



M. ASSOULINE, L. BESSEDE, T. GUEDJ, C. JULLIEN, M. DE OLIVEIRA, C. SENG, A. HOFF  
Centre Iéna Vision et Clinique de la Vision, PARIS.  
dr.assouline@gmail.com

## Implants multifocaux : de la théorie à la pratique Étude rétrospective à propos de 2 099 cas

Dans les années 1980, Bill Isaacson (*fig. 1*), travaillant pour la compagnie 3M, mettait au point le premier modèle d'implant multifocal diffractif en prévision de l'opération de la cataracte que devait subir sa mère. Malgré une efficacité réfractive indéniable, ces implants multifocaux n'avaient pas eu initialement le succès escompté. À l'époque, de nombreux facteurs contribuaient à pénaliser le résultat optique et visuel de ce concept :

- les incisions larges requises par les implants rigides de 6 mm en PMMA favorisaient un astigmatisme élevé, irrégulier et instable ;
- les méthodes biométriques (échographie mode A) et de calcul de la puissance de l'implant étaient une source d'erreur réfractive résiduelle fréquente ;



Fig. 1 : Bill Isaacson, inventeur de l'implant diffractif.

– l'optique diffractive n'avait pas été optimisée pour la taille de la pupille et la précision de l'usinage des marches diffractives était imparfaite, générant des effets visuels indésirables dont certains patients ne parvenaient pas à se débarrasser (halos lumineux, éblouissements, perte de la sensibilité au contraste).

Depuis 35 ans, les progrès ont été très importants.

- La précision réfractive s'est améliorée du fait :
  - de la chirurgie par micro-incision étroite (1,8 mm) et implants souples injectables ;
  - de la biométrie optique et par échographie mode B ;
  - des formules de calcul optimisées par régression multivariable et, plus récemment, par intelligence artificielle pour les longueurs axiales ou les profondeurs de chambre antérieure inhabituelles ;
  - de la prise en compte éventuelle de la puissance optique de la face postérieure de la cornée et de l'asphéricité de sa face antérieure.

- L'efficacité multifocale a été optimisée par :
  - l'apodisation des réseaux diffractifs, permettant, en faisant varier la largeur et la hauteur des marches diffractives du centre vers la périphérie, de moduler l'intensité lumineuse transmise sur les foyers de près et de loin en fonction du diamètre de la pupille afin de favoriser la vision de près à pupille étroite et de préserver l'acuité de loin en pupille large mésopique ;
  - l'amélioration du profil des marches diffractives et de la finition de surface des implants (dont certains sont à présent fabriqués avec une précision de l'ordre du nanomètre), afin de réduire les effets photiques visuels indésirables.

Les experts de la chirurgie réfractive de la cataracte ont progressivement élargi leurs indications et préconisent les implants multifocaux dans 50 à 80 % des cas (en l'absence de

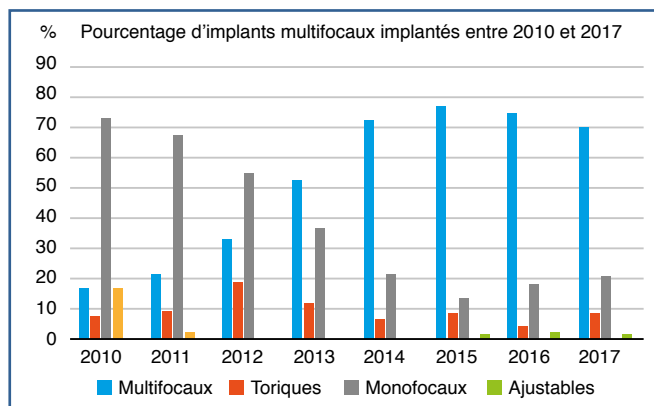


Fig. 2 : Courbe personnelle d'adoption des implants multifocaux. © M. Assouline (n = 3 151).

contre-indication neuro-rétinienne), pour la plus grande satisfaction de leurs patients (fig. 2).

Malgré ces progrès significatifs et une large adoption par les chirurgiens spécialisés, la part de marché des implants multifocaux demeure assez limitée, inférieure à 6-8 % en France (sur 800 000 cas de cataracte opérés par an) et moins de 1 % dans le monde.

Curieusement, les implants multifocaux ne sont toujours pas pris en charge par l'Assurance maladie ou complémentaire, contrairement aux verres progressifs, beaucoup plus coûteux. Le reste à charge du supplément de prix assumé par les patients (entre 0 et 350 euros en France, soit 165 euros en moyenne) semble en effet relativement négligeable au regard d'une indépendance souvent totale vis-à-vis d'une correction optique après l'intervention – non seulement de loin comme avec un implant standard, mais aussi pour la vision de près à 35 cm (lecture) ou en vision intermédiaire à 65 cm (travail sur écran, partitions de musique, smartphones, tablettes, peinture, sculpture...), un bénéfice non négligeable en termes de qualité de vie.

Si le prix de ces implants multifocaux peut sembler un obstacle financier, on constate en réalité que, dans la grande majorité des cas, ce sont les chirurgiens qui s'abstiennent de les proposer à leurs patients. Les patients eux-mêmes demandent pourtant de plus en plus souvent ce type de correction lorsqu'ils en ont entendu parler (média, web, voisins, proches, salle d'attente...), afin de pouvoir vivre plus confortablement "sans lunettes".

