



**HAL**  
open science

## Vers l'Utilisation de Tablettes à Picots pour l'Illustration de Livres Tactiles

Carolane Mascle, Christophe Jouffrais, Gwenaël Kaminski, Florence Bara

► **To cite this version:**

Carolane Mascle, Christophe Jouffrais, Gwenaël Kaminski, Florence Bara. Vers l'Utilisation de Tablettes à Picots pour l'Illustration de Livres Tactiles. 11e Conférence Handicap (Handicap 2020), Université Paris 8; IFRATH : Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour personnes Handicapées, Nov 2020, Paris, France. hal-02921414

**HAL Id: hal-02921414**

**<https://hal.science/hal-02921414>**

Submitted on 26 Aug 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Vers l'Utilisation de Tablettes à Picots pour l'Illustration de Livres Tactiles

Carolane Mascle

*Cognition, langue, Langage, ergonomie*  
*Institut de Recherche en Informatique*

*de Toulouse*

Toulouse, France

carolane.mascle@univ-tlse2.fr

Christophe Jouffrais

*Institut de Recherche en Informatique*  
*de Toulouse*

Toulouse, France

christophe.jouffrais@irit.fr

Gwenaël Kaminski

*Cognition, langue, Langage, ergonomie*  
*Institut Universitaire de France*

Toulouse, France

gwenael.kaminski@univ-tlse2.fr

Florence Bara

*Cognition, langue, Langage, ergonomie*

Toulouse, France

florence.bara@univ-tlse2.fr

**Résumé**— Les livres illustrés occupent une place particulière dans le développement de la littéracie précoce des enfants. Chez les enfants déficients visuels, la participation aux activités de lecture augmente lors de l'utilisation de livres tactiles illustrés. Cependant, ces livres sont peu disponibles et les enfants déficients visuels y ont peu accès. Les nouvelles technologies telles que les tablettes à picots physiques peuvent offrir la possibilité de créer et stocker de nombreuses illustrations pour plusieurs livres avec le même dispositif. Nous avons utilisé une tâche d'apprentissage « *paired-associate learning* » pour évaluer la capacité d'enfants voyants (les yeux bandés) et non-voyants à associer des pictogrammes en points en relief à un mot. Les enfants non-voyants montrent de meilleures performances que les enfants voyants et ont été capables de reconnaître assez rapidement plus de la moitié des pictogrammes. Ces résultats sont encourageants, et devraient être complétés par d'autres études sur l'utilisation de ces stimuli en relief.

**Mots-clés** : *tactile, déficience visuelle, enfants, images, technologie*

## I. INTRODUCTION

Les livres illustrés occupent une place particulière dans le développement de la littéracie précoce des enfants [1]. Le nombre de livres disponibles à la maison peut prédire la maîtrise de la lecture chez les enfants [2]. Pour les enfants déficients visuels, l'implication dans des activités de lecture augmente lors de l'utilisation de livres tactiles illustrés [3][4]. Une fois qu'ils connaissent un livre et ses illustrations tactiles, les enfants déficients visuels qui ne savent pas lire ou les lecteurs débutants peuvent utiliser les illustrations tactiles pour faire semblant de lire l'histoire [5]. De plus, les livres tactiles permettent aux jeunes enfants de s'habituer à l'utilisation de contenu tactile et leurs donnent l'occasion de développer des compétences pour l'exploration et l'interprétation de ce type de contenu. En effet, l'utilisation fréquente d'images tactiles facilite leur reconnaissance [6].

Cependant, la création d'images tactiles prend du temps et repose sur une expertise spécifique qui rend les livres tactiles particulièrement coûteux. Par conséquent, peu de ces livres sont disponibles. De plus, rien ne garantit que ces images tactiles puissent être facilement identifiées et comprises. Si

l'identification haptique des objets de la vie quotidienne est particulièrement efficace pour les enfants voyants travaillant sans voir et les enfants non-voyants [7][8], l'identification d'images tactiles 2D est bien plus complexe. Des études avec des images en contour en relief montrent de faibles taux de reconnaissance chez les adultes travaillant les yeux bandés [9][10][11]. De plus, les études comparant les performances de différents groupes selon leur statut visuel montrent des résultats divergents. Certaines études rapportent des performances significativement moins bonnes chez des aveugles précoces par rapport à des voyants [12] et à des aveugles tardifs [13]. D'autres montrent une supériorité de performance des aveugles tardifs sur les autres groupes [13][14]. Ces résultats divergents se retrouvent également dans les études sur les enfants. Certaines études montrent une supériorité de performance des enfants déficients visuels par rapport aux voyants [16][17][18]. Tandis que d'autres ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes dans des tâches d'identification d'images tactiles complètes et incomplètes impliquant des enfants et des adolescents [19].

