

## Revue générale

# Utilisation des ultrasons lors des vitrectomies : quelles perspectives ?

**RÉSUMÉ :** La vitrectomie hypersonique est une nouvelle technique de vitrectomie basée sur l'utilisation des ultrasons. Développée en 23 G depuis 2017, elle représente une alternative potentielle à la vitrectomie à la guillotine : elle montre des performances physiques supérieures à la vitrectomie traditionnelle pour une sécurité similaire, mais n'a pas montré de supériorité en utilisation clinique, hormis en cas de luxation du cristallin ou d'ablation de silicone.

Néanmoins, une meilleure connaissance des phénomènes physiques et de la manipulation des paramètres ainsi qu'une réduction de son calibre paraissent essentiels pour son utilisation en pratique courante.



**É. PHILIPPAKIS**

Service d'Ophtalmologie, Hôpital Lariboisière, PARIS.

Depuis la naissance de la vitrectomie dans les années 1970, les progrès techniques en chirurgie vitréorétinienne ont principalement consisté en l'amélioration de la performance et de la sécurité des technologies existantes : amélioration des pompes et de la fluidique, réduction de la taille des trocarts et mise en place de valves, accélération des vitesses de coupe, amélioration de l'ergonomie du matériel et des interfaces. L'objectif est celui de combiner efficacité, rapidité et sécurité du geste opératoire. Depuis 2017, l'utilisation des ultrasons en vitrectomie a été proposée et a reçu l'approbation de la *Food and Drug Administration* (FDA). Cette technique est appelée vitrectomie "hypersonique" (VH).

### Aspects techniques

La technologie de vitrectomie "classique" est fondée sur le principe de la guillotine. Le vitréotome est un système à double aiguille, qui aspire les fibres vitréennes, les coupe, puis les aspire définitivement. L'efficacité de la vitrectomie est liée au calibre du vitréotome

et au flux d'aspiration, alors que la sécurité est apportée par l'accélération de la vitesse de coupe, qui limite la traction, et la diminution du calibre des trocarts [1]. Certains générateurs ont proposé un système basé sur la double coupe (Bausch + Lomb, DORC) alors que d'autres ont développé l'accélération de la vitesse de coupe (Alcon). En effet, le mécanisme de coupe interrompt transitoirement l'effet tractionnel de l'aspiration sur le vitré et la rétine, risque principal de la vitrectomie [2]. Les chirurgiens vitréorétiniens utilisent aujourd'hui principalement des vitréotomes 25 G avec des coupes simples ou doubles de 5 000 à 10 000 cpm. Les limites du vitréotome à guillotine sont mécaniques : l'accélération de la vitesse de coupe est plafonnée par le besoin de maintenir le port ouvert afin de maintenir l'aspiration et la turbulence créée par l'alternance ouverture/fermeture du port d'aspiration.

La vitrectomie hypersonique est une technologie conceptualisée depuis 40 ans [3]. Les laboratoires Bausch + Lomb ont récemment développé la VH en 23 G. Elle implique un nouveau vitréotome qui est une aiguille simple

## Revue générale

### POINTS FORTS

- La vitrectomie hypersonique est basée sur les ultrasons de faible puissance et liquéfie le vitré avant de l'aspirer.
- Elle produit une vitesse de flux plus importante (efficacité) pour une accélération moindre (sécurité) que la vitrectomie à guillotine.
- Elle est faisable, efficace et sécurisée mais pas supérieure à la vitrectomie à guillotine et nécessite un temps d'apprentissage.
- Elle représente une alternative à la vitrectomie traditionnelle à guillotine.

avec un port distal latéral (*fig. 1*). Son oscillation à 1,7 million de cycles par minute induit un flux élevé et une liquéfaction vitreuse au niveau de la pointe du vitréotome, et permet l'aspiration du vitré par l'orifice distal latéral avec une traction minimisée. Le vitréotome est ainsi une aiguille à une seule lumière, contrairement au système guillotine. Le calibre efficace est donc plus grand qu'un vitréotome à guillotine 23 G. Aussi, l'aspiration est ininterrompue et induit une moindre résistance au flux,

moins de pression d'infusion et moins de turbulences, responsables de traction vitreuse (*fig. 2*).

