# Les trois piliers de la chirurgie vitréorétinienne moderne : colorants, tamponnements et gestion des fluides

*"Des mains sur des épaules de géants : les progrès de la chirurgie vitréorétinienne"*

**RÉSUMÉ : La chirurgie vitréorétinienne a connu des avancées technologiques majeures au cours des vingt dernières années, transformant les pratiques médicales. Les colorants vitaux, tels que la triamcinolone acétonide et la lutéine, ont amélioré la visualisation des structures rétiniennes, facilitant ainsi le pelage de membranes. Le tamponnement intraoculaire, crucial pour la gestion des décollements de rétine, a évolué avec l'utilisation de gaz et d'huiles de silicone, offrant des options adaptées selon les besoins cliniques. Les machines de vitrectomie ont également été perfectionnées, intégrant des trocarts de plus petite taille, des vitréotomes à double coupe, et des systèmes avancés de gestion des fluides, garantissant une pression intraoculaire stable. Ces innovations permettent de réduire les risques de complications, d'optimiser la sécurité des patients et d'améliorer les résultats anatomiques.**

→ **R. ADAM, G. HALLALI**
Hôpital des Quinze-Vingts, PARIS.

La chirurgie vitréorétinienne est l'un des domaines de l'ophtalmologie ayant connu les évolutions technologiques les plus marquantes au cours des vingt dernières années [1]. En particulier, la prise en charge des pathologies rétiniennes a radicalement changé depuis les années 2000, en comparaison avec celle décrite par Jules Gonin dans son ouvrage "*Le décollement de la rétine*", en 1935 [2], ou même celle de Robert Machemer, qui réalisa la première vitrectomie en 1970.

Initialement considérée comme inefficace et peu sûre, la vitrectomie est désormais une technique de référence, prédictible et efficace.

Cette transformation repose sur trois avancées majeures : l'introduction des colorants vitaux, les techniques de tamponnement interne, et l'amélioration de la gestion des fluides grâce aux machines de vitrectomie. Nous allons passer en revue dans cet article les avancées techniques dans ces trois domaines.

## Mieux voir pour une chirurgie optimisée : la révolution des colorants

Une bonne visualisation en chirurgie vitréorétinienne est cruciale pour améliorer les résultats opératoires. Trois structures sont particulièrement importantes à identifier pendant la chirurgie vitréorétinienne : le vitré, la membrane limitante interne et une éventuelle membrane épirétinienne. Un bon colorant doit être spécifique à la structure ciblée, facile à utiliser et non toxique pour les tissus rétiniens.

### 1. Coloration du vitré

Le vitré est principalement composé de collagène de type IX, de hyaluronate et d'eau. Il est naturellement transparent. Lors d'une chirurgie vitréorétinienne, il est indispensable de réaliser un décollement postérieur du vitré (DPV) (***fig.1***),

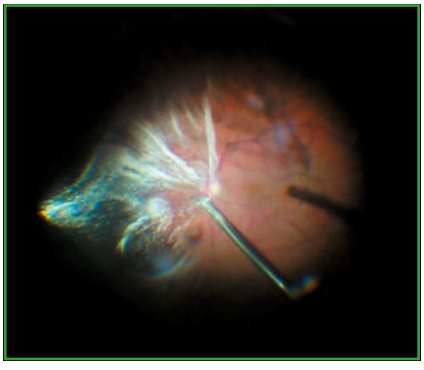

**Fig. 1 :** Réalisation du décollement postérieur du vitré au vitréotome (Machine Stellaris Baush + Lomb). La visualisation du corps vitré après coloration par Vitrea S (Horus Pharma) facilite la réalisation du geste.

c'est-à-dire la séparation du corps vitré du pôle postérieur. Ce geste peut être délicat chez certains patients, en raison de la transparence du vitré. La coloration peut alors faciliter la visualisation de l'hyaloïde postérieure et donc favoriser sa dissection et sa préhension.