Pour expliquer les faibles taux de reconnaissance des images en relief par rapport aux objets de la vie quotidienne, Lederman et ses collaborateurs [11] proposent une distinction entre information matérielle et structurelle. L'extraction d'informations matérielles (texture, dureté, caractéristiques thermiques) repose sur des mouvements exploratoires simples (e.g. frottement latéral, pression, et enveloppement) [20] qui sont maîtrisés très tôt dans l'enfance [21]. En revanche, l'extraction d'informations structurelles (forme et taille) requiert des mouvements exploratoires plus complexes (e.g. suivi de contour) nécessitant la coordination des mains et des doigts. Lederman et ses collaborateurs [12] proposent deux modèles alternatifs dans la manière dont les informations haptiques sont traitées : le modèle d'appréhension haptique directe et le modèle de médiation visuelle. Dans le modèle d'appréhension haptique directe, le système haptique est considéré comme un système perceptuel distinct, avec son propre appareil physiologique et son propre mode de traitement adapté à l'intégration d'informations matérielles. De ce fait, lorsque l'information matérielle est perçue, celle-ci est traduite directement en représentation haptique. Ce modèle serait celui utilisé lors de l'identification d'objets réels

possédant de nombreuses propriétés matérielles. Les images en contour en relief ne proposent pas d'informations matérielles, et ne donnent accès qu'à des informations structurelles liées à la forme. Ces informations restreintes ne permettraient pas le fonctionnement du modèle de l'appréhension haptique direct et contraindraient le système haptique à fonctionner par le biais du modèle de médiation visuelle. Selon le modèle de médiation visuelle, l'identification haptique nécessite quatre étapes de traitement : (i) exploration haptique, (ii) transfert ou traduction de l'information haptique en une image visuelle, (iii) identification du concept et (iv) récupération du nom de l'objet. Lors de l'étape (ii) l'individu doit extraire les segments locaux du contour par le biais de mouvements exploratoires complexes (e.g. suivi de contour), les intégrer sous forme de représentation, et comparer la représentation ainsi créée avec ce qu'il connaît de l'objet réel. Cette extraction lente et séquentielle de l'information structurelle par le toucher impose une forte charge cognitive [11].

Selon le modèle de la médiation visuelle, les études montrant de meilleures performances chez les personnes voyantes et aveugles tardive pourraient être expliquées par un manque d'expérience visuelle chez les aveugles précoces. En effet, selon le modèle de médiation visuelle, les informations haptiques doivent être traduites en une représentation visuelle avant l'identification. L'imagerie visuelle serait donc au cœur de la reconnaissance d'images tactiles.

Cependant, certaines études n'ont pas trouvé de différences significatives dans la reconnaissance d'images en contour en relief entre participants aveugles tardifs, aveugles précoces et voyants. Kennedy [22] affirme que l'expérience visuelle n'est pas obligatoire pour interpréter des images tactiles. La traduction des perceptions haptiques en représentations mentales visuelles seraient inutile et la reconnaissance d'une image tactile ne dépendrait pas de l'imagerie visuelle. Si l'imagerie visuelle joue un rôle dans la reconnaissance d'images tactile, ce n'est pas le seul moyen de traiter l'information. Picard et ses collaborateurs [23] montrent une différence dans le type d'imagerie mentale utilisé. Dans cette étude, des participants adultes aveugles précoces, aveugles tardifs et voyant travaillant sans voir, exploraient des paires d'image tactiles non figuratives puis indiquaient si ces images étaient identiques. Chaque groupe de participant rapporte avoir mis en place des stratégies d'imageries visuelles différentes (non visuelles pour les aveugle précoces, visuelles et non visuelles pour les aveugles tardifs et uniquement visuelles pour les voyants). Cependant, l'utilisation de stratégies différentes ne semble pas impacter les performances car aucune différence significative n'a été observé entre les groupes. Plusieurs études de Kennedy [22] et Heller [24][25] convergent pour montrer que l'imagerie visuelle n'est pas nécessaire aux personnes aveugles pour comprendre (et produire) des images tactiles. Pour ces auteurs, les faibles taux d'identification observés dans les études se justifieraient principalement par une expérience limitée de la modalité haptique avec les dessins aux traits en relief. En effet, le taux d'identification d'images tactiles peut être amélioré par l'expérience et l'apprentissage [26]. Dans cette étude, les chercheurs ont entraîné des adultes voyants travaillant sans voir à reconnaître des formes abstraites en relief. Le groupe qui a été entraîné (deux phases d'entraînement à deux jours d'intervalle) montre de

