

## Revue générale

# L'OCT-angiographie dans le glaucome

**RÉSUMÉ :** L'OCT-A fait naître un certain nombre de perspectives enthousiasmantes dans le domaine de la neuropathie optique glaucomateuse, même s'il est encore nécessaire de répondre à plusieurs questions. L'OCT-A apporte-t-elle : une information additionnelle aux données de l'OCT-SD ? Un marqueur lésionnel précoce ou secondaire à l'atteinte des cellules ganglionnaires et/ou de leurs axones ? Un témoin prédictif ou démonstratif d'une progression ?

Les nouveaux programmes d'analyses combinées de l'atteinte de la structure et du réseau microvasculaire, désormais validés, permettront sans doute de répondre rapidement à plusieurs de ces interrogations et d'acquérir des informations cliniques, directement mesurables, avec un intérêt majeur pour une prise en charge mieux adaptée de nos patients glaucomateux.



**J.-P. RENARD**  
Centre Ophtalmologique Breteuil, PARIS.

Deux points essentiels nous amènent aujourd'hui à préciser l'intérêt en pratique clinique de l'OCT-angiographie (ou OCT-A) dans le glaucome.

L'importance des facteurs vasculaires dans la physiopathologie du glaucome, d'une part, est bien connue, et leur évaluation a toujours été un facteur important de recherche. Les dernières études par lasers Doppler, insuffisamment sensibles pour mesurer précisément la microcirculation, ont bien confirmé la diminution du flux sanguin au niveau des vaisseaux rétiniens et choroïdiens chez les patients glaucomateux.

L'OCT-A nous apporte d'autre part, l'avantage, avec un caractère non invasif, d'une visualisation en face et séparée du plexus capillaire superficiel et profond du réseau rétinien, ainsi que du réseau capillaire péripapillaire et superficiel de la tête du nerf optique. Elle a largement bénéficié des avantages de l'imagerie OCT en face, basée sur l'intensité moyenne de réflectance des couches superficielles rétiniennes, et qui sont marqués par la mise en évidence ainsi de lésions glaucomateuses

locales, manquées ou négligées avec l'analyse traditionnelle de l'épaisseur des couches des fibres nerveuses rétiniennes (FNR) en OCT-SD.

Le principal avantage de l'OCT-A, avec des coupes multiples qui différencient les structures fixes des structures mobiles, est ainsi d'imager les deux réseaux vasculaires superficiel et profond, au niveau de la rétine et de la tête du nerf optique, avec une résolution supérieure à celle des autres méthodes d'évaluation du flux sanguin oculaire.

Tous les fabricants d'OCT ont développé leur OCT-A avec des techniques différentes d'extraction et de traitement des images en utilisant l'intensité ou la phase, ou les deux, du spectre entier ou divisé. Deux OCT-A rapportent une analyse des données avec deux indices numériques : la densité vasculaire et le flux sanguin. Il s'agit de l'AngioVue d'Optovue et de l'AngioPlex de ZEISS. La densité vasculaire représente le pourcentage de surface occupée par les vaisseaux sanguins dans les différentes régions sélectionnées. L'indice de flux est une valeur de décorrélation moyenne du flux sur l'angiogramme rétinien en face.

## I Revues générales

Il est important de noter l'absence de standardisation entre les systèmes, avec des différences de segmentation et une absence d'uniformité des différentes mesures en OCT-A. Cependant, un nombre croissant de données sur la reproductibilité de ces différents indices souligne tout l'intérêt de leur étude [1-3].