Le vitréotome hypersonique, à l'inverse des autres appareils de chirurgie hypersonique, vibre avec une puissance faible (10 % de celle d'une phacofragmentation) et une fréquence fixe de 28,5 kHz induisant des variations d'amplitude entre 10 et 50 µm. Ces réglages sont essentiels à la sécurité de la VH car, lors des premières utilisations des



**Fig. 1 :** Aspects schématiques de l'extrémité des vitréotomes. **À gauche**, vitréotome à guillotine simple et guillotine double. L'aiguille interne se déplace dans l'aiguille externe. **À droite**, vitréotome hypersonique. L'aiguille est simple et le port toujours ouvert.



**Fig. 2 :** Image du vitré en regard de l'orifice du vitréotome (adaptée de Garcia Arumi J, Euretina 2019). Capture d'une vidéo ralentie 166 fois sur des yeux de porc. **À gauche**, vitréotome à guillotine 23 G, 5 000 cpm et 300 mmHg d'aspiration, montrant une image d'interruption de l'aspiration du vitré. **À droite**, vitréotome hypersonique 23 G, 40 µm d'amplitude, 300 mmHg d'aspiration, montrant un flux continu de vitré liquéfié.

fragmatomes pour la vitrectomie, l'énergie délivrée à proximité de la rétine est pourvoyeuse de lésions et déchirures rétinienne [4].

### Sécurité et performance : études précliniques

#### 1. Sécurité

Une des préoccupations principales de la VH est le potentiel lésionnel de l'énergie ultrasonique sur le vitré et la rétine. Les mécanismes de telles lésions sont inconnus. L'hypothèse principale est que l'énergie acoustique est absorbée par les tissus et pourrait être convertie en chaleur, générant ainsi une brûlure rétinienne. L'autre hypothèse est que l'énergie dans les milieux liquide induit des cavitations par micro-explosions [5].

Les études histopathologiques comparant les effets de la VH et de la vitrectomie à guillotine sur la macula et le nerf optique ont retrouvé des lésions des couches internes dans les deux groupes : une légère vacuolisation de la couche des fibres nerveuses et une séparation entre les cellules ganglionnaires et la membrane limitante interne, attribuée aux phénomènes de cavitation [6]. L'évolution dans le temps de ces changements morphologiques est similaire dans les deux groupes [7]. En conclusion, **la VH avec les réglages actuels n'induit pas de lésions rétinienne spécifiques.**

#### 2. Performances physiques

Une étude récente de Ferrara, présentée au congrès Euretina 2019, a comparé les données fluidiques de flux et d'aspiration entre les vitréotomes à guillotine et les vitréotomes hypersoniques, en comparant les données de vélocimétrie en image frontale et latérale. Les paramètres étaient fixes à 28,5 kHz. La vitesse de flux augmentait de manière linéaire avec l'augmentation de l'amplitude ou de la coupe. Le flux était plus important avec la VH mais il existait plus d'irrégularités

## Revue générale

dans le champ de flux (*fig. 3*). La température augmentait uniquement pour des amplitudes supérieures à 40  $\mu\text{m}$  mais ne dépassait jamais 40 °C.

