



# *Les Verres Progressifs*

# Sommaire

Sommaire	p.3
Introduction	p.5
<b>1</b> Concept de verres progressifs	
A Principe de base du verre progressif	p.6
B Avantages des verres progressifs	p.8
<b>2</b> Physiologie visuelle et verres progressifs	
A En vision fovéale	p.9
B En vision périphérique	p.10
C En vision binoculaire	p.11
<b>3</b> Conception des verres progressifs	
A Principes de conception des verres ophtalmiques	p.12
B Conception des verres progressifs	p.14
<b>4</b> Description et contrôle des verres progressifs	
A Représentation graphique des verres progressifs	p.17
B Mesure et contrôle des surfaces progressives	p.19
<b>5</b> Fabrication des verres progressifs	
A Fabrication des surfaces progressives	p.22
B Optimisation de la géométrie des verres progressifs finis	p.23
<b>6</b> Evolution des verres progressifs	
1 <sup>ère</sup> génération : le « premier » verre progressif	p.25
2 <sup>ème</sup> génération : le verre progressif « à modulation optique »	p.26
3 <sup>ème</sup> génération : le verre progressif « multi-design »	p.27
4 <sup>ème</sup> génération : le verre progressif « à vision naturelle »	p.28
5 <sup>ème</sup> génération : le verre progressif « à champ de vision élargi »	p.31
6 <sup>ème</sup> génération : le verre progressif « à haute résolution »	p.34
Une nouvelle dimension : le verre progressif « personnalisé »	p.37
Conclusion	p.39

# Introduction

Depuis leur introduction par Essilor en 1959, les verres progressifs se sont peu à peu imposés comme les verres les plus performants pour corriger la presbytie. Grâce à leur faculté à assurer une vision nette et confortable à toutes les distances, ils ont peu à peu remplacé et supplanté les verres bifocaux et se substituent de plus en plus souvent aux simples verres unifocaux de vision de près.

Aujourd'hui, une personne sur quatre dans le monde est presbyte, soit une population de plus de 1.5 milliard d'individus. Moins de la moitié sont corrigés. Parmi eux, un peu plus de 25 % porte des verres progressifs, moins de 25 % des verres bifocaux et encore près de 50 % des verres unifocaux. Une grande disparité s'observe d'un pays à l'autre mais l'usage des verres progressifs est partout en croissance.

Avec l'accroissement attendu de la population et son vieillissement, les presbytes seront de plus en plus nombreux dans les années à venir. Le marché des verres pour presbytes va continuer à croître et la substitution des verres bifocaux et unifocaux par les verres progressifs va se poursuivre. Les verres progressifs sont donc toujours promis à un bel avenir.

Ce volume des Cahiers d'Optique Oculaire d'Essilor détaille les concepts techniques et physiologiques entrant dans la conception des verres progressifs et en présente les évolutions technologiques, depuis leur première réalisation jusqu'aux plus récentes innovations.



Fig. 1 : Les presbytes : une population en croissance.

# 1. Concept

## de verres progressifs

### A Principe de base

Un verre progressif est un verre dont la puissance augmente de manière continue entre le haut et le bas, entre une zone supérieure destinée à la vision de loin et une zone inférieure destinée à la vision de près. Cette progression est obtenue par une variation continue de la courbure du verre. Comparons-en le principe de conception avec celui des verres unifocaux et bifocaux.

La surface d'un verre unifocal consiste en une sphère de rayon approprié générant une correction pour la vision de près seulement (figure 2a). Puisque le verre focalise l'œil au près, la vision est floue dès que le porteur lève les yeux pour regarder de loin. De plus, ce verre n'offre pas de correction spécifique pour la vision intermédiaire dont le porteur ne profitera que tant que son amplitude d'accommodation sera suffisante (figure 3a).

Dans un verre bifocal, une sphère de vision de loin de grand rayon et une sphère de vision de près de petit rayon sont juxtaposées et reliées par une simple marche qui crée une ligne de séparation visible (figure 2b). La figure 3b représente un sujet dont l'amplitude d'accommodation restante est de 1.50 D et porte un verre bifocal d'addition 2.00 D : on y remarquera l'absence de champ de vision à distance intermédiaire entre 50 cm et 67 cm.

