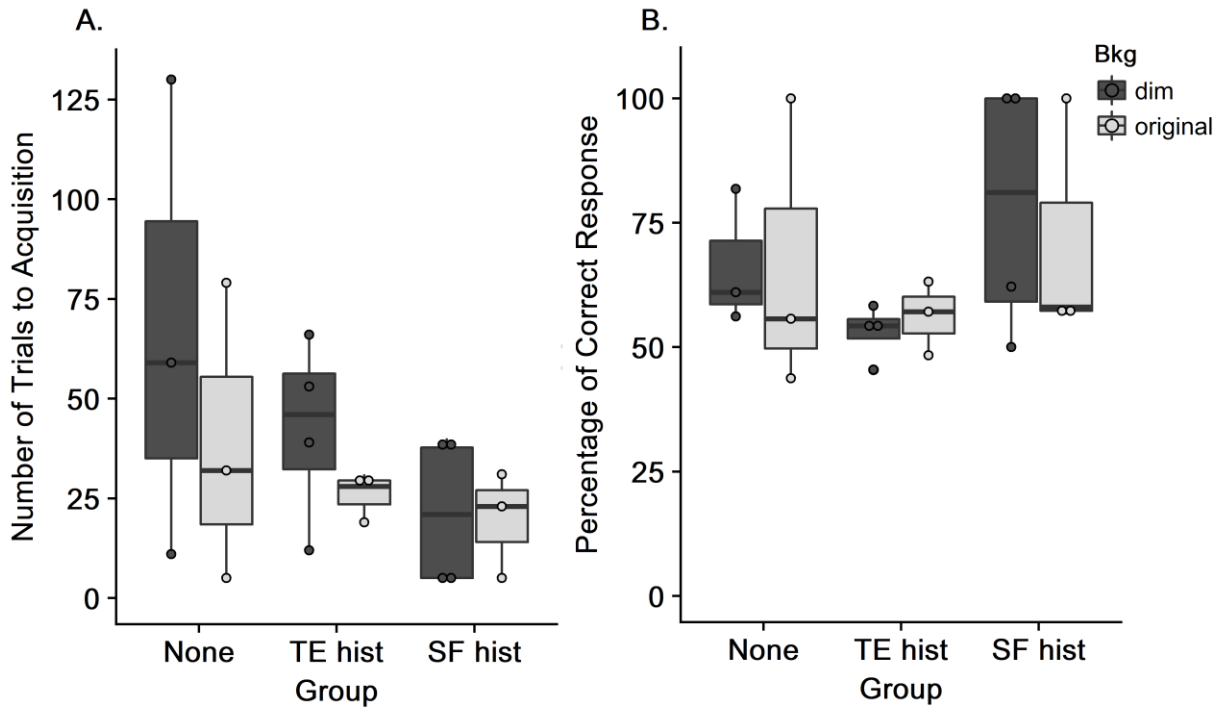


Figure 3.9. Number of trials to acquire the second discrimination by trial-and-error(A.) and Percentage of correct responses to learn the second discrimination by trial-and-error (B.) according to group receiving discrimination for the first time (None), who had been trained with a previous trial-and-error condition (TE hist) and who had been trained with stimulus fading previously (SF history). Bkg is the background used during the experiment.

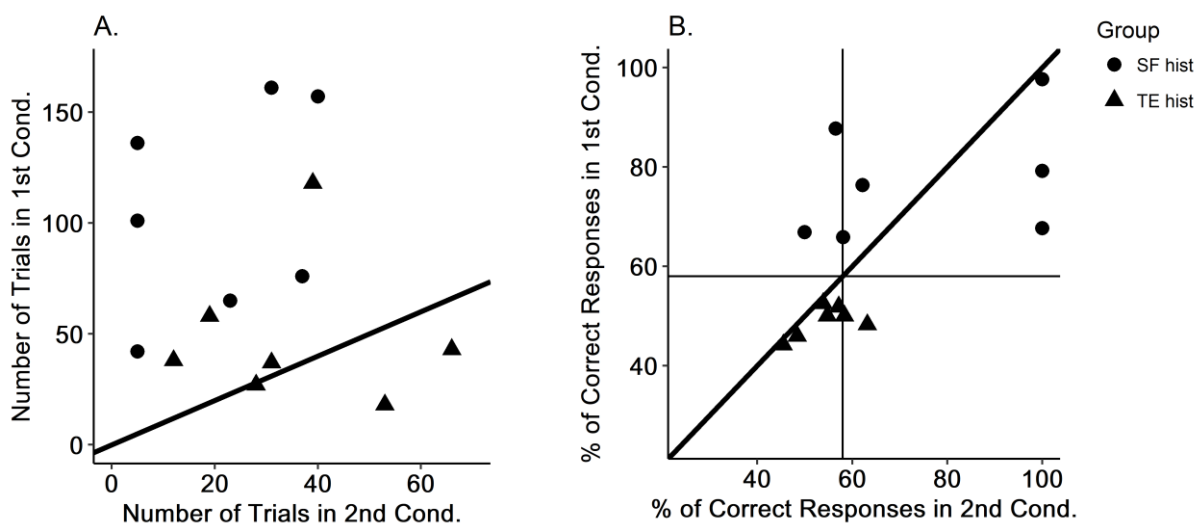


Figure 3.10. A. number of trials to learn the first condition according to the number of trials to learn the second condition. B. Percentage of correct responses in the first condition according to the percentage of correct responses in the second condition. Circle = participants whose began with stimulus fading (SF) and then trial-and-error-learning. Triangle = each condition was trained by trial-and-error.

All participants were classified as being above or below the global median (57.6).

Table 3.5 gives 3 participants of the None history group over the median, 5 of the 2 of the TE history group and 5 of the SF history group. No statistical difference was found, $\chi^2(2) = 1.91$, $p = 0.38$.

Given the small number of participants in each background, it is difficult to interpret some effect of the background on the number of trials to reach the criterion and the percentage of correct responses. However, for the none history group and the TE history group it seemed that the dim background slowed down the acquisition of the discrimination regarding the number of trials to achieve the criterion. Eleven participants were fast learners, 4 of them had a dim background whereas 7 of them had the original background, 9 participants were slow learners, 7 of them had a dim background and 2 the original background. The contingency was not statistically significant, $\chi^2(1) = 3.43$, $p = 0.06$.

First, children who learned the first discrimination with a stimulus fading condition needed fewer trials to learn the second discrimination by trial-and-error and without any difference between the two backgrounds. Thus, a positive transfer is observed for the SF history group. Second, the difference between participants without any history and those with a trial-and-error learning history is less visible. But the maximum of trials needed is larger for the none history group and more participants in TE history group were classified as fast learners. Negative transfer was not observed for both history groups. These findings are in agreement with Aronsohn, Castillo and Pinto-Hamuy (1978) and Fields (1980) results. In the present experiment, the relevant dimension was identical in both discriminations and it could be assumed that the acquisition of the first discrimination might enhance the acquisition of the second discrimination. Moreover, the probability of observing responses on the relevant discrimination might have been high at the end of the first discrimination training. The theory of attention will be discussed in the general discussion. Third, for these groups the background

might have an effect, with more trials to learn the discrimination when a dim background was used. The discriminability of S+ and S- could have been reduced when the background is dim.

Table 3.4. Contingency tables of the learning speed in the second condition according to group.

Learning Speed in Second Discrimination	Group			Total
	None	TE hist	SF hist	
Fast	2 18.2%	4 36.4%	5 45.4%	11 55%
Slow	4 44.5%	3 33.3%	2 22.2%	9 45%
Total	6 30%	7 35%	7 35%	20

Note: Classification based on the global median Fast \leq 31 trials; Slow $>$ 31 trials; None group had no learning history, TE hist had a trial-and-error learning history, SF hist had a stimulus fading learning history. Cell contents: count and row percent.

Table 3.5. Contingency tables of the % correct in the second condition according to group.

% Correct in Second Discrimination	Group			Total
	None	TE hist	SF hist	
\geq 57.6%	3 30%	2 20%	5 50%	10 50%
$<$ 57.6%	3 30%	5 50%	2 20%	10 50%
Total	6 30%	7 35%	7 35%	20

Note: Classification based on the global median. None group had no learning history, TE hist had a trial-and-error learning history, SF hist had a stimulus fading learning history. Cell contents: count and row percent.

Absence of Influence of a Pre-Learning Repertoire

In order to control the possibility of an effect of a prelearning repertoire, the data acquired in the preliminary training were analyzed. To acquire the eye gaze operant, participants had to complete a minimum of 23 trials. **Figure 3.11** displays the number of trials to the acquisition criterion by group and the background set up for the experiment. In general,

for each group, the number of trials needed to learn the target behavior was between 23 and 90. It seemed that the TE history group acquired the eye gaze operant slower than the two groups, thus a mood median analysis was conducted. Taking the median of all participants, participants were classified as slow or fast learners. We found that 4 of 6 of participants in the none groups were classified as fast learners, 3 of 7 in the TE history group, and 4 of 7 in the SF history group, with any statistical difference, $\chi^2(2) = 0.76$, $p = 0.684$. Also, we found an absence of some preliminary repertoire. There was no contingency between the speed of learning in preliminary training and the speed of learning in the discrimination, 6 participants fast in the preliminary training were also fast in the discrimination, but 5 of them were slow learners; 5 participants slow in the preliminary training were fast in the discrimination whereas 4 were also slow.

It seemed that the target behavior was acquired faster when the background was dim. Considering all groups, 7 of 11 participants receiving a dim background were considered as fast learners whereas 4 of 9 participants with original background were fast learners, $\chi^2(1) = 0.737$,

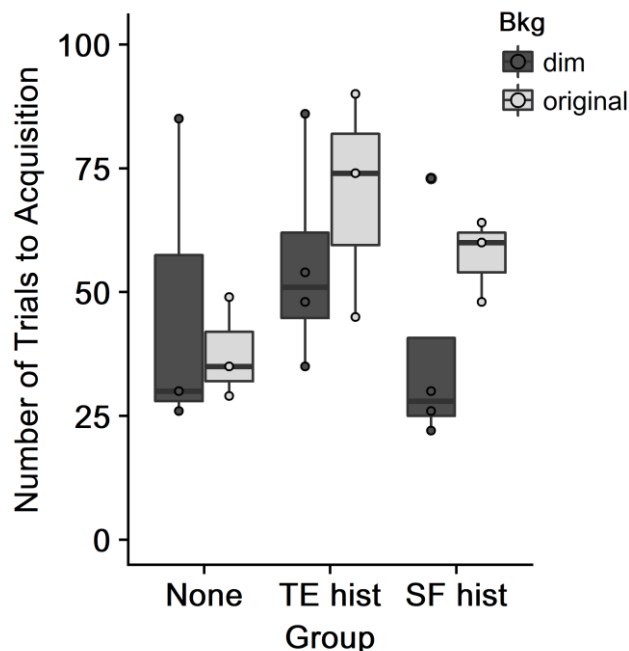


Figure 3.11. Number of trials to acquire the target behavior in pretraining according to assignment by groups. Right after, None group had no learning history, TE hist had a trial-and-error learning history, SF hist had a stimulus fading learning history. Cell contents: count and row percent.

$p = 0.39$. This result is contradictory to the slow down effect found during the discrimination task. In order to underline some potential effect of the background and more precisely of the contrast, an experiment in which diverse range of contrast between background and stimuli could be realized with the same task.

Threshold Analysis

Individual luminance difference threshold was determined by selecting the difference below which 50% of responses were on the brightest stimulus (Cornsweet, 1962). Unfortunately, due to the end of the school year, the thresholds of participants 12, 13 and 22 were not evaluated. Each individual threshold is displayed in **Figure 3.12**. Three different patterns of thresholds have been discerned. In the first pattern, participants made no or a maximum of two selections on the less bright stimulus, thus they rapidly attained the last difference of 5%. In the second pattern, more than two choices were made on the less bright stimulus. Participant 112 obtained a threshold of 5%, participants 3, 106, and 107 had a threshold between 5% and 6% and participants 10 and 109 between 6% and 7%. All these participants had a threshold under the target discrimination set up during the experiment. The third pattern displays more complex graphical threshold. Participant 5 made two consecutive choices on the less bright stimulus at the beginning of the test, then choose the brightest stimulus until reaching a difference of 7%, from the 30th trials, more choices were made on the less bright stimulus, thus the threshold was determined at 8% and 9%. Finally, participants 110 and 006 obtained a more chaotic curve. The threshold of participant 6 could be determined at 14%, thus above the 10% of our discrimination task. The threshold of participants could not be established. As said at the beginning of the results, all participants acquired the target discrimination. A question could be raised about the relevance of the threshold measurement. For example, participants 10 and 6 were in the same TE history group, both reached the criterion between 10

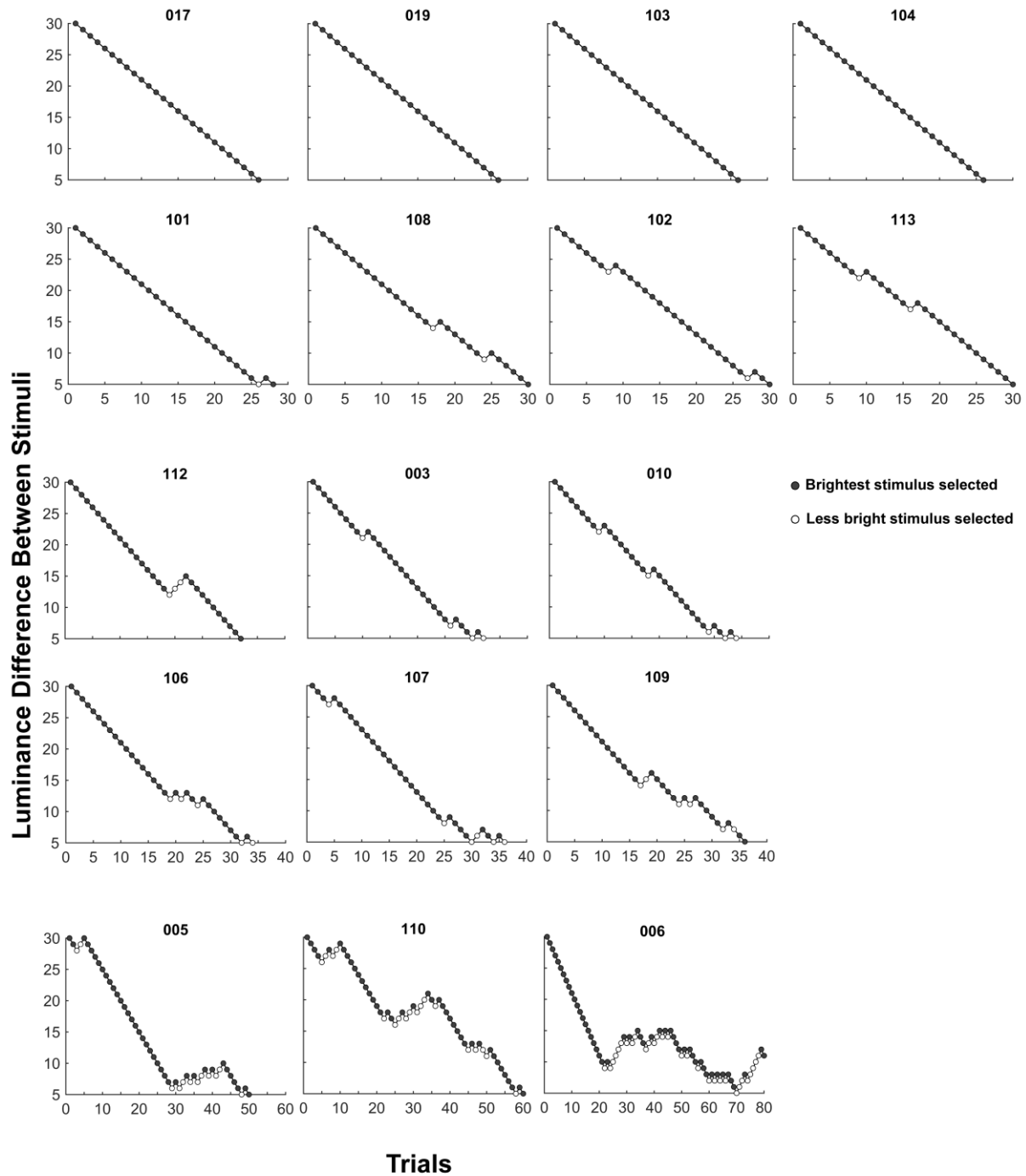


Figure 3.12. Individual threshold of the luminance difference between the two squares stimuli. Filled circle indicates that the brightest stimulus was selected and open circles that the less bright stimulus was selected

and 20 trials with a percentage of correct responses averaging 60%. It could have been expected a similar threshold between these two participants. However, as exposed previously, the threshold of participant 6 seemed to be at 14%, above the 10% of the discrimination. Therefore, this participant should not have learned the target discrimination. However, this was not observed.