Nombre de chirurgiens manifestent toujours une certaine défiance vis-à-vis des résultats publiés [1-6], craignent parfois les difficultés de mise en œuvre spécifiques aux implants multifocaux ou redoutent de se voir imposer par les patients une obligation de résultat qu'ils ne se sentent pas capables

d'assumer. La satisfaction des patients après implants multifocaux dépend en effet de l'obtention effective de l'emmétropie avec absence d'astigmatisme résiduel (succès objectif), mais aussi d'une bonne adéquation entre les attentes et les résultats fonctionnels de l'intervention (succès subjectif), favorisée par un accompagnement pré- et postopératoire optimal du patient par son chirurgien. Par manque d'expérience ou plus rarement de compréhension du fonctionnement optique de ces implants, les chirurgiens non spécialisés ne sont pas toujours à l'aise avec le choix des implants proposés par les fabricants. L'approche *mix & match*, qui consiste à combiner 2 implants multifocaux aux propriétés optiques complémentaires et optimise leur efficacité binoculaire tout en contribuant à réduire les risques d'effets visuels indésirables, peut leur sembler souvent peu naturelle ou trop complexe.

Nous présentons ici notre expérience personnelle de 2099 cas d'implants multifocaux afin de contribuer à démystifier ces nombreux *a priori* et à donner les clés d'un choix pertinent des implants pour les praticiens.

## ■ Modèles d'implants et évaluation théorique par simulation numérique Zemax – Ray tracing

Il est assez difficile pour un clinicien d'appréhender les différences de concepts et de designs optiques des implants multifocaux. Si le principe général est toujours le même (séparation de la lumière entrante et distribution sur 2 ou plusieurs foyers), les perfectionnements récents de ces optiques sont difficiles à quantifier sur le plan de leur efficacité visuelle. Les implants diffractifs utilisés dans cette étude (fig. 3) diffèrent sensiblement par leur structure optique.

L'AT Lisa bifocal (Zeiss) et le FineVision trifocal (Bausch + Lomb) ont une structure diffractive apodisée qui s'étend du centre jusqu'au bord périphérique de l'optique (6 mm). La réduction de la hauteur et de la largeur des marches diffractives vers la périphérie favorise la vision de près en myopie et la vision de loin en mydriase.

Les implants plus récents, le Medicontur Liberty BF677MY et l'Alcon PanOptix, également apodisés, ont une structure diffractive qui est restreinte au centre de l'optique sur un diamètre respectif de 3 mm (Medicontur Liberty) et de 4,5 mm (Alcon PanOptix) (tableau I). Ce choix technique est cohérent avec le réflexe d'accommodation-convergence-myopie. La multifocalité diffractive de l'implant n'est en effet utile en pratique que pour la vision de près et la vision intermédiaire

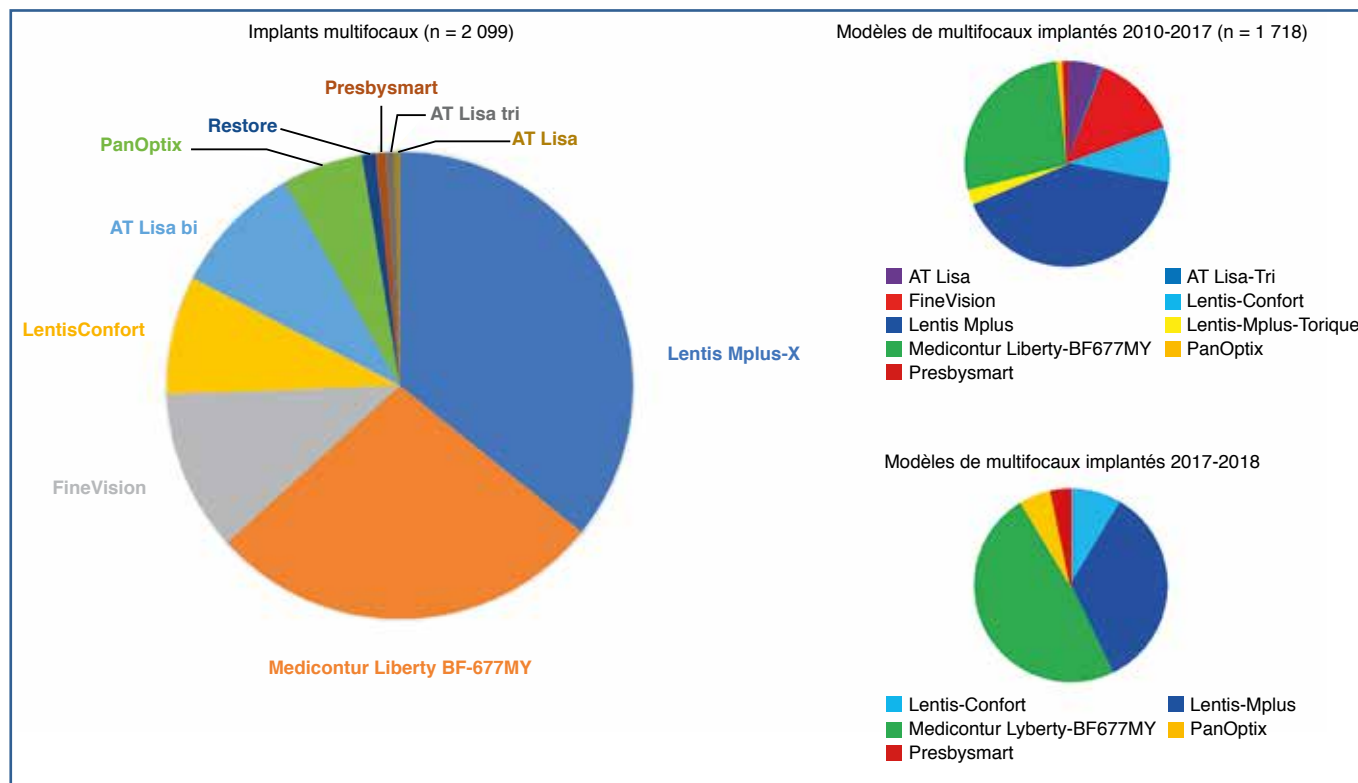


Fig. 3 : Modèles d’implants multifocaux étudiés dans cette série.

