

Apprentissage incident d'un itinéraire chez l'enfant avec déficience intellectuelle : apprentissage sans erreur et avec erreurs signalées implicitement et explicitement

A. WITT, S. FIRMIN, A. VINTER

RÉSUMÉ : Apprentissage incident d'un itinéraire chez l'enfant avec déficience intellectuelle : apprentissage sans erreur et avec erreurs signalées implicitement et explicitement

L'apprentissage implicite (AI) d'un itinéraire a été testé auprès d'enfants avec et sans déficience intellectuelle (DI), selon trois conditions : sans et avec erreurs suivies d'un feedback implicite ou explicite. Les deux feedbacks ont été efficaces dans le groupe sans DI, tandis que le feedback explicite a davantage réduit l'effet de l'erreur dans le groupe avec DI. Ces résultats confirment l'intérêt des processus d'AI et des rétroactions sur l'erreur dans prise en charge de la DI.

Mots clés : Apprentissage incident – Déficience intellectuelle – Apprentissage d'itinéraire avec ou sans erreurs – Feedback explicite et implicite.

SUMMARY: *Incidental route learning in children with intellectual disability: errorless learning and learning with implicitly and explicitly signalled errors*

Implicit learning (IL) of a route was tested in children with and without intellectual disability (ID) under three conditions: without and with errors followed by implicit or explicit feedback. Both types of feedback were effective in the group without ID, while explicit feedback reduced the effect of errors to a greater extent in the group with ID. These results confirm the value of IL processes and error feedback in the management of ID.

Key words: *Incidental learning – Intellectual disability – Route learning with or without errors – Explicit and implicit feedback.*

RESUMEN: *Aprendizaje incidental de rutas en niños con discapacidad intelectual: aprendizaje sin errores y aprendizaje con errores señalados implícita y explícitamente*

Se probó el aprendizaje implícito (AI) de una ruta en niños con y sin discapacidad intelectual (DI) en tres condiciones: sin y con errores seguidos de retroalimentación implícita o explícita. Ambos tipos de feedback fueron eficaces en el grupo sin DI, mientras que el feedback explícito redujo el efecto de los errores en mayor medida en el grupo con DI. Estos resultados confirman el valor de los procesos de AI y de la retroalimentación de errores en el tratamiento de la DI.

Palabras clave: *Aprendizaje incidental – Discapacidad intelectual – Ruta de aprendizaje con o sin errores – Retroalimentación explícito e implícito.*

Université de Bourgogne, LEAD-CNRS, Dijon, France.

Auteur de correspondance
Dr. Arnaud Witt, L.E.A.D., CNRS 5022, Pôle AAFE, Esplanade Erasme, BP 26513, 21065 Dijon Cedex, France. arnaud.witt@u-bourgogne.fr

Conflits d'intérêts : les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : Witt, A., Firmin, S., & Vinter, A. (2024). Apprentissage incident d'un itinéraire chez l'enfant avec déficience intellectuelle : apprentissage sans erreur et avec erreurs signalées implicitement et explicitement. A.N.A.E., 192, 493-502.

Introduction

Les enfants présentant une déficience intellectuelle (DI) montrent des performances d'apprentissage et de mémoire explicites moins efficaces que leurs homologues au développement typique (DT) (e.g., Bebko & Luhaorg, 1998). Leurs capacités d'apprentissage implicite (AI) seraient en revanche préservées (e.g., Atwell, Conners & Merrill, 2003), offrant ainsi d'intéressantes perspectives dans la conception de méthodes adaptées à leurs besoins spécifiques. Néanmoins, la littérature nuance ce postulat de robustesse et suggère l'adoption de nombreuses précautions dans l'élaboration de programmes éducatifs basé sur l'AI (Vinter, Pacton, Witt & Perruchet, 2010), notamment lorsqu'ils s'adressent aux enfants (Witt et al., 2013a), et de surcroît aux enfants présentant une DI (Witt & Vinter, 2013). Nous précisons ici quelles sont les données sur lesquelles fonder les recommandations pour l'élaboration de tels programmes et comment les adapter à un domaine de recherche déjà bien investi dans le champ de la DI, celui de la navigation spatiale.

Apprentissage implicite et déficience intellectuelle

L'AI serait responsable de l'acquisition de nombreuses compétences de la vie quotidienne, sans que nous ayons eu l'intention d'apprendre quoi que ce soit (par exemple, Carr & Curran, 1994 ; Chandler, 1993). Selon Reber (1993), l'antériorité des processus implicites par rapport aux processus explicites sur le plan phylogénétique leur conférerait une plus grande robustesse face aux effets de l'âge et du QI. Par ailleurs, la théorie du déficit procédural de Nicolson et Fawcett (2007) suggère que les troubles spécifiques des apprentissages auraient pour cause commune un déficit procédural, tandis que les troubles généralisés des apprentissages, qui qualifient la DI, seraient quant à eux associés à un déficit spécifique de l'apprentissage déclaratif (ou explicite).

La littérature qui s'est intéressée à la relation entre les capacités intellectuelles et les processus implicites n'a généralement pas révélé de corrélation significative, qu'il s'agisse de l'évaluation des capacités d'AI (e.g., Gebauer & Mackintosh, 2007) ou des performances de mémoire implicite (e.g., Wyatt & Conners, 1997).

C'est ce qui a été observé à l'aide de paradigmes tels que des tâches de grammaire artificielle (GA) (e.g., Reber et al., 1991), des tâches de temps de réaction sériels (TRS) (e.g., Atwell et al., 2003), et de contrôle de systèmes complexes (Myers & Conner, 1992), ou à travers ces trois

paradigmes à la fois (Gebauer & Mackintosh, 2007). Il faut noter ici la diversité des tâches employées et qui ont pourtant conduit aux mêmes conclusions (pour une description de ces tâches : Witt, 2010).

Maybery et al. (1995) ont aussi mis en évidence une absence de corrélation entre les performances lors d'une tâche de covariation incidente et le QI des participants. Ces auteurs relativisent toutefois le postulat de Reber (1993), en montrant un effet de l'âge entre 6 et 12 ans. En revanche, la reconduction de ces travaux par Fletcher et al. (2000), chez des enfants de 9 ans 5 mois d'âge chronologique moyen répartis en deux groupes selon l'âge mental et le QI (5 ans 8 mois : QI = 60 ; 12 ans 4 mois : QI = 120), contredit radicalement les travaux précédents en indiquant une corrélation entre l'âge mental (ou le QI) et les performances à des tâches d'apprentissage, aussi bien explicites qu'implicites. Une des pistes pour expliquer les moins bonnes performances des enfants présentant un faible QI serait un déficit du traitement des composantes conceptuelles impliquées dans certaines tâches implicites (Bebko & Luhaorg, 1998).