Psychophysical methods have rather been controverted and many methods and procedures of measurement exist in the literature (Cornsweet, 1962; Ehrenstein & Ehrenstein, 1999; Garcia-Pérez, 1998; Treutwein, 1995). For example, threshold can be determined by use of the method of constant stimuli in which several stimulus values are chosen. The stimuli are presented in multiple trials, in quasi-random order. After each presentation, the observer had to report if the stimulus has been detected. Then, a psychometric function is computed and the threshold is defined at the stimulus intensity detected 50% of the time. Using this method, some parametric transformation can be conducted as for example the logistic transformation. In the present experiment, the threshold measurement was not the primary objective. Thus, according to the fact that participants were young children from 5 to 6 years old and realized a minimum of two sessions, the method needed to be short in time.

A first attempt not reported in this experiment was conducted on few children with a different methodology. The child was asked to say if the two squares were similar or different on the color. With this method, the child made lots of choices on different whereas the difference between the two stimuli was large. Thus, the instruction and the task were different from the method used after, and seemed to influence the response of children. During the current method, the administration of instruction was also challenging. Some of the children didn't "understand" what stimulus was the brightest stimulus and choose the less bright when the difference was large. In French, the concepts of clearer ("plus clair") and brightest ("plus brillant") might be different concepts. Thus, the experimenter realized the first trial with the child and gave an informative feedback on the second trial. Kendler, Kendler and Learnard (1962), after successive reversal discrimination in which two squares differed in both color and dimension, studied the verbalization of the relevant dimension, also called the mediate response in range of five chronological ages in children. It has been shown that less than half of younger children (until 6 years old) verbalized the correct dimension in tests and poorly verbalized each

dimension. Also, they showed some correlation between the emission of a verbalized mediated response and the correctness in the discrimination. According to our study, it has been possible that some children learned the discrimination without any covert mediating response and were unable to choose the brightest when asked to them.

The task between the first attempt and the second method was also different. During the first attempt the child was asked to select if the stimuli were similar or different, whereas in our current methodology the task was quite identical to the task during discrimination training, select the brightest stimulus. Thus, the instruction given and the task plays a role in the use of psychophysical methods in the definition of perceptual threshold in humans and especially in children.

The discrimination task could be a psychophysical test to define some threshold by adding reinforcement contingency as it is done in animal study. The difficulties encountered and the pattern obtained for some children give us some critical information about conducting psychophysical method with children. A large difference between the discrimination task and the psychophysical test was the presence of reinforcement contingency in the first one. Thus, the contradictions found for some children show us the efficiency and the importance of reinforcement during such task.

3.4. General Discussion of Transfer effect in learning a new discrimination with stimulus fading and trial-and-error learning as learning history

The present study was designed to investigate positive transfer in two successive discriminations with two different learning history, trial-and-error learning and stimulus fading. In each experiment, the relevant dimension was the color. One group of participants were trained a first discrimination by trial-and-error, another one trained a first discrimination with a stimulus fading protocol and a third group received no training prior to the training of the second condition for the other groups. During the stimulus fading protocol, the S- was modified across 8 fading levels after a string of five successive trials. In experiment 1 with adults, the relevant characteristic between the first discrimination and the second discrimination was changed. Thus, during the first discrimination the hue of the squares was the relevant characteristic, the redder one being S+. During the second condition, green squares were used, and the saturation was the relevant characteristic, S+ was the more saturated one. In experiment 2 with children, the relevant characteristic was the luminance in each discrimination. Children could receive training with a dim background or a clearer background. Therefore, two major differences need to be underlined between experiment 1 and experiment 2. The first one is the modification of the relevant characteristic of the color dimension in one case and the second one is the ending criterion of the experiment. In experiment 1, each condition ended when a total of 80 reinforcers was reached whereas in experiment 2, each condition ended when the discrimination was learned, thus a string of five successive trials was emitted or when 200 trials were reached. Thus, one analysis was conducted according to 8x5 criteria and one according one criterion of 5 successive of correct responses. Although, these differences that could be a limitation of this study, an attempt of comparison will be conducted in the present discussion.

3.4.1. The Attention Theory

In experiment 1, both trial-and-error learning and stimulus fading protocol as learning history improved the subsequent performances in the new discrimination (number of trials needed to acquire the discrimination and percentage of correct responses). We found that there was no difference between TE-TE and TE, and significant difference between SF-TE and TE. We made the hypothesis that stimulus fading could enhance the probability of observing response on the relevant dimension, and thus this probability would be at a high level at the beginning of the subsequent discrimination (Dube et al., 2010). According to this hypothesis a positive transfer should have been observed. However, the literature in reversal and intra/extra dimensional shift have also shown that overtraining could increase the probability of observing responses on the relevant dimension (Eimas, 1966; House & Zeaman, 1962; Shepp & Turrisi, 1969). According to House and Zeaman theory, based on observing response unlighted by Wyckoff, an observing mediating response is necessary for the acquisition of a discrimination. Thus, across training the probability of observing response on the relevant dimension increases and reaches a high level at the end of training. If the subsequent discrimination uses the same relevant dimension, the learning is facilitated by the probability of observing responses that already has a high level. However, if the relevant dimension is different, a negative transfer is observed. In the case of overtraining, the probability of observing responses on the relevant dimension is even more increased. Two outcomes in experiment 1, are not in accord to the attention theory. The condition didn't end when the discrimination was learned, thus, overtraining trials were necessary to reach 80 reinforcers. According to the theory presented, the probability could have been even more increased for both SF-TE and TE-TE group, maintaining a difference between the two groups, and between the group without any prior learning. With less trials to reach the 8x5 criteria, ST-TE participants showed more overtraining trials than TE-TE participants. Thus, according to the attention theory, the probability of

observing responses would be higher for SF-TE group than for TE-TE group, and higher for TE-TE group than for the group without any learning history. When the first criterion in the second condition was considered, no difference was underlined between the two history groups. However, when all data were considered in the second discrimination task, no difference was found between TE-TE and TE. Thus, the attention theory cannot explain the change in difference between the three groups.

On the contrary, the results on the number of trials to learn the discrimination obtained in experiment 2 with children agreed with the attention theory of House and Zeaman. In this experiment, there was no overtraining trial because each condition ended when the discrimination was learned. We found that most participants classified as fast learners in the second condition received stimulus fading in the first discrimination training. One limitation of this experiment is the number of participants in each group. Three groups were designed and it was expected a minimum of 10 participants by groups, but experimentation with children is more compelling than adult experimentation. The experiment was conducted in the same environment across two school years with the same aged children. In the first classroom, on 30 children, 13 participated in the study meaning that parents and children agreed to participate, 4 of them asked to stop the experiment before the end. In the second classroom, the second year, on 26 children, the half participated and two of them stopped before the end. Finally, the none group was composed of 6 children and the two experimental groups of 7 children. Thus, this experiment needs to be further investigated with more participants.

Another explanation of the difference between adults and children is the modification of the relevant characteristic of the color dimension across the two discriminations. The positive transfer could have facilitated in children where the relevant characteristic was similar between the two conditions. Thus, according to the attention theory, the probability of observing

responses will be enhanced solely on the characteristic and not all the dimensions. Conducting the same experiment with adults will confirm this hypothesis.

If overtraining was responsible for the absence of difference in experiment 1, a replication of this experiment in the absence of overtraining trials would be able to underline a positive transfer larger for the SF-TE participants than TE-TE participants.

An unexpected result was also found in this experiment with children. The TE history group obtained a percentage of correct responses lower than the group without any history. This result contradicts the attention theory of House and Zeaman. If the probability of observing responses on the relevant dimension is higher in TE history group at the beginning of the second training, the percentage of correct responses should be higher. What is learned by these participants?

3.4.2. The S-R Theory and the Verbal Mediating Theory

According to the S-R theory of Spence (1936) following discrimination training the relevant dimensions became inhibitor. In children experiment, the relevant dimension remained the same between the two conditions, however, one characteristic of this dimension was modified, the hue. In the first training, the stimuli were green and in the second training stimuli were red. Thus, the characteristic hue was neutral at the beginning of the second condition. But, if children followed the S-R theory of Spence, the negative transfer should have been also observed for the SF history group.

The theory of the verbal mediating responses needs to be considered in the interpretation of our results (H. H. Kendler & D'Amato, 1955; T. S. Kendler et al., 1962). According to this theory, a covert mediated response, a verbal response in nature, intervenes during discrimination training. Thus, the relevant property or dimension of the stimulus is internally represented and used during training. During the threshold test, we have shown that the

administration of instruction calling the relevant dimension has been challenging. It could be assumed that the emission of a verbal mediated response in the case of our experiment was difficult for some children aged from 4 to 6 years old. During the stimulus fading, the difference between S+ and S- is large and could facilitate the emission of a covert mediated response. This interpretation could also explain the positive transfer found for the SF history group. However, the absence of a verbal mediated response in the TE history group cannot explain the negative transfer found for these children. One could assume that another verbal mediated response as for example “the greener square is the correct one” is emitted and could not be applied in the second condition in which the squares were red. The verbal mediated response theory could also explain the diversity in the results found in the adult experiment. Some of them could have emitted a relevant verbal mediated response in the first condition as for example “the square more colored” that could also be applied in the second condition, facilitating the acquisition in the second condition. Some other, however, might have irrelevant verbal mediated response that impeded the second discrimination learning.

This hypothesis can be verified by an inquiry conducted at the end of the experiment. After the experiment, the inquiry was conducted using LimeSurvey. Participants were informed that their answers were anonymous and were asked to respond sincerely. The design of the first condition was shown and they were asked if they preferred one square, if yes why. The same questions were asked showing to the participants the design of the second condition. Verbal rules were classified as relevant for the discrimination for example “the more contrasted square” or “the darker square” and as irrelevant any verbalization relative to the position. Our findings are not in accord with the verbal mediated theory (**Table 3.6**). The inquiry was conducted on 26 participants of the experiment, 13 in SF-TE and 13 in TE-TE. Five of the 13 participants in SF-TE had a relevant verbal rule in each condition and showed a positive transfer, whereas 4 of them had an irrelevant rule either in each condition or in the first one and showed positive

transfer. In TE-TE group, 4 of 14 participants had a relevant rule in each condition or in the first condition and had a positive transfer in the second condition, but also 4 of 14 had an irrelevant rule and demonstrated a positive transfer. Thus, a relevant verbal rule that became overt by an inquiry is not a necessary condition to observe a positive transfer. One could argue that covert and overt verbal mediated responses are not similar but, in this case, it is difficult to verify the validity the verbal mediated response.

Table 3.6. *Number of participants who showed positive and negative transfer in each group and who showed relevant or irrelevant verbal rules*

	Transfer	<u>Verbal rules in each cond.</u>		<u>Verbal rules in the first cond.</u>		<u>Verbal rules in the second cond.</u>		Total
		Relevant	Irrelevant	Relevant	Irrelevant	Relevant	Irrelevant	
SF-TE	Positive	5	1	0	3	1	1	11
	Negative	1	0	1	0	0	0	2
TE-TE	Positive	3	3	1	1	0	1	9
	Negative	1	1	1	1	0	0	4
Total		10	5	3	5	1	2	

3.5. Conclusion of Transfer effect in learning a new discrimination with stimulus fading and trial-and-error learning as learning history.

Some studies have shown facilitation to learn a subsequent discrimination when a previous discrimination was trained using a stimulus fading protocol (Aronsohn et al., 1978; Fields, 1980). However, these results were not replicated in other studies. According to the literature, an history of stimulus fading could facilitate the subsequent discrimination (by reducing the number of trials needed), could impede the subsequent discrimination (absence of learning), or an absence of differences have also been documented when trial-and-error and stimulus fading were used as previous learning (Gollin & Savoy, 1968; Richmond & Bell, 1986; Schilmoeller et al., 1979). Some of these studies used intra and extra dimensional shift between the two discrimination, keeping the same relevant dimension or changing the relevant dimension to learn the discrimination. Thus, the relevance of the dimension in the two discriminations could influence the transfer. Positive and negative transfer were more investigated in reversal studies using trial-and-error learning. Again, the results are diverse and sometimes contradictory (Coldren et al., 1994; House & Zeaman, 1962; Kendler & D'Amato, 1955; Youniss & Furth, 1964). We reported our attention on 3 theories. The S-R theory of Spence (1936) that assumed the previous irrelevant dimension became relevant is inhibitor and thus, a positive transfer when the relevant dimension in the subsequent discrimination was not irrelevant in the previous discrimination. The verbal mediated response of Kendler (1955), which assumed the development of a covert verbal mediated response during the first discrimination training that facilitate the learning of the subsequent discrimination when the relevant dimension remained constant. Finally, the attention theory of House and Zeaman (1962), that postulated the enhancement of the probability of observing the relevant dimension during the first discrimination training, thus, the probability being at a high level at the beginning of the subsequent discrimination, positive transfer is observed when the relevant dimension was constant. These theories might be applied in the case of stimulus fading transfer.

In the present study, participants received either a first discrimination training by trial-and-error or with a stimulus fading protocol. The color dimension remained the relevant dimension in the two discrimination tasks, in the first experiment the characteristic was modified across the two discriminations (hue in the first and saturation in the second) and in the second experiment with children the characteristic was similar (luminance). In each experiment, a control group had no previous discrimination training.

Our findings showed that adults with a stimulus fading history and trial-and-error learning history had both a positive transfer in the first criterion of the subsequent discrimination, agreeing with the attention theory. The absence of difference between SF and TE as history might have been caused by overtraining. No overtraining was conducted with children and participants receiving a previous discrimination training with stimulus fading showed more positive transfer than the trial-and-error history group. Moreover, some of the performance were impede when the previous discrimination was trained by trial-and-error. These results were not in accordance with the attention theory. In adults, when all data were considered there wasn't any difference between a learning history of TE and no learning history, refuting the attention theory. An analysis of overt verbal responses refuted the verbal mediated theory because a relevant verbal mediated response was not necessary to facilitate the subsequent discrimination.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Ce travail de thèse visait l'étude de la procédure de stimulus fading dans l'apprentissage d'une discrimination visuelle à travers trois études et à travers populations différentes : l'adulte sain, l'enfant sain et l'enfant avec troubles du développement. Dans chacune de ces études, le même comportement cible était utilisé lors de la tâche de discrimination. Ce comportement consistait en la fixation d'un stimulus et le déplacement avec le regard de celui-ci vers une cible. Quant à la procédure de stimulus fading, elle était systématiquement conçue de la manière suivante : 8 niveaux de fading étaient réalisés et le niveau de fading changeait lorsque le participant émettait 5 réponses correctes de manière consécutive. Toutes les discriminations entraînées dans le présent travail impliquaient une discrimination intradimensionnelle. Cela signifie que les stimuli S+ et S- différaient dans une dimension.