Implants trifocaux	Liberty (Medicontur)	FineVision (PhysIOL)	PanOptix (Alcon)
Technologie	Diffractive-refractive trifocale	Diffractive trifocale	Diffractive quadrifocale
Apodisation	✓	✓	✓
Marches diffractives	7	20	15
Ordres diffractifs	1 (1st)	2 (1st; 2nd)	3 (1 désactivée)
Surface diffractive	3 mm	5,5 mm	4,5mm
Perte lumineuse	11 %	14 %	12 %
Distribution énergie VL/VI/VP @ Pupille 3.0 mm	53% / 14% / 33%	49% / 18% / 33%	42% / 24% / 22%
Addition	+1,75 D et +3,50 D	+1,75 D et +3,50D	+2,17D et +3,25D
Torique	✓	✓	✓
Distance lecture	37,5 cm	37,5 cm	40 cm
Aberration sphérique	Neutre	-0,11 µm SA	-0,20 µm SA
Matériau	HL acrylique (25)	HL acrylique (25)	HB acrylique
Réduction des aberrations chromatiques (nb d'Abbe)	58	58	37

Tableau 1 : Caractéristiques optiques comparées des 3 implants multifocaux étudiés.

au travers d'une pupille de taille réduite. La vision de loin à pupille dilatée sera donc mieux préservée par la transmission d'une intensité lumineuse plus importante sur le foyer de loin, notamment pour la vision nocturne.

Les principes de correction optique multifocale de la vision intermédiaire diffèrent pour les 4 implants récents :

- L'optique réfractive asymétrique du Lentis-Mplus X-MF30 (Oculentis) comporte, juxtaposée à l'optique principale dédiée à la vision de loin, une zone optique coaxiale segmentaire inférieure responsable d'une combinaison d'aberration sphérique et de coma capables de défocaliser la lumière entrante de façon semi-continue (transitionnelle), très similaire au profil obtenu après presbyLasik.

- L'optique du FineVision (PhysIOL) comprend 2 réseaux diffractifs superposés; le second récupère l'énergie perdue (harmoniques) du premier pour dispenser environ 17 % de l'énergie lumineuse incidente (pour une pupille de 3 mm) sur le foyer intermédiaire.

- L'optique du Liberty (Medicontur) superpose un réseau diffractif simple apodisé, composé seulement de 7 marches diffractives, avec une modification de surface réfractive destinée à optimiser la profondeur de champ; grâce à un usinage dont la précision a été améliorée pour atteindre l'ordre du nanomètre, chaque marche diffractive est pourvue d'une modification de courbure asphérique destinée à augmenter la profondeur de champ (technologie PAD); il résulte de cette géométrie un décalage spatial réfractif du réseau diffractif (EPS pour *Elevated Phase Shift*), proportionnel à l'excentricité, qui contribue à défocaliser 11 à 14 % de la lumière incidente, selon le diamètre de la pupille, pour le foyer dédié à la vision intermédiaire.

- L'optique du PanOptix (Alcon) combine des réseaux diffractifs pour créer 4 foyers, dont l'un est désactivé pour laisser un système trifocal.

Ces implants diffèrent également par leur design géométrique (*fig. 4*) :

- L'implant AT Lisa bifocal (Zeiss) est une navette monobloc simple non angulée à 4 points d'appui.

- L'implant Lentis-Mplus est également une navette plus épaisse, à 2 haptiques ajourées formant 4 points d'appui, en matériau hydrophile Benz25 avec modification hydrophobe de la surface et bords carrés.

- L'implant FineVision (PhysIOL) est un implant hydrophile à 4 haptiques ajourées à 4 points d'appui, angulé de 5° et à bords carrés.

- L'implant Liberty (Medicontur) est une lentille hydrophile (matériau classique Benz 25) pourvue d'un filtre jaune naturel très sélectif pour éviter l'altération de la perception des couleurs et présentant le plus faible niveau d'aberration chromatique actuel (nombre d'Abbe de 59, le plus élevé du marché). Son index réfractif très bas réduit le risque de dysphotopies. L'optique présente des bords carrés très "affûtés" grâce à un usinage direct sans polissage sur 360°, y compris à la jonction avec les haptiques pour la prévention de l'opacification capsulaire postérieure. Cet implant se distingue par ses 2 anses en J avec double arc fermé et courbe-enveloppe de 13 mm, compatible aussi bien avec des petits sacs capsulaires qu'avec une implantation en position ciliaire. L'angle de contact équatorial des haptiques est très augmenté (90° pour un sac de 9 mm, contre 40 à 70° pour les implants classiques). Son asphéricité est neutre.