La triamcinolone acétonide (40 mg/mL) produit la meilleure visibilité du vitré par rapport aux autres colorants. Les cristaux stéroïdiens adhèrent au tissu cellulaire et au collagène vitréen permettant un bon contraste entre la cavité vitréenne vide et les zones comportant des fibres vitréennes persistantes.

En France, le Kenacort Retard® (Bristol Myers Squibb) a d'abord été employé à cet effet. Initialement développé pour la rhumatologie, ce produit a été utilisé en rétine médicale pour traiter les œdèmes maculaires avant que les chirurgiens vitréorétiniens ne l'adoptent comme colorant de choix. En Europe, le Vitreal S® (Horus Pharma) a depuis obtenu une autorisation de mise sur le marché en tant que colorant pour la chirurgie vitréorétinienne, remplaçant ainsi le Kenacort Retard®. Il est bien toléré dans la majorité des cas, mais quelques études *in vivo* et *in vitro* ont néanmoins relevé une toxicité minime sur les cellules de l'épithélium pigmentaire rétinien à la suite d'injections à haute dose de triamcinolone [3]. Cette toxicité, toutefois, ne provoquait aucune réaction visible à l'œil nu, et aucun mécanisme d'apoptose classique n'a été observé. En pratique, la tomographie par cohérence optique (OCT) montre que la triamcinolone est progressivement absorbée par la rétine sans en modifier l'aspect macroscopique [4]. Il est toutefois recommandé d'éviter le passage d'acétate de triamcinolone en sous-rétinien (problème des trous maculaires) et de procéder à son retrait minutieux.

Récemment, la lutéine a été proposée comme alternative pour la coloration du vitré (Vitreo Lutein DYE 300, Bausch + Lomb). La lutéine est une molécule lipophile naturelle présente dans la rétine. Elle a des propriétés antioxydantes et neuroprotectrices. Une étude *in vitro* a démontré un profil de tolérance de la lutéine semblant plus favorable que celui de la triamcinolone acétonide [5] avec notamment une différence significative de la cytotoxicité observée de la lutéine par rapport à la triamcinolone acétonide.

### 2. Coloration de la rétine

Le pelage d'une éventuelle membrane épirétinienne ainsi que de la membrane limitante interne rétinienne a été grandement facilité grâce à l'utilisation de colorants permettant de visualiser clairement ces structures. Le colorant vital idéal pour la coloration sélective des membranes lors de la chirurgie vitréorétinienne devrait être hydrosoluble, offrir un bon contraste de couleur, une coloration efficace, une sécurité optimale et être abordable. Il doit également permettre une coloration répétable et précise, tout en étant facilement éliminable.

Le fond d'œil étant rouge orangé, le meilleur contraste de couleur pour le système visuel humain pour réaliser un pelage de la surface de la rétine est l'utilisation d'un colorant bleu ou vert. Historiquement, la fluorescéine et le vert d'indocyanine étaient utilisés, mais ces colorants ont été abandonnés en raison de leur toxicité sur les photorécepteurs et les cellules de l'épithélium pigmentaire.

Aujourd'hui, les colorants utilisés contiennent, selon les produits, du bleu de trypan hautement purifié, du polyéthylène glycol, de la lutéine et du "Brilliant Blue G" [6].

Le "Brilliant Blue G" est un colorant dont la structure moléculaire a été initialement développée pour la coloration des textiles, avant d'être utilisée en biologie et enfin en chirurgie rétinienne.

Il a été démontré que la lutéine réduisait le stress induit par le pelage sur les cellules rétiniennes [7] et son intégration dans certains colorants peut donc avoir un effet protecteur.

L'avantage de ces mélanges est qu'ils permettent une coloration rapide de la rétine, sans nécessiter au préalable un échange fluide-air [8].

Actuellement, les principaux produits commerciaux utilisés pour la coloration simultanée de la membrane limitante interne et de la membrane épirétinienne sont :
– le Membrane Blue DUAL® (DORC) constitué de bleu brillant, de bleu trypan et de polyéthylène glycol ;
– le Blutein DYE 500™ (Bausch + Lomb) (***fig. 2***) constitué de lutéine soluble, de pur benzyl brillant et de bleu trypan.