La première étude impliquait une discrimination de la luminance, le S+ étant le stimulus le plus lumineux et le S- le moins lumineux. Nous avons mis en évidence que la procédure de stimulus fading permettait l'acquisition de chaque critère avec moins d'essais que l'apprentissage par essai-erreur. De plus, la discrimination était acquise avec un pourcentage de réponses correctes plus important qu'avec un entraînement par essai-erreur. Par ailleurs, les résultats ont également mis en exergue que l'ordre d'administration des conditions avait une influence sur les performances. L'apprentissage de la discrimination par essai-erreur semblait facilité lorsque les participants avaient été tout d'abord entraînés avec une procédure de stimulus fading.

Lors de la deuxième étude, nous avons étudié la contingence de renforcement dans le cadre du stimulus fading. Étude qui n'avait encore jamais été réalisée. Pour cela, nous avons mis en place un groupe contrôle yoked, lors duquel un participant est apparié à un participant dans la condition de stimulus fading. Il reçoit les renforçateurs indépendamment de son comportement, mais en fonction des réponses du participant en stimulus fading. Nos résultats ont mis en évidence que la contingence de renforcement était nécessaire pour que toutes les

discriminations impliquées dans le stimulus fading soient apprises. Cependant, certains résultats ont été surprenants puisque certains participants ont acquis un certain nombre de discriminations, voire la totalité. Ces résultats ont été mis en évidence alors même qu'aucune contingence de renforcement n'était présente (mesurée par le Delta P). Une analyse de la méthodologie du stimulus fading nous a permis d'émettre l'hypothèse que la procédure impliquait également une réponse produisant un changement du stimulus, en d'autres termes une contingence impliquant le changement du stimulus. Ainsi, l'acquisition d'un certain nombre de discriminations pourrait résider en la présence de cette contingence.

La troisième étude s'est portée sur l'effet facilitateur du stimulus fading lors de l'apprentissage d'une nouvelle discrimination subséquente. Cette étude a mis en évidence un effet facilitateur lorsque les participants avaient préalablement été entraînés par essai-erreur ou avec une procédure de stimulus fading, cette dernière ayant un effet d'autant plus facilitateur. De plus chez l'enfant, un effet facilitateur était plus amplement mis en évidence lorsque la première discrimination avait été acquise avec une procédure de stimulus fading. Par ailleurs, un entraînement préalable par essai-erreur chez l'enfant a entravé l'apprentissage de la discrimination suivante.

Les résultats mis en évidence dans ce travail de recherche ont une implication à la fois théorique, méthodologique et clinique. Ces implications seront abordées plus en détail dans la présente discussion.

1. Implications théoriques

1.1. La contingence de renforcement et du changement du stimulus dans le stimulus fading

Il est indéniable qu'une contingence entre une réponse et une conséquence à cette réponse est nécessaire dans l'apprentissage (Hull, 1943; Rescorla, 1968; Spence, 1936). Dans le cas de l'apprentissage d'une discrimination, la contingence de renforcement joue un rôle important dans l'acquisition de la discrimination. Dans l'utilisation d'une procédure de stimulus fading, lors de laquelle un stimulus non corrélé avec le renforçateur (S-) est modifié progressivement, en augmentant ainsi la difficulté de l'apprentissage de la discrimination, le rôle de la contingence de renforcement n'avait encore jamais été évalué. A priori, en l'absence de contingence de renforcement aucun participant n'aurait dû apprendre la moindre discrimination en stimulus fading. Ainsi, une condition yoked-control permettant de maintenir la même distribution temporelle et même magnitude de renforcement a été utilisée dans notre seconde étude afin de tester cette hypothèse. Pour rappel, la procédure de yoked-control consiste à associer chaque participant dans les deux conditions. Peu importe le comportement du participant yoked, le renforcement est administré en fonction du comportement réalisé par son pair. Par exemple, lors d'un premier essai, le participant en stimulus fading émet la réponse correcte et le participant en yoked-control émet également la bonne réponse, les deux participants obtiennent le renforçateur. Dans un deuxième essai, le participant en stimulus fading émet la réponse correcte, et ce comportement est de nouveau renforcé. Alors que le participant en yoked-control a émis la mauvaise réponse et obtient également le renforçateur. Enfin dans un troisième essai, le participant en stimulus fading sélectionne la mauvaise réponse, et le participant en yoked-control émet la réponse correcte, les deux n'obtiennent pas le renforçateur. Ainsi, a priori il n'existe pas de contingence de renforcement dans la condition yoked. Nos résultats ont mis en évidence un apprentissage de certaines discriminations en

l'absence de contingence de renforcement explicite. Néanmoins, afin de nous assurer de l'absence de contingence nous avons calculé le Delta P pour chaque discrimination chez chaque participant. Le Delta P est un indice de contingence développé par Rescorla (1968). Lors d'une étude sur la peur conditionnée, il a mis en évidence non pas seulement le rôle de la probabilité d'occurrence du stimulus inconditionné (p. ex. choc électrique) en présence du stimulus conditionné (p. ex. son ; $P(SI|SC)$), mais également la probabilité d'occurrence du stimulus conditionné en l'absence du stimulus conditionné ($P(SI|\sim SC)$). Ainsi, la capacité d'un stimulus conditionné à déclencher une réponse conditionnée résiderait dans ces deux probabilités. Le Δp est obtenu en soustrayant $P(SI|\sim SC)$ à $P(SI|SC)$. Ainsi, lorsque $P(SI|SC) > P(SI|\sim SC)$, le Δp est positif, signifiant que la contingence est positive. Lorsque $P(SI|SC) = P(SI|\sim SC)$, le Δp est neutre ; et enfin $P(SI|SC) < P(SI|\sim SC)$, indique une contingence négative. Nous avons donc ainsi choisi d'utiliser la formule du Delta P dans le cadre d'un conditionnement opérant où le SC est remplacé par l'émission d'une réponse correcte et l'absence de SC par l'émission d'une réponse incorrecte, et où SI est remplacé par le renforçateur. La formule utilisée était donc la suivante :

$$\Delta p = P(Sr | R Correcte) - P(Sr | R Incorrecte)$$

Les théories associatives se sont également appuyées sur cet indice afin d'évaluer les effets de la contingence dans la mise en place d'association entre deux stimuli (Murphy, Vallée-Tourangeau, Msetfi, & Baker, 2005). Wasserman, Chatlosh et Neunaber (1983), ont mis en évidence un effet du Delta P sur l'évaluation de la prédiction d'une lumière suite à un comportement. En effet, les participants étant des étudiants émettaient un comportement correspondant au Delta P et jugeaient correctement les contingences. Un Delta P négatif induisait une évaluation négative de la présence de la lumière après l'appui et un Delta P positif induisait une évaluation positive, peu importe les probabilités manipulées. Une étude de Vallée-

Tourangeau, Hollingsworth et Murphy (1998) a mis en évidence que le Delta P n'était pas toujours un bon prédicteur pour l'évaluation d'une contingence chez l'humain. Dans leur étude, ils ont tout d'abord demandé à des étudiants de diagnostiquer des maladies fictives chez 60 patients fictifs en se basant sur un symptôme. Un feed-back sur l'exactitude de leur diagnostic était apporté. Par la suite, les participants devaient évaluer la relation entre le symptôme et la maladie. Une évaluation positive signifiant que les patients ayant le symptôme avaient la maladie et ceux n'ayant pas le symptôme n'avaient pas la maladie. Pour chacune des maladies, la contingence avait été manipulée de façon à obtenir une contingence positive, une contingence négative et trois contingences neutres variant en densité, la densité étant modulée par la probabilité de maladie lorsque le symptôme est présent et la probabilité de maladie en absence de symptôme. Ainsi, selon le Delta P l'évaluation de la relation devrait être similaire pour les contingences neutres. Or, les auteurs ont mis en évidence un effet de la densité. Lorsque les deux probabilités étaient élevées (0.7), l'évaluation était d'autant plus positive que lorsque les deux probabilités étaient faibles (0.3). Cet effet n'est cependant pas répliqué pour une contingence neutre lorsque les participants doivent juger la contingence d'un comportement qu'ils ont émis au préalable (Wasserman, Elek, Chatlosh, & Baker, 1993). Néanmoins, les auteurs ont mis en évidence que la probabilité d'apparition de la lumière après une réponse ($P(O|R)$) avait plus d'influence que la probabilité d'apparition de la lumière en absence d'une réponse ($P(O|NoR)$). De plus, lorsque les contingences se situaient dans les extrêmes, une contingence positive et une contingence négative étaient surestimées quand l'addition des deux probabilités était petite ($P(O|R)$ et $P(O|NoR)$).

Dans notre étude, par la mesure du Delta P nous avons mis en évidence qu'un nombre important de discriminations avaient été acquises en absence de contingence fortement positive ($\Delta p > 0.4$). Parmi les Delta P mesurés, certains étaient neutres. Néanmoins, la neutralité de la contingence pouvait être obtenue soit avec une $P(Sr+|R \text{ Correcte})$ et une $P(Sr+|R \text{ Incorrecte})$

élevées soit avec les deux probabilités basses. Ainsi, dans le cas où les deux probabilités pouvant être élevées, il y aurait une surévaluation de la contingence positive, influençant l'apprentissage de la discrimination. Cette hypothèse peut être vérifiée en considérant ces Delta P neutres ($\Delta p = 0$). Lorsque les probabilités étaient inférieures à 0.5, 3 discriminations ont été acquises, lorsque les probabilités étaient supérieures à 0.5, 7 ont été acquises et 6 non acquises.

La condition de Yoked Control ne s'avère pas être la condition la plus adéquate pour évaluer l'effet de la contingence de renforcement lors d'un stimulus fading. En effet, bien qu'elle présente l'avantage de maintenir équivalents la densité de renforcement et la distribution temporelle du renforcement, elle présente le désavantage de parfois résulter en une contingence positive par inadvertance. De plus, elle ne permet pas à l'expérimentateur de contrôler les probabilités impliquées dans la contingence. Cependant, l'acquisition d'un certain nombre de discriminations ne semble pas être expliquée par ces paramètres.

Une analyse du stimulus fading nous permet de proposer une théorie quant à l'acquisition d'un certain nombre de discriminations dans cette condition alors que la contingence de renforcement n'était pas positive : la modification du stimulus produite par la réponse. Dans la procédure de stimulus fading, une autre contingence que la contingence de renforcement est présente lors de l'entraînement. Lorsque le participant émet un certain nombre de réponses correctes, l'un des stimuli est modifié perceptivement, et lorsqu'il émet un certain nombre de réponses incorrectes, aucune modification n'est réalisée. Ainsi la modification du stimulus, qui demeure un changement dans l'environnement, pourrait être effective comme renforçateur conditionné chez l'adulte et le jeune enfant. Dans une étude réalisée chez le pigeon, Fields (2018) a mis en évidence qu'un transfert de contrôle de stimulus pouvait s'opérer en l'absence de renforcement. Pour cela, des pigeons ont été entraînés à discriminer une lumière rouge d'une lumière verte, puis une fois la discrimination établie, des lignes d'orientation différentes étaient ajoutées progressivement sur la clef de couleur. Ces étapes étaient alors

réalisées avec du renforcement. Ensuite, la couleur était progressivement effacée sur chacune des clefs, en l'absence de renforcement. La présentation de stimuli tests impliquant l'orientation de ligne durant cette phase a permis de démontrer qu'un transfert de contrôle avait eu lieu entre la couleur et l'orientation de ligne en l'absence de renforcement. Dans cette étude, le changement de stimulus était au départ associé à un renforçateur primaire et a ainsi pu devenir stimulus conditionné (Kelleher & Gollub, 1962).

Le rôle des stimuli produits par les réponses a été étudié dans le cadre de programme en tandem. Lors d'un programme en tandem, plusieurs composantes (au moins 2) se succèdent sous le contrôle d'un unique stimulus, se terminant par l'accès à un renforçateur. Par exemple, Schlinger & Blakely (1994) ont étudié l'effet du délai de renforcement dans un programme en tandem FR1 DRO. Les délais manipulés étaient de 4 et 10 secondes, et pour chacun de ces délais un groupe recevait un feed-back auditif lors de la complétion du FR1. Ce feed-back était donc défini comme un stimulus produit par la réponse. Les auteurs ont mis en évidence que l'acquisition était plus rapide avec un délai court et d'autant plus lorsque la réponse de la première composante produisait un stimulus.

Ces études démontrent qu'un changement dans l'environnement produit par une réponse peut être effectif comme renforçateur conditionné. La différence entre ces études et notre étude est la distribution temporelle des événements. Effectivement, dans notre étude le changement du stimulus produit par la réponse s'effectuait après cinq réponses consécutives sur le S+, et chacune de ces réponses était suivie d'un accès à un renforçateur. Une autre différence conséquente est également à noter, chez l'animal le renforçateur terminal est un renforçateur primaire (p. ex. nourriture) alors que dans notre étude le renforçateur explicite est un renforçateur secondaire (p. ex. vidéo). Ainsi, dans notre étude le changement du stimulus produit par la réponse comme renforçateur n'implique pas l'association de ce potentiel renforçateur à un renforçateur primaire. Néanmoins, nous ne pouvons exclure la théorie selon

laquelle ce changement pourrait être effectif comme renforçateur et produirait l'acquisition des discriminations en stimulus fading en absence de contingence de renforcement explicite.

Afin de tester et de pouvoir valider cette hypothèse, de plus amples études sont nécessaires. Comme nous l'avons exposé précédemment, la condition yoked-control peut produire une contingence de renforcement positive par inadvertance. Ce risque est d'autant plus accru dans le cadre d'une procédure de stimulus fading où le participant apparié sélectionne principalement le S+ et obtient donc un taux de renforcement élevé. L'ajout d'une condition avec renforcement aléatoire permettrait de pallier à ce risque. En effet, la contingence serait neutre et la probabilité de renforcement pourrait être manipulée de la façon suivante : 50% de réponses correctes renforcées et 50% de réponses incorrectes renforcées. Enfin, une troisième condition pourrait être ajoutée avec absence de renforcement explicite, seule la contingence de changement du stimulus serait présente. Ainsi, l'acquisition d'un certain nombre de discriminations ne pourrait être attribuée à la présence d'une contingence de renforcement par inadvertance. Dans le cas où il y aurait des différences entre la condition de renforcement aléatoire et la condition en absence de contrôle, cela indiquerait que la présence explicite de renforcement, même aléatoire joue un rôle dans l'acquisition d'une discrimination. Si plus de discriminations sont apprises en absence de renforcement, alors la présence de renforcement aléatoire aurait un effet délétère sur l'acquisition. Un résultat contraire indiquerait que la présence de renforcement même en absence de contingence joue un rôle dans l'acquisition. Dans ce cas, il pourrait être également intéressant d'évaluer l'effet de la densité en variant les probabilités de renforcement des réponses correctes et incorrectes en maintenant une contingence neutre.