Komatsu, Naito et Fuke (1996) ont effectivement montré que des individus présentant une DI obtenaient des performances comparables à un groupe sans DI, lorsqu'une tâche de mémoire implicite sollicitait des traitements perceptuels, mais moins bonnes que le groupe contrôle dans une tâche faisant davantage intervenir des traitements conceptuels. Vinter et Detable (2003, 2008) ont également testé si une tâche faisant uniquement appel à des composantes perceptives et motrices permettait d'observer des capacités d'AI préservées chez des individus avec DI. Elles ont ainsi observé qu'un principe graphomoteur, connu sous le nom de *Starting-Rotation Principle* (SRP) et qui lie la position de départ du mouvement au sens de rotation lors de l'exécution graphique de figures géométriques fermées, pouvait être inversé par un entraînement incident incongruent avec ce principe auprès d'enfants et adolescents présentant une DI, et que cette influence était toujours observable dans un délai d'une heure après l'entraînement. De tels résultats peuvent également s'expliquer par la nature particulièrement implicite de cette procédure qui satisfaisait les « paramètres de neutralité des procédures » énoncés par Vinter et Perruchet (voir NPP, Vinter & Perruchet, 1999) et dont le but est de limiter les contaminations explicites. Cela nous amène à une seconde piste explicative des moins bonnes performances d'AI des enfants présentant un faible QI, celle des intrusions explicites au sein de certaines tâches implicites, notamment lors de la phase test.

En effet, dès lors que la procédure utilisée pour mesurer les capacités d'AI permet l'intrusion involontaire d'influences explicites, les difficultés rencontrées par les enfants avec DI pourraient être assimilées à celles qu'ils rencontrent dans les tâches explicites (Meulemans, 1998 ; Vinter & Perruchet, 1999). Cette hypothèse a été testée directement en manipulant le type d'instructions lors d'une tâche de GA auprès d'enfants avec et sans DI (Witt & Vinter, 2013). Dans la plupart des procédures de GA, l'AI est mesuré à travers un comportement sur lequel les participants se concentrent explicitement. Dans cette étude menée auprès d'enfants avec DI légère à modérée et des enfants DT, les séquences grammaticales auxquelles les enfants étaient exposés de manière répétée lors de phase d'étude prenaient la forme de drapeaux de couleurs. Les enfants devaient ensuite générer, soit des « jolis drapeaux pour les animaux qui n'en ont pas » (instruction implicite), soit les drapeaux qu'ils « étaient sûrs d'avoir vus juste avant » (instruction explicite). La performance était évaluée par la proportion de *chunks* de deux ou trois éléments consécutifs correctement reproduits. Lorsque l'apprentissage a été évalué à travers la formation d'unités simples (deux éléments), les enfants avec DI ont obtenu d'aussi bons résultats que les enfants avec DT à la suite d'instructions implicites. Lorsque l'apprentissage a été évalué à travers la formation d'unités complexes (trois éléments), seuls les enfants avec DT ont tiré profit des instructions explicites pour les reproduire au-delà du hasard.

Si les moindres performances d'AI des individus avec DI lorsque la procédure est perméable aux intrusions explicites constituent une limite au postulat de Reber (1993), d'autres études continuent de mettre en évidence une certaine robustesse de l'AI, principalement lorsque les procédures employées limitent les intrusions explicites. C'est le cas de la procédure de « *contextual cueing* » utilisée par Merrill et al. (2014). Dans ce paradigme, les participants doivent localiser un stimulus cible dans un environnement comprenant de nombreux stimuli distracteurs. L'emplacement de la cible est cependant prédictible en fonction de l'emplacement des distracteurs. Les résultats témoignent d'une facilitation contextuelle significative chez les participants avec DI et de magnitude comparable à celle des enfants et des adultes DT. Plus récemment, une étude impliquant des enfants porteurs de Trisomie 21 (T21, Salehi et al., 2019) a utilisé une tâche de TRS qui alterne entre des événements répétitifs et des événements aléatoires associés à une absence d'intervalle de temps entre la réponse et le stimulus suivant (RSI = 0 msec). Ces précautions visaient à limiter la possibilité d'utiliser des stratégies

explicites pendant l'apprentissage. Les auteurs ont observé une absence de différence entre le groupe T21 et le groupe DT, tandis que le groupe T21 montrait des performances inférieures au groupe DT dans une version explicite de la tâche. Pour finir, une étude récente (Henry et al., 2022) a eu recours au paradigme de « *Hebb repetition learning* » (HRL, Hebb, 1961) qui consiste en une tâche de mémoire sérielle durant laquelle l'ordre des séries est manipulé à l'insu du participant. Cette étude a révélé que les adolescents présentant une DI montraient des effets de HRL (en modalité visuo-spatiale comme verbale) d'une magnitude similaire à celle des enfants DT appariés sur l'âge mental.

En résumé, malgré quelques nuances à apporter au postulat de robustesse, l'ensemble des données présentées ici plaide pour le recours à des processus d'AI lors des méthodes éducatives à destination des personnes présentant une DI.

Les enseignements de la recherche expérimentale sur l'AI et le rôle de l'erreur

Dans un chapitre intitulé « *Implicit learning, development, and education* », publié au sein de l'ouvrage « *Rethinking physical and rehabilitation medicine* », Vinter et al. (2010) ont tenté de synthétiser les enseignements de la recherche sur le fonctionnement des processus d'AI et la manière de les solliciter dans une démarche de prise en charge éducative ou rééducative. La recommandation que les auteurs ont choisi de mettre au premier rang concerne ce qu'on appelle l'absence d'évidence négative.

Contrairement aux situations d'apprentissage classiques dans lesquelles il est souvent demandé de sélectionner la bonne réponse parmi une majorité d'erreurs, l'efficacité de l'AI serait due à une confrontation directe et exclusive à des instances correctes. Les expositions répétées à un environnement structuré permettraient d'apprendre les dépendances entre événements *via* des processus associatifs automatiques opérant sur les éléments conjointement réunis au sein du focus attentionnel (Perruchet & Vinter, 1998, 2002). Toute information entrant dans ce focus attentionnel est donc susceptible de faire l'objet d'un apprentissage incident. Ces mécanismes associatifs sont ainsi décrits comme « aveugles », car ils s'appliqueraient indépendamment de la nature correcte ou erronée de l'information. En accord avec cette idée, la littérature suggère un effet délétère de l'erreur car celle-ci interférerait dans la formation de la connaissance valable (e.g., Mensink & Raaijmakers, 1988).

Cette hypothèse est étayée par un corpus de données montrant la supériorité de l'appren-

tissage sans erreur par rapport aux méthodes d'apprentissage par essai et erreur, notamment auprès de populations présentant des troubles cognitifs. Par exemple, Wilson et al. (1994) ont montré que l'apprentissage sans erreur était bénéfique dans une tâche d'apprentissage de mots, en particulier pour les patients amnésiques et les personnes âgées. Squires et al. (1997) ont également montré un effet positif de l'apprentissage sans erreur chez les patients présentant des troubles de la mémoire épisodique dans l'acquisition de nouvelles associations.