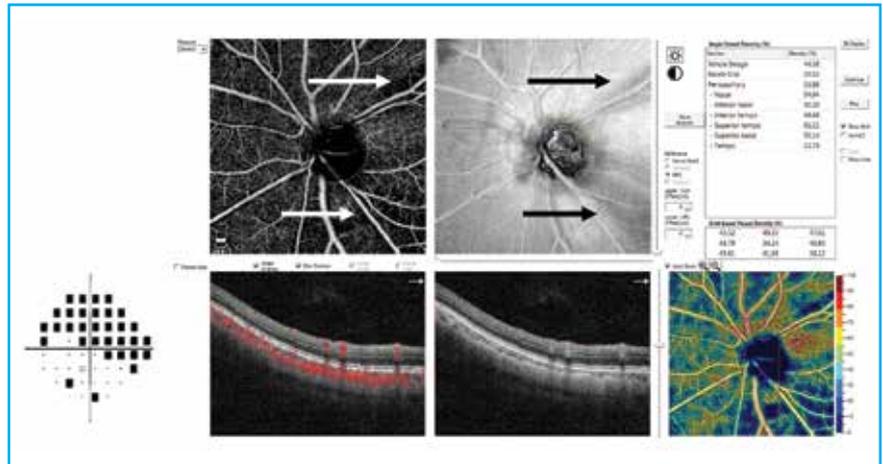
### Apport de l'OCT-A dans le glaucome

À ce jour, l'ensemble des études rapportent des preuves évidentes de la sensibilité diagnostique de l'analyse du réseau capillaire péripapillaire en OCT-A, à tous les stades de glaucome, et aussi bien au niveau de l'analyse de l'épaisseur globale que de celle du réseau vasculaire superficiel.

Une réduction significative de la perfusion de la tête du nerf optique (TNO), quantifiée par les indices de flux et de densité vasculaire, a été rapportée dans les glaucomes périmétriques, les glaucomes pré-périmétriques, chez les sujets suspects de glaucome, ainsi que chez ceux atteints d'hypertonie oculaire comparés aux sujets sains [4-8]. Une corrélation étroite des résultats avec ceux de l'atteinte fonctionnelle, en particulier au niveau du champ visuel, a bien été démontrée.

Des zones déficitaires de ces indices ont également été mises en évidence, au niveau de l'œil controlatéral apparemment sain sans déficit en FNR de glaucomes unilatéraux, ainsi qu'au niveau de l'hémirétine sans déficit fonctionnel, sans association avec une perte des FNR, chez les patients glaucomateux. Ces zones suggèrent qu'une réduction du flux peut précéder les lésions détectables de la structure en OCT-SD et celles du champ visuel, et pourrait ainsi être un biomarqueur de futures lésions glaucomateuses (**fig. 1**) [4-7].

Les analyses sectorielles de la densité des vaisseaux péripapillaires ont



**Fig. 1 :** Zones d'atteinte en OCT-A sans retentissement fonctionnel encore bien décelé dans le territoire correspondant à l'étude du CV en périmétrie automatisée standard.

montré une meilleure performance diagnostique au niveau des quadrants supérieur et inférieur, ainsi qu'au niveau des secteurs horaires temporaux supérieur et inférieur par rapport aux autres méridiens horaires, comme pour l'analyse de la couche des FNR en OCT-SD [8-14].

Au niveau maculaire, l'analyse du réseau vasculaire superficiel, comme celle du réseau vasculaire profond, présente une sensibilité diagnostique similaire à celle de l'analyse des FNR et du GCC (complexe cellulaire ganglionnaire maculaire), pour différencier les sujets glaucomateux des sujets sains, avec en particulier une perte de la circularité de la zone avasculaire centrale, démontrée en OCT-A, dans les scotomes paracentraux [15-19].

La première étude prospective longitudinale, avec un suivi d'au moins une année, rapporte une perte plus rapide de la densité vasculaire maculaire chez les patients glaucomateux par rapport aux sujets suspects de glaucome ou aux sujets sains, sans association avec un amincissement du GCC [20].

Enfin, une étude prospective plus récente souligne l'intérêt des valeurs initiales relevées en OCT-A, plus faibles dans le glaucome modéré, comme marqueur

d'évaluation du risque de progression sur un suivi clinique supérieur à 2 ans [21].

Les limites des appareils actuels sont marquées par l'absence de paramètres standardisés et de base normative disponibles, ainsi que par l'existence d'artefacts importants caractérisés notamment par la projection du réseau microvasculaire superficiel sur le réseau profond.