En définitive, notre étude sur la contingence de renforcement et le stimulus fading a permis d'émettre la théorie qu'une seconde contingence était impliquée dans cette procédure et qui permettait l'acquisition d'un certain nombre d'étapes du stimulus fading. Cependant afin

de valider cette théorie il sera nécessaire de réaliser des études supplémentaires comme celles exposées précédemment. La présence d'une contingence impliquant la modification d'un stimulus produite par la réponse n'avait encore jamais été envisagée dans ce type de protocole.

1.2. Théories attentionnelles appliquées au stimulus fading

Une des théories majeures quant à l'efficacité de la procédure de stimulus fading repose sur la notion d'attention sur les stimuli qui favoriserait la mise en place du contrôle discriminatif de la dimension pertinente (Dube et al., 2010; Terrace, 1966b). Grâce à l'utilisation d'un oculomètre nous avons été en capacité de mesurer les réponses d'observation, dans le cas présent la durée de fixations sur les stimuli, mais également d'impliquer une réponse d'observation dans la réponse cible. Ainsi, nous avons mis en évidence que l'observation était plus importante sur le S+ chez une enfant avec maladie génétique rare induisant des troubles du développement. Par ailleurs, la troisième étude visait à étudier le transfert d'apprentissage à travers deux discriminations. Le transfert à travers deux apprentissages successifs implique également l'attention portée aux stimuli. Afin d'expliquer la divergence de nos résultats, nous sommes appuyés sur la théorie de l'attention de House & Zeaman (1962), cependant l'utilisation de cette théorie n'a pas permis d'expliquer tous nos résultats.

Les théories associationnistes ont développé des modèles afin d'expliquer des phénomènes tels que le phénomène de blocage et d'overshadowing dans le conditionnement répondant. Ces modèles cherchent à mesurer la force associative d'un stimulus au cours d'un conditionnement répondant, en incluant des paramètres tels que la saillance du stimulus. Ainsi, ces modèles pourraient également être utilisés afin de mesurer la force de contrôle d'un stimulus dans le cadre d'une discrimination par stimulus fading. Avant d'aborder les différents modèles incluant l'attention, il est essentiel de présenter le modèle de Rescorla et Wagner (1972), point de départ des autres modèles. Le changement de la force associative d'un stimulus (ΔV_A) à un essai est fonction de la différence entre la magnitude du stimulus inconditionné (λ) et la somme

des forces associatives de tous les stimuli présents (V_T) par la saillance du stimulus conditionné. Elle est également déterminée par 2 paramètres que sont la saillance du stimulus conditionné (α) et les caractéristiques du stimulus inconditionné (β).

$$\Delta V_A = \alpha \beta (\lambda - V_T) \quad (1.1)$$

Rescorla et Wagner postulent que la capacité d'association d'un stimulus déterminée par sa saillance α peut se modifier dans l'apprentissage, mais leur modèle n'explique pas de quelle manière peut avoir lieu cette modification. Mackintosh (1975) est l'un des premiers à évoquer l'attention sélective dans son modèle. Il postule que la valeur α est initialement déterminée par les caractéristiques physiques du stimulus et de la sensibilité du participant à ces caractéristiques, celle-ci sera ensuite modifiée au cours de l'apprentissage. Ainsi la valeur α permet de modéliser l'attention sélective. La valeur α d'un stimulus augmente lorsqu'il est corrélé avec le renforçateur et la valeur α d'un stimulus diminue lorsqu'il est corrélé avec l'absence de renforçateur. Dans le cas où plusieurs stimuli sont impliqués dans l'apprentissage, l'augmentation de la capacité d'association d'un stimulus n'induit pas nécessairement la diminution de la capacité d'association des autres stimuli. L'étendue avec laquelle un renforçateur est prédit par A est représenté par $|\lambda - V_A|$. Ainsi, α augmente ou diminue selon les équations suivantes :

$$\Delta \alpha_A \text{ est positif si } |\lambda - V_A| < |\lambda - V_X| \quad (1.2)$$

$$\Delta \alpha_A \text{ est négatif si } |\lambda - V_A| > |\lambda - V_X| \quad (1.3)$$

À cela est ajoutée la notion de généralisation stipulant que la modification de l'alpha d'un stimulus impactera le changement de la force associative des autres stimuli. Ainsi, le paramètre $S_{i,j}$ définissant la similarité entre les stimuli est intégré à l'équation ($0 \leq S \leq 1$).

$$\Delta V_{A2} = S_{A1,A2} \alpha_{A1} (\lambda - V_{A1}) \quad (1.4)$$

Cette théorie permet d'appréhender la dimensionnalité de l'attention. Un organisme ne prêterait pas attention à des stimuli spécifiques, mais plus particulièrement aux dimensions de ces stimuli. Les résultats observés lors d'un changement intra et extradimensionnel peuvent appuyer la théorie de Mackintosh. Pour rappel, lors d'un changement intradimensionnel, des individus sont tout d'abord entraînés sur deux stimuli composés de deux dimensions et différant dans l'une d'entre elles, donnant lieu à une dimension pertinente pour l'apprentissage de la discrimination (p. ex. triangle rouge vs carré vert et triangle vert vs carré rouge ; où renforcement en présence du rouge). Dans une seconde phase, les stimuli sont changés, mais la dimension pertinente pour apprendre la discrimination reste la même (p. ex. cercle jaune vs croix noire et croix jaune vs cercle noir ; renforcement en présence du jaune). Dans un changement extradimensionnel, la dimension pertinente est modifiée (p. ex. renforcement sur le cercle). La discrimination est plus rapidement acquise en changement intradimensionnel qu'en changement extradimensionnel. La théorie de Mackintosh permettrait également d'expliquer le transfert sur un continuum (1952), en d'autres termes le stimulus fading sur un continuum. La probabilité d'attention est tout d'abord augmentée sur des stimuli qui diffèrent largement puis l'augmentation de cette probabilité, résulte en l'augmentation de la probabilité d'attention à un set de stimuli moins différents. Si α_{A1} augmente, car A1 est bon prédicteur du renforçateur alors $\alpha_{A2}, \alpha_{A3}, \dots \alpha_{An}$ augmente également. Si α_{A4} diminue, car A4 est un mauvais prédicteur du renforçateur les autres α sont également impactés. De manière générale, des changements généralisés dans α se répandent de A2 et A3 à A1 et A4. Ainsi, lorsqu'une procédure de stimulus fading permet plus facilement l'acquisition d'une discrimination qu'un apprentissage par essai-erreur, on pourrait émettre l'hypothèse que les stimuli terminaux ont au départ une saillance faible (α) et que cela retarde l'apprentissage en essai-erreur. En stimulus fading, la saillance des stimuli est modifiée à chaque étape du fading facilitant l'acquisition de

chaque discrimination, jusqu'au niveau terminal où la saillance du S+ est plus élevée. Dans le cas où les deux stimuli discriminatifs S+ et S- sont proches physiquement, comme cela l'était dans notre étude, nous pouvons appeler S+, A8 (100% de luminance) et S-, A7 (90% de luminance). L'augmentation de α_{A8} impacte donc directement α_{A7} , augmentant le risque d'erreur sur A8 (S+). En stimulus fading, la diminution de α_{A1} impacte directement α_{A2} , réduisant le contrôle de A1, mais également de A2, cela jusqu'au dernier niveau de fading où A8 est présenté face à A7. Néanmoins, on devrait observer une hausse d'erreurs dans les derniers niveaux de fading puisque l'augmentation de α_{A8} est supposée augmenter α_{A6} et α_{A7} . De manière plus générale, ce modèle ne permet pas de rendre compte de l'apprentissage sans erreurs qui est souvent observé lors de l'utilisation d'une procédure de stimulus fading. En effet, l'absence d'erreur sur le S- , ne permet pas de rendre ce dernier mauvais prédicteur du renforçateur. Ainsi, en considérant (1.4), la force associative du S- devrait augmenter également. Les résultats obtenus dans l'étude du transfert d'apprentissage chez l'adulte ne peuvent également pas être interprétés par cette théorie. Dans la première condition, la forme, la saturation et la luminance étaient identiques dans le S+ et le S-, et la teinte était la dimension pertinente. Ainsi, la valeur alpha de la teinte à la fin de l'apprentissage devrait être à son maximum alors que la valeur alpha des dimensions non pertinentes devrait être faible. Dans la deuxième condition, la saturation était la dimension pertinente et celle-ci était donc un mauvais prédicteur du renforçateur. Selon la théorie de Mackintosh, l'apprentissage de la seconde discrimination aurait dû être retardée, ce qui n'a pas été le cas.

George et Pearce (2012) proposent un modèle considérant que l'attention apportée à des stimuli serait influencée par deux principes différents. Le premier principe est celui exposé par Mackintosh selon lequel l'attention est apportée sur la dimension pertinente pour l'apprentissage et qu'il y a une généralisation des effets sur de nouveaux stimuli appartenant à la même dimension. Le second principe stipule que l'attention d'un stimulus augmente quand

le stimulus inconditionné n'est pas prévisible. Afin de rendre compte de leur modèle, ils schématisent un réseau de configuration connexionniste (**Figure 1.1**). Lorsqu'un stimulus A, B ou X est présenté, l'unité réceptrice A, B, ou X est activée. Lors de l'activation d'une unité réceptrice, l'unité entrante correspondante est excitée. Dans le cas où le stimulus AX est présenté, les unités entrantes A et X sont connectées à l'unité configurale AX. AX étant connecté au renforçateur, un lien excitateur se développe. Considérons maintenant la présentation de B et X au réseau. Les unités entrantes B et X sont connectés à l'unité configurale BX. Cette unité n'étant pas suivie du renforçateur, un lien inhibiteur se met en place. Ainsi, lorsque le stimulus AX est présenté, l'unité configurale AX est excitée, ce qui va exciter l'unité sortante (renforçateur). La présentation de X va activer BX, ce qui va par la suite activer le lien inhibiteur et donc réduire la réponse face à AX. La présentation seule de A donnera lieu à une réponse relativement forte, la présentation de B à l'absence de réponse due à son lien inhibiteur, et de X à une réponse relativement moyenne. Afin de déterminer la saillance des stimuli pertinents et non pertinents, des liens de feed-back sont ajoutés au réseau de configuration. Une unité entrante sera plus activée si celle-ci a été pertinente dans le passé. Ainsi, une réduction de la sensibilité de X va réduire l'étendue avec laquelle AX va exciter BX. Cela va réduire la généralisation entre AX et BX. À chaque essai, un feed-back de chaque unité configurale est

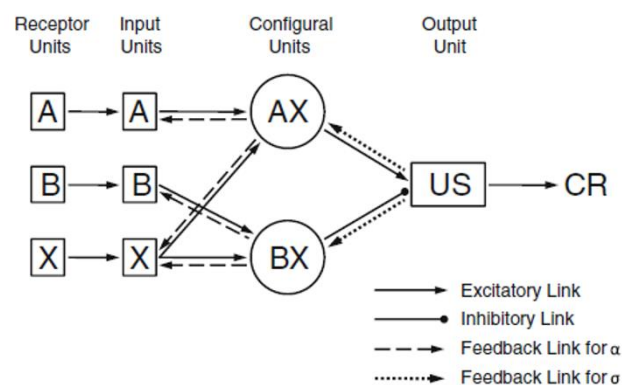


Figure 1.1. Réseau de configuration connexionniste de George et Pearce (2012), pour une théorie d'apprentissage associatif. Connexions impliquées pour une discrimination AX+ et BX-. Les liens de feed-back permettent des changements dans la conditionnabilité d'une unité configurale (lignes en pointillé) et des changements dans l'efficacité relative de l'unité entrante (ligne en tirets).

réalisé sur l'unité entrante, mettant à jour l'efficacité de l'unité. On dit d'une unité qu'elle est efficace lorsque celle-ci prédit le renforçateur. Ainsi, l'efficacité de l'unité est déterminée par sa saillance. Dans le cas où plusieurs unités sont actives, la modification de l'efficacité de l'une va dépendre de l'efficacité des autres unités entrantes. Afin d'expliquer les effets en changement intra et extradimensionnel, ils proposent la théorie qu'un stimulus peut exciter des unités réceptrices uniques et communes. Une unité réceptrice unique serait donc excitée par un stimulus spécifique et une unité réceptrice commune par deux ou plusieurs stimuli. Si deux stimuli similaires excitent un certain nombre d'unités réceptrices communes identiques, la généralisation sera plus importante que pour deux stimuli différents excitant un moins grand nombre d'unités réceptrices communes identiques. Les auteurs supposent donc que dans le cas où l'attention est plus importante pour un stimulus elle devrait se généraliser aux stimuli similaires. Une simulation de leur modèle corrobore avec les résultats obtenus dans la littérature concernant le changement intradimensionnel et extradimensionnel. Effectivement, au cours de la première phase, l'attention sur la dimension pertinente augmente et l'attention de la dimension non pertinente diminue. Lors de la phase 2, le modèle prédit que la discrimination sera plus rapidement acquise en changement intradimensionnel qu'en changement extradimensionnel.

Ce modèle pourrait permettre de prédire qu'un apprentissage précédent par stimulus fading permet une acquisition plus rapide dans un apprentissage subséquent. En effet, le stimulus fading est la succession de plusieurs discriminations avec les mêmes dimensions pertinentes et non pertinentes. Ainsi, l'attention sur la dimension pertinente serait d'autant plus importante par généralisation. L'effet de transfert à travers deux discriminations a priori différentes peut également être interprété par le présent modèle. On peut envisager que les unités réceptrices en premier apprentissage excitent les mêmes unités communes que les unités

réceptrices en deuxième apprentissage. Ainsi de la même manière que pour un apprentissage intradimensionnel, la discrimination serait plus rapidement acquise.

Ces modèles ainsi que d'autres modèles associationnistes pourraient être considérés afin d'expliquer les résultats divergeant et mieux appréhender la notion d'attention dans le stimulus fading. De plus, un modèle permettant d'expliquer certains résultats pourrait également être utilisé dans le cas de prédiction.

2. Implications méthodologiques

Comme nous avons eu l'occasion de le stipuler dans l'introduction, ces soixante dernières années ont marqué un tournant dans l'étude de la perception visuelle chez l'animal humain et non humain tel que le primate (Duchowski, 2007; Gredebäck, Johnson, & von Hofsten, 2009; Shic, 2008). Le développement de l'oculométrie a permis en outre de mettre en évidence que les saccades et les fixations pouvaient être placées sous contrôle environnemental (Rosenberger, 1973; Schroeder & Holland, 1968; Stritzke et al., 2009). L'objet premier de cette thèse n'était pas l'étude des comportements visuels lors de la mise en place d'une discrimination par stimulus fading. Néanmoins, les théories sur l'attention apportée aux stimuli durant l'apprentissage de la discrimination et les démonstrations empiriques concernant l'implication de l'observation dans la discrimination nous ont amenés à considérer l'utilisation de la technique d'oculométrie dans nos travaux (Dube et al., 2010; Everett, 1977; Terrace, 1966b). Par conséquent, ce travail de thèse présente une technique innovante dans l'apprentissage de la discrimination. En effet, dans chacune des études réalisées, le participant avait pour tâche de déplacer avec son regard un stimulus sur un écran d'ordinateur. Ce comportement avait la caractéristique de ne pas figurer au répertoire comportemental du participant, bien qu'il soit constitué de comportement de fixation, de poursuite et de saccade. Ainsi, en utilisant ce type d'opérant le participant était « forcé » de réaliser une réponse d'observation sur le stimulus à déplacer. Une volonté dans ce travail de thèse était l'uniformisation des expériences dans la mesure du possible qu'elles soient menées chez l'adulte ou chez l'enfant avec ou sans trouble. C'est pourquoi aucune consigne n'était apportée concernant la tâche à réaliser et qu'une phase de pré entraînement a systématiquement été réalisée afin d'apprendre au participant le comportement cible de déplacer le stimulus avec ses yeux sur le centre de l'écran d'ordinateur.