Ainsi, la variété et la qualité des colorants disponibles aujourd'hui en chirurgie

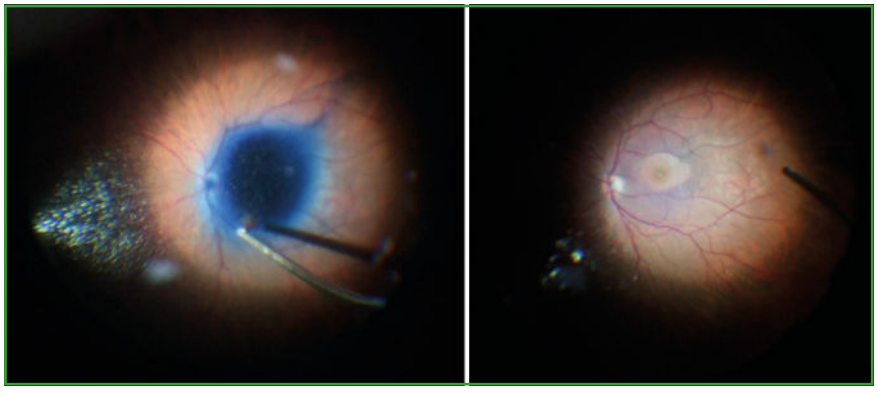

**Fig. 2 :** Aspect de la rétine après pelage de la membrane limitante interne à l'aide de BlueTein Dye 400 ILM. Chirurgie de trou maculaire (Baush + Lomb).

vitréorétinienne ont permis une simplification des techniques opératoires et une réduction significative du temps chirurgical.

## Le choix du tamponnement

Le second pilier de la chirurgie vitréorétinienne moderne est l'utilisation du tamponnement intraoculaire, dont la durée et les propriétés peuvent être ajustées en fonction de la pathologie traitée.

### 1. Tamponnement par gaz

Le tamponnement par gaz permet un effet transitoire, dont la durée peut être modulée. L'amélioration des systèmes de conditionnement a grandement simplifié son utilisation. Autrefois, la dilution du gaz nécessitait plusieurs manipulations complexes et de grandes bonbonnes. Aujourd'hui, ce processus est simplifié grâce à des systèmes compacts qui permettent une dilution en une seule étape à l'aide d'une seringue équipée d'un filtre à air. Des gaz prédilués existent et sont à privilégier, évitant les erreurs de dilution et les risques d'hypertonie postopératoires. Avec des durées de vie dans l'atmosphère de 3 000 ans pour le SF6 et 10 000 ans pour le C2F6, on comprendra qu'il est préférable de ne pas diffuser ces puissants gaz lourds à effet de serre dans l'atmosphère des blocs opératoires.

Le choix du gaz dépendra de la durée du tamponnement souhaitée. L'air se résorbe en 7 à 10 jours, le SF6 en 15 à 21 jours, le C2F6 en 30 à 45 jours et le C3F8 en environ 60 jours. Le SF6, le C2F6 et le C3F8 sont généralement utilisés à leur concentration isovolumétrique, soit respectivement 20 %, 16 % et 12 %. Il est également possible d'ajuster la dilution des gaz afin de tirer parti des propriétés expansives de ces derniers. Le C2F6 pur voit son volume dans la cavité vitréenne tripler en deux à trois jours. Pour obtenir un tamponnement prolongé dans les parties inférieures de l'œil, il peut être dilué à une concentration de 18 % à 20 %. Cela permet à la bulle de gaz de s'étendre pendant deux à trois jours, offrant ainsi un tamponnement complet de la rétine pendant quasiment une semaine, y compris dans les zones inférieures, favorisant ainsi une pexie rétinienne efficace.

## POINTS FORTS

- Les nouveaux colorants vitaux utilisés en chirurgie vitréorétiniennes ont un profil de sécurité et une efficacité optimisés.
- Un large éventail de tamponnement intraoculaire permet d'adapter la stratégie opératoire à de nombreuses situations cliniques.
- La réduction de la taille des trocarts couplée à l'augmentation de la vitesse des vitréotomes permet des gestes plus sécurisés.
- Les systèmes d'adaptation active de l'infusion permettent une réduction des pressions intraoculaires et une grande stabilité du segment postérieur.

