Le dossier – Impact du glaucome sur la perception visuelle

Capacité de perception-action dans le glaucome

RÉSUMÉ : Le glaucome est une pathologie neurodégénérative qui ne se limite pas à une simple diminution de la fonction visuelle. D'autres fonctions visuo-cognitives comme la capacité à percevoir les distances des objets, estimer leur position dans un référentiel égocentré ou encore réaliser une programmation motrice efficiente semblent être détériorées avec l'avancée de la maladie. Notre équipe lilloise (Inserm U1172-CHU Lille), spécialisée dans la cognition visuelle, a sensiblement précisé la nature et les répercussions de ces déficits dans la vie quotidienne des patients ces dernières années. Ce chapitre propose une étude approfondie de la littérature internationale du domaine "perception-action" dans le glaucome tout en présentant les derniers travaux de recherche menés à Lille avec les patients.

Q. LENOBLE[1], X. CORVELEYN[2], C. GARRIC[1], J.-F. ROULAND[1], M. BOUCART[1]
[1] Univ. Lille, Inserm, CHU Lille, U1172 — LilNCog — Lille Neurosciences & Cognition, LILLE.
[2] Université Côte d'Azur, LAPCOS, EA 7278, NICE.

Le glaucome n'est aujourd'hui plus considéré comme une pathologie uniquement oculaire. De nombreux travaux en neuro-ophtalmologie ont en effet précisé l'aspect neurodégénératif de cette maladie [1-4]. La perte des cellules ganglionnaires de la rétine est significativement supérieure à celle observée dans le vieillissement dit normal et provoque un dysfonctionnement neuronal de la voie visuelle avec des altérations de la substance blanche observées en DTI (*diffusion tension imaging*) au-delà même du système visuel [5].

Les zones impliquées dans la reconnaissance de visage, de mouvements et d'informations spatiales sont plus particulièrement affectées dans le glaucome. En deçà des modifications anatomiques et fonctionnelles cérébrales, l'atteinte de la vision périphérique vient ici augmenter les difficultés rencontrées par les patients dans leur vie quotidienne [6]. En effet, les informations visuelles disponibles en vision périphérique sont primordiales lors de l'exploration de notre environnement et permettent de s'adapter de façon dynamique aux changements.

En cas d'action motrice pour saisir un objet, le système visuel fournit des informations critiques sur l'emplacement, la taille et la forme de l'objet. Ces informations visuelles sont utilisées pour planifier le mouvement nécessaire et réaliser une action. L'activation de la commande motrice entraîne une accélération de la main vers l'objet (la phase "d'atteignabilité"). À l'approche de l'objet, la main décélère et l'ouverture de la pince (écartement pouce-index) est adaptée à la taille de l'objet (phase de "saisie"). Pendant cette phase, la vision fournit des informations correctives pour améliorer la saisie de l'objet [7, 8]. En réalisant une simulation de perte de la vision périphérique, des chercheurs ont observé chez des participants "sains" une durée totale du mouvement plus longue, une vitesse maximale plus lente et une ouverture plus importante de la pince lors de la préhension manuelle de l'objet [9].

Comme l'ont également montré des études en pathologie, la présence d'un déficit visuel peut perturber les performances de l'action dans la motricité volontaire de patients atteints de glaucome [10] et de dégénérescence

Le dossier – Impact du glaucome sur la perception visuelle

maculaire liée à l'âge (DMLA) [11, 12]. Plus précisément, Kotecha *et al.* [10] ont montré que les patients glaucomateux rencontraient des difficultés dans la planification initiale des mouvements. Plusieurs caractéristiques de la cinématique étaient atypiques chez les patients atteints de glaucome par rapport au groupe contrôle de l'étude : temps de réaction plus lent, durée totale de mouvement plus longue, vitesse réduite et irrégularité dans l'ouverture de la pince (suggérant un déficit dans la phase de saisie de l'objet).

À partir de ces premiers travaux originaux réalisés auprès de patients atteints de glaucome, nous allons, par une approche transdisciplinaire (ophtalmologie, neurosciences et sciences cognitives, biomécanique), apporter des précisions quant à la nature des déficits perceptivo-moteurs dans cette pathologie.