Nos études ne permettent pas de mettre en évidence l'apport de l'utilisation de ce type d'opérant comparativement à un opérant plus « classique » comme l'appui sur une touche ou

un clic souri. Néanmoins, sans l'utilisation de cet outil, il n'aurait pas été possible de réaliser une étude du pattern d'observation des stimuli discriminatifs dans l'apprentissage d'une discrimination avec une procédure de stimulus fading. Des études réalisées chez l'adulte avaient démontré que le stimulus corrélé avec le renforçateur était d'autant plus observé que le stimulus corrélé avec l'absence de renforçateur (Hansen & Arntzen, 2018; Pessoa et al., 2009). Ainsi, nous avons pu répliquer le fait que le S+ était proportionnellement plus observé que le S-, et lorsque ce résultat était inversé ; il était corrélé avec un ralentissement de l'apprentissage ou une absence d'apprentissage.

De futures recherches pourraient considérer l'utilisation d'un opérant « visuel » comme variable afin d'en démontrer ses avantages comparativement à un opérant plus classique. Par ailleurs, il serait également intéressant de déterminer empiriquement l'impact de l'observation des stimuli sur l'apprentissage de la discrimination, ainsi que de comparer ses observations dans un protocole d'apprentissage par essai-erreur et un protocole de stimulus fading.

3. Implications cliniques

Les procédures d'apprentissage impliquant une guidance sur le stimulus avec fading sont très largement utilisées en analyse appliquée du comportement (Cengher et al., 2018). Cengher et al. (2018) ont réalisé une méta analyse sur les études comparant l'efficacité des guidances sur le stimulus et les guidances sur la réponse. Par définition, une guidance permet de favoriser l'apprentissage d'un comportement et de favoriser la mise en place du contrôle par le stimulus discriminatif. Les guidances sur le stimulus impliquent la modification ou l'ajout d'un élément sur le stimulus discriminatif alors que les guidances sur la réponse agissent quant à elle directement sur la réponse afin que celle-ci soit correcte. Afin que le transfert de contrôle de stimulus s'opère, il est nécessaire d'estomper la guidance. C'est à ce moment qu'interviennent le stimulus fading et le stimulus shaping lors de l'utilisation d'une guidance sur le stimulus. Leur analyse s'est portée sur 45 études réalisées avec des individus avec troubles développementaux. De ces 45 études, 15 études ont comparé les guidances sur le stimulus et les guidances sur la réponse. De manière générale, les deux guidances sont efficaces pour l'apprentissage d'un nouveau comportement, de plus, les guidances sur le stimulus sont généralement plus efficaces que des guidances sur la réponse. La littérature souligne que les procédures impliquant une guidance sur la réponse sont parfois moins efficaces dû à un phénomène de blocage ou d'overshadowing (Cengher et al., 2018; Schreibman, 1975). Le phénomène de blocage apparaît lorsqu'un stimulus acquiert préalablement le contrôle du comportement, celui-ci apparaît de manière concomitante avec un autre stimulus, ce second stimulus n'acquiert pas le contrôle du comportement. L'overshadowing est observé lorsque deux stimuli de saillance différente sont impliqués dans l'apprentissage et que l'un de ces deux stimuli acquière de manière plus importante le contrôle du comportement (Mackintosh, 1976). Ainsi, les guidances physiques peuvent bloquer l'acquisition de propriétés discriminatives du stimulus censé contrôler le comportement. Néanmoins, bien qu'il soit rare qu'un échec

d'apprentissage avec une procédure de stimulus fading soit reporté dans la littérature, nous avons pu constater que cela pouvait être le cas même en favorisant au maximum le transfert du contrôle du stimulus de façon expérimentale (Schwartz et al., 1971). En effet, la réponse favorisant les observations sur le stimulus est donc sur la dimension pertinente pour l'apprentissage, et la dimension manipulée dans le fading était la dimension pertinente pour l'apprentissage de la discrimination. Ces paramètres n'ont pas été suffisants dans certains cas pour favoriser l'apprentissage de la discrimination. Ainsi, les phénomènes de blocage et d'overshadowing peuvent donc également être observés lors de l'utilisation d'un stimulus fading. Par ailleurs, nous avons également constaté chez l'enfant typique un résultat surprenant concernant l'apprentissage de deux discriminations successives. Lorsque celui-ci avait été préalablement entraîné à une discrimination par essai-erreur, le nombre d'essais pouvait être conséquent signifiant une acquisition retardée, un pourcentage de réponses correctes plus faible ou pire encore, l'absence d'apprentissage. Ces résultats ont donc une implication concernant les processus d'apprentissage mis en place dans l'éducation. En effet, dans un enseignement réalisé auprès d'un groupe comme cela est réalisé en milieu scolaire dans une classe, l'apprentissage n'est pas spécifiquement adapté à chaque élève. Par conséquent, certains élèves pourraient apprendre de nouvelles compétences par essai-erreur sans la possibilité de généraliser ces nouveaux apprentissages à de nouveaux.

Les guidances sur le stimulus peuvent également permettre une acquisition plus rapide du comportement (Aeschleman & Higgins, 1982; Schreibman, 1975; Smeets et al., 1984). Cependant, il a également parfois été souligné que l'utilisation d'une procédure de stimulus fading pouvait nécessiter plus de temps dû aux nombres d'étapes nécessaires pour l'estompage (Ploog & Williams, 1995a). Ce travail de thèse a également abordé la question de la vitesse d'apprentissage en fonction de l'utilisation d'un apprentissage par essai-erreur et d'un apprentissage avec stimulus fading. Nous avons mis en évidence à la fois chez l'adulte et chez

l'enfant que l'acquisition d'une discrimination dans les premières étapes étaient plus rapide en stimulus fading qu'en apprentissage par essai-erreur. Ainsi, la vitesse d'apprentissage selon le type de procédure pourrait dépendre de la difficulté de la tâche à réaliser.

Une meilleure compréhension de la procédure de stimulus fading que ce soit sur sa capacité à favoriser le transfert de contrôle du stimulus, à favoriser un apprentissage un subséquent ou dans la possibilité de la présence d'une seconde contingence, permettrait d'améliorer son efficacité en milieu clinique.

References

- Aeschleman, S. R., & Higgins, A. F. (1982). Concept learning by retarded children: A comparison of three discrimination learning procedures. *Journal of Intellectual Disability Research, 26*(4), 229–238.
- Anderson, D. R. (1972). The effects of prior training on the incidental discriminative learning of children. *Journal of Experimental Child Psychology, 14*(3), 416–426.
- Arantes, J., & Berg, M. E. (2009). Intermodal transfer from a visual to an auditory discrimination using an errorless learning procedure. *Behavioural Processes, 81*(2), 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2009.02.017>
- Arguedas, D., & Batchelor, J. (2009). 18q Deletion syndrome: A neuropsychological case study. *Neurocase, 15*(2), 101–109. <https://doi.org/10.1080/13554790802631928>
- Aronsohn, S., Castillo, O., & Pinto-Hamuy, T. (1978). Fading procedure effects on a visual pattern discrimination reversal in the albino rat. *Animal Learning & Behavior, 6*(1), 72–76.
- Bagot, J.-D. (1999). Perception visuelle. In *Information, sensation et perception*. Armand Colin.
- Bailey, S. L. (1981). Stimulus overselectivity in learning disabled children. *Journal of Applied Behavior Analysis, 14*(3), 239–248.
- Baron, M. R. (1965). 3. The stimulus, stimulus control and generalization. In *Stimulus Generalization* (Stanford University Press, pp. 7–23). David I. Mostofsky.
- Berlyne, D. E. (1957). Uncertainty and conflict: a point of contact between information-theory and behavior-theory concepts. *Psychological Review, 64*(6p1), 329.
- Bhatt, R. S., Wasserman, E. A., Reynolds, W. F., & Knauss, K. S. (1988). Conceptual behavior in pigeons: Categorization of both familiar and novel examples from four classes of

- natural and artificial stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 14(3), 219–234. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.14.3.219>
- Biederman, G. B., & Colotla, V. A. (1971). Stimulus Function in Errorless Simultaneous Discrimination. *Perceptual and Motor Skills*, 33(3), 759–764.
- Birkan, B., McClannahan, L. E., & Krantz, P. J. (2007). Effects of superimposition and background fading on the sight-word reading of a boy with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 1(2), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2006.08.003>
- Blanchard, R. (1975). The effect of S- on observing behavior. *Learning and Motivation*, 6(1), 1–10.
- Blanshard, B., & Skinner, B. F. (1967). The problem of consciousness: A debate. *Philosophy & Phenomenological Research*, 27(3), 317–337. <https://doi.org/10.2307/2106060>
- Bradley-Johnson, S., Sunderman, P., & Johnson, C. M. (1983). Comparison of delayed prompting and fading for teaching preschoolers easily confused letters & numbers. *Journal of School Psychology*, 21(4), 327–335.
- Brown, J. S. (1965). 1. Generalization and discrimination. In *Stimulus Generalization* (Stanford University Press, pp. 7–23). David I. Mostofsky.
- Butter, C. M. (1963). Stimulus generalization along one and two dimensions in pigeons. *Journal of Experimental Psychology*, 65(4), 339–346.
- Case, D. A., Ploog, B. O., & Fantino, E. (1990). Observing behavior in a computer game. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 54(3), 185–199. <https://doi.org/10.1901/jeab.1990.54-185>
- Catania, A. C. (1998). *Learning*. Prentice Hall.
- Catania, A. C., Matthews, T. J., Silverman, P. J., & Yohalem, R. (1977a). Yoked variable-ratio and variable-interval responding in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 28(2), 155–161. <https://doi.org/10.1901/jeab.1977.28-155>

- Catania, A. C., Matthews, T. J., Silverman, P. J., & Yohalem, R. (1977b). Yoked variable-ratio and variable-interval responding in pigeons. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, 28(2), 155–161.
- Cengher, M., Budd, A., Farrell, N., & Fienup, D. M. (2018). A Review of Prompt-Fading Procedures: Implications for Effective and Efficient Skill Acquisition. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 30(2), 155–173.
<https://doi.org/10.1007/s10882-017-9575-8>
- Cerella, J. (1977). Absence of perspective processing in the pigeon. *Pattern Recognition*, 9(2), 65–68. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(77\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0031-3203(77)90016-4)
- Cerella, J. (1979). Visual classes and natural categories in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 5(1), 68–77.
- Cerella, J. (1980). The pigeon's analysis of pictures. *Pattern Recognition*, 12(1), 1–6.
[https://doi.org/10.1016/0031-3203\(80\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0031-3203(80)90048-5)
- Charlop, M. H., Schreibman, L., & Thibodeau, M. G. (1985). Increasing spontaneous verbal responding in autistic children using a time delay procedure. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 18(2), 155–166.
- Chumbley, J., & Griffiths, M. (2006). Affect and the Computer Game Player: The Effect of Gender, Personality, and Game Reinforcement Structure on Affective Responses to Computer Game-Play. *CyberPsychology & Behavior*, 9(3), 308–316.
<https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9.308>
- Church, R. M. (1964). Systematic effect of random error in the yoked control design. *Psychological Bulletin*, 62(2), 122.
- Clare, L., & Jones, R. S. P. (2008). Errorless Learning in the Rehabilitation of Memory Impairment: A Critical Review. *Neuropsychology Review*, 18(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1007/s11065-008-9051-4>

- Clare, L., Wilson, B. A., Breen, K., & Hodges, J. R. (1999). Errorless learning of face-name associations in early Alzheimer's disease. *Neurocase*, 5(1), 37–46. <https://doi.org/10.1080/13554799908404063>
- Cody, J. D., Hasi, M., Soileau, B., Heard, P., Carter, E., Sebold, C., ... Hale, D. E. (2014). Establishing a reference group for distal 18q-: clinical description and molecular basis. *Human Genetics*, 133(2), 199–209. <https://doi.org/10.1007/s00439-013-1364-6>
- Cohen, L. R., Looney, T. A., Brady, J. H., & Aucella, A. F. (1976). Differential sample response schedules in the acquisition of conditional discriminations by pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 26(2), 301–314.
- Coldren, J. T., Colombo, J., & Gholson, B. (1994). The Nature and Processes of Preverbal Learning: Implications from Nine-Month-Old Infants' Discrimination Problem Solving. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 59(4), i. <https://doi.org/10.2307/1166065>
- Cook, R. G., Cavoto, K. K., & Cavoto, B. R. (1996). Mechanisms of multidimensional grouping, fusion, and search in avian texture discrimination. *Animal Learning & Behavior*, 24(2), 150–167.
- Cooper, J. O., Heron, T. E., & Heward, W. L. (2014). *Applied behavior analysis*. UK: Pearson.
- Corney, M. J., & Smith, S. (1984). EARLY DEVELOPMENT OF AN INFANT WITH 18q-SYNDROME. *Journal of Intellectual Disability Research*, 28(4), 303–307.
- Cornsweet, T. N. (1962). The Staircase-Method in Psychophysics. *The American Journal of Psychology*, 75(3), 485–491. <https://doi.org/10.2307/1419876>
- Cousin, S. (2013). *Apprentissage dans le développement de la discrimination des stimuli sociaux chez l'enfant avec ou sans troubles du développement* (Phdthesis, Université Charles de Gaulle - Lille III). Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01124111/document>

- Crane, N. L., & Ross, L. E. (1967). A Developmental Study of Attention to Cue Redundancy Introduced Following Discrimination Learning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 5, 1–15.
- Croissant, Y. (2019). *mlogit: Multinomial Logit Models*.
- Day, M. C. (1978). Visual search by children: The effect of background variation and the use of visual cues. *Journal of Experimental Child Psychology*, 25(1), 1–16.
- DeLeon, I. G., & Iwata, B. A. (1996). Evaluation of a Multiple-Stimulus Presentation Format for Assessing Reinforcer Preferences. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 29(4), 519–533. <https://doi.org/10.1901/jaba.1996.29-519>
- Derenne, A. (2006). Effects of S+ and S-separation on gradient shifts in humans. *The Journal of General Psychology*, 133(2), 163–173.
- Dinsmoor, J. A. (1995a). Stimulus control: part I. *The Behavior Analyst*, 18(1), 51.
- Dinsmoor, J. A. (1995b). Stimulus control: Part II. *The Behavior Analyst*, 18(2), 253–269.
- Dinsmoor, J. A., Bowe, C. A., Dout, D. L., Martin, L. T., Mueller, K. L., & Workman, J. D. (1983). Separating the effects of salience and disparity on the rate of observing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 40(3), 253–264.
- Donahoe, J. W., & Palmer, D. C. (1994). *Learning and complex behavior*. Needham Heights, MA, US: Allyn & Bacon.
- Doran, J., & Holland, J. G. (1979). Control by stimulus features during fading. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 31(2), 177–187.
- Doughty, A. H., & Hopkins, M. N. (2011). REDUCING STIMULUS OVERSELECTIVITY THROUGH AN INCREASED OBSERVING-RESPONSE REQUIREMENT. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 44(3), 653–657. <https://doi.org/10.1901/jaba.2011.44-653>

- Dube, W. V., Balsamo, L. M., Fowler, T. R., Dickson, C. A., Lombard, K. M., & Tomanari, G. Y. (2006). Observing behavior topography in delayed matching to multiple samples. *The Psychological Record, 56*(2), 233–244.
- Dube, W. V., Dickson, C. A., Balsamo, L. M., O'Donnell, K. L., Tomanari, G. Y., Farren, K. M., ... McIlvane, W. J. (2010). Observing Behavior and Atypically Restricted Stimulus Control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 94*(3), 297–313. <https://doi.org/10.1901/jeab.2010.94-297>
- Dube, W. V., Farber, R. S., Mueller, M. R., Grant, E., Lorin, L., & Deutsch, C. K. (2016). Stimulus Overselectivity in Autism, Down Syndrome, and Typical Development. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities, 121*(3), 219–235. <https://doi.org/10.1352/1944-7558-121.3.219>
- Dube, W. V., Lombard, K. M., Farren, K. M., Flusser, D. S., Balsamo, L. M., & Fowler, T. R. (1999). Eye tracking assessment of stimulus overselectivity in individuals with mental retardation. *Experimental Analysis of Human Behavior Bulletin, 17*, 8–14.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: theory and practice* (2nd ed). London: Springer.
- Easterbrook, M. A., Kisilevsky, B. S., Muir, D. W., & Laplante, D. P. (1999). Newborns discriminate schematic faces from scrambled faces. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale, 53*(3), 231–241. <https://doi.org/10.1037/h0087312>
- Eckerman, C. O. (1969). Probability of reinforcement and the development of stimulus control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 12*(4), 551–559.
- Ehrenstein, W. H., & Ehrenstein, A. (1999). Psychophysical methods. In *Modern techniques in neuroscience research* (pp. 1211–1241). Springer.