L'erreur pourrait cependant être bénéfique pour la formation des connaissances car elle nécessiterait de développer un traitement approfondi du matériel. Une option permettant de tirer parti à la fois de l'erreur et de sa correction peut consister à fournir une rétroaction (*feedback*). Dans le cas des tests à choix multiples, par exemple, il a été démontré que l'ajout d'un *feedback* diminue, voire élimine l'effet négatif de la confrontation aux erreurs (Butler et al., 2008). Néanmoins, des résultats contradictoires ont révélé que l'effet négatif des items erronés opérait même lorsqu'ils étaient reconnus comme tels, suggérant que ces effets reflètent des influences implicites (e.g., Perruchet et al., 2006). D'autres études ont suggéré que l'identification de l'erreur n'aurait d'effet bénéfique que lorsqu'elle est accompagnée de la présentation de la bonne réponse (Pashler et al., 2005). Ces résultats sont davantage compatibles avec la théorie de la compétition de la force relative (e.g., Mensink & Raaijmakers, 1988), qu'avec la théorie de l'inhibition (e.g., Anderson, 2003). Dans la première théorie, l'erreur aurait un effet délétère seulement si sa représentation est plus activée que la représentation de l'information correcte. Dans la seconde théorie, dès lors que l'information est identifiée comme erronée, celle-ci devrait être inhibée au profit de l'apprentissage de l'information correcte. Ces deux théories permettent d'émettre des prédictions différentes quant à l'impact de l'erreur, même identifiée comme telle, dans le cas de la DI. Dans la théorie de la compétition de la force relative, l'activation des représentations dépend de mécanismes mnésiques implicites préservés dans le cas de la DI. Dès lors que l'information erronée est suivie de sa correction, cette théorie ne prédit pas d'effet plus délétère de l'erreur chez les individus avec DI comparativement aux individus DT. En revanche, la théorie de l'inhibition prédit un effet plus délétère de l'erreur chez les individus avec DI que sans DI, le contrôle exécutif étant déficitaire chez les individus avec DI (e.g., Schuiringa et al., 2017). Une revue de littérature a confirmé l'efficacité supérieure des méthodes d'apprentissage sans erreur par rapport aux méthodes par essai-erreur auprès des

individus présentant une DI (Markham et al., 2020). Toutefois, en contexte naturel d'apprentissage non supervisé, il n'est pas toujours possible d'éviter l'introduction d'erreurs pendant la phase d'apprentissage. Ainsi, il est important de déterminer si la présence d'erreurs en contexte d'AI est plus délétère chez les enfants et adolescents avec DI que chez leurs contrôles DT, et de préciser comment l'erreur doit être signalée pour en réduire l'effet délétère au sein des deux groupes.

Notre étude

La présente étude a pour objectif de comparer des enfants et adolescents présentant une DI à des enfants DT dans une tâche d'AI d'un itinéraire. Bien qu'ils utilisent des stratégies différentes dans les tâches de navigation (e.g., Courbois et al., 2024), le recours à des mécanismes d'AI préservés dans la DI devrait permettre au groupe avec DI d'apprendre l'itinéraire régulier aussi efficacement que le groupe DT. Une autre hypothèse concerne la gestion de l'erreur. Signaler l'erreur et la corriger immédiatement réduirait les effets associés à l'erreur (e.g., Pashler et al., 2005). La nature implicite des mécanismes impliqués dans la théorie de la compétition de la force relative (e.g., Mensink & Raaijmakers, 1988) prédit que la simple présentation immédiate de la correction (*feedback* implicite) devrait profiter autant aux participants avec DI qu'aux participants DT. Selon la théorie de l'inhibition (e.g., Anderson, 2003), le rôle accru du contrôle exécutif suggère, en revanche, une plus grande difficulté à réduire l'effet de l'erreur pour les individus avec DI comparativement aux individus DT. Toutefois, un *feedback* explicite pourrait favoriser l'inhibition de l'erreur et permettre au groupe avec DI d'atteindre une performance comparable à la condition sans erreur.

Méthode

Participants

Quatre-vingt-trois enfants et adolescents (41 filles et 42 garçons) ont participé à cette étude. Trente-neuf étaient des enfants neurotypiques scolarisés en CP et quarante-quatre étaient des enfants et des adolescents porteurs d'un trouble du développement intellectuel léger (QI variant entre 50 et 70). Dans chaque groupe, les participants ont été assignés au hasard à l'une des quatre conditions expérimentales : exposition à un itinéraire régulier sans erreur, régulier avec erreurs signalées implicitement (*feedback* implicite), régulier avec erreurs signalées explicitement (*feedback* explicite) ou

à un itinéraire irrégulier (et sans erreur). Dix participants avec DI ont été exclus des analyses du fait d'un nombre élevé d'erreurs de manipulation des touches directionnelles pendant la phase d'apprentissage. Le *tableau 1* présente les caractéristiques des groupes. L'analyse finale des résultats de ce groupe repose donc sur trente-quatre participants.

Les participants avec DI fréquentaient tous des instituts médicoéducatifs. Ils répondaient aux critères de diagnostic de la DI selon le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5 : American Psychiatric Association, 2013) et avaient un QI compris entre 50 et 70 selon différentes mesures de QI (K-ABC et/ou WISC-IV) évaluées au cours des 6 derniers mois. La plupart de ces enfants étaient atteints de Trisomie 21 (T21, N = 37). Pour les 7 autres enfants, la DI était associée à des causes génétiques non identifiées. L'appariement entre les enfants déficients et les enfants tout-venant a été réalisé grâce à l'échelle de vocabulaire en images *Peabody* (EVIP, Dunn, Thériault-Whalen, & Dunn, 1993) et les Matrices progressives colorées de Raven (MCPR, Raven, 1965). À l'intérieur de chaque condition, les scores bruts moyens de l'EVIP et des MCPR ne différaient pas entre les deux groupes avec DT et avec DI ($t_s < 1$). Le consentement éclairé des parents ou tuteurs a été recueilli pour chaque enfant. La procédure était conforme à la déclaration d'Hel-sinki (1964) et a été approuvée dans le cadre d'une convention (Convention n° : 2019-0679 et n° d'avenant : 2020-0566) entre la Direction académique du ministère de l'Éducation nationale et l'Inspection académique, notre laboratoire et notre université. Les expérimentations au sein des instituts médicoéducatifs ont également été effectuées dans le cadre d'une convention entre les expérimentateurs, les instituts et notre université (Convention n° : 2013-0623).