Dans un verre progressif, la courbure augmente de manière continue entre la zone de vision de loin et la zone de vision de près offrant une vision nette à toutes les distances intermédiaires. Elle est obtenue par une succession de courbes horizontales qui s'échelonnent, sans séparation visible, depuis la zone supérieure de vision de loin jusqu'à la zone inférieure de vision de près en passant par une zone intermédiaire (figure 2c). Le porteur bénéficie ainsi d'une vision continue depuis le loin jusqu'au près (figure 3c).

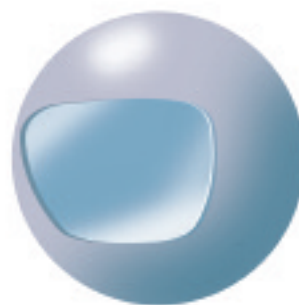


Fig. 2a : Verre unifocal.

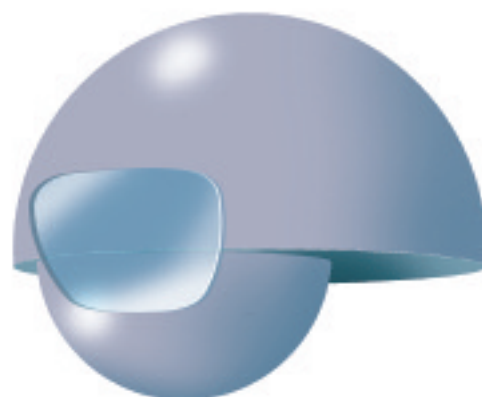


Fig. 2b : Verre bifocal.

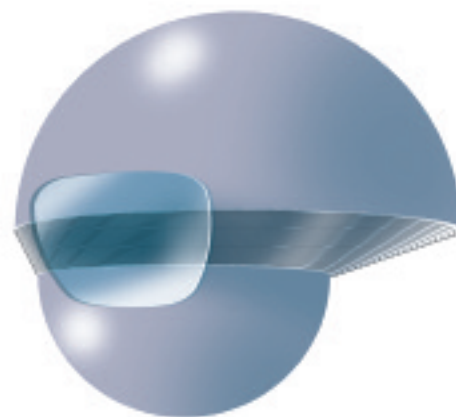


Fig. 2c : Verre progressif.

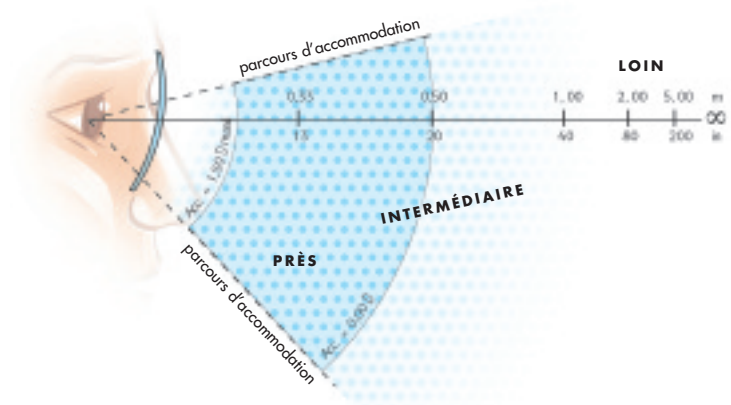


Fig. 3a : Unifocal de puissance +2.00.