Représentation mentale et jugement d'atteignabilité

La nature de la représentation mentale du mouvement est primordiale pour comprendre les comportements cognitifs et moteurs tout au long de la vie. La théorie de la représentation mentale suggère que les modèles internes font des prédictions (estimations) à partir de la cartographie de notre corps sur les différents paramètres du monde extérieur. Ces prédictions permettent une planification et une exécution réussies de l'action. Ces représentations font partie intégrante de la planification des actions. Cette fonction subit une altération avec l'avancée en âge [13]. La perte de tonus et les modifications sensorielles sont des éléments importants pour la réalisation de ces premières prédictions utiles à la motricité. Les personnes âgées éprouvent plus de difficultés, par rapport aux jeunes adultes, pour simuler et planifier mentalement une séquence d'action (temps de réaction plus long et réponses moins précises) [13].

L'estimation de l'atteignabilité d'un objet (estimer si un objet est atteignable sans avoir à se déplacer) à partir d'une position corporelle spécifique constitue un aspect important de la planification motrice/actionnelle. L'estimation est principalement basée sur la capacité de chaque individu à se représenter mentalement les capacités d'action/corps perçues et requises. Chaque individu a sa propre représentation dans la manière de décider si un objet est atteignable ou non. Estimer l'atteignabilité d'un objet dépend de la modélisation interne dans la planification des mouvements et de répondre aux questions : "Puis-je attraper cet objet ? L'objet est-il suffisamment proche pour être atteint (espace péripersonnel) ? Dois-je me déplacer pour l'atteindre (espace extrapersonnel) ?"

La réponse apportée à ces questions est donc fondamentale pour l'initiation de la programmation motrice. Une mauvaise estimation entraînera forcément une répercussion sur la motricité. Un adulte sain arrive à répondre à ces questions avec une précision de réponse dont la marge d'erreur est de 1 à 2 cm. Les études sur le vieillissement "normal" montrent une surestimation des performances d'atteignabilité avec l'avancée en âge. En d'autres termes, les personnes âgées estimeraient en moyenne pouvoir atteindre des objets qui sont situés en dehors de leur espace péripersonnel [14].

En lien avec la pathologie, nous avons fait l'hypothèse que l'atteinte de la vision périphérique dans le glaucome pourrait augmenter la difficulté à estimer les distances des objets dans le champ visuel et se surajouter à l'effet du vieillissement déjà observé dans l'estimation d'atteignabilité [15]. Si les patients ne peuvent pas correctement estimer l'atteignabilité d'un objet, comment pourraient-ils ensuite produire la programmation motrice adéquate pour s'en saisir ?

En utilisant une tâche d'estimation de distance, le but de notre étude était donc d'explorer si les patients atteints de glaucome étaient capables d'estimer l'atteignabilité d'un objet ou non (atteindre un objet, sans aucun mouvement du corps, en tendant juste leur bras). Ainsi, un objet était placé sur une table en face du participant et celui-ci devait dire s'il pensait être capable d'atteindre l'objet sans essayer de s'en emparer. Un masque permettait de cacher la vue du participant entre chaque essai pendant que la position de l'objet sur la table était modifiée d'un essai à l'autre. Nous mesurions au préalable la longueur de bras main tendue du participant pour y confronter les réponses données à la suite de chaque essai. Cette technique permettait d'établir objectivement si le participant pouvait ou non atteindre l'objet dans son espace péripersonnel et de confronter sa réponse subjective basée uniquement sur des aspects visuels.

Les résultats ont effectivement montré que les patients atteints de glaucome surestimaient leur performance d'atteignabilité en jugeant pouvoir atteindre des objets situés à plus de 5,8 cm de leur espace péripersonnel. Le groupe contrôle apparié en âge aux patients surestimait de 2,6 cm en moyenne leur performance tout comme les patients atteints de DMLA également recrutés dans cette étude (***fig. 1***).