Matériel et procédure

Un jeu informatique impliquait un robot se déplaçant dans un labyrinthe virtuel en trois dimensions (*figure 1A*). Les participants incarnaient un groupe de 5 enfants dont le but était de sortir d'un labyrinthe, un par un, pour retrouver leurs parents à la sortie. Alors que les 4 premiers enfants incarnés par le participant suivaient un robot leur montrant le chemin, le dernier enfant parcourait le labyrinthe sans l'aide du robot. Les quatre premiers parcours constituaient la phase d'apprentissage incidente du parcours, tandis que le parcours effectué seul par le dernier enfant constituait la phase test. Les trois directions possibles étaient matérialisées par trois touches du clavier recouvertes de flèches. Deux types de labyrinthes ont été construits : un parcours régulier dédié aux groupes expérimentaux et un parcours irrégulier dédié au groupe contrôle. L'itinéraire régulier consistait en une séquence de 6 directions répétée trois fois (*figure 2A* : [2-3-1-1-2-3] x 3), tandis que l'itinéraire irrégulier était composé de 3 séquences différentes de 6 directions (*figure 2C*) : [2-1-3-2-3-1] [3-2-1-1-2-3] [1-3-2-1-2-3]). La répétition plus fréquente de la séquence unique qui composait le parcours régulier devait favoriser son apprentissage incident comparativement à celui de l'itinéraire irrégulier. Les itinéraires réguliers et irréguliers comportaient le même nombre de changements de direction et les trois directions étaient représentées de manière égale au sein des deux itinéraires. L'itinéraire régulier était utilisé dans trois conditions d'apprentissage : une condition sans erreur (le robot empruntait l'itinéraire sans jamais se tromper), une condition avec erreurs et *feedback* implicite (lorsque le robot commettait une erreur, celui-ci opérait un demi-tour et poursuivait le bon itinéraire) et une condition avec erreurs et *feedback* explicite (signalé par un son élevé et un panneau d'interdiction, voir *figure 1B*). Pendant les phases d'apprentissage et de test, le programme enregistrait la séquence de

Tableau 1. Caractéristiques des groupes (F : féminin, M : masculin, DI : avec déficience intellectuelle, DT : avec développement typique, QI : quotient intellectuel, EVIP : échelle de vocabulaire en images *Peabody* ; MCPR : Matrices progressives colorées de Raven).

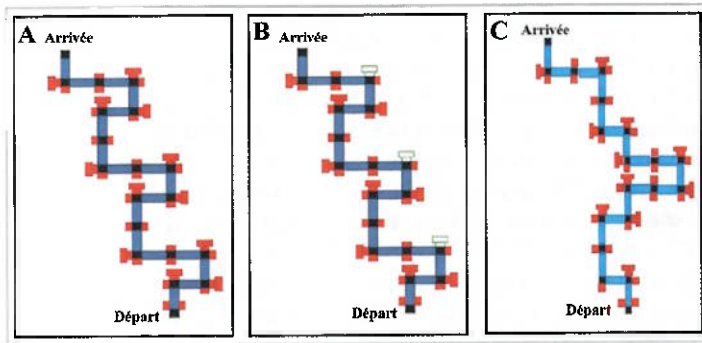
Groupe	Condition d'apprentissage	Âge réel moyen (années, mois)	Âge verbal moyen	Fourchette QI	QI EVIP moyen	MCPR Moyen	Effectif	Sexe (F - M)
DI	Régulier sans erreur	11,3	7,6	50-70	64	17	9	5-4
	Feedback explicite	10,9	7,8	50-70	58	20	9	3-6
	Feedback implicite	12,2	7,6	50-70	61	15	11	7-4
	Irrégulier	11,5	7,6	50-70	62	18	5	3-2
DT	Régulier sans erreur	6,8	6,8	/	106	20	10	7-3
	Feedback explicite	6,10	6,10	/	110	22	10	5-5
	Feedback implicite	6,7	6,7	/	108	19	10	4-6
	Irrégulier	6,11	6,11	/	104	23	9	4-5

touches directionnelles utilisée par l'enfant et le temps pour parcourir l'itinéraire.

Figure 1. Illustrations du jeu de navigation montrant (A) la progression du robot pendant la phase d'apprentissage, (B) le signalement d'une erreur dans la condition « feedback explicite », ainsi que (C) la progression du participant en l'absence du robot en phase de test.



Figure 2. Représentations des itinéraires (A) régulier sans erreur : [2-3-1-1-2-3] x 3, (B) régulier avec erreurs (et feedbacks explicites ou implicites) : [2-3-1-2-1-2-3] x 3 et (C) irrégulier : [2-1-3-2-3-1] [3-2-1-1-2-3] [1-3-2-1-2-3]). Les voies transparentes sur la carte B indiquent les erreurs commises par le robot pendant la phase d'apprentissage dans les conditions avec erreurs.



Recueil et analyse des données

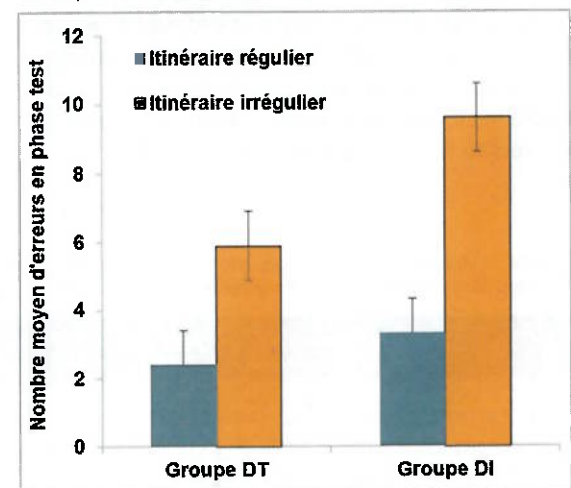
Le nombre d'erreurs commises pendant la phase de test a été calculé, ainsi que le temps de navigation pour parcourir l'itinéraire (en secondes). Des ANOVA incluant les facteurs inter-sujets Itinéraire (2 : régulier vs. irrégulier) et Groupe (2 : DI vs. DT) ont été menées sur le nombre moyen d'erreurs afin d'étudier l'AI de l'itinéraire régulier comparativement à l'itinéraire irrégulier. Des ANOVA incluant les facteurs inter-sujets Condition d'apprentissage (3 : sans erreur ; feedback implicite ; feedback explicite) et Groupe (2 : DI vs. DT) ont été conduites pour tester l'effet des différents feedbacks, implicite et explicite, par rapport à l'apprentissage sans erreur. Des tests de Student ont permis de comparer le nombre moyen d'erreurs observé avec le nombre théorique d'erreurs qui résulterait d'une navigation au hasard, considérant que chaque intersection au cours de l'itinéraire (18) offre une proportion théorique de 2/3 de commettre des erreurs ($18 \times \frac{2}{3} = 12$) et qu'il était facile de repérer que les 5 intersections lors d'une longue ligne droite devaient être franchies en continuant tout droit ($(18-5) \times \frac{2}{3} = 8,67$).