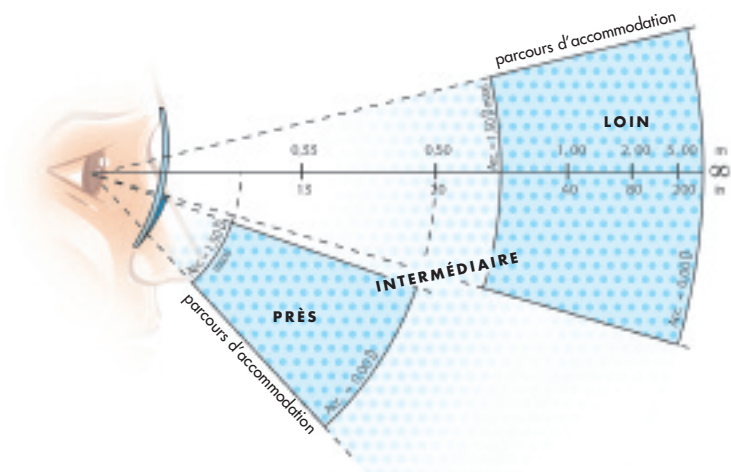


Fig. 3b : Bifocal d'addition 2.00.

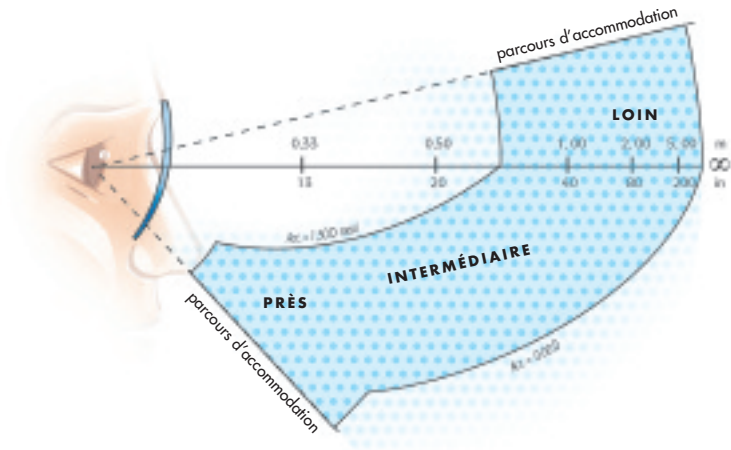


Fig. 3c : Progressif d'addition 2.00.

## B Avantage des verres progressifs

Comparé aux verres unifocaux et bifocaux, les verres progressifs offrent au presbyte les avantages suivants :

Un champ de vision nette continu depuis la vision de loin à celle de près : le verre unifocal limite le champ de vision nette à la seule zone de vision de près et le bifocal crée deux champs de vision distincts l'un pour la vision de loin, l'autre pour la vision de près.

Une vision confortable aux distances intermédiaires (50 cm à 1,50 m) car le verre progressif est le seul à posséder une zone de puissance spécialement dédiée à la vision à ces distances. Aux premiers stades de la presbytie – additions inférieures à 1.50 D -, les porteurs d'unifocaux et de bifocaux bénéficient encore d'une vision nette à ces distances : leur amplitude d'accommodation est encore suffisante pour mettre au point sans correction ou à travers leur correction de vision de loin et leur addition est encore suffisamment faible pour ne pas brouiller leur vision à ces distances. En revanche, dès que la presbytie devient plus importante - additions supérieures à 2.00 D -, la vision nette aux distances intermédiaires n'est plus possible : l'amplitude d'accommodation est devenue trop faible pour mettre au point sans correction de vision de près et l'addition est devenue trop forte pour permettre encore une vision nette à ces distances. Seul le verre progressif permet encore une vision confortable aux distances intermédiaires.

Un soutien continu de l'accommodation et adapté à la distance de vision : dans un verre progressif l'œil trouve, le long de la progression, la puissance en parfaite adéquation avec la distance à laquelle il regarde. Dans un verre unifocal, l'accommodation n'est suppléée que pour la vision de près seulement. Dans un verre bifocal, l'œil connaît des changements brutaux d'amplitude d'accommodation passant deux fois de l'état de repos à l'amplitude maximale entre la vision au loin et la vision de près.

Une perception continue de l'espace assurée par des changements graduels de puissance dans toutes les directions : le verre unifocal ne permet pas une réelle perception de l'espace car il limite la vision à l'espace rapproché ; le bifocal partage l'espace en deux parties et en altère la perception : les lignes horizontales et verticales apparaissent brisées et il se produit un saut d'image à la limite séparant les zones de vision de loin et de près.