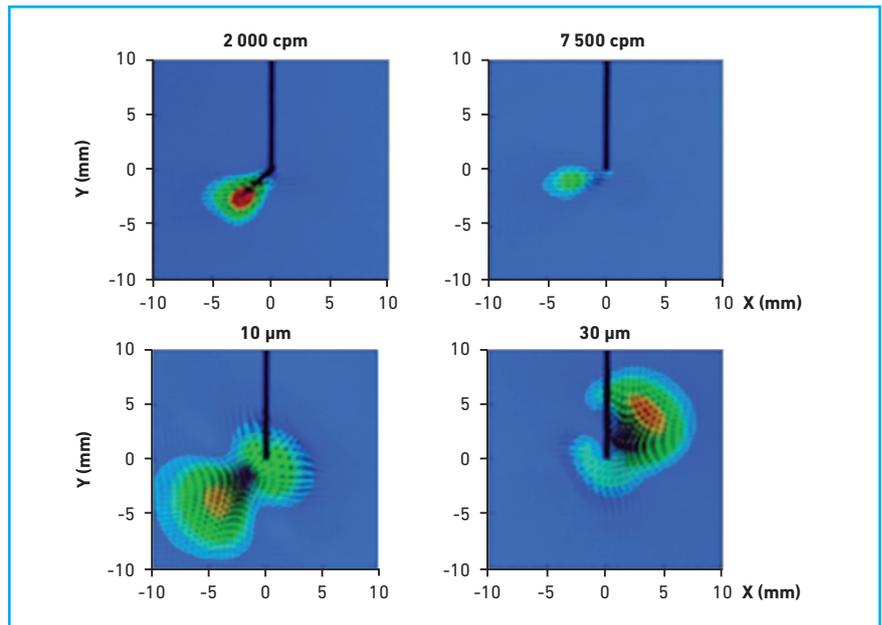
### 3. Analyse histologique du vitré

Les fragments vitréens issus de la VH montraient une fragmentation plus importante et une moindre agrégation des résidus de collagène que les fragments issus de la vitrectomie à guillotine. La VH induit des changements rhéologiques majeurs dans le vitré en diminuant son élasticité et sa viscosité, rendant son aspiration plus fluide.

**La VH est donc plus performante que la vitrectomie à guillotine car produit une vitesse de flux plus importante (efficacité) pour une accélération moindre (sécurité).**

### Études cliniques

Le premier essai clinique a été réalisé dans le but d'étudier l'efficacité et la tolérance de la vitrectomie hypersonique 23 G [8]. 20 patients ont été inclus (9 trous maculaires, 7 hémorragies intravitréennes, 4 tractions vitréomaculaires). L'efficacité de 3 vitréotomes dont les ports distaux étaient de taille et de forme différentes – en forme de goutte 255  $\mu\text{m}$ , forme ronde 225 et 175  $\mu\text{m}$  – a été évaluée (*fig. 4*). La vitrectomie centrale a été efficacement réalisée chez tous les patients mais la manœuvre du décollement postérieur du vitré n'a pas été effective dans 15 % des yeux, cas présentant une adhérence vitréomaculaire pathologique. La vitrectomie périphérique a été réalisée sans problème dans 90 % des cas mais, dans 1 cas, la survenue d'une déchirure rétinienne a exigé un changement de matériel vers un vitréotome à guillotine. En termes d'effets indésirables imputables à la VH, 2 déchirures rétinienne et 2 décollements de rétine ont été rapportés. Le vitréotome a également été rapporté comme étant trop court (33 mm). L'aspiration doit être régulée



**Fig. 3 :** Étude vélocimétrique des flux générés par la vitrectomie à guillotine et la vitrectomie hypersonique à des vitesses différentes (d'après Ferrara M, Euretina 2019). **En haut**, images des flux générés par un vitréotome à guillotine 23 G en 2 000 cpm et 7 500 cpm. Le flux est d'autant plus confiné que la coupe augmente. **En bas**, images des flux générés par un vitréotome hypersonique 23 G avec des amplitudes de 10 et 30  $\mu\text{m}$ . Le champ d'action est irrégulier et instable et augmente avec l'amplitude.

pour permettre au vitré de se liquéfier. L'étude rapporte enfin une meilleure efficacité/sécurité avec le port de 255  $\mu\text{m}$  en forme de goutte. **La VH est donc faisable et efficace.**

Une autre étude récemment publiée reprend les résultats de 64 patients opérés par vitrectomie hypersonique 23 G [9]. La population consistait en 15 décol-