Résultats

Apprentissage incident de l'itinéraire régulier vs. irrégulier

Une ANOVA avec les facteurs inter-sujets Itinéraire (2 : régulier (sans erreur) vs. irrégulier) et Groupe (2 : DI vs. DT) sur le nombre moyen d'erreurs lors du test (figure 3) a révélé un effet significatif du facteur Itinéraire, $F(1, 29) = 52.59, p < .0001, \eta^2_p = .64$, avec moins d'erreurs commises pour l'itinéraire régulier ($M = 2.84, SD = 2.01$) que pour l'itinéraire irrégulier ($M = 7.21, SD = 2.42$). Le facteur Groupe était également significatif, $F(1, 29) = 11.92, p = .0018, \eta^2_p = .64$. Le groupe avec DI a commis plus d'erreurs ($M = 5.57, SD = 3.82$) que le groupe DT ($M = 4.05, SD = 2.3$). En outre, l'interaction Itinéraire X Groupe a montré un effet significatif, $F(1, 29) = 4.26, p = .048, \eta^2_p = .13$. Le groupe avec DI ($M = 9.6, SD = 1.82$) a commis plus d'erreurs que le groupe DT ($M = 5.89, SD = 1.54$) lors de l'itinéraire irrégulier, $t(12) = 4.07, p < .01$, tandis qu'autant d'erreurs ont été commises par le groupe avec DI ($M = 3.33, SD = 2.5$) et le groupe DT ($M = 2.4, SD = 1.43$) lors de l'itinéraire régulier, $t(17) = 1.01, p = .32$. Par ailleurs, un apprentissage des régularités a été observé, le nombre d'erreurs lors de l'itinéraire irrégulier étant inférieur à celui lors de l'itinéraire irrégulier, quel que soit le groupe, DT, $t(17) = 5.13, p < .0001$, ou avec DI, $t(12) = 4.89, p < .001$.

Figure 3. Nombre moyen d'erreurs commises en phase de test en fonction du type d'itinéraire (régulier (sans erreur) vs. irrégulier) et du groupe (DI vs. DT). Les barres d'erreur correspondent à une erreur standard.



Les deux groupes, DT et avec DI, ont produit un nombre d'erreurs inférieur au hasard dans l'itinéraire régulier, respectivement $t(9) = -13.87, p < .00001$ et $t(8) = -6.40, p = .0003$. En revanche, seul le groupe DT a produit moins d'erreurs par rapport au hasard théorique lors

du parcours irrégulier, $t(8) = -5.43, p = .0006$, tandis que le nombre d'erreurs du groupe avec DI ne différait pas du hasard, $t(4) = 1.14, p = .32$.

Apprentissage sans erreur et avec erreurs et feedback explicite vs. implicite

Une ANOVA avec les facteurs inter-sujets Condition d'apprentissage (3 : sans erreur ; feedback explicite ; feedback implicite) et Groupe (2 : DI vs. DT) a été conduite sur le nombre moyen d'erreurs lors du test (figure 4, gauche).

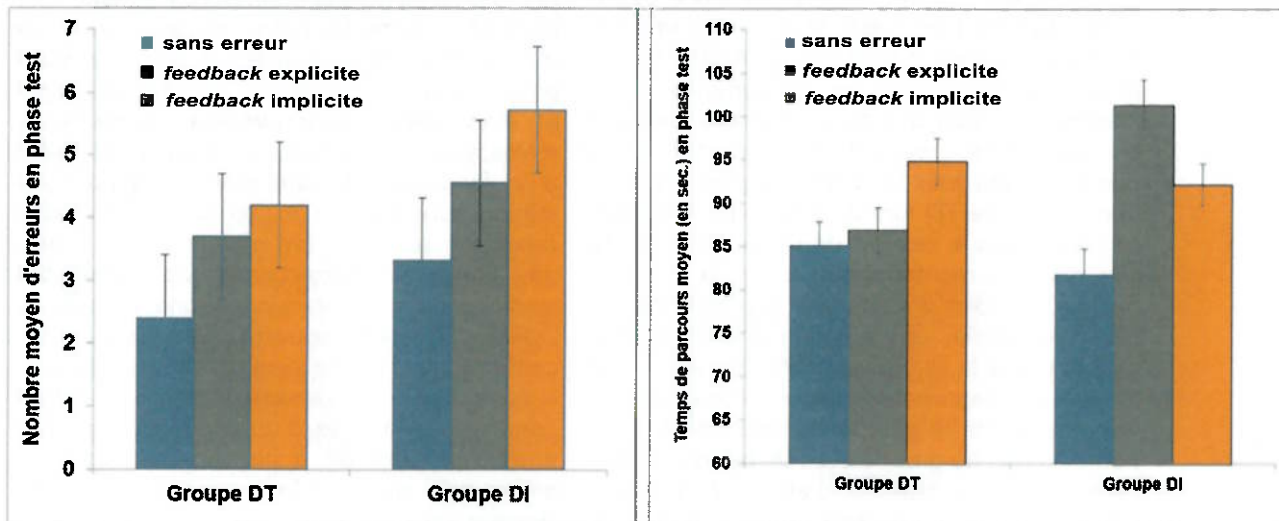
Le facteur Condition d'apprentissage a montré un effet significatif, $F(2, 53) = 3.02, p = .05, \eta^2_p = .30$, alors que le facteur Groupe et l'interaction Groupe X Condition d'apprentissage n'ont pas révélé d'effet significatif, respectivement $F(1, 53) = 2.46, p = .12, \eta^2_p = .04$ et $F(2, 53) = .09, p = .91, \eta^2_p = .003$. Plus d'erreurs étaient commises lors de l'apprentissage avec erreurs (conditions feedback explicite et feedback implicite considérées ensemble) que dans la condition d'apprentissage sans erreur, $t(57) = 2.84, p < .05$. Cependant, lorsque les conditions de feedback explicite et implicite étaient considérées séparément, seule la différence entre les conditions de feedback implicite et sans erreur était significative, $t(38) = 2.45, p < .05$, alors que le nombre d'erreurs ne différait pas entre les conditions de feedback explicite et sans erreur, $t(36) = 1.74, p = .10$. Toutefois, seul le groupe avec DI confirmait ce pattern de résultats avec une différence significative ($p = .05$) entre les conditions sans erreur et feedback implicite et une absence de différence significative ($p = .34$) entre les conditions sans erreur et avec feedback explicite, tandis que les performances du groupe DT ne différaient pas de la condition sans erreur, pour la condition feedback implicite ($p = .14$) comme pour la condition feedback explicite ($p = .29$).