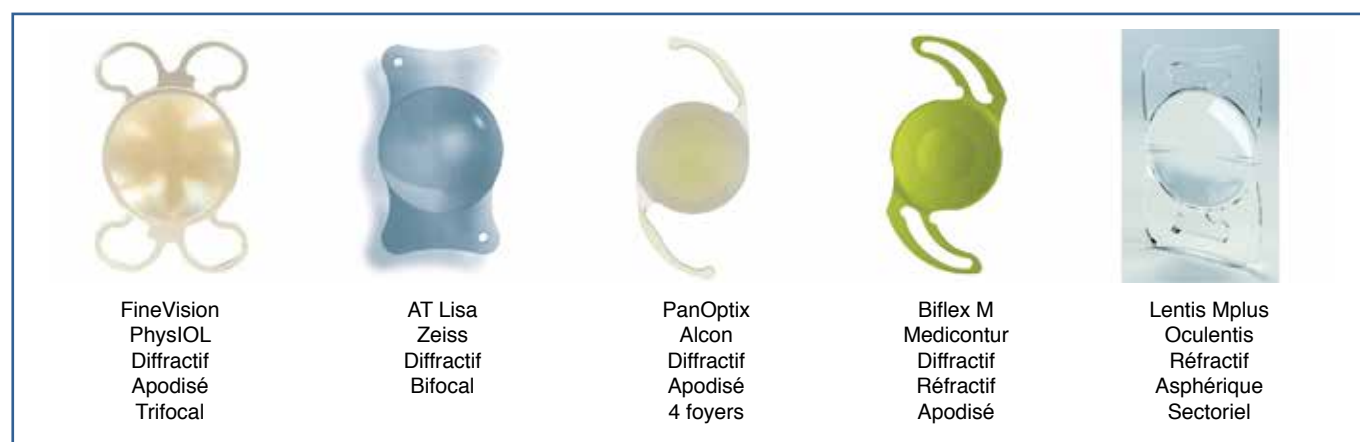
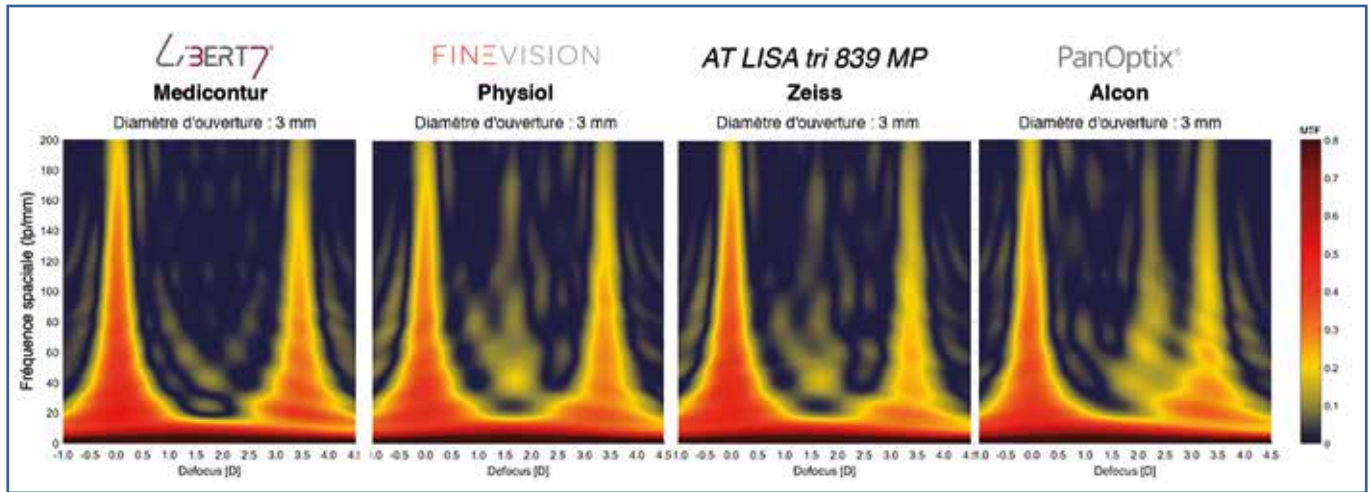


Fig. 4 : Géométrie comparée des principaux implants multifocaux étudiés.

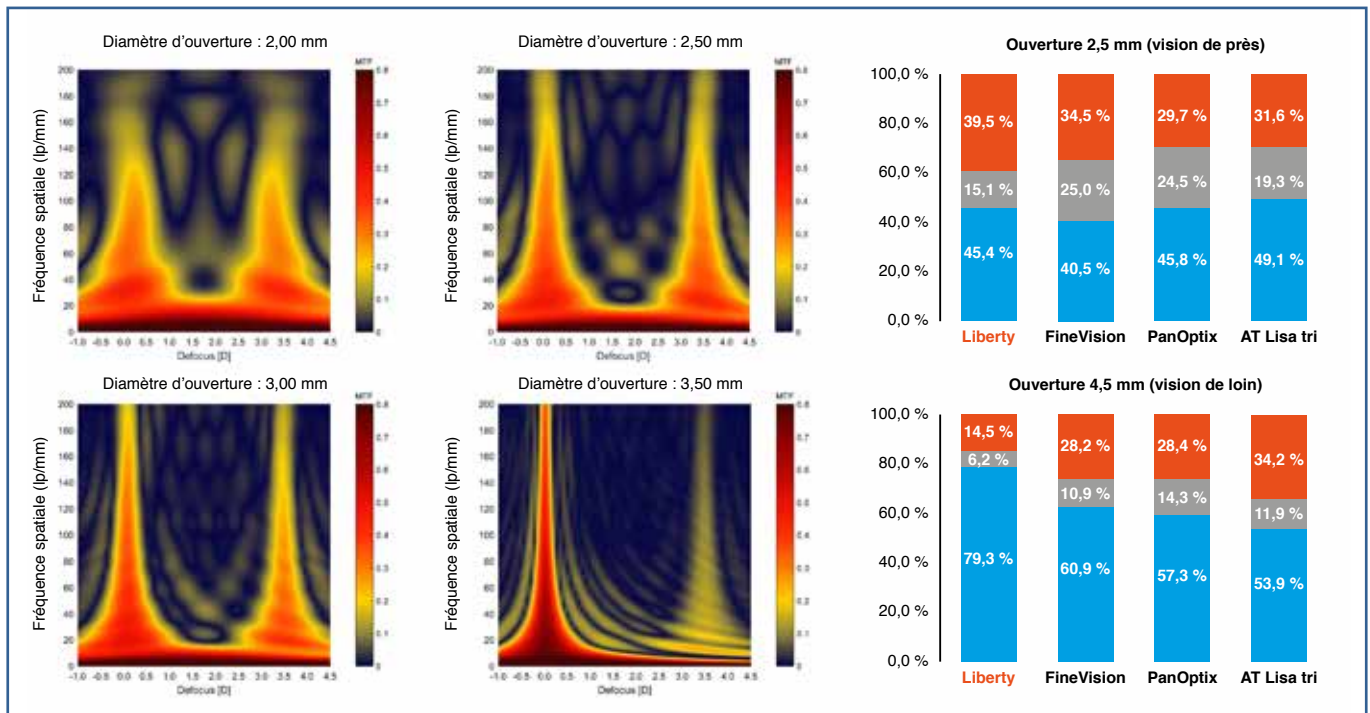
Les systèmes de *ray tracing* avancés, tel le studio optique Zemax, permettent de modéliser le comportement des rayons lumineux au travers des optiques multifocales afin d'en préciser les caractéristiques.