Les résultats de cette première étude ont permis de préciser que les patients atteints de glaucome subissaient, dès les premières étapes du processus de "perception-action", une perturbation de l'estimation de l'atteignabilité des objets. L'atteinte de la vision périphérique modifie les capacités d'estimation contrairement à une atteinte plus centrale (DMLA).

Une précédente étude vient corroborer notre résultat avec cette fois des patients atteints de rétinite pigmentaire (RP, déficit de la vision périphérique) [16]. Les patients atteints de RP avaient montré une distorsion des représentations spatiales et une sous-estimation des distances (donc une surestimation à

Le dossier – Impact du glaucome sur la perception visuelle

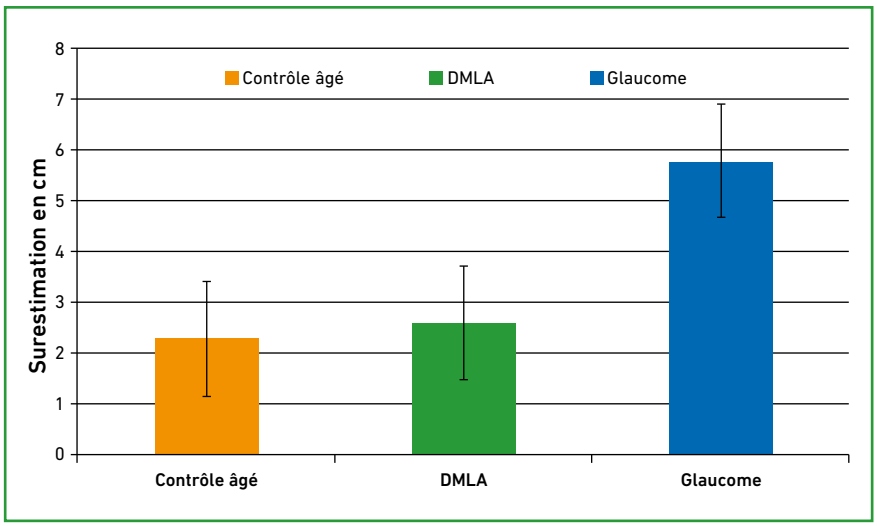

Fig. 1 : Surestimation (en cm) de l'estimation d'atteignabilité en fonction du groupe de participants (contrôle âgé, DMLA, glaucome). Résultats tirés de l'étude de Lenoble *et al.* [15].

atteindre les objets). Il semblerait que la perte de la prise d'informations et de repères en vision périphérique entraîne une surestimation dans l'estimation de l'atteignabilité des objets. Nous avons alors fait l'hypothèse que ces difficultés auront probablement des répercussions sur la programmation de la réponse motrice et la cinématique du mouvement des patients atteints de glaucome. À l'inverse, si aucune répercussion de cette erreur de jugement n'apparaît dans la cinématique du mouvement, cela voudrait dire que des processus compensatoires permettraient de réguler la programmation de la réponse motrice.

Étude de la programmation et de la cinématique du mouvement

D'un point de vue théorique, une fois la préparation de la commande motrice planifiée et exécutée, l'action motrice peut atteindre son objectif sans rétroaction visuelle. Cependant, une étude a montré que pour des adultes "sains", les mouvements étaient plus exacts et plus précis lorsque le retour visuel était disponible [17]. Ainsi, la qualité de l'information visuelle reste importante, de la perception du stimulus à l'achèvement du mouvement de saisie d'un objet. En confrontant nos travaux avec les précédentes études menées sur la cinématique du mouvement, notre équipe a suggéré que les déficits moteurs rapportés par Kotecha *et al.* [10] chez les patients (temps de réaction plus lent, durée totale de mouvement plus longue, vitesse réduite et irrégularité dans l'ouverture de la pince) pourraient être dus au fait que les patients n'avaient pas eu suffisamment de temps pour analyser leur environnement avant la production de la réponse motrice.