Ces limites ont motivé le développement de nouveaux logiciels, maintenant disponibles, qui assurent une meilleure définition. Le logiciel de résolution de projection des artefacts permet une visualisation plus précise des deux réseaux vasculaires superficiel et profond, ainsi que des repères de l'ouverture de la membrane de Bruch. Ces nouveaux logiciels apportent, à partir du même scan, la possibilité d'une analyse aussi bien des données OCT-SD de la structure (épaisseur moyenne de la couche des FNR et dans les différents quadrants), qu'une comparaison des données micro-angiographiques de l'OCT-A. Ces analyses combinées peuvent se faire au niveau de la région péripapillaire, avec une grille de Garway-Heath modifiée pour une meilleure correspondance avec la distribution topographique des FNR, et au niveau de la région maculaire, avec à ce niveau une grille ETDRS (*Early Treatment Diabetic*

*Retinopathy Study*), pour l'obtention de données numériques assurant un suivi au long cours qui peut être comparé avec celui de l'atteinte des FNR (**fig. 2**).

## ■ En pratique

L'utilité pratique en clinique courante de l'OCT-A reste encore limitée. Mais l'acquisition d'angiogrammes "grand champ" par la juxtaposition de différentes zones d'acquisitions au niveau du pôle postérieur permet de mieux définir l'atteinte du réseau vasculaire glaucomateux, avec au niveau du réseau superficiel la démonstration d'une continuité des deux atteintes péripapillaires et maculaires (**fig. 3**).

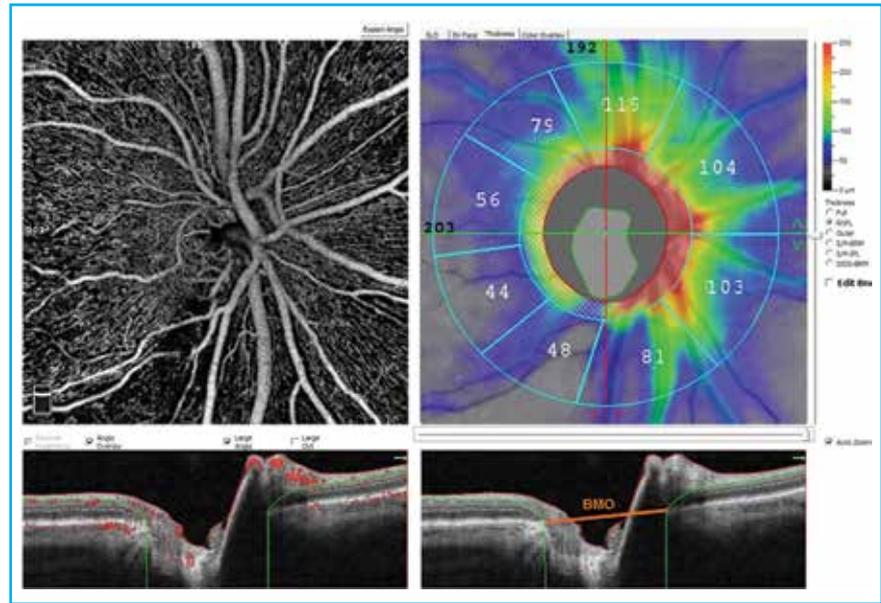
On retiendra :

>>> Au niveau de la région péripapillaire, l'importance et la sensibilité diagnostique des quadrants supérieur et inférieur et des secteurs temporaux inférieur et supérieur, avec une corrélation significative avec les lésions fonctionnelles du champ visuel.

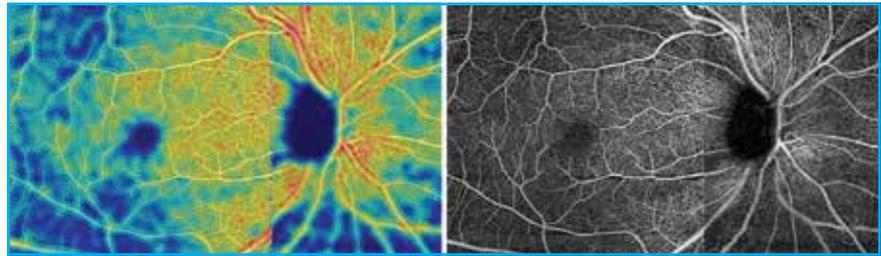
>>> Au niveau maculaire, la sensibilité particulière du plexus vasculaire superficiel et surtout les résultats récents de l'étude rapportant une aggravation de la densité vasculaire en OCT-A dans le temps, sans modification de l'épaisseur de la couche des cellules ganglionnaires, qui suggère l'existence d'une atteinte microvasculaire précédant l'atteinte structurale. D'autres études prospectives sont nécessaires pour clarifier ces premiers résultats.