L'analyse par cartographie tridimensionnelle (*Zemax ray tracing mapping 3D*) de la distribution de l'énergie lumineuse

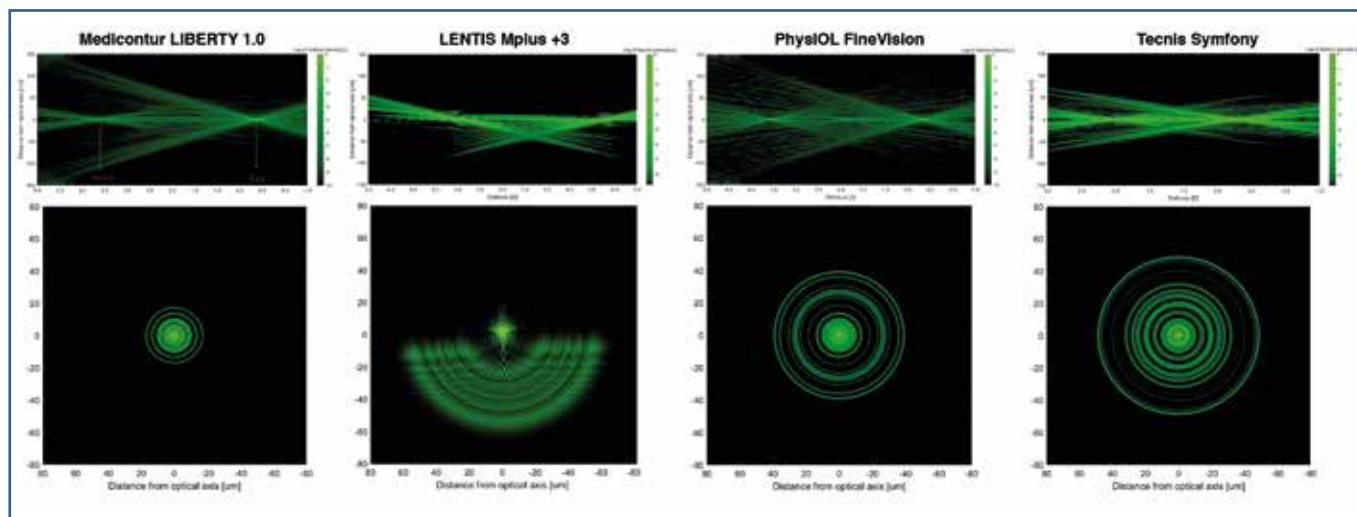
théorique permet de représenter la fonction de modulation de transfert (MTF, déterminant la sensibilité au contraste) sous forme d'une intensité colorée en fonction de la fréquence spatiale et de la défocalisation. Un pic plus ample, plus étroit et plus "chaud" suggère une meilleure performance visuelle. Les **figures 5 et 6** permettent de comprendre que chaque implant multifocal réalise un compromis variable, expliquant



**Fig. 5 :** Analyse par cartographie tridimensionnelle (*Zemax mapping 3D ray tracing*) de la distribution de l'énergie lumineuse théorique en fonction du modèle d'implant pour une pupille d'entrée de 3 mm. La fonction de modulation de transfert (MTF) est représentée sous forme d'une intensité colorée en fonction de la fréquence spatiale et de la défocalisation. Un pic plus ample, plus étroit et plus "chaud" suggère une meilleure performance visuelle (*source : Medcontur*).



**Fig. 6 :** Analyse par cartographie tridimensionnelle (*Zemax mapping 3D ray tracing*) des MTF de l'implant Medcontur pour une pupille d'entrée de 2,00, 2,50, 3,00 et 4,50 mm. Analyse de la distribution de l'énergie lumineuse théorique en fonction du modèle d'implant pour une pupille d'entrée de 2,25 et de 4,50 mm. La zone réfractive non diffractive périphérique de l'implant Liberty permet de dédier 79,3 % de la lumière entrante pour la vision de loin en pupille mésopique (*source : Medcontur*).



**Fig. 7 :** Simulation des effets photiques par ray tracing Zemax pour 4 modèles d'implants multifocaux avec une pupille de 4,5 mm. La zone périphérique réfractive non diffractive de l'implant Liberty permet de limiter la dispersion antérograde des rayons lumineux responsables de halos (implants diffractifs) ou d'une coma avec aberration sphérique (implant réfractif asymétrique) (source : MediconTur).

des performances légèrement différentes. Le point le plus notable est que l'extension de la zone diffractive à la périphérie de l'implant limite sa qualité optique pour une pupille d'entrée plus large, par exemple en situation mésopique. L'autre point intéressant est que les différents systèmes destinés à favoriser la vision intermédiaire sans sacrifier la vision de loin et de près utilisent une proportion assez faible de la lumière entrante (de 11 à 17 %) pour une efficacité clinique tout de même très appréciable.

Le système de ray tracing Zemax permet également de modéliser les effets visuels photiques indésirables générés par ces implants multifocaux. La **figure 7** permet de visualiser la dispersion des rayons lumineux entrants, dont la section transversale illustre théoriquement la formation de halos (modèles diffractifs) ou d'aberrations optiques d'ordre supérieur (coma et aberration sphérique pour l'implant réfractif asymétrique).

## II Étude clinique

### 1. Patients et méthodes

Nous avons comparé rétrospectivement les résultats de 5 implants multifocaux dans une série consécutive de 2099 yeux, opérés par l'auteur.