- Eimas, P. D. (1966). Effects of overtraining and age on intradimensional and extradimensional shifts in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 3(4), 348–355.
- Evans, J. J., Wilson, B. A., Schuri, U., Andrade, J., Baddeley, A., Bruna, O., ... others. (2000). A Comparison of "Errorless" and "Trial-and-error" Learning Methods for Teaching Individuals with Acquired Memory Deficits. *Neuropsychological Rehabilitation*, 10(1), 67–101.
- Everett, F. L. (1977). Role of errors in children's discrimination learning. *Perceptual and Motor Skills*, 45(3_suppl), 1187–1201.
- Fantino, E., & Silberberg, A. (2010). Revisiting the Role of Bad News in Maintaining Human Observing Behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 93(2), 157–170. <https://doi.org/10.1901/jeab.2010.93-157>
- Fantz, R. L. (1965). Visual perception from birth as shown by pattern selectivity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 118(1), 793–814.
- Ferster, C.B., & Skinner, B. F. (1957). *Schedules of reinforcement* (New York: Appleton-Century-Crofts).
- Ferster, Charles B., & Skinner, B. F. (1997). *Schedules of Reinforcement*. Copley Publishing Group.
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering Statistics Using R*. SAGE.
- Fields, L. (1978). Fading and errorless transfer in successive discriminations. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 30(1), 123–128.
- Fields, L. (1979). Acquisition of stimulus control while introducing new stimuli in fading. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 32(1), 121–127.
- Fields, L. (1980). Enhanced learning of new discriminations after stimulus fading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 15(5), 327–330.

- Fields, L., Bruno, V., & Keller, K. (1976). The stages of acquisition in stimulus fading. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 26(2), 295–300.
<https://doi.org/10.1901/jeab.1976.26-295>
- Frick, F. C. (1948). An Analysis of an Operant Discrimination. *The Journal of Psychology*, 26(1), 93–123. <https://doi.org/10.1080/00223980.1948.9917398>
- Furth, H. G., & Youniss, J. (1964). Effect of overtraining of three discrimination shifts in children. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 57(2), 290.
- Garcia-Pérez, M. A. (1998). Forced-choice staircases with fixed step sizes: asymptotic and small-sample properties. *Vision Research*, 38(12), 1861–1881.
- George, D. N., & Pearce, J. M. (2012). A configural theory of attention and associative learning. *Learning & Behavior*, 40(3), 241–254.
- Goetz, E. M., Holmberg, M. C., & LeBlanc, J. M. (1975). DIFFERENTIAL REINFORCEMENT OF OTHER BEHAVIOR AND NONCONTINGENT REINFORCEMENT AS CONTROL PROCEDURES DURING THE MODIFICATION OF A PRESCHOOLER'S COMPLIANCE 1. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 8(1), 77–82.
- Gollin, E. S. (1964). Reversal learning and conditional discrimination in children. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 58(3), 441.
- Gollin, E. S., & Savoy, P. (1968). Fading procedures and conditional discrimination in children. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11(4), 443–451.
- Gredebäck, G., Johnson, S., & von Hofsten, C. (2009). Eye Tracking in Infancy Research. *Developmental Neuropsychology*, 35(1), 1–19.
<https://doi.org/10.1080/87565640903325758>
- Guralnick, M. J. (1975). Effects of distinctive-feature training and instructional technique on letter and form discrimination. *American Journal of Mental Deficiency*, 80(2).

- Guthrie, E. R. (1930). Conditioning as a principle of learning. *Psychological Review*, 37(5), 412–428. <https://doi.org/10.1037/h0072172>
- Guttman, N., & Kalish, H. I. (1956). Discriminability and stimulus generalization. *Journal of Experimental Psychology*, 51(1), 79.
- Haaf, R. A. (1974). Complexity and facial resemblance as determinants of response to facelike stimuli by 5-and 10-week-old infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18(3), 480–487.
- Haaf, R. A., & Brown, C. J. (1976). Infants' response to facelike patterns: Developmental changes between 10 and 15 weeks of age. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22(1), 155–160.
- Hansen, S., & Arntzen, E. (2018). Eye movements during conditional discrimination training and equivalence class formation. *European Journal of Behavior Analysis*, 1–18.
- Hanson, H. M. (1956). Effects of discrimination training on stimulus generalization. *Journal of Experimental Psychology*, 58(5), 321.
- Hart, B. M., Reynolds, N. J., Baer, D. M., Brawley, E. R., & Harris, F. R. (1968). Effect of Contingent and Non-Contingent Social Reinforcement on the Cooperative Play of a Preschool Child. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 1(1), 73–76. <https://doi.org/10.1901/jaba.1968.1-73>
- Haslam, C., Moss, Z., & Hodder, K. (2010). Are two methods better than one? Evaluating the effectiveness of combining errorless learning with vanishing cues. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(9), 973–985. <https://doi.org/10.1080/13803391003662686>
- Heckaman, K. A., Alber, S., Hooper, S., & Heward, W. L. (1998). A comparison of least-to-most prompts and progressive time delay on the disruptive behavior of students with autism. *Journal of Behavioral Education*, 8(2), 171–201.

- Herrnstein, R. J. (1985). Riddles of natural categorization. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 308(1135), 129–144. <https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0015>
- Horner, R. D., & Keilitz, I. (1975). TRAINING MENTALLY RETARDED ADOLESCENTS TO BRUSH THEIR TEETH 1. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 8(3), 301–309.
- House, B. J., & Zeaman, D. (1960). Transfer of a discrimination from objects to patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 59(5), 298.
- House, B. J., & Zeaman, D. (1962). Reversal and non-reversal shifts in discrimination learning in retardates. *Journal of Experimental Psychology*, 63(5), 444.
- Hull, C. (1943). Chapter XII Stimulus generalization. In *Principles of behavior: An introduction to behavior theory*.
- Jacob, R. J. K., & Karn, K. S. (2003). Eye Tracking in Human–Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises. In J. Hyönä, R. Radach, H. Deubel, & European Conference on Eye Movements (Eds.), *The mind's eye: cognitive and applied aspects of eye movement research* (1. ed, pp. 573–605). Amsterdam: Elsevier.
- Johnson, D. F., & Cumming, W. W. (1968). SOME DETERMINERS OF ATTENTION 1. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11(2), 157–166.
- Kamin, L. J. (1967). *Predictability, surprise, attention, and conditioning*.
- Karpicke, J., & Hearst, E. (1975). Inhibitory control and errorless discrimination learning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 23(2), 159–166.
- Karraker, R. J., & Doke, L. A. (1970). Errorless Discrimination of Alphabet Letters: Effects of Time and Method of Introducing Competing Stimuli. *The Journal of Experimental Education*, 38(4), 29–35. <https://doi.org/10.1080/00220973.1970.11011211>
- Kelleher, R. T., & Gollub, L. R. (1962). A REVIEW OF POSITIVE CONDITIONED REINFORCEMENT 1. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 5(S4), 543–597.

- Keller, F. S., & Schoenfeld, W. N. (1950). *Principles of Psychology; a systematic text in the science of behavior* (New York, Appleton-Century-Corft).
- Kellman, P. J., & Garrigan, P. (2009). Perceptual learning and human expertise. *Physics of Life Reviews*, 6(2), 53–84. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2008.12.001>
- Kelly, D. M., Bischof, W. F., Wong-Wylie, D. R., & Spetch, M. L. (2001). Detection of Glass Patterns by Pigeons and Humans: Implications for Differences in Higher-Level Processing. *Psychological Science*, 12(4), 338–342. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00362>
- Kendall, S. B., & Gibson, D. A. (1965). Effects of discriminative stimulus removal on observing behavior. *The Psychological Record*, 15(4), 545–551.
- Kendler, H. H., & D'Amato, M. F. (1955). A comparison of reversal shifts and nonreversal shifts in human concept formation behavior. *Journal of Experimental Psychology*, 49(3), 165–174. <https://doi.org/10.1037/h0049296>
- Kendler, T. S., & Kendler, H. H. (1959). Reversal and nonreversal shifts in kindergarten children. *Journal of Experimental Psychology*, 58(1), 56.
- Kendler, T. S., Kendler, H. H., & Learnard, B. (1962). Mediated Responses to Size and Brightness as a Function of Age. *The American Journal of Psychology*, 75(4), 571. <https://doi.org/10.2307/1420280>
- Kendler, T. S., Kendler, H. H., & Wells, D. (1960). Reversal and nonreversal shifts in nursery school children. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 53(1), 83.
- Koegel, R. L., & Rincover, A. (1976). Some detrimental effects of using extra stimuli to guide learning in normal and autistic children. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 4(1), 59–71.
- Lane, K. A. (2012). Vision and Attention. In *Visual attention in children: Theories and Activities*. SLACK Incorporated.

- Lawrence, D. H. (1952). The transfer of a discrimination along a continuum. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 45(6), 511.
- Leader, G., Loughnane, A., McMoreland, C., & Reed, P. (2009). The Effect of Stimulus Salience on Over-selectivity. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(2), 330–338. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0626-y>
- Lieberman, D. A., Cathro, J. S., Nichol, K., & Watson, E. (1997). The role of S- in human observing behavior: Bad news is sometimes better than no news. *Learning and Motivation*, 28(1), 20–42.
- Linnankivi, T., Tienari, P., Somer, M., Kähkönen, M., Lönnqvist, T., Valanne, L., & Pihko, H. (2006). 18q deletions: Clinical, molecular, and brain MRI findings of 14 individuals. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 140A(4), 331–339. <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.31072>
- Lovaas, O. I., & Schreibman, L. (1971). Stimulus overselectivity of autistic children in a two stimulus situation. *Behaviour Research and Therapy*, 9(4), 305–310.
- Lovaas, O. I., Schreibman, L., Koegel, R., & Rehm, R. (1971). Selective responding by autistic children to multiple sensory input. *Journal of Abnormal Psychology*, 77(3), 211.
- Mackintosh, N. J. (1962). The effects of overtraining on a reversal and a nonreversal shift. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55(4), 555.
- Mackintosh, N. J. (1964). Overtraining and Transfer within and between Dimensions in the Rat. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 16(3), 250–256. <https://doi.org/10.1080/17470216408416375>
- Mackintosh, N. J. (1971). An analysis of overshadowing and blocking. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23(1), 118–125.
- Mackintosh, N. J. (1975). A theory of attention: variations in the associability of stimuli with reinforcement. *Psychological Review*, 82(4), 276.

- Mackintosh, N. J. (1976). Overshadowing and stimulus intensity. *Animal Learning & Behavior*, 4(2), 186–192.
- Mackworth, J. F., & Mackworth, N. H. (1958). Eye Fixations Recorded on Changing Visual Scenes by the Television Eye-Marker. *Journal of the Optical Society of America*, 48(7).
- Marsh, G., & Johnson, R. (1968). Discrimination reversal following learning without “errors.” *Psychonomic Science*, 10(7), 261–262.
- Melkman, R., Koriat, A., & Pardo, K. (1976). Preference for Color and Form in Preschoolers as Related to Color and Form Differentiation. *Child Development*, 47(4), 1045.
<https://doi.org/10.2307/1128441>
- Miles, C. G., & Jenkins, H. M. (1973). Overshadowing in operant conditioning as a function of discriminability. *Learning and Motivation*, 4(1), 11–27.
- Montagnini, A., & Chelazzi, L. (2005). The urgency to look: Prompt saccades to the benefit of perception. *Vision Research*, 45(27), 3391–3401.
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.07.013>
- Moore, R., & Goldiamond, I. (1964). Errorless establishment of visual discrimination using fading procedures. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 7(3), 269–272.
- Mueller, K. L., & Dinsmoor, J. A. (1986). The effect of negative stimulus presentations on observing-response rates. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 46(3), 281–291.
- Murphy, R. A., Vallée-Tourangeau, F., Msetfi, R., & Baker, A. G. (2005). Chapter 10 Signal–Outcome Contingency, Contiguity, and the Depressive Realism Effect. In *New Directions in Human Associative Learning*. Psychology Press.
- Nevin, J. A. (1967). EFFECTS OF REINFORCEMENT SCHEDULING ON SIMULTANEOUS DISCRIMINATION PERFORMANCE 1. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 10(3), 251–260.

- Newman, F. L., & Baron, M. R. (1965). Stimulus generalization along the dimension of angularity: A comparison of training procedures. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 60(1), 59.
- Nigrosh, B. J., Slotnick, B. M., & Nevin, J. A. (1975). Olfactory discrimination, reversal learning, and stimulus control in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 89(4), 285.
- Nolan, J. D., & Harris, A. E. (1981). The effects of fading procedures on discrimination shifts. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 7(3), 222.
- North, A. J. (1950). Improvement in successive discrimination reversals. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 43(6), 442.
- Odom, R. D., & Guzman, R. D. (1972). Development of hierarchies of dimensional salience. *Developmental Psychology*, 6(2), 271.
- Pace, G. M., Ivancic, M. T., Edwards, G. L., Iwata, B. A., & Page, T. J. (1985). Assessment of Stimulus Preference and Reinforcer Value with Profoundly Retarded Individuals. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 18(3), 249–255.
<https://doi.org/10.1901/jaba.1985.18-249>
- Page, M., Wilson, B. A., Shiel, A., Carter, G., & Norris, D. (2006). What is the locus of the errorless-learning advantage? *Neuropsychologia*, 44(1), 90–100.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.04.004>
- Pashler, H., & Mozer, M. C. (2013). When does fading enhance perceptual category learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(4), 1162.
- Pessoa, C., Huziwara, E., Perez, W. F., Endemann, P., & Tomanari, G. Y. (2009). Eye fixations to figures in a four-choice situation with luminance balanced areas: Evaluating practice effects. *Journal of Eye Movement Research*, 2(5), 3.