En effet, dans ce type d'études [9-12], le déroulement des expériences se fait souvent avec des contraintes temporelles relativement importantes (présentation du stimulus cible en même temps que le reste de l'environnement, consigne d'aller le plus vite possible…). Ces conditions expérimentales sont assez peu écologiques et s'éloignent de situations de la vie quotidienne où les patients ont le temps de regarder un objet avant de le saisir. Autrement dit, les études en laboratoire mélangent deux composantes : l'effet de la déficience visuelle sur le temps de perception des propriétés spatiales de l'objet avec l'effet de la déficience visuelle sur la production motrice. À partir de ces critiques méthodologiques, nous faisons l'hypothèse que le système moteur reste préservé chez les patients atteints de glaucome et que les difficultés sont uniquement d'ordre visuel dans ce type de tâche [18]

Nous avons ainsi créé un paradigme expérimental qui permet de séparer la composante "exploration visuelle" de la composante purement "motrice". Les participants passaient deux conditions expérimentales différentes. Une condition "avec contrainte temporelle" (ACT) et une condition "sans contrainte temporelle" (SCT). La condition ACT ressemblait fortement à la condition régulièrement utilisée dans la littérature (***fig. 2***). Les participants plaçaient leurs pouces et index sur le point de départ (situé en bord de table devant eux) et regardaient la croix de fixation affichée sur l'écran devant eux. Ils entendaient ensuite le nom d'une couleur tirée aléatoirement par l'ordinateur parmi 5 couleurs (rouge, bleu, jaune, blanc ou vert). Simultanément à l'annonce de la couleur, 5 cylindres de couleur (rouge, bleu, jaune, blanc et vert) s'affichaient sur l'écran incurvé selon 5 emplacements spatiaux différents (0 degré au centre, 30 degrés à gauche et à droite, et 60 degrés à gauche et à droite). Les participants devaient saisir le cylindre de la bonne couleur sur la table (***fig. 2***).

Contrairement à cette condition ACT, un bip sonore permettait de rythmer l'avancée de chaque essai dans la condition SCT. Cela imposait un rythme relativement lent au participant pour lui donner le temps d'explorer visuellement l'environnement avant de programmer la réponse motrice. Autrement dit, une fois le nom de la couleur du cylindre cible donné et les 5 cylindres de couleur affichés, le participant était obligé d'attendre le bip sonore avant de pouvoir initier son mouvement. Les mouvements étaient enregistrés à l'aide d'un système magnétique (Polhemus Liberty, 240/8-8) capable de détecter les 8 réflecteurs disposés sur la main du participant. Nous faisions l'hypothèse que, dans la condi-