1. Bifocal diffractif apodisé: AT Lisa Bifocal de Zeiss (n = 193);

2. Réfractif asphérique sectoriel: Lentis-Mplus X MF30 d'Oculentis/Topcon (n = 751);

3. Trifocal diffractif (double réseau): FineVision de PhysiOL (n = 234);

4. Diffractif/réfractif (*Elevated phase shift*, profondeur de champ améliorée): Liberty Biflex 677MF de MediconTur (n = 577);

5. Quadrifocal avec un ordre désactivé: PanOptix d'Alcon (n = 117).

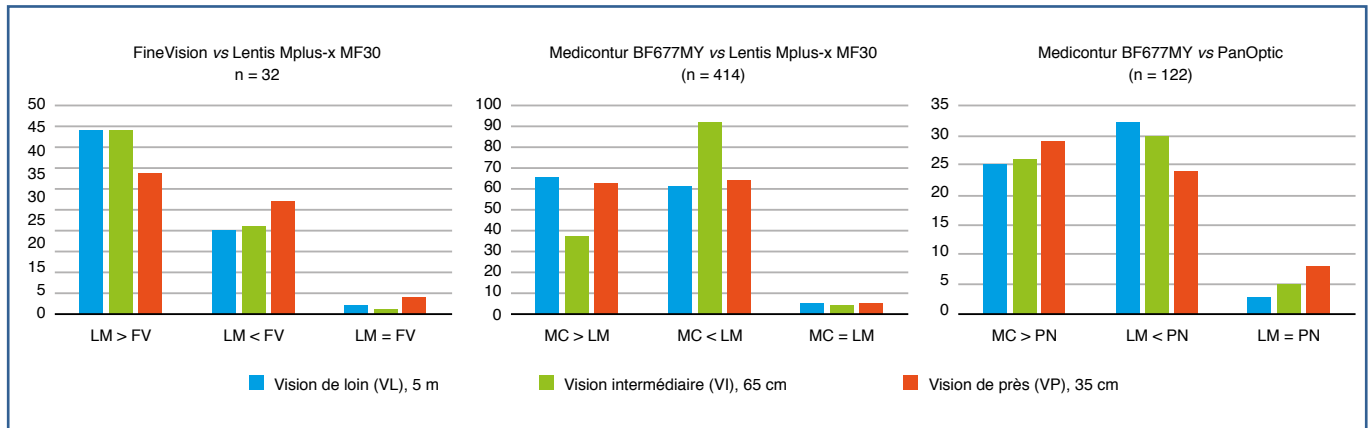
La majorité des patients (83 %) ont eu 2 implants différents sur les 2 yeux (approche *mix & match*).

Les implants multifocaux totalisant moins de 100 cas (Restor, Technis, PresbySmart, AT Lisa Trifocal...) et les semi-multifocaux (Lentis-Confort-MF15, n = 172), accommodatifs, ajustables à la lumière ou asphériques sur mesure ont été exclus de cette analyse.

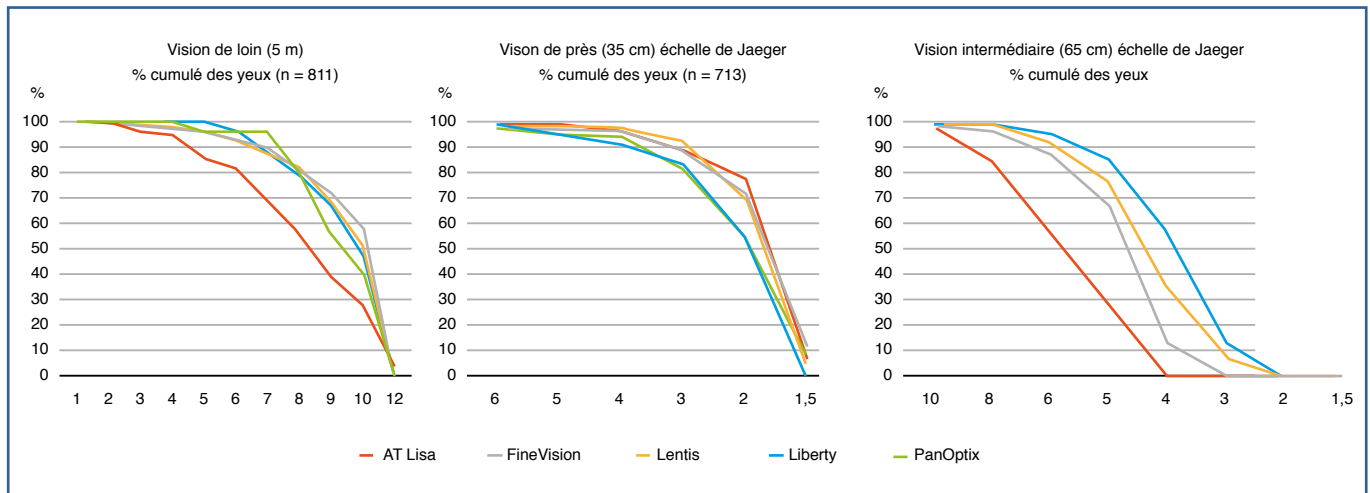
### 2. Résultats réfractifs et fonctionnels

Les résultats réfractifs et fonctionnels actualisés de cette étude, que nous avons publiée à plusieurs reprises, sont présentés dans les **figures 8 à 10**.

Les implants plus récents (Lentis, FineVision, Liberty et PanOptix) permettent d'obtenir une meilleure acuité visuelle intermédiaire à 65 cm non corrigée que l'implant bifocal classique (AT Lisa Bifocal). Ce que confirment les courbes de défocalisation monoculaires et binoculaires ainsi que les tests de préférence binoculaire subjective.



**Fig. 8 :** Préférence subjective de 3 implants étudiés en *mix & match*, en % des yeux appariés (n = 668). L'implant réfractif Lentis paraît préféré dans les 3 domaines de vision par rapport à l'implant FineVision, mais seulement en vision intermédiaire par rapport à l'implant Liberty. L'implant Liberty semble préféré plus souvent en vision de près par rapport à l'implant Panoptix et moins souvent en vision de loin. Cette préférence subjective est différente de l'acuité mesurée objectivement dans les différents domaines de vision (fig. 9).