- Petrini, K., Jones, P. R., Smith, L., & Nardini, M. (2015). Hearing Where the Eyes See: Children Use an Irrelevant Visual Cue When Localizing Sounds. *Child Development, 86*(5), 1449–1457. <https://doi.org/10.1111/cdev.12397>
- Pierrel, R., & Sherman, J. G. (1962). GENERALIZATION AND DISCRIMINATION AS A FUNCTION OF THE SD-SA INTENSITY DIFFERENCE. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 5*(1), 67–71.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., & Sarker, D. (2019). *{nlme}: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Pitchford, N. J., & Mullen, K. T. (2001). Conceptualization of Perceptual Attributes: A Special Case for Color? *Journal of Experimental Child Psychology, 80*(3), 289–314. <https://doi.org/10.1006/jecp.2001.2634>
- Ploog, B. O., & Williams, B. A. (1995a). Two methods of stimulus fading applied to a simultaneous flicker rate discrimination in pigeons. *Learning and Motivation, 26*(2), 161–182. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(95\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0023-9690(95)90003-9)
- Ploog, B. O., & Williams, B. A. (1995b). Two Methods of Stimulus Fading Applied to a Simultaneous Flicker Rate Discrimination in Pigeons. *Learning and Motivation, 26*(2), 161–182.
- R Core Team. (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Retrieved from <https://www.R-project.org>
- Raben, M. W. (1949). The white rat's discrimination of differences in illumination measured by a running response. *Journal of Comparative and Physiological Psychology, 42*(4), 254.
- Reed, S. R., Stahmer, A. C., Suhrheinrich, J., & Schreibman, L. (2013). Stimulus Overselectivity in Typical Development: Implications for Teaching Children with

- Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(6), 1249–1257.
<https://doi.org/10.1007/s10803-012-1658-x>
- Renaux, C., Rivière, V., Craddock, P., & Miller, R. R. (2017). Role of spatial contiguity in sensory preconditioning with humans. *Behavioural Processes*, 142, 141–145.
<https://doi.org/10.1016/j.beproc.2017.07.005>
- Rescorla, R. A. (1967). Pavlovian conditioning and its proper control procedures. *Psychological Review*, 74(1), 71–80. <https://doi.org/10.1037/h0024109>
- Rescorla, R. A. (1968). Probability of shock in the presence and absence of CS in fear conditioning. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 66(1), 1–5.
- Rescorla, R. A. (1969). Pavlovian conditioned inhibition. *Psychological Bulletin*, 72(2), 77–94.
<https://doi.org/10.1037/h0027760>
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. *Classical Conditioning II: Current Research and Theory*, 2, 64–99.
- Richmond, G., & Bell, J. (1986). Comparison of trial-and-error and graduated stimulus change procedures across tasks. *Analysis and Intervention in Developmental Disabilities*, 6(1–2), 127–136.
- Rieth, S. R., Stahmer, A. C., Suhrheinrich, J., & Schreibman, L. (2015). Examination of the prevalence of stimulus overselectivity in children with ASD: STIMULUS OVERSELECTIVITY IN ASD. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 48(1), 71–84.
<https://doi.org/10.1002/jaba.165>
- Rilling, M., Askew, H. R., Ahlskog, J. E., & Kramer, T. J. (1969). AVERSIVE PROPERTIES OF THE NEGATIVE STIMULUS IN A SUCCESSIVE DISCRIMINATION 1. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12(6), 917–932.

- Rilling, M., Kramer, T. J., & Richards, R. W. (1973). Aversive properties of the negative stimulus during learning with and without errors. *Learning and Motivation*, 4(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(73\)90035-0](https://doi.org/10.1016/0023-9690(73)90035-0)
- Rincover, A. (1978). Variables affecting stimulus fading and discriminative responding in psychotic children. *Journal of Abnormal Psychology*, 87(5), 541.
- Roberts, A. C., Robbins, T. W., & Everitt, B. J. (1988). The effects of intradimensional and extradimensional shifts on visual discrimination learning in humans and non-human primates. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 40(4), 321–341. <https://doi.org/10.1080/14640748808402328>
- Robinson, P. W., & Storm, R. H. (1978). EFFECTS OF ERROR AND ERRORLESS DISCRIMINATION ACQUISITION ON REVERSAL LEARNING. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 29(3), 517–525.
- Rosenberger, P. B. (1973). CONCURRENT SCHEDULE CONTROL OF HUMAN VISUAL TARGET FIXATIONS 1. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 20(3), 411–416.
- Salapatek, P. (1968). Visual scanning of geometric figures by the human newborn. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 66(2), 247.
- Schilmoeller, G. L., Schilmoeller, K. J., Etzel, B. C., & Leblanc, J. M. (1979). CONDITIONAL DISCRIMINATION AFTER ERRORLESS AND TRIAL-AND-ERROR TRAINING. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 31(3), 405–420.
- Schlinger, H. D., & Blakely, E. (1994). The effects of delayed reinforcement and a response-produced auditory stimulus on the acquisition of operant behavior in rats. *The Psychological Record*, 44(3), 391–409.
- Schlosberg, H., & Solomon, R. L. (1943). Latency of response in a choice discrimination. *Journal of Experimental Psychology*, 33(1), 22.

- Schreibman, L. (1975). EFFECTS OF WITHIN-STIMULUS AND EXTRA-STIMULUS PROMPTING ON DISCRIMINATION LEARNING IN AUTISTIC CHILDREN 1. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 8(1), 91–112.
- Schreibman, L., & Charlop, M. H. (1981). S+ versus S- fading in prompting procedures with autistic children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 31, 508–520.
- Schroeder, S. R., & Holland, J. G. (1968). Operant Control of Eye Movement. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 1(2), 161–166. <https://doi.org/10.1901/jaba.1968.1-161>
- Schusterman, R J. (1967). Attention Shift and Errorless Reversal Learning by the California Sea Lion. *Science*, 156(3776), 833–835.
- Schusterman, Ronald J. (1962). Transfer Effects of Successive Discrimination-Reversal Training in Chimpanzees. *Science*, 137(3528), 422–423. <https://doi.org/10.1126/science.137.3528.422>
- Schwartz, S. H., Firestone, I. J., & Terry, S. (1971). Fading techniques and concept learning in children. *Psychonomic Science*, 25(2), 83–84.
- Shepp, B. E., & Eimas, P. D. (1964). Intradimensional and extradimensional shifts in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 57(3), 357–361. <https://doi.org/10.1037/h0043967>
- Shepp, B. E., & Turrisi, F. D. (1969). Effects of overtraining on the acquisition of intradimensional and extradimensional shifts. *Journal of Experimental Psychology*, 82(1, Pt.1), 46–51. <https://doi.org/10.1037/h0028090>
- Shic, F. (2008). *Computational methods for eye-tracking analysis: Applications to autism*. Yale University.
- Sidman, M., & Stoddard, L. T. (1967). The effectiveness of fading in programming a simultaneous form discrimination for retarded children. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 10(1), 3–15.

- Siegel, A. W. (1968). Variables affecting incidental learning in children. *Child Development*, 957–968.
- Siegel, S. (1967). Overtraining and transfer processes. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 64(3), 471.
- Silberberg, A., & Fantino, E. (2010). Observing responses: Maintained by good news only? *Behavioural Processes*, 85(1), 80–82. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2010.06.002>
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. BF Skinner Foundation.
- Slater, A. (2002). Visual perception in the newborn infant: issues and debates. *Intellectica*, 34, 57–76.
- Smeets, P. M., Lancioni, G. E., & Hoogeveen, F. R. (1984). EFFECTS OF DIFFERENT STIMULUS MANIPULATIONS ON THE ACQUISITION OF WORD RECOGNITION IN TRAINABLE MENTALLY RETARDED CHILDREN. *Journal of Intellectual Disability Research*, 28(2), 109–122.
- Spence, K. W. (1936). The nature of discrimination learning in animals. *Psychological Review*, 43(5), 427.
- Spiker, C. C. (1956). The Stimulus Generalization Gradient as a Function of the Intensity of Stimulus Lights. *Child Development*, 27(2), 85. <https://doi.org/10.2307/1126082>
- Spiker, C. C. (1959). Performance on a difficult discrimination following pretraining with distinctive stimuli. *Child Development*, 513–521.
- Stern, M. K., & Johnson, J. H. (2010). Just Noticeable Difference. In *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (pp. 1–2). <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0481>
- Stoddard, L. T., & Sidman, M. (1966). Programming perception and learning for retarded children. *International Review of Research in Mental Retardation*, 151–208. [https://doi.org/10.1016/s0074-7750\(08\)60206-2](https://doi.org/10.1016/s0074-7750(08)60206-2)

- Stritzke, M., Trommershäuser, J., & Gegenfurtner, K. R. (2009). Effects of salience and reward information during saccadic decisions under risk. *JOSA A*, 26(11), B1–B13.
- Suchman, R. G., & Trabasso, T. (1966). Color and form preference in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 3(2), 177–187.
- Terrace, H. S. (1963a). Discrimination learning with and without “errors.” *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 6(1), 1–27.
- Terrace, H. S. (1963b). Errorless transfer of a discrimination across two continua. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 6(2), 223–232.
<https://doi.org/10.1901/jeab.1963.6-223>
- Terrace, H. S. (1963c). Errorless transfer of a discrimination across two continua. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 6(2), 223.
- Terrace, H. S. (1966a). Discrimination Learning and Inhibition. *Science*, 154(3757), 1677–1680. <https://doi.org/10.1126/science.154.3757.1677>
- Terrace, H. S. (1966b). Stimulus control. In *Operant behavior: areas of research and application*. Honig, W. K. (Ed.).
- Terrace, H. S. (1974). ON THE NATURE OF NON-RESPONDING IN DISCRIMINATION LEARNING WITH AND WITHOUT ERRORS¹. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22(1), 151–159.
- Thompson, R. H., & Iwata, B. A. (2005). A Review of Reinforcement Control Procedures. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 38(2), 257–278.
<https://doi.org/10.1901/jaba.2005.176-03>
- Tomanari, G. Y., Balsamo, L. M., Fowler, T. R., Lombard, K. M., Farren, K. M., & Dube, W. V. (2007). Manual and Ocular Observing Behavior in Human Subjects. *European Journal of Behavior Analysis*, 8(1), 29–40.
<https://doi.org/10.1080/15021149.2007.11434271>

- Tomie, A., Davitt, G. A., & Thomas, D. R. (1975). Effects of stimulus similarity in discrimination training upon wavelength generalization in pigeons. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 88(2), 945.
- Touchette, P. E. (1968). The effects of graduated stimulus change on the acquisition of a simple discrimination in severely retarded boys. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, (1), 39–48.
- Touchette, P. E. (1971a). Transfer of stimulus control measuring the moment of transfer. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 15(3), 347–354.
- Touchette, P. E. (1971b). Transfer of stimulus control: measuring the moment of transfer. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 15(3), 347–354. <https://doi.org/10.1901/jeab.1971.15-347>
- Touchette, P. E., & Howard, J. S. (1984). Errorless learning: Reinforcement contingencies and stimulus control transfer in delayed prompting. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 17(2), 175–188.
- Treutwein, B. (1995). Adaptive psychophysical procedures. *Vision Research*, 35(17), 2503–2522.
- Vallée-Tourangeau, F., Hollingsworth, L., & Murphy, R. A. (1998). “Attentional Bias” in correlation judgments? Smedslund (1963) revisited. *Scandinavian Journal of Psychology*, 39(4), 221–233.
- Van Hamme, L. J., Wasserman, E. A., & Biederman, I. (1992). Discrimination of contour-deleted images by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 18(4), 387–399. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.18.4.387>
- Vurpillot, E. (1972). Les capacités sensorielles. In *Le Psychologue. Les perceptions du nourrisson*. Puf/Poche.

- Walker, M. M., Lee, Y., & Bitterman, M. E. (1990). Transfer along a continuum in the discriminative learning of honeybees (*Apis mellifera*). *Journal of Comparative Psychology, 104*(1), 66.
- Wallace Walpole, C., Roscoe, E. M., & Dube, W. V. (2007). Use of a Differential Observing Response to Expand Restricted Stimulus Control. *Journal of Applied Behavior Analysis, 40*(4), 707–712. <https://doi.org/10.1901/jaba.2007.707-712>
- Wasserman, E. A., Chatlosh, D. L., & Neunaber, D. J. (1983). Perception of causal relations in humans: Factors affecting judgments of response-outcome contingencies under free-operant procedures. *Learning and Motivation, 14*(4), 406–432.
- Wasserman, E. A., Elek, S. M., Chatlosh, D. L., & Baker, A. G. (1993). Rating causal relations: Role of probability in judgments of response-outcome contingency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*(1), 174.
- Watanabe, S. (2010). Pigeons can discriminate “good” and “bad” paintings by children. *Animal Cognition, 13*(1), 75–85. <https://doi.org/10.1007/s10071-009-0246-8>
- Watanabe, S., Sakamoto, J., & Wakita, M. (1995). Pigeons’ discrimination of paintings by Monet and Picasso. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 63*(2), 165–174. <https://doi.org/10.1901/jeab.1995.63-165>
- Williams, B. A. (1989). Partial reinforcement effects on discrimination learning. *Animal Learning & Behavior, 17*(4), 418–432.
- Wilson, B. A., Baddeley, A., Evans, J., & Shiel, A. (1994). Errorless learning in the rehabilitation of memory impaired people. *Neuropsychological Rehabilitation, 4*(3), 307–326. <https://doi.org/10.1080/09602019408401463>
- Wyckoff Jr, L. B. (1952). The role of observing responses in discrimination learning. Part I. *Psychological Review, 59*(6), 431.

- Young, L. R., & Sheena, D. (1975). Eye-movement measurement techniques. *American Psychologist*, 30(3), 315.
- Youniss, J., & Furth, H. G. (1964). Reversal learning in children as a function of overtraining and delayed transfer. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 57(1), 155.
- Zaporozhets, A. V. (1965). The Development of Perception in the Preschool Child. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 30(2), 82.
<https://doi.org/10.2307/1165778>
- Zeigler, H. P., & Wyckoff Jr, L. B. (1961). Observing responses and discrimination learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 13(3), 129–140.
- Zeiler, M. D., & Kelley, C. A. (1969). Fixed-ratio and fixed-interval schedules of cartoon presentation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 8(2), 306–313.
[https://doi.org/10.1016/0022-0965\(69\)90105-2](https://doi.org/10.1016/0022-0965(69)90105-2)

Annexes

Annexe 1. Lettre d'information donnée aux adultes de l'étude 1 et 2.



NOTE D'INFORMATION DES PARTICIPANTS

Nous vous proposons de participer à une étude sur les propriétés visuelles du stimulus. La durée d'une passation dure environ une trentaine de minutes. Durant celle-ci vous serez amené à observer un écran d'ordinateur et à regarder des vidéos de votre choix. Vous pourrez vous servir de votre regard comme d'une télécommande. Cela est rendu possible par l'utilisation d'un oculomètre.

Si vous présentez des troubles de la vision des couleurs, strabisme et/ou épilepsie, vous n'êtes pas invité à participer à cette étude.

Si vous acceptez de participer à cette étude, vous serez éventuellement amené à effectuer deux passations espacées dans le temps.

L'étude se déroule à l'Imaginarium de Tourcoing.

Dans le cadre de cette recherche à laquelle nous vous proposons de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté. Ces données seront identifiées par un numéro de code. Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données, qui est couverte par le secret professionnel. Ces données sont susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude.

Cette étude sera menée sous l'investigation de Margot Bertolino et sous la direction du Pr Vinca Rivière.