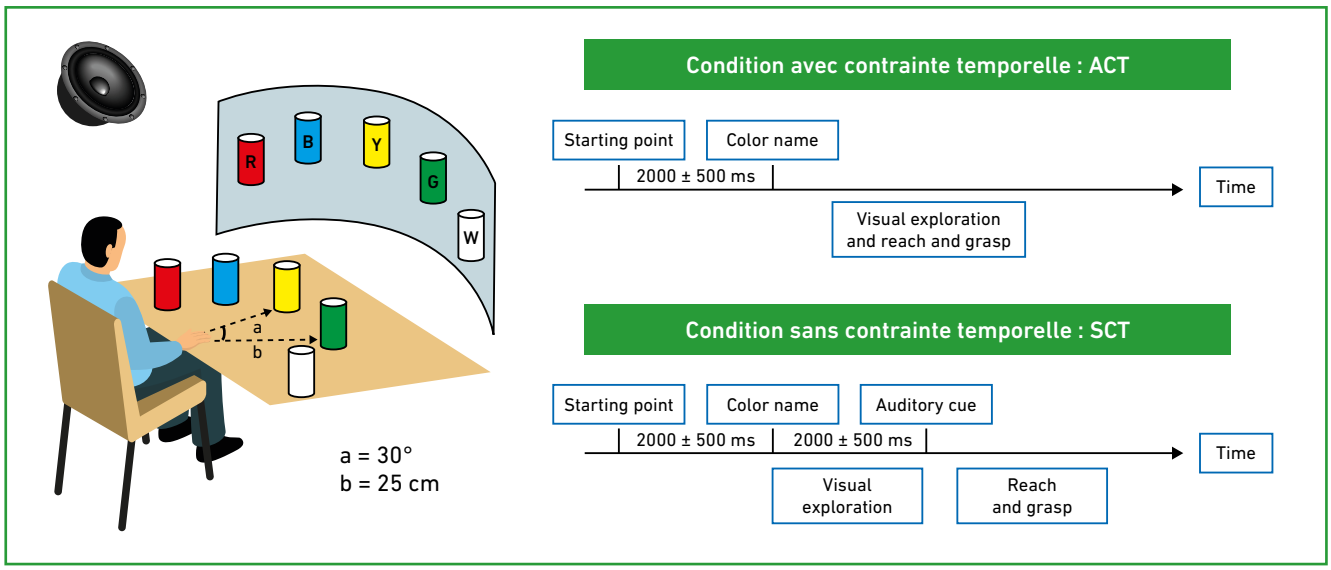

Fig. 2 : À gauche : représentation schématique de l'expérience. **À droite :** décompte temporel de chacune des deux conditions expérimentales, avec contrainte "ACT" (**en haut**) et sans contrainte "SCT" (**en bas**). Adapté de [18].

tion SCT, le participant pourrait prendre plus de temps pour explorer et préparer sa réponse motrice que dans la condition ACT. Nous nous attendions donc à ne plus constater de déficit moteur dans la cinématique du mouvement des patients lors de la condition SCT.

Les résultats de cette étude ont permis de préciser l'effet du glaucome sur la cinématique du mouvement. La condition ACT a révélé des difficultés comparables à celles observées dans les précédentes études de Kotecha *et al.* [10] Des différences ont été observées entre les patients atteints de glaucome et les contrôles appariés en âge sur la durée du mouvement (+180 ms) et la vitesse maximale (–8 cm/s), reflétant des performances ralenties.

En revanche, la condition SCT n'a induit aucune différence dans la cinématique du mouvement entre les deux groupes. Les patients atteints de glaucome présentaient un trouble moteur (phase de saisie) uniquement lorsqu'ils n'avaient pas le temps d'explorer leur environnement avant d'effectuer la tâche de saisie (condition ACT). Les anomalies motrices précédemment observées [10] pendant la phase d'atteignabilité dans le glaucome semblent finalement résulter de difficultés d'exploration de l'environnement (en lien avec la perte visuelle) plutôt que d'un déficit purement moteur.

Nous suggérons, contrairement à ce qui avait été avancé dans la littérature [9, 10], que dans une situation normale de vie quotidienne, un patient glaucomateux n'a pas de raison de voir apparaître une modification de la cinématique de son mouvement lors de la saisie d'objet. Une autre étude impliquant une motricité plus fine sur écran tactile a également corroboré ce résultat [19]. Dans cette dernière expérience, les participants devaient associer contextuellement des images entre elles sur un écran tactile (mettre, par exemple, un saladier dans une cuisine, un tournevis dans un atelier, un sèche-cheveux dans une salle de bains). Cette tâche expérimentale était plus complexe d'un point de vue cognitif et moteur que la tâche simple de saisie d'objet. Le participant devait ici reconnaître un objet, identifier l'image cible parmi des images distractrices et faire glisser l'objet sur l'image correspondant à la bonne association contextuelle avec son index sur l'écran tactile.

Les résultats de l'étude ont certes révélé un ralentissement de l'exploration visuelle (+1 800 ms) avec la pathologie mais la précision motrice et la rapidité du mouvement des patients étaient comparables à celles du groupe contrôle apparié en âge.

Conclusion

L'ensemble de ces travaux "perception-action" dans le glaucome a permis de préciser les déficits liés à la pathologie oculaire sur la motricité. Contrairement à ce qui avait été précédemment avancé dans les années 2010 [9, 10], il semblerait que l'atteinte de la vision périphérique n'altère pas la cinématique du mouvement de la main pour aller saisir un objet [18, 19]. Seule l'exploration visuelle est ralentie dans ce type de tâche et nous avons constaté que lorsque nous laissons du temps aux patients pour analyser leur environnement visuel, aucune différence ne s'exprimait entre le groupe glaucome et le groupe "sain" apparié en âge.