meilleures performances que le groupe sans entraînement. Dans ses travaux, Dulin [27][28] montre que l'expertise haptique influence la réussite de tâches d'imagerie mentale (rotation mentale, déplacement mental dans l'espace, estimation mentale de la longueur) chez des aveugles congénitaux, aveugles précoces et aveugles tardifs. Les participants experts réussissent mieux que les novices quel que soit le statut visuel. Chez les novices, les aveugles précoces ont de meilleures performances que les aveugles tardifs et les aveugles congénitaux. Chez les experts, il n'y a plus de différences significatives entre les groupes. Enfin, les aveugles congénitaux experts obtiennent de meilleurs résultats que les aveugles tardifs novices. Il semble donc que l'expertise haptique puisse venir gommer les différences de performances liées au statut visuel. Une récente étude montre également un effet de l'expertise sur la reconnaissance d'images tactiles chez des enfants non-voyants [6]. Les enfants ayant un degré de pratique modéré à régulier de lecture de livres tactiles illustrés ont mieux reconnu les images tactiles que les enfants ayant un niveau de pratique tactile peu fréquent, voire absent.

Il semble donc que deux facteurs principaux influencent la reconnaissance d'images tactiles : l'expérience visuelle et l'expérience haptique.

Les nouvelles technologies sur le marché telles que les tablettes à écran déformable (e.g. picots qui montent et descendent en fonction du contenu) offrent la possibilité de créer plusieurs illustrations pour plusieurs livres avec le même dispositif [29][30][31][32]. Les enfants n'auraient qu'à brancher la tablette pour obtenir les illustrations d'un livre. De plus, les enfants, les enseignants ou les parents pourraient facilement créer leurs propres images. Si ces supports ouvrent des perspectives intéressantes, rien ne permet pour l'instant d'affirmer qu'ils pourraient être efficaces pour créer des illustrations tactiles. Les illustrations seraient basées sur un ensemble de points surélevés, représentant une forme, avec une résolution pouvant être faible. Ces images simplifiées pourraient être de type pictogramme et représenter des caractéristiques spécifiques des objets représentés. Il est donc nécessaire d'évaluer et de valider l'utilisation de ces images particulièrement simplifiées dans le contexte d'illustration de livres pour enfants. En effet, la question demeure de savoir si des pictogrammes et, surtout, des pictogrammes basés sur des points en relief, sont facilement identifiables par les enfants. Des stimuli basés sur points ou picots en relief ont été étudiés lors de l'évaluation du dispositif Optacon [29]. Par la suite, plusieurs tablettes ont été développées. Des formes géométriques simples ont été facilement reconnues par des adultes aveugles [30] et des adultes travaillant les yeux bandés [31]. Des formes plus complexes ont également été correctement perçues et reproduites par des adultes travaillant les yeux bandés [31]. Enfin, plusieurs scénarios d'utilisation complets ont été mis en œuvre avec le dispositif Blindpad [32]. Ces dispositifs n'ont cependant pas été évalués auprès d'enfants.

Nous pensons que ce type de technologie est prometteur pour la création d'illustrations. Nous proposons d'évaluer la capacité d'enfants voyants travaillant les yeux bandés et non-voyants à apprendre des associations « mot-pictogramme tactile ». L'étude de ces deux populations permettra également de discuter l'impact de l'expérience visuelle et de l'expérience haptique dans la reconnaissance d'images tactiles.

## II. MATÉRIEL ET METHODES

### A. Participants

L'étude inclut 54 participants dans deux groupes : trente-six enfants voyants (19 filles et 17 garçons) avec un âge moyen de 7,5 ans (91 mois, allant de 84 à 98 mois) et dix-huit non-voyants (acuité visuelle  $<1/20$ ; considérés comme légalement aveugles dont 9 filles et 9 garçons) sans troubles associés et d'âge moyen de 8,1 ans (98 mois, allant de 72 à 120 mois). Parmi les enfants non-voyants, 72% sont nés aveugles ou ont perdu la vue avant l'âge d'un an. Les enfants voyants sont scolarisés dans trois classes différentes dans deux écoles. Les enfants aveugles sont tous en inclusion scolaire dans des classes et des écoles différentes. Ils sont suivis par cinq centres ressources pour la déficience visuelle et ont donc un usage fréquent d'images tactiles que ce soit à l'école ou au centre.