Pour toute question relative à l'étude, les coordonnées des investigatrices sont :

Mme BERTOLINO Margot
Tel : (+33)(0)3-20-41-69-53
Mail : margot.bertolino@univ-lille3.fr

Pr Vinca Rivière
Mail : vinca.riviere@univ-lille3.fr

Signature Participant :

Signature proposant :

Annexe 2 Présentation du projet de recherche de l'étude 1 donnée au directeur d'école

Présentation du projet de recherche

A destination des écoles / centres de loisirs

Margot Bertolino

Sous la supervision du Pr. Vinca Riviere

L'étude intitulée « Apprentissage de la discrimination sans erreur à travers des stimuli intra-dimensionnels » s'inscrit dans le cadre d'une thèse de doctorat de 3^{ème} cycle au sein de l'Université Lille 3 et du laboratoire SCALab.

But général de l'étude

Ce projet a pour but d'étudier l'apprentissage de la discrimination visuelle de stimuli. La discrimination se définit en Analyse du Comportement, comme le fait qu'un comportement aura une probabilité plus importante d'être émis en présence d'un stimulus que d'un autre dû à la conséquence à laquelle il est apparié. Par exemple, nous avons tous appris par expérience qu'il était préférable de traverser en présence du feu piéton de couleur verte car la probabilité qu'une voiture arrive est nulle. Alors qu'en présence du feu piéton rouge celle-ci est beaucoup plus élevée et donc nous ne traversons ou regardons avant de traverser. En conclusion, la probabilité de traverser la route dépendra de la couleur du feu.

Description de l'étude

Afin d'étudier cet apprentissage de la discrimination, nous utilisons un outil appelé oculomètre. C'est un outil non invasif, comprenant 2 capteurs qui émettent une lumière infrarouge (inoffensive pour l'œil). La réflexion de la lumière infrarouge sur les pupilles est ainsi captée et permet de rendre compte des déplacements oculaires sur l'image ou la vidéo présentée à l'écran.

L'enfant participant à l'étude devra tout d'abord choisir 4 dessins animés parmi une liste prédéfinie. Ces dessins-animés seront par la suite utilisés comme conséquence afin de maintenir la motivation de l'enfant.

L'enfant effectuera une première phase dans laquelle il apprendra à déplacer grâce à son regard une forme géométrique sur une cible placée au centre.

Dans une deuxième phase, un apprentissage de la discrimination sera mis en place. L'enfant devra choisir entre 2 stimuli différents sur une dimension perceptive (visible). Un seul stimulus lui permettra d'obtenir les dessins-animés.

L'enfant sera amené à effectuer 3 passations chacune durant environ 30 minutes. Chaque passation sera entrecoupée d'une pause afin de limiter la fatigue de l'enfant.

Intérêt de l'étude

L'autisme a été déclaré grande cause nationale en 2012. Selon l'Inserm (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), on estimerait d'environ 10 000 le nombre d'enfants de moins de 20 ans atteint d'un Trouble Envahissant du Développement (TED). « Les TED, un groupe hétérogène de pathologies, caractérisées par des altérations qualitatives des interactions sociales, des problèmes de communication (langage et communication non verbale), ainsi que par des troubles du comportement correspondant à un répertoire d'intérêts et d'activités restreint, stéréotypé et répétitif. Le handicap associé est variable, allant de léger à sévère. Il est presque toujours associé à des difficultés d'apprentissage. » (Inserm) La prévalence de l'autisme serait de 1 naissance sur 100. Il semble donc aujourd'hui primordial de faire avancer la recherche dans ce domaine afin de mieux comprendre ce trouble encore peu connu.

La littérature en recherche appliquée a mis en évidence que les personnes avec autisme n'observent pas le visage de la même manière que les personnes dites typiques. Les zones pertinentes du visage humain, c'est-à-dire les yeux et la bouche, ne sont pas regardées. Ces zones sont considérées comme pertinentes car elles permettent d'identifier et de discriminer les expressions faciales de notre interlocuteur. Quand nous nous adressons à quelqu'un nous nous référons à ses expressions faciales afin de savoir comment réagir, et il est tout naturel pour nous de regarder la personne. Cette incapacité à distinguer les expressions faciales peut engendrer des troubles de la communication et des troubles des interactions sociales. Les troubles des interactions sociales sont caractérisés par l'absence de contact avec autrui et l'absence de discrimination des émotions.

Il est important de souligner qu'un enfant dit typique (sans trouble particulier) regarde les yeux de son interlocuteur dès l'âge de 6 mois. Cela apparaît donc très tôt dans le développement.

A ce jour, nous ne savons pas pourquoi les enfants avec autisme ne regardent pas les zones pertinentes du visage et cela dès 6 mois. Nous avons connaissance d'une hypersensibilité chez cette population, c'est à dire qu'ils vont être plus réceptifs à certains stimuli. Suite à cette

connaissance nous émettons l'hypothèse que certaines caractéristiques physiques du visage humain et notamment sur les zones pertinentes, ne sont pas saillantes pour les personnes avec autisme.

C'est pourquoi nous étudierons les capacités perceptives des enfants avec autisme à travers l'étude présentée précédemment. Les données recueillies chez les enfants dits typiques serviront de contrôle dans l'étude des résultats obtenus chez les enfants avec autisme.

Annexe 3. Note d'information donnée aux parents pour l'étude 1**NOTE D'INFORMATION**

Nous proposons à votre enfant de participer à une étude sur les propriétés visuelles du stimulus. Pour cela votre enfant sera assis devant un écran d'ordinateur et son regard sera mesuré par un dispositif d'eye-tracking non invasif lui permettant ainsi une liberté de mouvement. Si votre enfant exprime le désir de ne pas participer ou d'arrêter par une demande orale (par exemple « non »), par des pleurs, ou autre comportement, la passation ne sera pas poursuivie/débutée. La durée d'une passation dure au maximum 30 minutes. La participation de votre enfant sera requise pour plusieurs passations. Le nombre de passations peut varier en fonction des conditions expérimentales. Durant cette étude, votre enfant aura la possibilité de déplacer des formes géométriques avec son regard ainsi que de regarder des vidéos qu'il aura au préalable choisies.

Dans le cadre de cette recherche à laquelle nous proposons à votre enfant de participer, un traitement des données va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté. Ces données seront identifiées par un numéro de code. Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données, qui est couverte par le secret professionnel. Ces données sont susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude.

Cette étude sera menée sous l'investigation de Margot Bertolino et sous la direction du Pr Vinca Rivière.

Pour toute question relative à l'étude, les coordonnées de l'investigatrice sont :

Mme BERTOLINO Margot
Tel : (+33)(0)3-20-41-69-53
Mail : margot.bertolino@univ-lille3.fr

Pr Vinca Rivière
Mail : vinca.riviere@univ-lille3.fr

Signature Participant :

Signature proposant :

Annexe 4 Compte rendu de l'étude 1 pour la directrice et les parents



Compte rendu de l'étude réalisée auprès des enfants de grande section de maternelle

L'étude à laquelle ont participé les élèves de grande section visait à étudier l'apprentissage de la discrimination visuelle chez les enfants. L'objectif était de mettre en évidence que certaines procédures pouvaient faciliter l'apprentissage et l'accélérer.

Pour cela nous avons proposé aux enfants l'exercice suivant : l'enfant devait trouver la solution pour pouvoir reprendre le film qu'il était en train de regarder, s'il effectuait un certain choix, la vidéo reprenait, s'il effectuait l'autre choix la vidéo ne reprenait pas et ça recommençait. Le choix se faisait entre 2 carrés. Dans les deux conditions, les carrés se distinguaient par le fait que l'un d'entre eux était plus lumineux que l'autre.

Un groupe d'enfants réalisait tout d'abord une condition dans laquelle la distinction entre les carrés était facile puis au fur et à mesure un des carrés devenait presque similaire à l'autre et donc la distinction était plus difficile. Ensuite ils faisaient une condition où la distinction entre les deux était tout de suite difficile car leur brillance était très proche. L'autre groupe passait les conditions dans l'ordre inverse. La condition difficile était une condition d'essai-erreur. Cela signifie qu'au départ on effectue notre choix au hasard et au fur et à mesure des essais on apprend quel carré il faut choisir.

Les résultats des tests permettent de montrer que :

- En augmentant progressivement la difficulté, une majorité des enfants choisissait le carré qui leur permettait de poursuivre le film.
- Que l'apprentissage peut être accéléré si la difficulté de l'exercice augmente au fur et à mesure de la progression de l'enfant. Plus précisément, nous avons mis en évidence que les enfants qui avaient été entraînés au préalable par une procédure par laquelle on passe du facile au difficile, sont en général plus performants que ceux qui ont réalisés une tâche difficile en premier. Enfin, il s'avère que le fait d'avoir été mis en difficulté dès le début de l'exercice ralentit voire bloque un nouvel apprentissage.

Margot Bertolino
Psychologue spécialisée en Analyse Appliquée du Comportement
Doctorante, laboratoire SCALab F-59000 Lille, France
Equipe Action, Vision, Apprentissage

Mail : margot.bertolino@univ-lille3.fr

Annexe 5 Lettre d'information donnée aux participants adultes de l'étude 3.**TADEL****Lettre d'information aux participants**

L'étude est réalisée par Margot Bertolino, 3^{ème} année de thèse de doctorat en Psychologie, sous la direction du Pr Vinca Riviere (Laboratoire SCALab).

L'étude porte sur l'apprentissage de la discrimination visuelle. Notre étude vise à étudier des procédures spécifiques permettant de favoriser ou de défavoriser les apprentissages. Nous utilisons un système d'eye tracking, système non invasif permettant de localiser le regard du participant sur l'écran d'ordinateur. Les personnes présentant des troubles de la vision des couleurs, épilepsie, strabisme, déficience visuelle importante non corrigée, ne sont pas invitées à participer à cette étude. L'expérience se déroule en 3 phases : une première phase d'entraînement, une deuxième phase consistant en une condition expérimentale et une dernière phase consistant en une seconde condition expérimentale. Etant donné la fatigabilité de la tâche, une heure de pause (minimum) sera requise entre les deux conditions expérimentales. Hors cette pause, l'ensemble de la passation dure environ 2h.

L'étude se déroule à l'Imaginarium, plaine image de Tourcoing, 99 A Boulevard Constantin Descat, 59200 Tourcoing.

Du 12/09/2017 au 12/12/2017.

Pour toute question relative à l'étude, les coordonnées de l'investigatrice sont :

Mme BERTOLINO Margot
 Tel : (+33)(0)3-20-41-69-53
 Mail : margot.bertolino@univ-lille3.fr

Pr Vinca Rivière
 Mail : vinca.riviere@univ-lille3.fr

Annexe 6 Lettre d'information donnée aux parents pour l'étude 3

TADEL



 LETTRE D'INFORMATION

Nous proposons à votre enfant de participer à une étude en psychologie sur le transfert d'apprentissage. Cette étude est à viser expérimentale. La recherche sur les apprentissages a mis en évidence que le transfert d'apprentissage jouait un rôle important dans le développement de nouvelle compétence chez l'enfant tant au niveau scolaire que dans son développement global. Néanmoins, les conditions afin de favoriser au mieux des transferts d'apprentissage sont encore peu connues.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence un transfert d'apprentissage par l'utilisation de différentes procédures d'apprentissage. Nous cherchons donc à comprendre comment on peut favoriser au mieux des apprentissages chez l'enfant.

Votre enfant sera amené à regarder un écran d'ordinateur, à contrôler des carrés grâce à son regard et aura la possibilité de regarder des dessins animés qu'il aura préalablement choisi.

Pour réaliser cela nous utilisons un système non invasif (aucun contact avec l'enfant) qui mesure le déplacement et la position du regard sur l'écran d'ordinateur.

L'étude se décompose en 3 phases :

- Une phase d'entraînement lors de laquelle l'enfant apprendra à contrôler un carré avec son regard. Celle-ci dure environ 12 minutes.
- Une première condition lors de laquelle il devra choisir le carré qui lui permettra de regarder la vidéo.
- Une deuxième condition où les carrés diffèrent de la première, mais où la tâche est exactement la même.

Les deux conditions durent une trentaine de minutes. Chaque condition sera décomposée par tranche de 12 minutes (pour éviter toute fatigue). Les 3 phases seront réalisées de manière séparées dans le temps.

TADEL

Si votre enfant exprime le désir de ne pas participer ou d'arrêter par une demande orale (par exemple « non »), par des pleurs, ou autre comportement, la passation ne sera pas poursuivie/débutée.

Les enfants présentant un strabisme ou trouble de la vision des couleurs (daltonisme par exemple) ne sont pas invités à participer à l'étude.

Dans le cadre de cette recherche à laquelle nous proposons à votre enfant de participer, un traitement des données va être mis en oeuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté. Ces données seront identifiées par un numéro de code. Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données, qui est couverte par le secret professionnel. Ces données sont susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude.

Cette étude sera menée sous l'investigation de Margot Bertolino et sous la direction du Pr Vinca Rivière.

Pour toute question relative à l'étude, les coordonnées de l'investigatrice sont :

Mme BERTOLINO Margot

Tel : (+33)(0)3-20-41-69-53

Mail : margot.bertolino@univ-lille3.fr

Pr Vinca Rivière

Mail : vinca.riviere@univ-lille3.fr

Résumé : La discrimination visuelle est une compétence importante pour l'adaptation d'un individu à son environnement au cours de son développement. Dans les années 60, de nombreuses études ont démontré que l'augmentation progressive de la difficulté et la modification perceptive des stimuli permettaient de réduire voire d'empêcher les erreurs, et facilitaient ainsi l'acquisition d'une nouvelle discrimination. La procédure de stimulus fading fut l'une des premières procédures démontrant l'acquisition d'une discrimination en absence d'erreur et est largement utilisée auprès de population avec troubles du développement. L'efficacité de cette procédure dans l'acquisition d'une nouvelle discrimination chez différentes populations n'a cependant pas toujours été démontrée. La littérature semble prétendre que l'observation des stimuli joue un rôle important dans la mise en place d'une discrimination, d'autant plus lors de l'utilisation d'une procédure de stimulus fading. Ainsi, un même opérant impliquant l'observation et le contrôle visuo-moteur a été utilisé dans l'ensemble des études de cette thèse. Cela a été rendu possible par l'utilisation d'un oculomètre.

Les trois études réalisées dans ce travail de thèse chez l'adulte, l'enfant typique et l'enfant avec troubles neuro-développementaux ont permis de mettre en évidence l'efficacité d'une procédure de stimulus fading dans le cas d'une discrimination intradimensionnelle. Nous avons également mis en évidence que l'observation des stimuli pouvait jouer un rôle important dans l'acquisition d'une discrimination. La présence d'une seconde contingence impliquant la modification d'un stimulus discriminatif produit par la réponse a pour la première fois était étudiée dans la procédure de stimulus fading. Ainsi, cette contingence pourrait jouer un rôle dans l'efficacité de la procédure de stimulus fading. Enfin, un entraînement préalable par stimulus fading a favorisé le transfert d'apprentissage et ainsi permis une facilitation dans l'apprentissage d'une seconde discrimination. De plus, chez l'enfant il semblerait que l'apprentissage par essai-erreur au préalable ralentirait voire bloquerait l'acquisition de la nouvelle discrimination.

L'ensemble de ces études ont permis d'aborder la question de l'observation des stimuli et de l'importance de l'attention dans l'apprentissage d'une discrimination. L'identification de la présence d'une seconde contingence dans la procédure de stimulus fading pourrait favoriser l'efficacité de cette procédure en milieu clinique.

Mots-clés : Discrimination, stimulus fading, observation, contingence, oculomètre, apprentissage sans erreurs, transfert d'apprentissage, troubles du développement.