Pour terminer, une ANOVA avec les facteurs inter-sujets Condition d'apprentissage (3 : sans erreur ; feedback explicite ; feedback implicite) et Groupe (2 : DI vs. DT) a été conduite sur le temps moyen de réalisation des itinéraires (figure 4, droite). Les résultats n'ont pas révélé d'effet significatif des facteurs Groupe, $F(1, 53) = .18, p = .67, \eta^2_p = .003$, et Condition d'apprentissage, $F(2, 53) = 1.02, p = .37, \eta^2_p = .04$, ni d'interaction significative entre ces facteurs, $F(2, 53) = .7, p = .48, \eta^2_p = .03$. Il est cependant intéressant de noter que, contrairement au groupe DT, c'est dans la condition feedback explicite, qui a pourtant permis au groupe avec DI de réduire davantage le rôle délétère de l'erreur, que le groupe avec DI a mis le plus de temps pour parcourir l'itinéraire en phase test (bien que la différence avec la condition sans erreur n'atteigne pas le seuil de significativité, $p = .11$).

Discussion

Cette étude avait pour objectif d'étudier l'AI d'un itinéraire chez des enfants et des adolescents présentant une DI. Les capacités d'AI préservées devaient leur permettre d'opérer un apprentissage d'une magnitude comparable au groupe DT. Le rôle de l'erreur et le type de feedback associé à l'erreur ont également été investigués. Comparativement au groupe DT, le groupe avec DI était susceptible de manifester plus de difficultés à inhiber l'erreur pour favoriser l'encodage de l'information correcte. Les principaux résultats ont montré que le groupe avec DI était capable d'apprendre implicitement un itinéraire régulier, au même titre que le groupe sans DI. Cet apprentissage est d'autant plus remarquable qu'il a permis au groupe avec DI de réduire le nombre d'erreurs au niveau de celui produit par le groupe DT lors de l'itinéraire

Figure 4. Nombre moyen d'erreurs commises (à gauche) et Temps moyen (en sec.) pour parcourir l'itinéraire (à droite) en phase test en fonction de la condition d'apprentissage (sans erreur, feedback explicite ou feedback implicite) et du groupe (DT vs. DI). Les barres d'erreur correspondent à une erreur standard.



régulier, tandis que le nombre d'erreurs était nettement supérieur pour le groupe avec DI par rapport au groupe DT lors de l'itinéraire irrégulier. Concernant le rôle de l'erreur et du type de *feedback*, alors que le groupe DT a su tirer profit des deux types de *feedbacks*, les résultats suggèrent que le groupe avec DI a particulièrement profité d'un *feedback* explicite, bien que le temps de navigation dans cette condition suggère un coût accru de l'intégration de ce type de *feedback*. Ces résultats sont discutés en regard du postulat de robustesse des mécanismes d'AI, du rôle délétère de l'erreur et des solutions pour en réduire l'impact.

Apprentissage incident d'itinéraire et déficience intellectuelle

La littérature sur l'AI a majoritairement décrit les processus implicites comme robustes face aux différences individuelles comme l'âge ou le QI (Reber, 1993). Ce postulat a cependant été révisé récemment (Zwart et al., 2019). Un déficit d'AI a même été établi dans certains troubles neurodéveloppementaux comme les troubles spécifiques du langage (Lum et al., 2014). En revanche, la littérature a conclu à la préservation des capacités d'AI dans d'autres troubles du neurodéveloppement, tels que les troubles du spectre de l'autisme (e.g., Obeid et al., 2016) et les troubles déficitaires de l'attention (Sanjeevan et al., 2020). Malgré l'absence de méta-analyse dans le domaine de la DI, il semble raisonnable de postuler une certaine robustesse de l'AI face à la DI, pour peu que quelques précautions méthodologiques soient prises. Conformément à ces recommandations, nous avons investigué les capacités d'AI d'enfants et d'adolescents présentant une DI dans une tâche visuomotrice limitant les intrusions explicites.

Notre première hypothèse était que le groupe avec DI devait profiter autant que le groupe DT de la présence de régularités lors d'une exposition répétée à un itinéraire régulier comparativement à une exposition à un itinéraire irrégulier. Moins d'erreurs ont été commises pour l'itinéraire régulier que pour l'itinéraire irrégulier quel que soit le groupe. Fait remarquable, alors que le groupe avec DI a commis plus d'erreurs que le groupe TD lors de l'itinéraire irrégulier, ce n'était plus le cas lors de l'itinéraire régulier. Ces résultats montrent que les deux groupes ont été capables d'apprendre implicitement un itinéraire régulier, ce qui confirme la robustesse de l'AI face à la DI (Reber, 1993). Par ailleurs, la magnitude d'apprentissage que nous espérons identique entre les groupes semble même supérieure au sein du groupe avec DI, puisque l'itinéraire régulier leur a permis d'atteindre un niveau de performance comparable au groupe DT, ce

qui n'a pas été le cas pour l'itinéraire irrégulier. Ceci est d'autant plus remarquable que la littérature sur la navigation spatiale a révélé que les individus avec DI ont généralement besoin de plus d'essais pour apprendre le même chemin que leurs homologues DT (Farran et al., 2012). Le succès de cet apprentissage tient probablement à la sollicitation de processus implicites plutôt qu'explicites. Par ailleurs, une procédure qui, comme l'ont suggéré Vinter et Witt (2013), limite le recours à des processus intentionnels d'apprentissage ou de récupération de l'information et repose sur l'évaluation de comportements basés sur des unités représentationnelles perceptuelles élémentaires (comme des successions de directions, par exemple) a également favorisé l'observation de telles performances. Dans la présente étude, le paradigme est construit autour de séquences visuo-spatiales et visuo-motrices qui s'apparentent à celles sollicitées dans le paradigme de TRS (Nissen & Bullemer, 1987). Ce paradigme offre des conditions d'apprentissage particulièrement incidentes car les sujets ne sont jamais informés de la présence de régularités dans la tâche qu'ils doivent effectuer, et rien ne les encourage à essayer de découvrir des *patterns* réguliers dans le matériel. Ce paradigme a d'ailleurs participé à établir le postulat de robustesse de l'AI face à la DI (Salehi et al., 2019). En revanche, ce type de paradigme non supervisé augmente le risque d'erreurs lors de la réalisation de la tâche. Pour cette raison, le rôle de l'erreur et les modes de rétroaction (*feedback*) pour limiter son impact sur l'apprentissage sont discutés dans la section suivante.