### Limites des verres progressifs :

Si les verres progressifs possèdent de nombreux avantages ils comportent aussi quelques limites. En effet, les lois de la physique ont pour conséquence que toute variation de la courbure d'une surface continue donne inévitablement naissance à des aberrations optiques. C'est ainsi que tous les verres progressifs possèdent des variations indésirables de sphère et de cylindre dans leurs parties latérales. L'art du concepteur est de gérer et contrôler au mieux ces aberrations en fonction de sa connaissance de la physiologie de la vision et de ses moyens de conception et de calcul des surfaces.



a) A travers la zone de vision de loin d'un bifocal.



b) A travers la zone de vision de près d'un bifocal.



c) A travers la zone de vision intermédiaire d'un verre progressif.

Fig. 4 : Vision à distance intermédiaire.

# 2. Physiologie visuelle

## et verres progressifs

Le verre progressif a non seulement pour rôle de redonner au presbyte la capacité de voir nettement à toutes les distances mais il doit également respecter l'ensemble des fonctions visuelles physiologiques en vision fovéale, périphérique et binoculaire.

### A En vision fovéale

Elle correspond aux parties du verre balayées par les lignes de regard pour toutes les tâches nécessitant une discrimination fine. Les zones du verre utilisées doivent donc produire des images de parfaite qualité.

#### Accommodation, posture et mouvements des yeux:

Les postures naturelles de la tête et du corps du porteur déterminent la rotation des yeux entre vision de loin et vision de près et, en conséquence, la longueur optimale de la progression de puissance. Par ailleurs, la coordination des mouvements du corps, de la tête et des yeux, en relation avec la distance de vision définit la puissance nécessaire en chaque point de la progression et donc le profil de la progression de puissance du verre.

#### Coordination des mouvements des yeux et de la tête:

De la même manière, la coordination naturelle des mouvements des yeux et de la tête dans le sens horizontal détermine la zone du verre balayée par le regard. Elle permet de définir la largeur de la zone du verre naturellement utilisée pour la vision fovéale (habituellement moins de  $15^\circ$ ).

#### Acuité visuelle:

Afin de respecter l'acuité visuelle du porteur dans la partie centrale du verre, les aberrations doivent être contenues à leur minimum et repoussées dans les parties périphériques du verre.

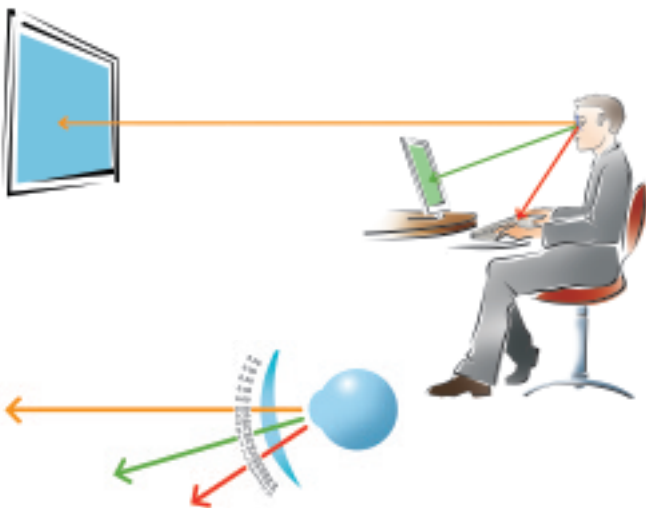


Fig. 5 : Progression de la puissance en fonction de la distance de vision, de la posture de la tête et des yeux.