### B. Matériel

Nous avons créé un ensemble de trois listes de dix mots français selon leur indice de fréquence standard (SFI) en utilisant la base de données Manulex [33]. Le SFI moyen pour chaque liste est de 50.99, 50.92, 51.01. Ces 30 mots séparés en 3 listes de 10 mots ont ensuite été illustrés par des pictogrammes en point en relief (cf. Fig. 1).

Le design des pictogrammes (diamètre des points : 4mm et écartement entre les points : 4mm) est basé sur une tablette à picots existante : le Blindpad [32]. Nous avons choisi ce dispositif car il est portable, facile à configurer et a été évalué dans plusieurs scénarios d'utilisation. Nous avons créé des pictogrammes en points sur une matrice de 5x5 car : (i) il semble que ce soit la taille minimale pour créer des pictogrammes figuratifs, et (ii) cela permet d'afficher quatre pictogrammes en même temps sur la tablette (ce qui permet d'illustrer une scène avec plusieurs personnages ou objets). Nous avons testé notre matériel avec 8 adultes et 2 enfants voyants travaillant le yeux bandés. Au cours de la session, les participants ont été invités à expliquer leurs difficultés et à indiquer les pictogrammes qui leurs avaient posé problème. Les pictogrammes qui n'ont pas été reconnus ou qui ont été désignés comme difficile par les participants pendant les séances ont ensuite été reconçus conjointement avec ces 10 participants. Nous leurs avons demandé de représenter chaque mot par un pictogramme en complétant avec des points une matrice de 5x5. Nous avons ensuite fusionné toutes les propositions et gardé les parties des pictogrammes qui étaient communes à l'ensemble des participants. Enfin, nous avons testé le matériel avec un participant aveugle qui a pu identifier toutes les images.

### C. Protocole

L'étude a été réalisée en passation individuelle dans les centres ressources pour les enfants non-voyants et dans leurs écoles pour les enfants voyants. La procédure comprenait deux étapes : (i) Une phase d'apprentissage dans laquelle les 10 mots et leurs pictogrammes associés ont été présentés dans un ordre aléatoire. Le mot était indiqué à l'oral au participant qui était ensuite libre d'explorer le pictogramme. (ii) Une phase de rappel dans laquelle les pictogrammes appris lors de la première phase ont été proposés aléatoirement un par un. La consigne donnée aux enfants était d'explorer l'image tactile et de l'identifier aussi rapidement et précisément que possible. Le choix des listes a été contrebalancé parmi tous les participants.

## III. RÉSULTATS

Nous avons mesuré la précision des réponses (notée 0 pour incorrecte et 1 pour correcte) et le temps de réponse pour les réponses correctes. La précision des réponses a été analysée à

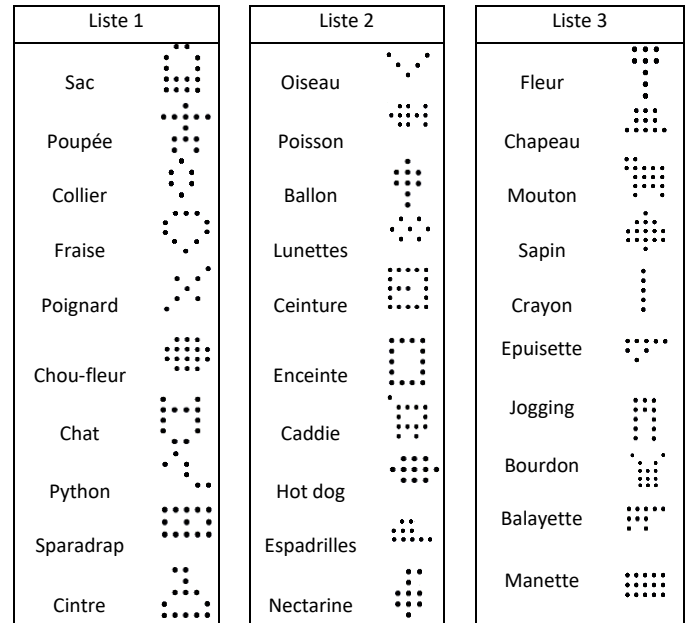


Fig 1: Pictogramme en points

l'aide d'un modèle linéaire généralisé à effets mixtes. Les variables du modèle comprenaient le statut visuel (voyant ou non-voyant), les items et les participants. Le statut visuel a été défini comme effet fixe, les participants et les items comme effets aléatoires. Le temps de réponse a été analysé à l'aide d'un modèle linéaire à effets mixtes. Nous avons effectué une estimation BoxCox pour trouver la transformation optimale pour normaliser la distribution [34] et avons appliqué une transformation logarithmique sur les temps de réponses. Le statut visuel a été défini comme effet fixe, les participants et les items comme effets aléatoires. Nous avons utilisé ces modèles pour prendre en compte les sources de variabilité liées aux participants et aux items.