Effets délétères de l'erreur et modes de rétroaction

D'après les études sur l'effet délétère de l'erreur, toute information erronée à laquelle l'individu est implicitement exposé influencerait ses adaptations comportementales. Un premier objectif était de comparer un mode d'apprentissage sans erreur à un mode d'apprentissage avec erreurs. Un second objectif était d'investiguer l'impact du mode de rétroaction sur l'erreur, en comparant l'effet d'un *feedback* implicite (par une simple correction subséquente à l'erreur) et celui d'un *feedback* explicite (en différenciant l'erreur de l'information correcte par une signalisation explicite de son caractère erroné à l'aide de signaux visuels et sonores). Les résultats ont confirmé que l'erreur avait un effet délétère sur la performance car davantage d'erreurs ont été commises à la suite d'un apprentissage avec erreurs par rapport à un apprentissage sans erreur quel que soit le groupe. En revanche, signaler l'erreur de manière explicite a davan-

tage réduit les erreurs lors du test, tandis que le nombre d'erreurs commises après *feedback* implicite restait significativement supérieur à celui en condition d'apprentissage sans erreur pour le groupe avec DI. Ces résultats confirment que signaler l'erreur permet de réduire, voire d'annuler, ses effets délétères (e.g., Butler et al., 2008). En outre, la mise en saillance particulière de l'erreur dans la condition *feedback* explicite, comparativement à la condition *feedback* implicite, a limité son impact. La théorie de l'inhibition (e.g., Anderson, 2003) semble plus à même de rendre compte de cette observation que la théorie de la compétition de la force relative (e.g., Mensink & Raaijmakers, 1988). De manière intéressante, les résultats ont révélé que ce *pattern* de résultat correspondait davantage à ce qui était observé pour le groupe avec DI plutôt que pour le groupe DT, pour qui les performances ne différaient pas de la condition sans erreur, que les erreurs soient signalées implicitement ou explicitement. Ainsi, signaler l'erreur explicitement est particulièrement pertinent pour les individus avec DI, tandis que ceux sans DI parviennent à limiter l'effet de l'erreur quel que soit le mode de rétroaction. Ces données suggèrent que le groupe DT parvient à inhiber l'information erronée au profit de celle correcte, alors qu'un certain étayage est nécessaire au groupe DI pour permettre ce travail de sélection de l'information à encoder. Cette conclusion vient relativiser l'observation de Tailby et Haslam (2003) selon laquelle les individus avec de moindres capacités de mémoire explicite ne parviennent pas à supprimer les erreurs. Nos résultats suggèrent que ce déficit est réductible par la mise en saillance du caractère erroné de l'information. Enfin, un dernier élément, bien que relevant davantage d'une analyse descriptive de nos données, suggère que l'intégration du *feedback* explicite a demandé un coût cognitif accru au groupe DI. Parmi les trois itinéraires réguliers, c'est en effet dans cette condition que nous avons observé le temps de navigation le plus élevé en phase test, alors que ce n'est pas le cas pour le groupe DT. Ce temps de navigation moyen plus long pourrait refléter une prudence accrue de la part du groupe avec DI dans la condition *feedback* explicite qui l'a invité à inhiber davantage les erreurs à ne pas commettre lors de l'AI de l'itinéraire. Si cette interprétation s'avère correcte, cela suggère que les difficultés d'inhibition associée à la DI sont réductibles lorsque des indices environnementaux soutiennent la sélection de l'information à inhiber et encouragent les comportements d'autorégulation.

Conclusion

Pour la première fois, à notre connaissance, la présente étude a investigué la possibilité de recourir à un mode implicite d'apprentissage d'un itinéraire chez des enfants et adolescents présentant une DI. Ce travail a également questionné le rôle de l'erreur et la manière de limiter ses effets délétères sur l'apprentissage. Nos résultats ont révélé des compétences d'AI préservées au sein de cette population et la possibilité de les solliciter dans une tâche de navigation spatiale. Leurs capacités d'AI se sont révélées remarquables puisqu'elles ont permis de réduire de manière significative l'écart de performances avec leurs homologues DT, si bien que le groupe avec DI ne commettait pas plus d'erreurs que le groupe DT à la suite d'un AI sans erreur d'un itinéraire régulier. Par ailleurs, le risque de commettre des erreurs dans un tel apprentissage non supervisé ne semble pas constituer un obstacle au recours à l'AI, dès lors que l'erreur est signalée explicitement afin de fournir l'étayage suffisant pour permettre son inhibition. Cependant, l'aspect peu écologique de l'itinéraire régulier utilisé dans cette étude peut constituer une limite au potentiel d'applicatif d'une telle recherche. Toutefois, une phase d'exposition contenant davantage de répétitions à un itinéraire plus complexe, tel que celui proposé dans la condition de l'itinéraire irrégulier, devrait permettre d'apprendre de manière incidente la séquence de directions qui le compose. L'ajout de repères distinctifs aux intersections, comme ceux utilisés dans les tâches virtuelles de navigation, pourrait également favoriser l'AI des associations entre repères et directions. De futures recherches investiguant ces pistes sont nécessaires pour établir la pertinence des méthodes d'AI en situation écologique auprès d'individus présentant une DI.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Laurent Bergerot qui a conçu et programmé le jeu de navigation spatiale utilisé dans cette étude. Cette recherche a été soutenue par une subvention du Conseil régional de Bourgogne (France).

RÉFÉRENCES

- Anderson, M. C. (2003). Rethinking interference theory: Executive control and the mechanisms of forgetting. *Journal of Memory and Language*, 49, 415-445. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2003.08.006>
- Atwell, J., Conners, F., & Merrill, C. (2003). Implicit and explicit learning in young adults with mental retardation. *American journal on mental retardation*, 108, 56-68. [https://doi.org/10.1352/0895-8017\(2003\)108<0056:IAELIY>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1352/0895-8017(2003)108<0056:IAELIY>2.0.CO;2)
- Bebko, J. M., & Luhaog, H. (1998). The development of strategy use and metacognitive processing in mental retardation: Some sources of difficulty. In *Handbook of mental retardation and development* (pp. 382-407).