>>> L'intérêt diagnostique et de suivi clinique en cas de dysmorphie papillaire, de forte myopie (excavations peu profondes, anneaux neurorétiniens pâles) avec une évaluation difficile de la tête du nerf optique et de l'analyse des FNR en OCT-SD.

>>> Aux stades de glaucomes avancés, les indices de densité vasculaire ne



**Fig. 2 :** Logiciel 7 de l'AngioVue. Analyse OCT-SD et OCT-A avec le même scan.



**Fig. 3 :** Acquisition grand champ par AngioPlex avec déficit de densité vasculaire temporale inférieure et supérieure moins marquée.

semblent pas être influencés par "l'effet plancher" de la couche des FNR avec encore une possibilité d'évaluation en OCT-A [22].

La corrélation étroite des atteintes des paramètres fonctionnels et structuraux (FNR, GCC, RA, BMO-MRW) suggère un intérêt de l'OCT-A dans le suivi de la progression du glaucome, bien que des études soient encore nécessaires pour préciser l'association des paramètres en OCT-A avec le stade du glaucome et leurs relations avec les mesures structurales et fonctionnelles. C'est tout l'intérêt des nouveaux relevés permettant une analyse comparative de l'évolution de l'atteinte structurale (FNR) et microvasculaire en pratique clinique pour le suivi de la progression et pour mieux préciser

le caractère potentiel de biomarqueur prédictif d'évolution de l'OCT-A, ainsi que le caractère primitif ou secondaire des modifications vasculaires dans le glaucome encore non éclairci à ce jour (**fig. 4, 5 et 6**).

Si les limites sont marquées par l'absence de paramètres encore standardisés et de base normative pour des analyses plus performantes, ainsi que par l'effet potentiel des médicaments anti-glaucomateux sur les résultats relevés en OCT-A, il faut souligner l'intérêt de l'utilisation de ces nouvelles données en tant que biomarqueur potentiel de l'évaluation de nouvelles thérapies neuroprotectrices, ainsi que pour le contrôle des effets thérapeutiques médicaux et ou chirurgicaux au niveau microcirculatoire et leur retentissement au niveau structurel.

# Revue générale

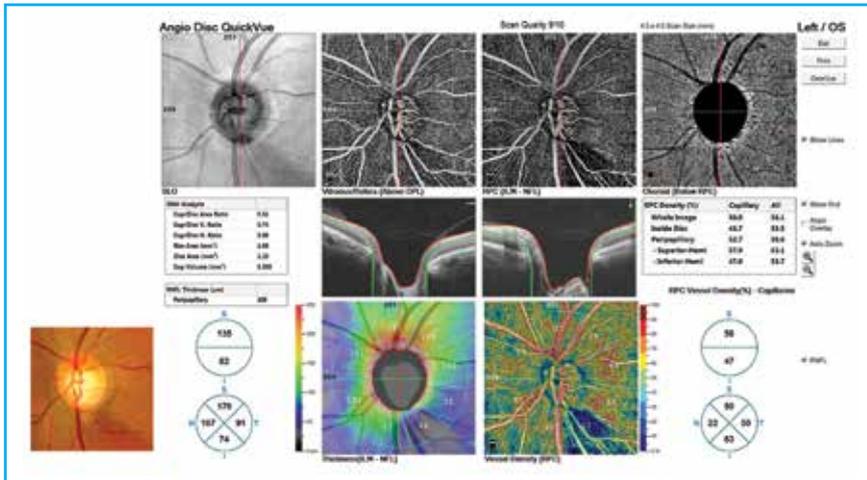


Fig. 4 : Rapport d'analyse combinée OCT-SD et OCT-A péripapillaire par AngioVue.