**Fig. 4 :** Différents aspects des extrémités distales des vitréotomes hypersoniques et à guillotine 23 G (d'après [8]). **A :** vitréotome hypersonique avec ouverture en forme de goutte de 255  $\mu\text{m}$  de calibre. **B :** vitréotome hypersonique avec ouverture ronde de 225  $\mu\text{m}$  de diamètre. **C :** vitréotome hypersonique avec ouverture ronde de 175  $\mu\text{m}$  de diamètre. **D :** vitréotome à guillotine.

lements de rétine, 17 membranes épitréiniennes, 10 trous maculaires, 8 décollements de rétine tractionnels, 6 hémorragies intravitréennes diabétiques, 4 luxations cristalliniennes dans le vitré, 2 ablations de silicone, 1 vitrectomie pour corps flottants et 1 endophtalmie. Les données techniques ont été comparées à celles d'une vingtaine de vitrectomies à guillotine. Les avantages de la VH sont l'utilisation d'une plus faible aspiration, et une facilitation pour retirer des fragments cristalliniens résiduels et l'ablation de silicone. Néanmoins, dans 13 % des cas, il a été impossible de réaliser une vitrectomie complète (hémorragies denses ou hyaloïde postérieure pathologique). **La VH nécessite donc un temps d'apprentissage avec une meilleure compréhension des relations entre aspiration et puissance des ultrasons [10].**

### Perspectives

La vitrectomie hypersonique a prouvé sa faisabilité, son efficacité et sa sécurité.

Elle représente aujourd'hui une alternative prometteuse à la vitrectomie à guilotine dont les capacités d'amélioration sont limitées par des aspects mécaniques. De par sa technologie différente, la vitrectomie hypersonique présente des avantages dans les chirurgies nécessitant une aspiration importante ou une fragmentation (ablation de silicone, luxation du cristallin). Néanmoins, une compréhension précise des phénomènes physiques, leur localisation et un apprentissage des relations entre l'aspiration et la puissance des ultrasons sont des prérequis à l'utilisation optimale de la vitrectomie hypersonique en pratique courante. Enfin, à l'ère de la vitrectomie en 25/27 G, le calibre du vitréotome hypersonique proposé doit être comparable.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. HUBSCHMAN JP, GUPTA A, BOURLA DH *et al.* 20-, 23-, and 25- gauge vitreous cutters: performance and characteristics evaluation. *Retina*, 2008;28:249-257.
2. DUGEL PU, ZHOU J, ABULON DJ *et al.* Tissue attraction associated with 20-gauge, 23-gauge, and enhanced 25-gauge dual-pneumatic vitrectomy probes. *Retina*, 2012;32:1761-1766.
3. GIRARD LJ, NIEVES R, HAWKINS RS. Ultrasonic fragmentation for vitrectomy and associated surgical procedures. *Trans Sect Ophthalmol Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*, 1976;81:432-450.
4. GIRARD LJ, NIEVES R, HAWKINS RS. The Girard ultrasonic fragmentor. *Adv Ophthalmol*, 1978;37:45-50.
5. BOPP S, EL-HIFNAWI ES, BORNFIELD N *et al.* Retinal lesions experimentally produced by intravitreal ultrasound. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 1993;231:295-302.
6. PASTOR-IDOATE S, BONSHK R, IRION L *et al.* Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system. Qualitative preliminary assessment. *PLoS One*, 2017;12:e0173883.
7. CHANG SW, IRION LD, BONSHK R *et al.* Live porcine thirty days delayed recovery surgery: Qualitative findings with the hypersonic vitrectomy. *PLoS One*, 2018;13:e0197038.
8. STANGA PE, WILLIAMS JI, SHAARAWY SA *et al.* First-in-human clinical study to investigate the effectiveness and safety of pars plana vitrectomy surgery using a new hypersonic technology. *Retina*, 2020;40:16-23.
9. BLINDER KJ, AWH CC, TEWARI A *et al.* Introduction to hypersonic vitrectomy. *Curr Opin Ophthalmol*, 2019;30:133-137.
10. RIZZO S, FANTONI G, MUCCIOLIO DP *et al.* Ultrasound in vitrectomy: An alternative approach to traditional vitrectomy techniques. *Retina*, 2020;40:24-32.

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