

Au-delà du Venturi ou du péristaltique : une nouvelle ère dans la gestion des fluides en vitrectomie

L'évolution des plateformes de vitrectomie au cours de la dernière décennie a profondément modifié la chirurgie vitréo-rétinienne. Longtemps centrées sur l'augmentation de la vitesse de coupe et la miniaturisation des instruments, les machines actuelles cherchent désormais à maîtriser la dynamique des fluides intraoculaires. L'objectif est double : améliorer la sécurité chirurgicale tout en optimisant l'efficacité de l'aspiration.



Sébastien Guigou

Aix vision,
Clinique Axium
Aix-en-Provence

Des systèmes récents comme l'Alcon Unity VCS[®], le DORC EVA NEXUS[®] ou la nouvelle plateforme BVI Virtuoso[®] reposent sur des architectures fluidiques associant capteurs haute fréquence, algorithmes prédictifs et pompes de nouvelle génération. La fluidique des plateformes repose classiquement sur 2 types de pompes : péristaltiques et Venturi. Chacune produit

une dynamique spécifique d'aspiration et de débit, influençant directement la stabilité de la pression et la mobilisation des tissus.

Pompes péristaltiques et Venturi

Les pompes péristaltiques fonctionnent par compression séquentielle d'une tubulure. Ce mécanisme génère un déplacement volumétrique régulier qui permet au chirurgien de contrôler directement le débit. Tant que la sonde n'est pas occluse, le flux reste stable et prévisible. La montée en dépression est progressive en raison de l'inertie du circuit et de la compliance des tubulures.

Cette latence peut constituer un avantage dans les zones à risque en limitant les tractions brusques. En revanche, la réactivité moindre peut réduire l'efficacité lors de la mobilisation de structures fortement adhérentes.

Les pompes Venturi reposent sur un principe différent. Une aspiration d'air à grande vitesse crée immédiatement une dépression dans la ligne d'aspiration, permettant un contrôle direct du vide. L'aspiration maximale est disponible dès l'activation de la pédale, indépendamment du degré d'occlusion. Cette réactivité facilite l'aspiration de fragments ou de membranes adhérentes (tableau).

	Contrôle de la dépression (contrôle du vide mmHg)	Contrôle du débit (mL/min)
Mode de fonctionnement	La dépression est disponible immédiatement, indépendamment de l'occlusion	Le débit est imposé ; la dépression augmente progressivement en cas d'occlusion
Réactivité	Très rapide	Progressive
Montée en dépression en cas d'occlusion	Immédiate et maximale	Progressive jusqu'à la valeur limite programmée
Stabilité lors de la désocclusion	Risque plus important de variation brutale de flux (phénomène de surge) si compensation insuffisante	Variations plus limitées, meilleur amortissement
Traction exercée sur les tissus	Plus marquée si engagement tissulaire soudain	Plus progressive et contrôlée
Efficacité d'aspiration centrale	Très élevée, adaptée à l'ablation rapide du vitré central ou de fragments denses	Bonne mais parfois moins rapide
Travail en périphérie / rétine mobile	Plus exigeant, nécessite une excellente maîtrise et des systèmes de compensation performants	Plus sécurisant, adapté aux zones à risque
Dépendance à la viscosité du fluide aspiré	Le débit varie selon la viscosité	Débit plus constant malgré les variations de viscosité
Précision du geste fin	Moins progressive	Plus prévisible et régulière

Tableau. Avantages et limites des modes de contrôle du vide et du débit en vitrectomie.

Toutefois, elle peut entraîner des variations rapides de débit lors des transitions occlusion-désocclusion, responsables d'instabilités fluidiques si elles ne sont pas compensées.

Les plateformes de dernière génération ont été développées pour corriger ces limites. Elles associent électronique avancée, capteurs et parfois plusieurs types de pompes afin de stabiliser le comportement fluidique. Certaines machines disposent de pompes dédiées à l'aspiration et à l'irrigation, permettant un contrôle actif de la perfusion indépendamment de la hauteur de bouteille comme avec l'EVA NEXUS[®][1]. Une pompe Venturi est ajoutée au Unity VCS[®], autorisant le choix entre contrôle de vide ou contrôle de débit en aspiration.

Virtuoso[®] associe deux pompes à contrôle de pression pour le pilotage des chambres d'infusion et d'aspiration dans la cassette. Celle-ci devient le point névralgique du système. Au plus proche de l'œil, un module intégré unique contrôle le fluide simultanément dans les deux chambres pressurisées et ajuste l'irrigation en toute circonstance (fuite, occlusion...) pour maintenir une pression intraoculaire constante (figure 1)^[2].