**Fig. 9 :** Acuité monoculaire non corrigée à 5 m (décimale), 35 cm et 65 cm (Parinaud), en % d'yeux cumulés (n = 811). L'implant AT Lisa bifocal semble aussi efficace en vision de près, mais moins en vision de loin et, surtout, en vision intermédiaire par rapport aux implants trifocaux récents (Liberty, FineVision et PanOptic) et à l'implant réfractif (Lentis Mplus). Au total, 88 % des yeux obtiennent P4 à 65 cm avec l'implant Liberty, contre 50 % avec l'implant Lentis Mplus, 42 % avec le PanOptic, 14 % avec le FineVision et 0 % avec l'AT Lisa Bifocal.

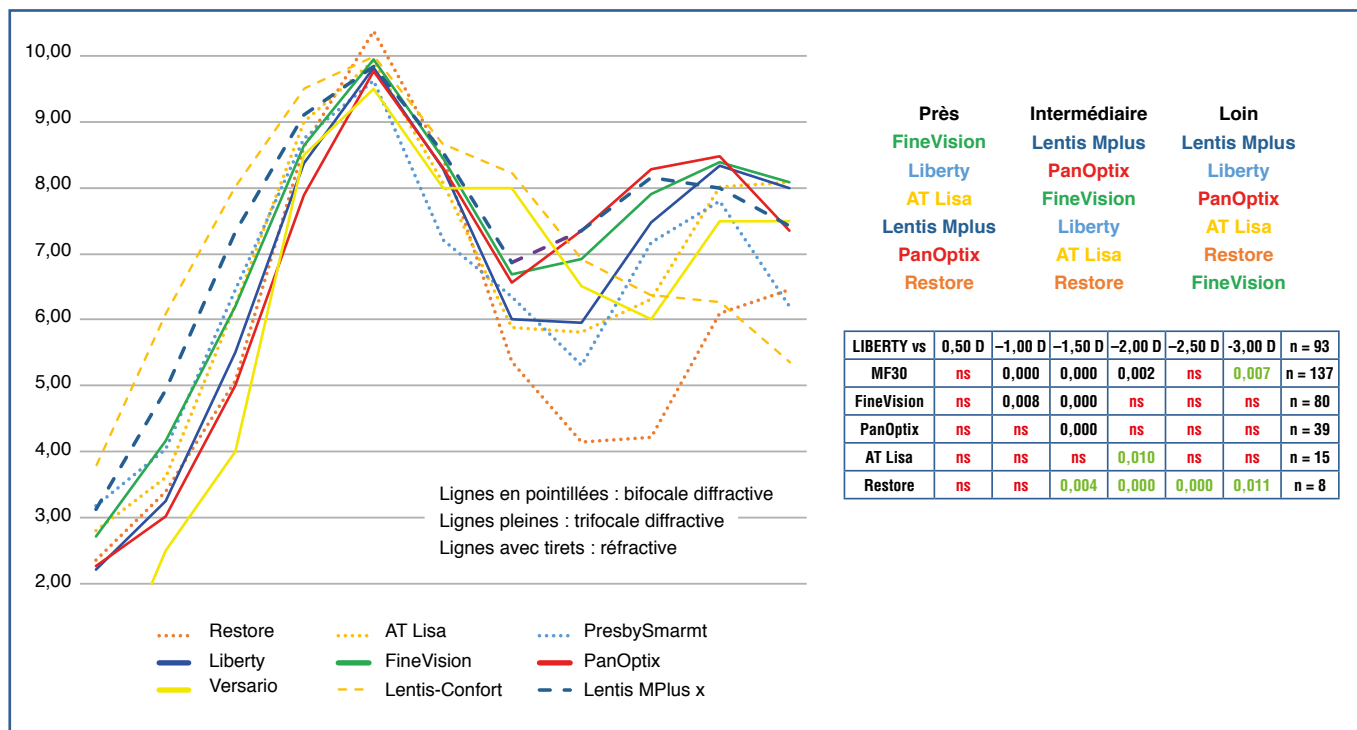
Ces méthodes d'évaluation clinique subjectives et objectives des performances des implants ne sont cependant pas concordantes, ce qui suggère la participation de mécanismes de neuro-adaptation. Pour l'appréciation de la vision intermédiaire, notamment, la mesure de l'acuité visuelle monoculaire non corrigée semble plus favorable à l'implant Liberty, tandis que les courbes de défocalisation et la préférence subjective semblent donner l'avantage à l'implant Lentis-Mplus.

Les caractéristiques de ces implants suggèrent l'intérêt de combiner ces implants entre eux en choisissant un implant plus favorable à la vision de loin sur l'œil dominant (Lentis, PanOptic, Medicontur) et un implant plus favorable

à la vision de près sur l'œil non dominant (Medicontur, FineVision, AT Lisa).

Les implants Medicontur Liberty et Alcon PanOptic semblent actuellement les plus polyvalents et peuvent sans doute être utilisés chacun de façon binoculaire avec une excellente efficacité sur les 3 domaines de la vision.