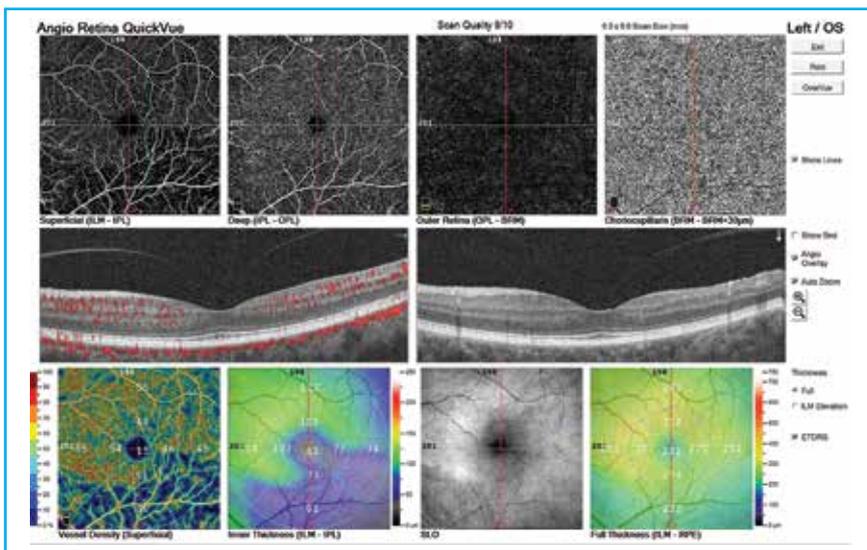


Fig. 5 : Rapport d'analyse combinée OCT-SD et OCT-A maculaire par AngioVue.

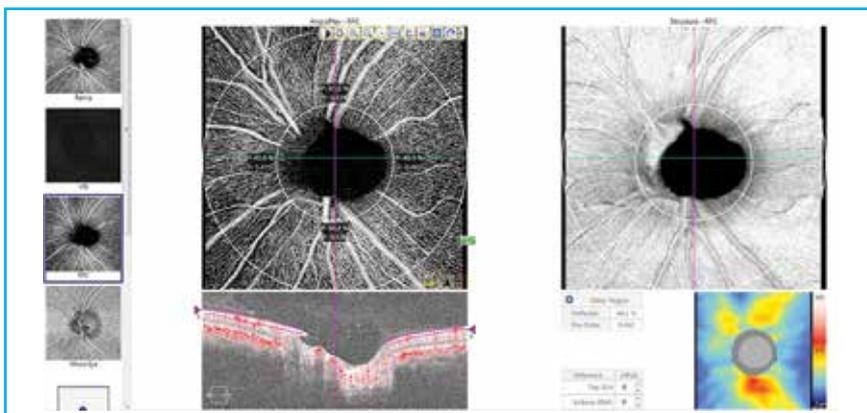


Fig. 6 : Rapport d'analyse OCT-A de la TNO par AngioPlex.

## BIBLIOGRAPHIE

1. MANALASTAS PIC, ZANGWILL LM, SAUNDERS LJ *et al.* Reproducibility of optical coherence tomography angiography macular and optic nerve head vascular density in glaucoma and healthy eyes. *J Glaucoma*, 2017;26: 851-859.
2. LIU L, JIA Y, TAKUSAGAWA HL *et al.* Optical coherence tomography angiography of the peripapillary retina in glaucoma. *JAMA Ophthalmol*, 2015;133: 1045-1052.
3. DASTRIDOU A, CHOPRA V. Potential applications of optical coherence tomography angiography in glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol*, 2018;29:226-233.
4. ICHIYAMA Y, MINAMIKAWA T, NIWA Y *et al.* Capillary dropout at the retinal nerve fiber layer defect in glaucoma: an optical coherence tomography angiography study. *J Glaucoma*, 2017;26:142-145.
5. MAMMO Z, HEISLER M, BALARATNASINGAM C *et al.* Quantitative optical coherence tomography angiography of radial peripapillary capillaries in glaucoma, glaucoma suspect, and normal eyes. *Am J Ophthalmol*, 2016;170:41-49.
6. HAGAG AM, GAO SS, JIA Y *et al.* Optical coherence tomography angiography: Technical principles and clinical applications in ophthalmology. *Taiwan J Ophthalmol*, 2017;7:115-129.
7. MANALASTAS PIC, ZANGWILL LM, DAGA MP *et al.* The association between macula and onh optical coherence tomography angiography (OCT-A) vessel densities in glaucoma, glaucoma suspect, and healthy eyes. *J Glaucoma*, 2018;27: 227-232.
8. PENTEADO RC, ZANGWILL LM, DAGA FB *et al.* Optical coherence tomography angiography macular vascular density measurements and the central 10-2 visual field in glaucoma. *J Glaucoma*, 2018;27:481-489.
9. AKAGI T, IIDA Y, NAKANISHI H *et al.* Microvascular density in glaucomatous eyes with hemifield visual field defects: an optical coherence tomography angiography study. *Am J Ophthalmol*, 2016;168:237-249.
10. HOLLÓ G. Vessel density calculated from OCT angiography in 3 peripapillary sectors in normal, ocular hypertensive, and glaucoma eyes. *Eur J Ophthalmol*, 2016;12;26:42-45.
11. YARMOHAMMADI A, ZANGWILL LM, DINIZ-FILHO A *et al.* Peripapillary and macular vessel density in patients with glaucoma and single-hemifield visual