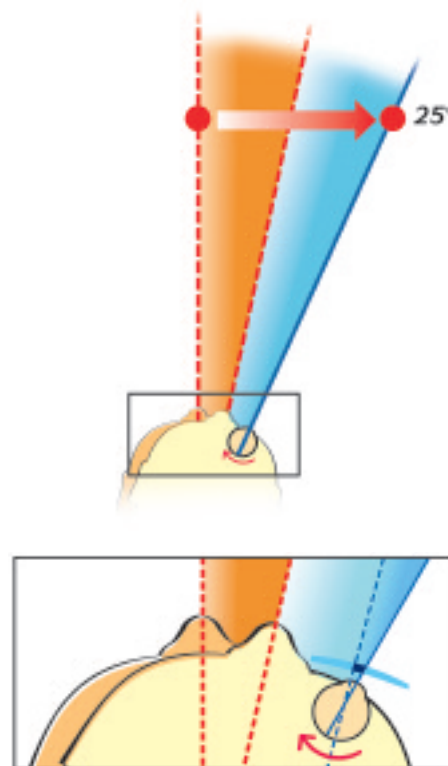


Fig. 6 : Coordination œil-tête et largeur de champ.

## B En vision périphérique

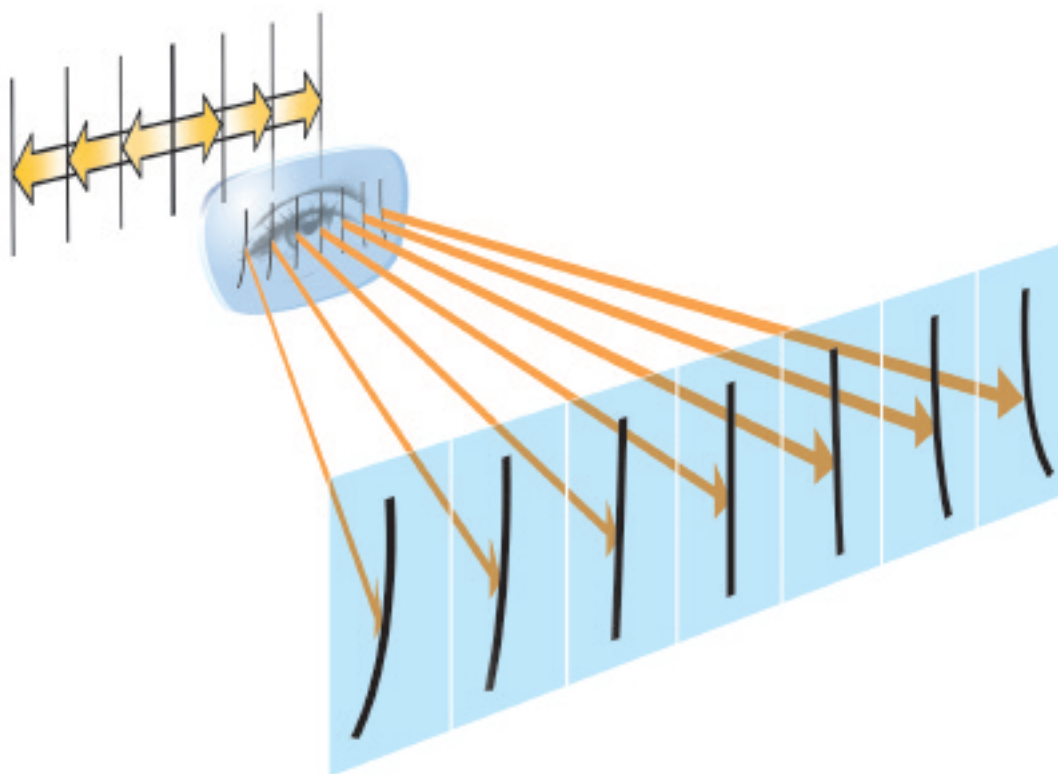
Elle correspond à la perception visuelle assurée par la périphérie de la rétine. En vision extra-fovéale, le porteur ne voit pas nettement les objets mais les situe dans l'espace, perçoit leurs formes et détecte leurs mouvements. Elle est principalement affectée par les zones périphériques du verre.

### Perception de l'espace et des formes:

Cette perception est assurée par la périphérie de la rétine et directement influencée par la distribution des effets prismatiques sur la surface du verre progressif. En fonction de l'orientation et de l'importance de ces effets prismatiques, le porteur peut percevoir des déformations des lignes horizontales et verticales et voir son confort de vision sensiblement altéré.