Les implants diffractifs favorisent la perception de halos lumineux en vision nocturne, peu gênants et limités aux premières semaines postopératoires dans la majorité des cas, sans différence notable entre les implants. L'implant réfractif asphérique crée une coma responsable d'une double image



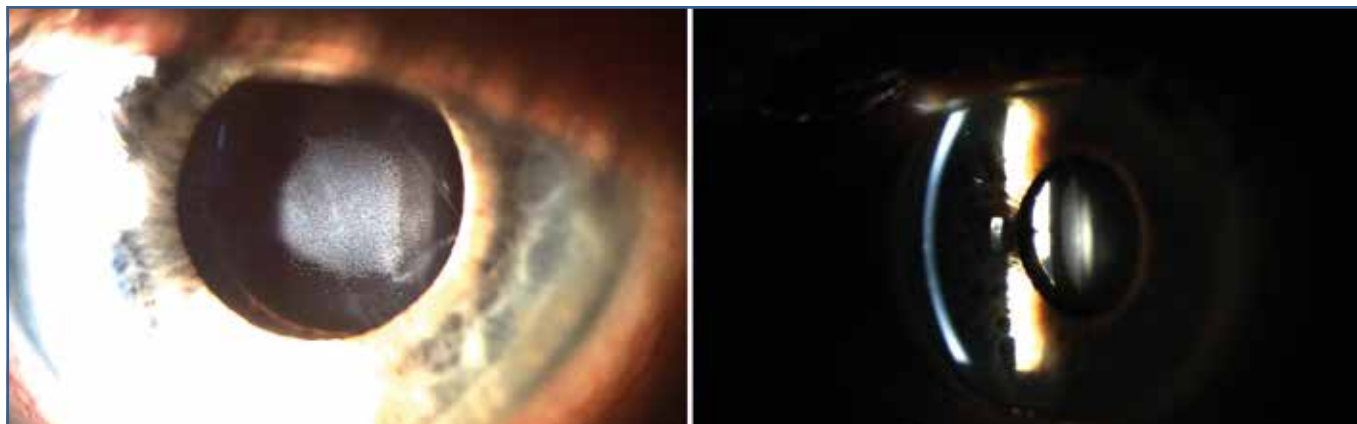
**Fig. 10 :** Courbes de défocalisation monoculaire (n = 372). Les implants bifocaux (ATLisa et Restore) apparaissent moins performants en vision intermédiaire. L'implant Liberty est statistiquement meilleur que les implants ATLisa et Restore entre -1,50 et -2,50 D, et meilleur que l'implant LentisMplus en vision de près à -3 D. L'implant LentisMplus, l'implant FineVision et l'implant Panoptix sont statistiquement meilleurs que l'implant Medicontur entre -1 et -2 D de défocalisation. Ces courbes de défocalisation ne reflètent pas totalement la préférence subjective (fig. 8) et l'acuité non corrigée monoculaire observées (fig. 9).

inférieure atténuée. La vision de près nécessite un éclairage suffisant pour les petits caractères.

### 3. Résultats anatomiques

Sur 901 cas de Lentis-MPlus X et Lentis Confort implantés, nous avons observé 4 cas de calcification progressive de la surface de l'implant – cela a nécessité un échange d'implant

dans 2 cas, soit 0,22 % (fig. 11). Ce problème a déjà été rapporté pour de nombreux implants et pour ce modèle depuis 2014 [7]. Il serait favorisé par la réalisation d'une vitrectomie, par certains médicaments ou par une injection de gaz (DMEK) [8]. L'incidence rapportée par le laboratoire serait de 0,32 % avec un temps moyen d'apparition de l'ordre de 38 mois. En 2017, le laboratoire a émis une alerte sur les lots dont le numéro commence par les lettres L-, LU- et LS-, et



**Fig. 11 :** Calcification d'un implant Lentis Mplus 4 ans après implantation et avant explantation. Baisse d'acuité visuelle à 4/10. Échange d'implant sans difficulté particulière et récupération d'une acuité visuelle de 9/10 sans correction.



dont la date d'expiration était comprise entre janvier 2017 et mai 2020. Un agent nettoyant utilisé dans le processus industriel et contenant du phosphate a été mis en cause.

## ■ Conclusion

Les résultats objectifs et subjectifs des implants multifocaux les plus récents apportent aux patients un gain d'autonomie visuelle et de qualité de vie avec une constance et une sécurité qui justifient amplement d'inciter les chirurgiens français à changer leurs habitudes.

*Article présenté en partie à l'Asia-Pacific Academy of Ophthalmology (APAO Hong Kong, février 2018, Prix de la meilleure communication scientifique, et APAO Bangkok, mars 2019).*

## Bibliographie

1. DUNAI AF, KRANITZ K, JUHASZ E *et al.* (Hungary). Comparison of two multifocal IOL types (50 Bi-Flex 677MY and 50 AcrySof IQ) – long-term visual outcome. *ESCRS*, 2016, 2017.
2. VAN ACKER E. Comparison of clinical outcomes and patient satisfaction after implantation of two different types of diffractive apodized IOLs: 40 Bi-Flex 677MY, 40 FineVision (Micro F) trifocal diffractive IOL. Prospective, randomized, observational study. *ESCRS*, 2017.
3. GYORI J. Long term functional and morphological outcomes and patient satisfaction after cataract surgery with 100 Bi-Flex 677MY implantation with/without posterior central circular capsulorhexis (PCCC). *ESCRS*, 2016, 2017.
4. DEXL A. Visual outcome, patient satisfaction and spectacle independency after implantation of 50 eyes with progressive Bi-Flex 677MY. Final result of a multicentric trial with 50 consecutive patients. *ESCRS*, 2015.
5. LAW E, BUCKHURST P, BUCKHURST H *et al.* Randomized clinical trial of the biflex multifocal IOL. *ESCRS*, 2017.
6. FERNÁNDEZ J, RODRÍGUEZ-VALLEJO M, TAUSTE A *et al.* Visual performance of patients implanted with Bi-Flex 677M7 analyzed by the Qvision iPad Multifocal Lens Analyzer. *ESCRS*, 2017.
7. GARTAGANIS SP, PRAHS P, LAZARI ED *et al.* Calcification of hydrophilic acrylic intraocular lenses with a hydrophobic surface: laboratory analysis of 6 cases. *Am J Ophthalmol*, 2016 Aug;168:68-77.
8. DE COCK R, FAJGENBAUM MAP. Calcification of Rayner hydrophilic acrylic intra-ocular lenses after Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty. *Eye*, 2014;28:1383.

L'auteur est consultant pour Medicontur International et pour Medicontur France, et ne présente pas d'autre intérêt financier dans les produits cités dans cet article.