Pour les différentes analyses, le meilleur modèle a été sélectionné sur la base du critère d'information Akaike (AIC) [35]. Nous avons évalué l'effet du statut visuel à l'aide de Likelihood ratio test [36].

Notre étude ne montre pas de différence significative pour le taux de réponses correctes entre les enfants voyants et non-voyants  $\chi^2(1, N=54)=0.803, p=.37$  (cf. Table 1). Cependant, les enfants non-voyants donnent la bonne réponse significativement plus vite que les enfants voyants  $\chi^2(1, N=54)=5.20, p=.02$  (cf. Table 2).

Il semble que certains pictogrammes aient été plus difficiles à reconnaître que d'autres (cf. Table 3). Nous avons donc mené une analyse par item, pour mieux comprendre cet effet. Nous avons créé différentes variables permettant d'apprécier différentes caractéristiques des pictogrammes : le nombre de points utilisé pour représenter le pictogramme, le nombre de diagonales (*i.e.* le nombre d'angles à 45°) car c'est la disposition qui impose la plus grande distance entre deux points (*e.g.* 0 pour le crayon, 2 pour l'épuisette), le type d'image (en contour *e.g.* caddie ou remplie *e.g.* mouton) et la similitude avec d'autres items de la liste. Pour évaluer cette similitude nous avons codé chaque matrice de pictogramme

avec 1 : présence d'un point et 0 : absence de point. Nous avons ensuite compté le nombre de cases en commun entre chaque pictogramme et chaque autre pictogramme de la liste. Nous avons ensuite fait la moyenne de ces valeurs. Cette moyenne constitue le score de similitude.

Nous avons analysé l'effet de ces variables sur la précision à l'aide d'un modèle linéaire généralisé à effets mixtes. Le nombre de points, le nombre de diagonales, le type d'image et la similitude ont été inclus dans le modèle comme effets fixes et les participants ont été inclus en effets aléatoires. Nous avons évalué l'effet de chacune des variables sur la précision de réponse à l'aide de Likelihood ratio test [36].

Le nombre de diagonales et le type d'image ne semblent pas avoir d'effets significatifs (resp :  $\chi^2(1, N=54)= 2.75, p = .10$ ,  $\chi^2(1, N=54)= 0.30, p = .58$ ). Ces variables ont donc été retirées du modèle. Nos résultats montrent un effet du nombre de points :  $\chi^2(1, N=54)= 4.82, p = .02$  et du score de similitude :  $\chi^2(1, N=54)= 5.07, p = .02$  sur le taux de reconnaissance. Il semble donc que les pictogrammes avec beaucoup de points ou étant trop similaires à d'autres pictogrammes de la liste soient plus difficiles à reconnaître.

#### IV. DISCUSSION

Cette étude visait à évaluer l'utilisation de pictogrammes en points en relief pour l'apprentissage d'associations mot-pictogramme.

Nous avons observé que les enfants non-voyants sont plus rapides à identifier les pictogrammes que les enfants voyants travaillant les yeux bandés. Ce résultat est conforme aux études antérieures [37][38][39] et suggère que les enfants non-voyants ont une meilleure expertise avec les images tactiles. Cependant, cette expertise ne semble pas influencer le taux de reconnaissance. En effet, aucune différence significative n'a été observée pour le taux de reconnaissance entre les enfants voyants et non-voyants. Ces résultats vont dans le sens de Kennedy [22] qui affirme que l'expérience visuelle n'est pas obligatoire pour interpréter des images tactiles. Il semble que l'expertise haptique des enfants non-voyants puisse leur permettre de pallier le manque d'expérience visuelle. Ces résultats sont consistants avec les travaux de Dulin [27][28] montrant que l'expertise haptique peut gommer les différences de performances liées au statut visuel.

Les résultats sont encourageants quant à la reconnaissance de pictogrammes en points. En moyenne, les enfants voyants ont reconnu 47% des images en 8 secondes et les enfants non-voyants ont pu reconnaître 55% des images en moins de 7 secondes. Ces résultats sont cohérents, voire supérieurs à la moyenne des taux de reconnaissance d'images en reliefs retrouvée dans la littérature [40] (méta analyse de 15 études : moyenne = 42%, SD = 21). A noter que notre étude consiste en une tâche d'apprentissage d'association contrairement à la plupart des études qui mettent en place des tâches de reconnaissance plus ou moins guidées.