### Perception du mouvement:

Le mouvement est perçu par la totalité de la rétine de façon quasi homogène. Là aussi, la variation des effets prismatiques doit être douce et régulière sur l'ensemble de la surface du verre pour assurer au porteur une vision dynamique confortable.



**Fig. 7** : Perception de la forme et du mouvement à travers un verre progressif.



## C En vision binoculaire

La vision binoculaire comprend la perception simultanée, la fusion des images et le sens stéréoscopique. Avec un verre progressif, le critère de qualité binoculaire est de permettre une fusion naturelle par l'identité de perception des deux yeux.

### Fusion motrice:

Les yeux convergent naturellement lorsque le regard du porteur s'abaisse pour la vision de près. La progression de puissance doit être positionnée sur le verre de manière à suivre le trajet de convergence inféro-nasale des lignes de regard. Pour optimiser la fusion motrice des images, les effets prismatiques verticaux doivent être égaux pour tous les couples de points correspondants des verres droits et gauches.

### Fusion sensorielle:

Pour que la fusion soit optimale, les images rétinienne formées par les deux yeux doivent présenter des caractéristiques similaires dans toutes les directions du regard. A cet effet, les caractéristiques optiques de puissance et d'astigmatisme rencontrés en des points correspondants des verres droit et gauche doivent être sensiblement de valeur égales. La conception asymétrique des surfaces progressives –c'est à dire présentant une symétrie de part et d'autre de la direction oblique de convergence– permet de maintenir l'identité des perceptions visuelles lors des mouvements latéraux des yeux.

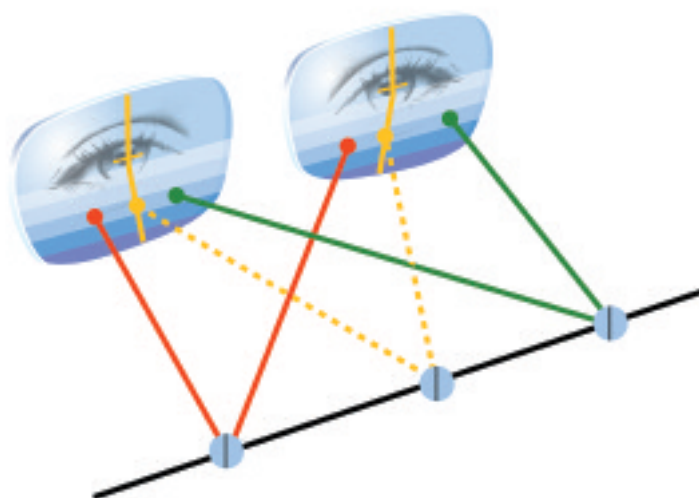


Fig. 8 : Vision binoculaire et verres progressifs.

Les critères physiologiques de définition des verres progressifs peuvent être utilisés selon deux approches différentes :

- soit en considérant des valeurs moyennes de besoins visuels ou de comportements sur une large population de presbytes afin de concevoir des verres progressifs « universels »,
- soit en cherchant à mettre en évidence une dispersion de besoins ou de comportements d'un presbyte à l'autre afin de concevoir des verres progressifs « personnalisés ».

Ces deux approches, opposées mais complémentaires, sont à l'origine des 2 grandes catégories de verres progressifs disponibles aujourd'hui : les verres progressifs « universels » et les verres progressifs « personnalisés ».

# 3. Conception

## des verres progressifs

### A Principes de conception des verres ophtalmiques

#### 1) Le verre ophtalmique en tant que système optique

Le verre ophtalmique est un système optique conçu pour former l'image des objets éloignés sur la sphère du remotum. Cette sphère abstraite représente le conjugué optique objet de la fovéa de l'œil en rotation, sans accommodation. L'image d'un point objet formé sur cette sphère est en général une tache floue et non un point net en raison de l'existence d'aberrations.