### 2. Tamponnement par huile de silicone

L'utilisation du tamponnement par huile de silicone remonte aux années 1960 [9]. Bien que l'huile de silicone ait une tension de surface inférieure à celle des gaz, qu'elle nécessite d'être retirée lors d'une seconde intervention chirurgicale, et qu'elle soit associée à un certain nombre de complications à long terme (notamment la formation de cataractes et l'apparition d'une hypertonie oculaire), son usage a permis d'améliorer significativement les succès anatomiques dans le traitement des décollements de rétine [10].

Il existe plusieurs types d'huiles de silicone utilisées pour le tamponnement, que l'on distingue principalement par leur densité : les huiles de silicone plus légères que l'eau, dites "**silicones légers**", et celles plus lourdes que l'eau, dites "**silicones lourds**".

L'autre paramètre à prendre en compte dans le choix du silicone est sa viscosité. En effet, plus un silicone est visqueux, moins il aura tendance à entrer en émulsion avec l'humeur aqueuse. L'émulsification constitue un facteur de complications à long terme du silicone. La viscosité du silicone varie entre 1 000 $mm^2/s$ et 5 000 $mm^2/s$. À titre de comparaison, le miel a une viscosité de 10 000 $mm^2/s$.

Le **silicone léger**, également appelé "silicone standard", permet un tamponnement prolongé. Il est utilisé dans les cas de décollement de rétine avec prolifération vitréorétinienne (PVR) il a une viscosité de 1 000 $mm^2/s$. Lorsque le décollement de rétine est complexe et nécessite un tamponnement prolongé, il est préférable d'utiliser un silicone standard à viscosité plus élevée (5 000 $mm^2/s$).

Le **silicone lourd** est plus dense que l'eau et va permettre un tamponnement prolongé des zones inférieures de la rétine, particulièrement utile en cas de décollement de rétine avec déchirure inférieure et prolifération vitréorétinienne sévère. Deux produits sont généralement utilisés : l'Oxane® HD (Bausch + Lomb), avec une viscosité de 3 800 $mm^2/s$ et le Densiron® (Fluoron), avec une viscosité de 1 400 $mm^2/s$. L'Oxane® HD est particulièrement adapté pour les cas nécessitant un tamponnement prolongé. Il sera à privilégier en cas de décollements de rétine associés à un trou maculaire chez

les patients atteints de myopie forte ou en cas de décollement de rétine complexe de l'aphake. Il faudra dans ce dernier cas bien penser à réaliser une iridotomie périphérique supérieure.

L'utilisation du silicone lourd a amélioré les résultats anatomiques dans les cas complexes de décollements de rétine inférieurs nécessitant une rétinectomie et présentant une prolifération vitréorétinienne sévère [11].

## Un bond technologique – la vitrectomie moderne

La chirurgie vitréorétinienne repose sur l'utilisation de machines de vitrectomie toujours plus performantes. Trois avancées technologiques majeures ont marqué les vingt dernières années :

### 1. La chirurgie transconjonctivale

La chirurgie en 20 gauges a été progressivement abandonnée pour la chirurgie avec des trocarts de plus en plus petits. D'abord 23, puis 25, puis 27 gauges. La chirurgie transconjonctivale avec trocarts 25 gauges introduite par les laboratoires Bausch et Lomb en 2002 [12] a été une révolution dans la chirurgie vitréorétinienne. Il a été démontré que les trocarts 25 gauges sont associés à une réduction du temps opératoire, à un meilleur confort pour le patient, une cicatrisation conjonctivale plus rapide, ainsi qu'une récupération visuelle accélérée [13]. La chirurgie en 25 gauges semble présenter un bon compromis entre le 23 et le 27 gauges. Le risque d'issues de vitré par les trocarts source d'endophtalmie est également réduit. De plus, l'introduction de valves au niveau des trocarts a permis d'améliorer la stabilité de la pression intraoculaire lors des échanges d'instruments et de réduire la pression d'infusion [14].