Ces systèmes offrent différents modes de fonctionnement : contrôle du débit avec limite de vide, contrôle direct du vide ou modes hybrides combinant les 2 paramètres. Le chirurgien peut ainsi adapter la dynamique fluidique selon les différentes phases de la chirurgie.

Les plateformes modernes intègrent également des capteurs mesurant en temps réel la pression, le débit et le degré d'occlusion. Ces données sont analysées à haute fréquence afin d'ajuster immédiatement l'aspiration et la perfusion. Cette régulation dynamique permet de limiter les variations brutales de pression intraoculaire (figure 2).

Algorithmes prédictifs

Un autre progrès majeur réside dans l'intégration d'algorithmes prédictifs tels que l'EVA NEXUS avec Dynamic Flow Rates[®], et l'Unity VCS avec Intelligent Fluidics[®]. Ceux-ci modélisent le comportement fluidique

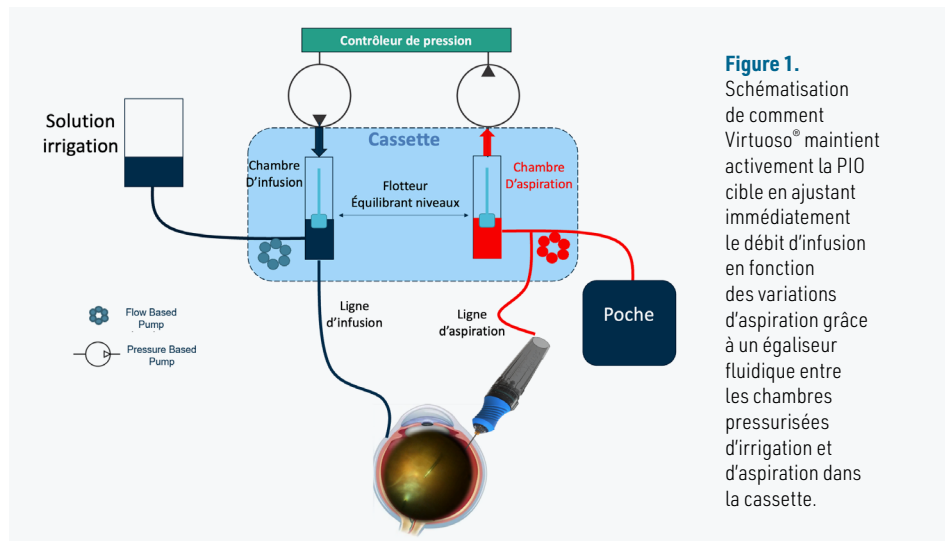


Figure 1. Schématisation de comment Virtuoso[®] maintient activement la PIO cible en ajustant immédiatement le débit d'infusion en fonction des variations d'aspiration grâce à un égaliseur fluidique entre les chambres pressurisées d'irrigation et d'aspiration dans la cassette.

attendu en fonction de la vitesse de coupe, du calibre des instruments ou de la résistance tissulaire. Ils peuvent anticiper une désocclusion imminente et adapter automatiquement l'aspiration ou la perfusion afin de réduire les fluctuations de pression.

La technologie Alcon Intelligent Aspiration[®] permet par exemple une accélération de la pompe d'aspiration en cas d'occlusion partielle ou complète, afin d'avoir une montée en vide plus rapide que sur des pompes péristaltiques standards (figure 3)^[3].

Certaines plateformes proposent également une perfusion adaptative capable de maintenir une pression intraoculaire cible (Intelligent IOP[®] Alcon, Smart IOP[®] DORC ou Automatic Leakage Compensation offered by BVI Equality[®] Fluidics Control). Grâce à une boucle de régulation entre pression et débit, le système compense les pertes de charge liées aux tubulures, aux canules ou aux fuites éventuelles. Cette régulation contribue à maintenir une cavité vitréenne stable, même lors d'aspirations prolongées.



Figure 2. Nexus EVA[®] utilise un système VTi composé de 4 minipompes à piston, de valves et de capteurs de pression synchronisés. La cassette intègre un réservoir tampon, qui joue un rôle clé dans la stabilisation du flux et la gestion des variations de pression.



Figure 3. Unity VCS® accélère l'aspiration en cas d'occlusion partielle ou complète, afin d'avoir une montée en vide plus rapide que sur des pompes péristaltiques standards grâce à l'algorithme Intelligent Aspiration® et permet ainsi d'opérer en mode « contrôle de débit » tout en atteignant des valeurs de vide plus élevées.