- Butler, A. C., Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. III. (2008). Correcting a metacognitive error: Feedback increases retention of low-confidence correct responses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(4), 918-928. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.4.918>
- Carr, T. H., & Curran, T. (1994). Cognitive factors in learning about structured sequences: Applications to syntax. *Studies in second language acquisition*, 16(2), 205-230. <https://doi.org/10.1017/S0272263100012882>
- Chandler, S. (1993). Are rules and modules really necessary for explaining language? *Journal of Psycholinguistic research*, 22, 593-606. <https://doi.org/10.1007/BF01072938>
- Courbois, Y., Blades, M., Hudson, K. D., Sockeel, P., & Farran, E. K. (2024). Spatial exploration and navigation in Down syndrome and Williams syndrome. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 178, 32-50. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2024.06.004>
- Farran, E.K., Courbois, Y., Van Herwegen, J., & Blades, M. (2012). How useful are landmarks when learning a route in a virtual environment? Evidence from typical development and Williams syndrome. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 571-586. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.10.009>
- Gebauer, G. F., & Mackintosh, N. J. (2007). Psychometric intelligence dissociates implicit and explicit learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(1), 34. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.1.34>
- Hebb, D. O. (1961). Distinctive features of learning in the higher animal. *Brain mechanisms and learning*, 37, 46.
- Henry, L. A., Poloczek, S., Messer, D. J., Dennen, R., Mattiauda, E., & Danielsson, H. (2022). Hebb repetition learning in adolescents with intellectual disabilities. *Research in developmental disabilities*, 125, 104219. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104219>
- Komatsu, S. I., Naito, M., & Fuke, T. (1996). Age-related and intelligence-related differences in implicit memory: Effects of generation on a word-fragment completion test. *Journal of experimental child psychology*, 62(2), 151-172. <https://doi.org/10.1006/jecp.1996.0026>
- Lum, J. A., Ullman, M. T., & Conti-Ramsden, G. (2013). Procedural learning is impaired in dyslexia: Evidence from a meta-analysis of serial reaction time studies. *Research in developmental disabilities*, 34(10), 3460-3476. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.07.017>
- Maybery, M., Taylor, M., & O'Brien-Malone, A. (1995). Implicit learning: Sensitive to age but not IQ. *Australian Journal of Psychology*, 47(1), 8-17. <https://doi.org/10.1080/00049539508258763>
- Meulemans, T. (1998). *L'apprentissage implicite : une approche cognitive, neuropsychologique et développementale*. Marseille, Solal. <https://hdl.handle.net/2268/1937>
- Mensink, G. J. M., & Raajmakers, J. G. W. (1988). A model of interference and forgetting. *Psychological Review*, 95, 434-455. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.4.434>
- Merrill, E. C., Conners, F. A., Yang, Y., & Weathington, D. (2014). The acquisition of contextual cueing effects by persons with and without intellectual disability. *Research in developmental disabilities*, 35(10), 2341-2351. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.05.026>
- Myers, C., & Conner, M. (1992). Age differences in skill acquisition and transfer in an implicit learning paradigm. *Applied Cognitive Psychology*, 6(5), 429-442. <https://doi.org/10.1002/acp.2350060507>
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2007). Procedural learning difficulties: reuniting the developmental disorders? *TRENDS in Neurosciences*, 30(4), 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.02.003>
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive psychology*, 19(1), 1-32. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90002-8)
- Obeid, R., Brooks, P. J., Powers, K. L., Gillespie-Lynch, K., & Lum, J. A. (2016). Statistical learning in specific language impairment and autism spectrum disorder: A meta-analysis. *Frontiers in psychology*, 7, 1245. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01245>
- Pashler, H., Cepeda, N. J., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2005). When Does Feedback Facilitate Learning of Words? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(1), 3-8. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.1.3>
- Perruchet, P., Rey, A., Hivert, E., & Pacton, S. (2006). Do distractors interfere with memory for study pairs in associative recognition? *Memory & Cognition*, 34(5), 1046-1054. <https://doi.org/10.3758/bf03193251>
- Perruchet, P., & Vinter, A. (1998). Learning and development. The implicit knowledge assumption reconsidered. In M. Stadler et P. Frensch (Eds), *Handbook of implicit learning* (pp. 495-531). Thousands Oaks: Sage Publications.
- Perruchet, P., & Vinter, A. (2002). The self-organizing consciousness. *Behavioral and brain sciences*, 25(3), 297-330. <https://doi.org/10.1017/S0140525X02000067>
- Raven, J.C. (1965). *Guide to using the Coloured Progressive Matrices Sets A, Ab, B*. Dumfries, Scotland: Grieve.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious*. New York: Oxford University Press.
- Reber, A.S., Walkenfeld, F.F., & Hernstadt, R. (1991) Implicit and explicit learning: individual differences and IQ. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 17, 888-896. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.17.5.888>
- Salehi, S. K., Talebrokni, F. S., Lavasani, N. M., & Hajipour, A. (2019). Explicit and implicit motor sequence learning: motor learning analysis in children with Down syndrome. *RICYDE, Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 15(57), 266-279. <https://doi.org/10.5232/ricyde2019.05705>
- Sanjeevan, T., Cardy, R. E., & Anagnostou, E. (2020). Procedural Sequence Learning in Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Meta-Analysis. *Frontiers in psychology*, 11, 560064. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.560064>
- Schuiringa, H., van Nieuwenhuijzen, M., Orobio de Castro, B., & Matthys, W. (2017). Executive functions and processing speed in children with mild to borderline intellectual disabilities and externalizing behavior problems. *Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 23(4), 442-462. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1135421>
- Squires, E. J., Hunkin, N. M., & Parkin, A. J. (1997). Errorless learning of novel associations in amnesia. *Neuropsychologia*, 35(8), 1103-1111. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(97\)00039-0](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(97)00039-0)
- Tailby, R., & Haslam, C. (2003). An investigation of errorless learning in memory-impaired patients: improving the technique and clarifying theory. *Neuropsychologia*, 41(9), 1230-1240. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00036-8)
- Vinter, A., & Detable, C. (2003). Implicit learning in children and adolescents with mental retardation. *American Journal on Mental Retardation*, 108, 94-107. [https://doi.org/10.1352/0895-8017\(2003\)108<0094:ILCAA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1352/0895-8017(2003)108<0094:ILCAA>2.0.CO;2)
- Vinter, A., & Detable, C. (2008). Implicit and explicit motor learning in children with and without Down's syndrome. *British Journal of Developmental Psychology*, 26(4), 507-523. <https://doi.org/10.1348/026151007X267300>
- Vinter, A., & Perruchet, P. (1999). Isolating unconscious influences: the neutral parameter procedure. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 857-875. <https://doi.org/10.1080/027249899390846>
- Vinter, A., Pacton, S., Witt, A., & Perruchet, P. (2010). Implicit learning, development, and education. In *Rethinking physical and rehabilitation medicine: New technologies induce new learning strategies* (pp. 111-127). Collection de l'Académie Européenne de Médecine de Réadaptation. Springer, Paris. https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0034-9_6
- 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>
- Witt, A. (2010). *L'apprentissage implicite d'une grammaire artificielle chez l'enfant avec et sans retard mental : rôle des propriétés du matériel et influence des instructions* (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
- Witt, A., & Vinter, A. (2013). Children with intellectual disabilities may be impaired in encoding and recollecting incidental information. *Research in developmental disabilities*, 34(2), 864-871. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.11.003>
- Witt, A., Puspitawati, I., & Vinter, A. (2013). How explicit and implicit test instructions in an implicit learning task affect performance. *PLoS one*, 8(1), e53296. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053296>
- Wyatt, B. S., & Conners, F. A. (1997). Implicit and explicit memory in individuals with mental retardation. *American Journal on Mental Retardation*, 102(5), 511-526. [https://doi.org/10.1352/0895-8017\(1998\)102<0511:IAEMII>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1352/0895-8017(1998)102<0511:IAEMII>2.0.CO;2)
- Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2019). Procedural learning across the lifespan: A systematic review with implications for atypical development. *Journal of Neuropsychology*, 13(2), 149-182. <https://doi.org/10.1111/jnp.12139>