### 2. Vitesse de coupe et vitréotome

La chirurgie vitréorétinienne nécessite un équilibre délicat entre la coupe et l'aspiration. Un excès d'aspiration par rapport à la coupe peut provoquer des tractions et donc des déchirures rétiniennes, tandis qu'une coupe excessive avec une aspiration insuffisante rend la vitrectomie inefficace. Dans les anciens systèmes, l'aspiration et la coupe étaient alternées, ce qui limitait l'efficacité. Les systèmes modernes à double tête ont révolutionné cette approche, permettant d'atteindre des vitesses de coupe de 20 000 coupes par minute tout en maintenant un flux d'aspiration constant. Deux lames sont associées dans ces vitréotomes, permettant de couper dans les deux sens. À aucun moment l'aspiration ou la coupe ne s'arrête. Ces vitréotomes modernes permettent une réduction de l'iatrogénie et une meilleure efficacité.

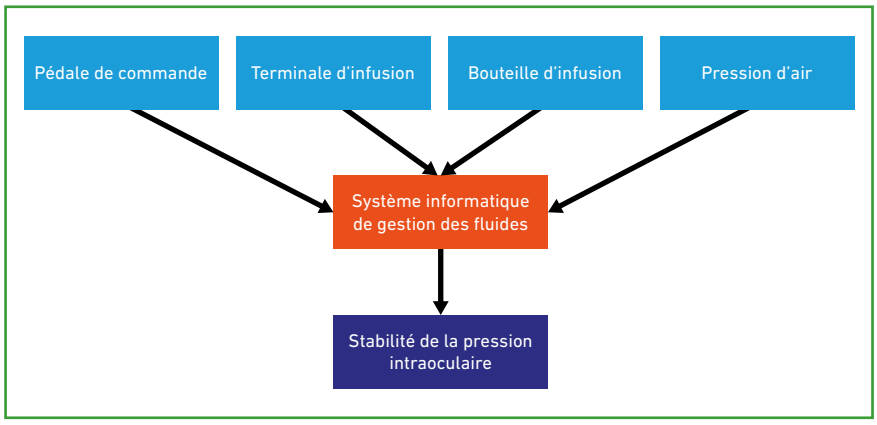


**Fig. 3 :** Illustration du fonctionnement du système actif de régulation de la pression d'infusion pendant la chirurgie.

### 3. Gestion des fluides

La dernière avancée significative dans les machines de vitrectomie concerne la gestion des fluides intraoculaires. Comme mentionné précédemment, cette gestion a été optimisée grâce à l'introduction des trocarts valvés de petite taille et à l'utilisation de vitréotomes plus rapides à double tête. Toutefois, les machines elles-mêmes ont également évolué en offrant désormais une régulation constante de la pression intraoculaire *via* le terminal d'infusion.

Contrairement aux anciens systèmes passifs, où l'infusion remplissait simplement l'œil, les systèmes modernes fonctionnent comme des assistants actifs. Ils anticipent les variations de pression intraoculaire tout au long des différentes phases chirurgicales et ajustent activement cette pression permettant l'utilisation de haut niveau de vide avec ainsi une meilleure efficacité en toute sécurité. Par exemple, le système "**Posterior Adaptive Fluidics**", de Bausch + Lomb, utilise un réseau de capteurs placés sur la pédale du chirurgien, le terminal d'infusion et la bouteille d'infusion. Lorsqu'une aspiration du fluide intraoculaire est activée, un signal est envoyé au système informatique central de la machine, qui traite et ajuste les paramètres en temps réel. La pression d'air dans la bouteille d'infusion est ainsi modifiée, optimisant le flux de BSS (solution saline équilibrée). Grâce à cette technologie, le volume du pôle postérieur reste parfaitement stable, même lors des phases d'aspiration rapide, tout en maintenant une pression intraoculaire proche des niveaux physiologiques. La gestion automatisée de la pression et des volumes du pôle postérieur augmente la sécurité du chirurgien et évite les manipulations répétées des paramètres opératoires selon le geste à réaliser. Même en cas de nécessité d'aspiration rapide d'une grande quantité de liquide, il n'est plus nécessaire au préalable d'augmenter la pression d'infusion (***fig. 3***). Les différentes étapes des chirurgies du pôle postérieur sont optimisées et la sécurité garantie.