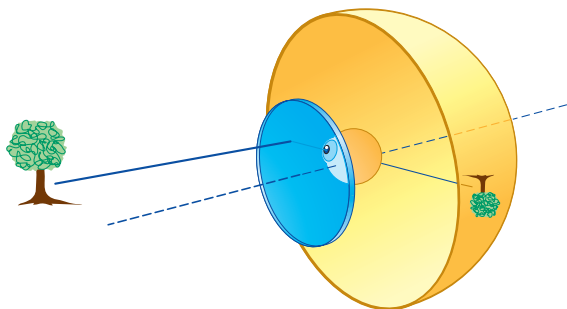
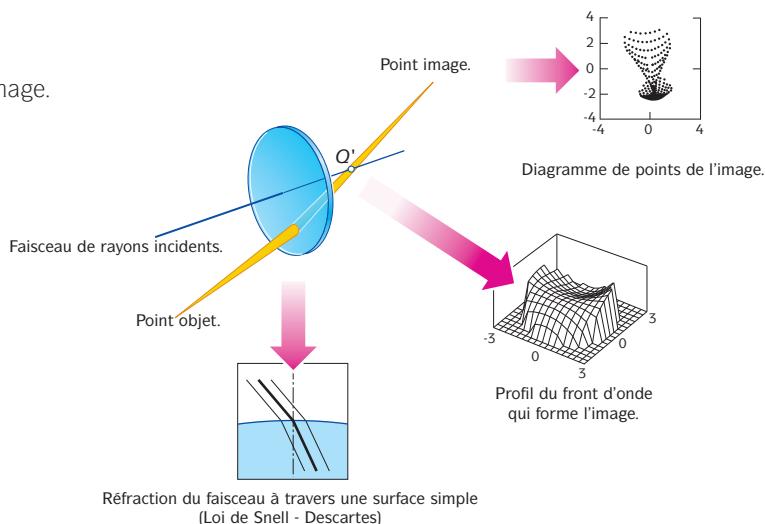


Fig. 9 : Formation de l'image sur la sphère du remotum.

Pour mesurer la qualité de l'image d'un point objet quelconque, le concepteur du verre « envoie » un ensemble de rayons lumineux, issu de l'objet et se réfractant à travers le verre, et calcule leurs intersections avec la sphère du remotum. La qualité de l'image est déterminée par le diamètre de la tâche floue créée sur cette sphère. Les concepteurs de verres s'efforcent d'améliorer la qualité de cette image en maîtrisant, dans toute la mesure du possible, les aberrations optiques du verre.

Fig. 10 : Calcul de l'image.



Ensuite, les concepteurs s'intéressent à la qualité de l'image formée sur la rétine. Pour y parvenir, il leur faut caractériser le système optique constitué par le verre et l'œil. Si les caractéristiques du verre sont parfaitement connues, celles de l'œil sont plus difficiles à déterminer. Ainsi, il est nécessaire de connaître les différents dioptries (cornée, cristallin), leurs positions relatives (profondeur des chambres, longueur de l'œil) et les indices de réfraction des différents milieux transparents de l'œil humain. On utilise pour cela des modèles d'œil représentant un individu moyen. La position et l'orientation du verre devant l'œil sont également des données nécessaires aux calculs : distance verre-œil, angle pantoscopique, galbe de la monture. Ainsi constitué, le système optique verre-œil peut être analysé et l'ensemble de ses caractéristiques calculées.

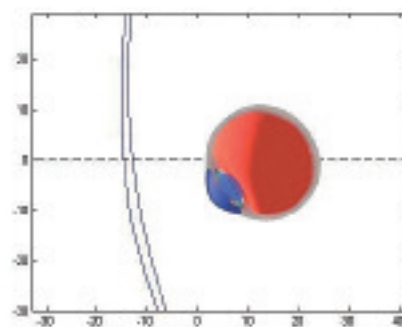
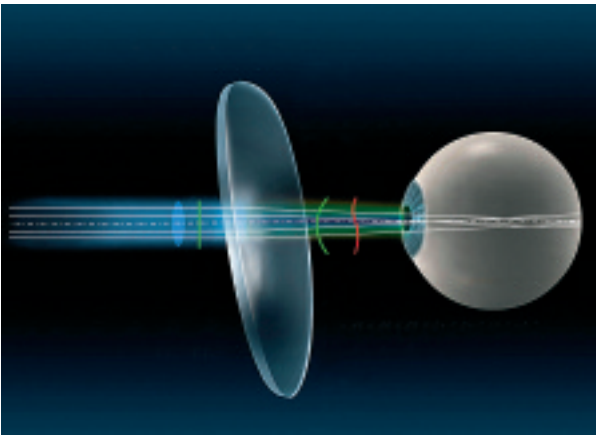


Fig. 11 : Modèle œil-verre.