Cependant, il semble que certains pictogrammes aient été plus difficiles à reconnaître. Nos résultats montrent que ces difficultés pourraient être liées au nombre de points du pictogramme et aux similitudes entre les différents pictogrammes. En effet, notre tâche consiste en la reconnaissance de 10 pictogrammes créés sur une matrice de 5x5 points. Il est donc possible que certains pictogrammes

ressemblent trop à d'autres et que cette similitude ait entraîné des confusions.

Lors de l'étude, les enfants ont rapporté avoir des difficultés à suivre le contour de l'image dû à l'écartement des points. Pour saisir la forme des pictogrammes, il est

TABLE 1 : TAUX DE RECONNAISSANCE, ERREUR STANDARD ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 95%

Statut visuel	Taux de reconnaissance	SE	IC 95%
voyants	.468	.058	[.359;.583]
non-voyants	.554	.076	[.404;.695]

TABLE 2 : TAUX DE RECONNAISSANCE, ERREUR STANDARD ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 95%

Statut visuel	Temps de reconnaissance (ms)	SD	IC 95%
voyants	8044	5748	[7130;8937]
non-voyants	6114	5719	[4936;7292]

TABLE 3 : TAUX DE RECONNAISSANCE, SCORE DE SIMILITUDES, NOMBRE DE POINTS ET NOMBRE DE DIAGONALES PAR ITEM

Item	Taux reconnaissance	Score similitudes	Nb points	Nb diag.
crayon	.930	59	5	0
oiseau	.887	53	5	2
python	.784	60	6	3
manette	.706	60	15	0
caddie	.657	51	13	1
enceinte	.657	43	18	0
mouton	.638	49	17	0
espadrille	.588	59	10	1
poignard	.574	52	7	2
fraise	.574	52	10	5
collier	.499	57	6	4
chou fleur	.499	56	16	0
poupée	.499	54	12	0
chat	.499	50	12	2
bourdon	.496	47	13	2
epuisette	.496	63	8	2
ceinture	.443	43	15	0
hot dog	.443	64	11	0
poisson	.443	61	11	0
chapeau	.425	63	11	0
sapin	.425	50	15	0
cintre	.423	40	13	2
sac	.423	51	10	2
fleur	.356	63	9	0
jogging	.289	60	12	0

sparadrap	.280	49	13	0
ballon	.230	60	9	4
nectarine	.230	54	10	0
lunettes	.230	59	7	8
balayette	.227	67	10	0

nécessaire de percevoir l'ensemble de la figure à partir des points. Pour que cela soit possible les points doivent être assez proches. Ce principe de proximité a été décrit dans la théorie gestaltiste de la perception [41][42]. Bien que différentes études aient montré que ce principe de proximité est applicable à la perception haptique [43][44], peu de recherches ont encore été menées sur le sujet. L'écart entre les points dans nos pictogrammes a pu rendre difficile leur perception et leur reconnaissance.

## V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude avait pour but d'évaluer l'utilisation de pictogrammes en points pour l'apprentissage d'associations mot-image. Les enfants voyants et non-voyants ont été capables de reconnaître assez rapidement environ la moitié des pictogrammes. Les résultats sont encourageants quant à l'utilisation de tablettes à picots pour illustrer des livres. Ces dispositifs pourraient offrir la possibilité de créer plusieurs illustrations pour plusieurs livres avec le même appareil. Les enfants n'auraient qu'à brancher la tablette pour obtenir les illustrations correspondant à des livres, schémas, etc.

D'autres études devraient être menées pour mieux comprendre comment les stimuli en points sont perçus et explorés. Dans cette étude nous avons trouvé un effet du nombre de points et du score de similitude. Cependant, il existe différentes tablettes à picots physiques développées ou commercialisées avec des designs différents. Il serait intéressant de déterminer si la reconnaissance des pictogrammes dépend également de la conception de la tablette (diamètre et espacement des points). Ces études pourraient porter à la fois sur le taux de reconnaissance et sur les stratégies d'exploration mises en œuvre [31]. En effet, l'écartement entre les points pourrait influencer la mise en place de procédures exploratoires de type suivi de contour [14].

Grâce à ce type de dispositifs les enfants, les enseignants ou les parents pourraient facilement créer leurs propres images. Pour cette étude, nous avons créé les pictogrammes en amont. Il serait également intéressant d'étudier le taux de reconnaissance lorsque les enfants créent leurs propres pictogrammes.