field defect. *Ophthalmology*, 2017;124:709-719.

12. YARMOHAMMADI A, ZANGWILL LM, MANALASTAS PIC *et al.* Peripapillary and macular vessel density in patients with primary open-angle glaucoma and unilateral visual field loss. *Ophthalmology*. 2018;125:578-587.
13. YARMOHAMMADI A, ZANGWILL LM, DINIZ-FILHO A *et al.* Optical coherence tomography angiography vessel density in healthy, glaucoma suspect, and glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:451-459.
14. SIMAVLI H, POON LY, QUE CJ *et al.* Diagnostic capability of peripapillary retinal volume measurements in glaucoma. *J Glaucoma*, 2017;26:592-601.
15. RAO HL, KADAMBI SV, WEINREB RN *et al.* Diagnostic ability of peripapillary vessel density measurements of optical coherence tomography angiography in primary open-angle and angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol*, 2017;101:1066-1070.
16. SHIN JW, LEE J, KWON J *et al.* Regional vascular density-visual field sensitivity relationship in glaucoma according to disease severity. *Br J Ophthalmol*, 2017;101:1666-1672.
17. RAO HL, PRADHAN ZS, WEINREB RN *et al.* A comparison of the diagnostic ability of vessel density and structural measurements of optical coherence tomography in primary open angle glaucoma. *PLoS One*, 2017;12:0173930.
18. SHIN JW, SUNG KR, LEE JY *et al.* Optical coherence tomography angiography vessel density mapping at various retinal layers in healthy and normal tension glaucoma eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2017;255:1193-1202.
19. KWON J, CHOI J, SHIN JW *et al.* Alterations of the foveal avascular zone measured

by optical coherence tomography angiography in glaucoma patients with central visual field defects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017;58:1637-1645.

20. SHOJI T, ZANGWILL LM, AKAGI T *et al.* Progressive macula vessel density loss in primary open-angle glaucoma: a longitudinal study. *Am J Ophthalmol*, 2017;182:107-117.
21. MOCHIMI S, ZANGWILL LM, PENTEADO RC *et al.* Macular and optic nerve head vessel density and progressive retinal

## POINTS FORTS

- La reproductibilité des différents paramètres et indices rapportés en OCT-A dans le glaucome est aujourd'hui bien établie.
- La réduction significative de la densité microvasculaire péripapillaire dans les glaucomes périmétriques, les glaucomes pré-périmétriques, chez les sujets suspects de glaucome ainsi que chez ceux atteints d'hypertonie oculaire comparés aux sujets sains est bien démontrée.
- L'OCT-A rapporte une corrélation étroite avec les déficits du champ visuel glaucomateux en périmétrie automatisée standard ainsi qu'au niveau de l'hémirétine non affectée.
- Sensibilité diagnostique de l'atteinte des plexus maculaires vasculaires superficiel et profond similaire à celle de l'épaisseur de la couche des FNR et du GCC pour différencier les sujets glaucomateux des sujets sains.
- Intérêt des cubes maculaires d'au moins 6 x 6 mm.
- Nécessité de paramètres standardisés et de base normative de référence en cours de réalisation.

nerve fiber layer loss in glaucoma. *Ophthalmology*, 2018;125:1720-1728.

22. RAO HL, PRADAN ZS, WEINREB RN *et al.* Relationship of optic nerve structure and function to peripapillary vessel density measurements of optical coherence tomography angiography in glaucoma. *J Glaucoma*, 2017;26:548-554.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.