Ainsi, la combinaison des trocarts valvés, des vitréotomes à double tête et de systèmes de gestion avancés des fluides a permis une nette amélioration en termes de sécurité et d'efficacité.

Les révolutions technologiques successives qui ont mené à la chirurgie vitréorétinienne moderne illustrent parfaitement la métaphore de Bernard de Chartres : "***Nanos gigantum umeris insidentes***" ou "**Des nains sur des épaules de géants.**" Ainsi, le jeune chirurgien rétinologue bénéficie du travail acharné des générations précédentes de chirurgiens et de chercheurs, qui, aidés par les laboratoires pharmaceutiques, ont œuvré sans relâche pour permettre une amélioration constante des technologies et des techniques opératoires.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Ribeiro L, Oliveira J, Kuroiwa D *et al.* Advances in vitreoretinal surgery. *Journal of Clinical Medicine*, 2022;11:6428.
2. Le décollement de la rétine, pathogénie-traitement. *JAMA Ophthalmology JAMA Network* [Internet]. [cited 2024 Nov 6]. Available from: https://jamanetwork.com/journals/jamaophthalmology/article-abstract/611699
3. Valamanesh F, Berdugo M, Sennlaub F *et al.* Effects of triamcinolone acetonide on vessels of the posterior segment of the eye. *Mol Vis*, 2009;15:2634-2648.
4. Hallali G, Le HM, Mière A *et al.* Foveolar triamcinolone deposit. *J Fr Ophtalmol*, 2022;45:1234-1235.
5. Lazzara F, Conti F, Ferrara M *et al.* Safety profile of lutein- *versus* triamcinolone acetonide–based vitreous staining. *Transl Vis Sci Technol*, 2023;125.
6. Veckeneer M, Mohr A, Alharthi E *et al.* Novel 'heavy' dyes for retinal membrane staining during macular surgery: multicenter clinical assessment. *Acta Ophthalmol*, 2014;92:339-344.
7. Romano MR, Ilardi G, Ferrara M *et al.* Macular peeling-induced retinal damage: clinical and histopathological evaluation after using different dyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2018;256(9):1573-1580.
8. Bergamo VC, Caiado RR, Maia A *et al.* Role of vital dyes in chromovitrectomy. *The Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 2021;10:26.
9. Cibis PA, Becker B, Okun E *et al.* The use of liquid silicone in retinal detachment surgery. *Arch Ophthalmol*, 1962; 68:590-609.
10. Tzoumas N, Yorston D, Laidlaw DAH *et al.* British and Eire Association of vitreoretinal surgeons and european society of retina specialists retinal detachment outcomes group. improved outcomes with heavy silicone oil in complex primary retinal detachment: A large multicenter matched cohort study. *Ophthalmology*, 2024;131: 731-740.
11. Meng Q, Zhang S, Cheng H *et al.* Long-term outcomes of Oxane Hd as intraocular tamponade in the treatment of complicated retinal detachment. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2010;248:1091-1096.
12. Fujii GY, de Juan E, Humayun MS *et al.* Initial experience using the transconjunctival sutureless vitrectomy system for vitreoretinal surgery1. *Ophthalmology*, 2002;109:1814-1820.
13. Williams GA. 25-, 23-, or 20-gauge instrumentation for vitreous surgery? *Eye*, 2008;22:1263-1266.
14. Mohamed S, Claes C, Tsang CW. Review of small gauge vitrectomy: progress and innovations. *J Ophthalmol*, 2017;2017:6285869.

**R. ADAM, G. HALLALI**
Hôpital des Quinze-Vingts, PARIS.

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