## REFERENCES

- [1] S. B. Neuman, "Books make a difference: A study of access to literacy," *Read. Res. Q.*, vol. 34, no. 3, pp. 286–311, 1999.
- [2] Bergen
- [3] F. Bara, "The Effect of Tactile Illustrations on Comprehension of Storybooks by Three Children with Visual Impairments: An Exploratory Study," *J. Vis. Impair. Blind.*, vol. 112, pp. 759–765, 2018.
- [4] J. Norman, "Tactile picture books: Their importance for young blind children," *Br. J. Vis. Impair.*, vol. 21, no. 3, pp. 111–114, 2003.
- [5] S. Wright, *Guide to Designing Tactile Illustrations for Children's Books*. American Printing
- [6] A. Theurel, A. Witt, P. Claudet, Y. Hatwell, and E. Gentaz, "Tactile picture recognition by early blind children: The effect of illustration technique," *J. Exp. Psychol. Appl.*, vol. 19, no. 3, pp. 233–240, 2013. House for the Blind, 2008.
- [7] E. W. Bushnell and C. Baxt, "Children's haptic and cross-modal recognition with familiar and unfamiliar objects," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, vol. 25, no. 6, p. 1867, 1999.
- [8] B. A. Morrongiello, G. K. Humphrey, B. Timney, J. Choi, and P. T. Rocca, "Tactual Object Exploration and Recognition in Blind and Sighted Children," *Perception*, vol. 23, no. 7, pp. 833–848, Jul. 1994.
- [9] L. E. Magee and J. M. Kennedy, "Exploring pictures tactually," *Nature*, vol. 283, no. 5744, pp. 287–288, Jan. 1980.
- [10] R. L. Klatzky, J. M. Loomis, S. J. Lederman, H. Wake, and N. Fujita, "Haptic identification of objects and their depictions," *Attention, Perception, Psychophys.*, vol. 54, no. 2, pp. 170–178, Mar. 1993.
- [11] J. M. Loomis, R. L. Klatzky, and S. J. Lederman, "Similarity of tactual and visual picture recognition with limited field of view," *Perception*, vol. 20, no. 2, pp. 167–177, 1991.
- [12] S. J. Lederman, R. L. Klatzky, C. Chataway, and C. D. Summers, "Visual mediation and the haptic recognition of two-dimensional pictures of common objects," *Percept. Psychophys.*, vol. 47, no. 1, pp. 54–64, Jan. 1990.
- [13] L. J. Thompson, E. P. Chronicle, and A. F. Collins, "The role of pictorial convention in haptic picture perception," *Perception*, vol. 32, no. 7, pp. 887–893, 2003.
- [14] M. a Heller, J. a Calcaterra, L. L. Burson, and L. a Tyler, "Tactual picture identification by blind and sighted people: effects of providing categorical information," *Percept. Psychophys.*, vol. 58, no. 2, pp. 310–23, Feb. 1996.
- [15] M. A. Heller, "Picture and Pattern Perception in the Sighted and the Blind: The Advantage of the Late Blind," *Perception*, vol. 18, no. 3, pp. 379–389, Jun. 1989.
- [16] A. D'Angiulli, J. M. Kennedy, and M. A. Helle, "Blind children recognizing tactile pictures respond like sighted children given guidance in exploration," *Scand. J. Psychol.*, vol. 39, no. 3, pp. 187x–190, 1998.
- [17] D. Picard, J.-M. Albaret, and A. Mazella, "Haptic identification of raised-line drawings when categorical information is given: A comparison between visually impaired and sighted children," *Psicol. Int. J. Methodol. Exp. Psychol.*, vol. 35, no. 2, pp. 277–290, 2014.
- [18] O. Orlandi, "La compréhension des images tactiles chez les enfants porteurs d'un handicap visuel," 2015.
- [19] A. Mazella, J.-M. Albaret, and D. Picard, "Haptic-2D: A new haptic test battery assessing the tactual abilities of sighted and visually impaired children and adolescents with two-dimensional raised materials," *Res. Dev. Disabil.*, vol. 48, pp. 103–123, 2016.
- [20] S. J. Lederman and R. L. Klatzky, "Hand movements: A window into haptic object recognition," *Cogn. Psychol.*, vol. 19, no. 3, pp. 342–368, 1987.
- [21] C. Berger and Y. Hatwell, "Dimensional and overall similarity classifications in haptics: A developmental study," *Cogn. Dev.*, vol. 8, no. 4, pp. 495–516, Oct. 1993.
- [22] J. M. Kennedy, *Drawing and the blind: pictures to touch*. Yale University Press, 1993.
- [23] D. Picard, S. Lebaz, C. Jouffrais, and C. Monnier, "Haptic recognition of two-dimensional raised-line patterns by early-blind, late-blind, and blindfolded sighted adults," *Perception*, vol. 39, no. 2, pp. 224–235, 2010.
- [24] M. A. Heller, "Tactile picture perception in sighted and blind people," *Behav. Brain Res.*, vol. 135, no. 1–2, pp. 65–68, 2002.
- [25] M. A. Heller, M. McCarthy, and A. Clark, "Pattern perception and pictures for the blind," *Psicologica*, vol. 26, no. 1, pp. 161–171, 2005.
- [26] M. Behrmann and C. Ewell, "Expertise in Tactile Pattern Recognition," *Psychol. Sci.*, vol. 14, no. 5, pp. 480–492, Sep. 2003.
- [27] D. Dulin and Y. Hatwell, "The effects of visual experience and training in raised-line materials on the mental spatial imagery of blind persons," *J. Vis. Impair. Blind.*, vol. 100, no. 7, pp. 414–424, 2006.
- [28] D. Dulin, "Effects of the use of raised line drawings on blind people's cognition," *Eur. J. Spec. Needs Educ.*, vol. 22, no. 3, pp. 341–353, Aug. 2007.
- [29] M. A. Heller, G. J. Rogers, and C. L. Perry, "Tactile pattern recognition with the Optacon: Superior performance with active touch and the left hand," *Neuropsychologia*, vol. 28, no. 9, pp. 1003–1006, 1990.