En revanche, nous avons mesuré une modification de l'estimation de l'attei-

Le dossier – Impact du glaucome sur la perception visuelle

gnabilité des objets chez les patients. Cette dernière semble être compensée par la suite par la programmation motrice puisque les patients restent relativement précis dans la cinématique du mouvement de la main.

BIBLIOGRAPHIE

1. Gupta N, Yucel YH. What Changes Can We Expect in the Brain of Glaucoma Patients? *Surv Ophthalmol*, 2007;52 Suppl 2:S122-6.
2. Yücel YH, Zhang Q, Weinreb RN *et al.* Effects of retinal ganglion cell loss on magno-, parvo-, koniocellular pathways in the lateral geniculate nucleus and visual cortex in glaucoma. *Prog Retin Eye Res*, 2003;22:465-481.
3. Lawlor M, Danesh-Meyer H, Levin LA *et al.* Glaucoma and the brain: Trans-synaptic degeneration, structural change, and implications for neuroprotection. *Surv Ophthalmol*, 2018;63:296-306.
4. Frezzotti P, Giorgio A, Motolese I *et al.* Structural and Functional Brain Changes beyond Visual System in Patients with Advanced Glaucoma. *PLoS ONE*, 2014;9:e105931.
5. Nucci C, Garaci F, Altobelli S *et al.* Diffusional Kurtosis Imaging of White Matter Degeneration in Glaucoma. *J Clin Med*, 2020;9:3122.
6. Riva I, Legramandi L, Rulli E *et al.* Vision-related quality of life and symptom perception change over time in newly-diagnosed primary open angle glaucoma patients. *Sci Rep*, 2019;9:6735.
7. Connolly JD, Goodale MA. The role of visual feedback of hand position in the control of manual prehension. *Exp Brain Res*, 1999;125:281-286.
8. Jeannerod M. Intersegmental coordination during reaching at natural visual objects. In: Long J, Baddeley A, eds. Attention and Performance IX. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1981:153-169.
9. González-Alvarez C, Subramanian A, Pardhan S. Reaching and grasping with restricted peripheral vision. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2007;27:265-274.
10. Kotecha A, O'Leary N, Melmoth D *et al.* The functional consequences of glaucoma for eye-hand coordination. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2009;50:203-213.
11. Pardhan S, Gonzalez-Alvarez C, Subramanian A. How does the presence and duration of central visual impairment affect reaching and grasping movements? *Ophthalmic Physiol Opt*, 2011;31:233-239.
12. Timberlake GT, Omoscharka E, Quaney BM *et al.* Effect of bilateral macular scotomas from age-related macular degeneration on reach-to-grasp hand movement. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011;52:2540-2550.
13. Saimpont A, Mourey F, Manckoundia P, Pfitzenmeyer P, Pozzo T. Aging affects the mental simulation/planning of the "rising from the floor" sequence. *Arch Gerontol Geriatr*, 2010;51:41-45.
14. Gabbard C, Cacola P, Cordova A. Is there an advanced aging effect on the ability to mentally representaction? *Arch Gerontol Geriatr*, 2011;53:206-209.
15. Lenoble Q, Corveleyn X, Tran THC *et al.* Can I reach it? A study in age-related macular degeneration and glaucoma patients. *Visual Cognition*, 2019;27: 732-739.
16. Fortenbaugh FC, Hicks JC, Turano KA. The effect of peripheral visual field loss on representations of space: evidence for distortion and adaptation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008;49:2765-2772.
17. Khan MA, Franks IM, Elliott D *et al.* Inferring online and offline processing of visual feedback in target-directed movements from kinematic data. *Neurosci Biobehav Rev*, 2006;30:1106-1121.
18. Corveleyn X, Lenoble Q, Rouland JF *et al.* What is the nature of the reach-and-grasp deficit in glaucoma? *J Glaucoma*, 2020;29:799-806.
19. Lenoble Q, Rouland JF. Context association in glaucoma patients using a touch screen. *J Glaucoma*, 2019;28:737-743.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.