Ces innovations modifient le comportement du vitréotome et influencent toutes les étapes de la chirurgie. Lors de la vitrectomie centrale, l'association de vitesses de coupe très élevées et d'une aspiration stabilisée réduit la quantité de vitré mobilisée à chaque ouverture du port. La fragmentation devient plus fine et les forces tangentielles transmises au cortex vitréen diminuent, réduisant ainsi le risque de tractions postérieures.

Dans les phases de dissection ou de mobilisation de membranes, les modes en contrôle de vide offrent une aspiration très réactive facilitant la mobilisation de tissus résistants. Les systèmes de compensation modernes permettent de bénéficier de cette puissance tout en limitant les variations brutales de flux historiquement associées aux systèmes Venturi.

La périphérie rétinienne constitue une zone particulièrement sensible aux instabilités fluidiques. Les modes en contrôle de débit permettent de lisser les variations d'aspiration et de maintenir une pression intraoculaire plus stable. Cette stabilité facilite le travail près de la base du vitré et améliore l'exploration périphérique.

Les chirurgies complexes, notamment les décollements de rétine étendus ou les proliférations vitréo-rétiniennes sévères, bénéficient également de ces avancées. Les plateformes

modernes peuvent adapter automatiquement l'aspiration et la perfusion selon les différentes phases opératoires, permettant un geste plus précis et mieux contrôlé.

Précision et sécurité de la chirurgie vitréo-rétinienne

Les avantages de ces technologies sont multiples : stabilité fluidique accrue, meilleure efficacité opératoire et personnalisation avancée des paramètres chirurgicaux. La réduction des turbulences intraoculaires contribue également à améliorer la visibilité peropératoire et la précision des gestes.

Ces systèmes présentent toutefois certaines limites. Leur complexité implique une courbe d'apprentissage et une familiarisation avec les différents modes fluidiques. Les plateformes et leurs consommables représentent également un investissement important pour les centres chirurgicaux. Enfin, chaque machine conserve un comportement fluidique spécifique, ce qui peut modifier le ressenti du chirurgien lors du passage d'une plateforme à une autre.

Malgré ces contraintes, l'évolution récente des plateformes de vitrectomie marque une étape importante dans la maîtrise de la dynamique des fluides intraoculaires. Au-delà des seules performances mécaniques du vitréotome, c'est désormais la gestion du vide,

du débit et de la perfusion qui détermine la stabilité et la sécurité du geste chirurgical. L'évolution récente des plateformes de vitrectomie marque une étape majeure dans la précision et la sécurité de la chirurgie vitréo-rétinienne. Au-delà des seules performances mécaniques du vitréotome, c'est surtout la maîtrise de la dynamique des fluides (aspiration, débit, perfusion) qui transforme la procédure chirurgicale. Les systèmes modernes, qu'il s'agisse d'Alcon Unity VCS®, de DORC EVA NEXUS® ou encore de BVI Virtuoso®, intègrent désormais des capteurs haute fréquence et des algorithmes de compensation capables d'anticiper les variations de flux et de stabiliser le comportement fluide en temps réel.

Cette avancée technologique se traduit par une réduction nette des tractions transmises à la rétine, une stabilité améliorée de la pression intraoculaire, une efficacité accrue lors des dissections complexes et une visibilité peropératoire optimisée. La possibilité de personnaliser finement les paramètres en fonction des différentes étapes de la chirurgie représente un atout majeur particulièrement appréciable dans les cas tels que les dissections, les vitrectomies étendues ou les échanges. Cependant, ces systèmes sophistiqués introduisent également des défis : coût d'acquisition et de consommables, nécessité d'une courbe d'apprentissage et dépendance accrue à des architectures électroniques complexes. À mesure que les plateformes intégreront davantage d'automatisation, d'analyse prédictive et peut-être demain de l'intelligence artificielle peropératoire, la gestion des fluides continuera d'évoluer vers plus de sécurité. Cette évolution ne devra toutefois pas se faire au détriment de l'efficacité. L'objectif ultime demeure inchangé : offrir au chirurgien un environnement stable et performant, au service des patients. ■

Références bibliographiques

1. Stalmans P. Clinical trial to test the safety of the EVA Nexus surgical platform. *Int J Retina Vitreous*. 2024;10(1):45.
2. Rossi T. Post-occlusion surge performance of leading phaco machines: A comparison. *ESCRS* 2025.
3. UNITY® VCS and CS User Manual. 2024.