- [30] T. Maucher, K. Meier, and J. Schemmel, "An interactive tactile graphics display," in *Proceedings of the Sixth International Symposium on Signal Processing and its Applications (Cat. No. 01EX467)*, 2001, vol. 1, pp. 190–193.
- [31] R. Velazquez, E. E. Pissaloux, M. Hafez, and J. Szweczyk, "Tactile Rendering With Shape-Memory-Alloy Pin-Matrix," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 5, pp. 1051–1057, May 2008.
- [32] J. J. Zarate, O. Gudozhnik, A. S. Ruch, and H. Shea, "Keep in touch: portable haptic display with 192 high speed taxels," in *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2017, pp. 349–352.
- [33] B. Lété, L. Sprenger-Charolles, and P. Colé, "MANULEX: A grade-level lexical database from French elementary school readers," *Behav. Res. Methods, Instruments, Comput.*, vol. 36, no. 1, pp. 156–166, 2004.
- [34] J. Osborne, "Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation," *Pract. Assessment, Res. Eval.*, vol. 15, no. 1, p. 12, 2010.
- [35] H. Bozdogan, "Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions," *Psychometrika*, vol. 52, no. 3, pp. 345–370, 1987.
- [36] T. A. Severini, *Likelihood methods in statistics*. Oxford University Press, 2000.
- [37] L. J. Thompson, E. P. Chronicle, and A. F. Collins, "Enhancing 2-D Tactile Picture Design from Knowledge of 3-D Haptic Object Recognition," *Eur. Psychol.*, vol. 11, no. 2, pp. 110–118, Jan. 2006.
- [38] S. Bardot, M. Serrano, B. Oriola, and C. Jouffrais, "Identifying how visually impaired people explore raised-line diagrams to improve the design of touch interfaces," in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2017, pp. 550–555.
- [39] A. Withagen, A. M. L. Kappers, M. P. J. Vervloed, H. Knoors, and L. Verhoeven, "The use of exploratory procedures by blind and sighted adults and children," *Attention, Perception, Psychophys.*, vol. 75, no. 7, pp. 1451–1464, 2013.
- [40] D. Picard and S. Lebaz, "Identifying Raised-Line Drawings by Touch: A Hard but Not Impossible Task," *J. Vis. Impair. Blind.*, vol. 106, no. 7, pp. 427–431, 2012.
- [41] E. B. Goldstein, "Sensation and perception . Pacific Grove, CA: Brooks," *Cole Publ. Company. Graesser, AC, McMahan, C.(1993). Anomalous Inf. triggers Quest. when adults solve Quant. Probl. comprehend stories. J. Educ. Psychol.*, vol. 85, no. 1, p. 136151, 1999.
- [42] M. Kubovy, A. O. Holcombe, and J. Wagemans, "On the lawfulness of grouping by proximity," *Cogn. Psychol.*, vol. 35, no. 1, pp. 71–98, 1998.
- [43] D. Chang, K. V. Nesbitt, and K. Wilkins, "The Gestalt principle of continuation applies to both the haptic and visual grouping of elements," in *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)*, 2007, pp. 15–20.
- [44] A. Gallace and C. Spence, "To what extent do Gestalt grouping principles influence tactile perception?," *Psychol. Bull.*, vol. 137, no. 4, p. 538, 2011.