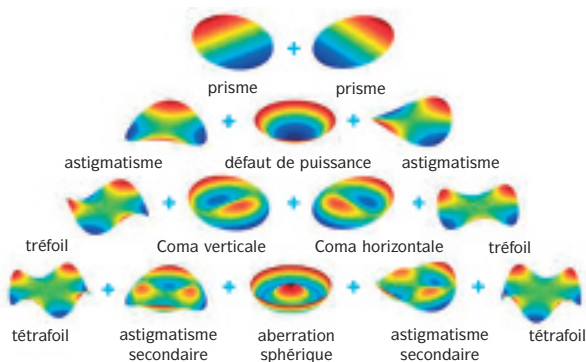
## 2) La technologie des fronts d'onde :

Cette technologie consiste à calculer le verre en considérant les fronts d'onde lumineuse qui le traversent. Le principe est, pour chaque direction du regard, de modeler l'onde à la forme la plus régulière possible avant qu'elle ne pénètre dans l'œil par la pupille. En pratique, l'onde est décomposée en une somme d'ondes élémentaires : les premières correspondent à la réfraction du porteur et les suivantes aux aberrations optiques (voir figure 12). Les surfaces du verre sont alors calculées de manière à minimiser et contrôler les aberrations en fonction des besoins physiologiques des porteurs. Cette technologie a connu sa première application aux verres ophtalmiques pour la conception du Varilux Physio (voir plus loin).

Fig. 12 : Technologie des fronts d'onde.



a) Front d'onde.



b) Décomposition du front d'onde.

## 3) Logiciel « d'optimisation » et « fonction de mérite »

La conception des systèmes optiques optimisés ne peut se réaliser en une seule étape. Elle a généralement recours à un processus itératif faisant appel à un logiciel d'optimisation. En premier lieu un système optique initial et une « fonction de mérite » destinée à noter les performances globales du système optique sont définis. Après avoir évalué le système optique initial, le logiciel d'optimisation calcule les nouveaux paramètres d'un système optique amélioré. Ce processus est répété jusqu'à l'obtention d'un système optique de caractéristiques optimales.

La fonction de mérite est un nombre, en quelque sorte une note, que l'on donne au verre pour mesurer sa performance. Elle considère un grand nombre de points sur le verre. En chacun de ces points, une valeur cible, affectée d'un coefficient de pondération, est attribuée à chaque caractéristique optique : puissance, astigmatisme, effets prismatiques et à leurs gradients. La valeur de la fonction mérite est calculée en chaque point du verre par la somme pondérée des écarts quadratiques entre les caractéristiques optiques souhaitées  $T_j$  et les caractéristiques  $A_j$  du système. La performance globale du verre est ensuite évaluée par la somme pondérée des valeurs de la fonction de mérite calculée en tous les points du verre, selon la formule suivante :

$$\text{Fonction de Mérite} = \sum_{i=1}^{i=m} P_i \cdot \sum_{j=1}^{j=n} W_j \cdot (T_j - A_j)^2$$

Où :

$P_i$  est le « poids » attribué au point  $i$

$W_j$  est le « poids » attribué à la caractéristique optique  $j$

$T_j$  est la valeur cible de la caractéristique optique  $j$

$A_j$  est la valeur courante de la caractéristique optique  $j$

La fonction de mérite est une méthode de calcul couramment utilisée pour la définition de système à contraintes multiples et partiellement contradictoires. Appliquée au calcul des verres ophtalmiques, elle permet de faire le lien entre les exigences physiologiques et le calcul des verres.

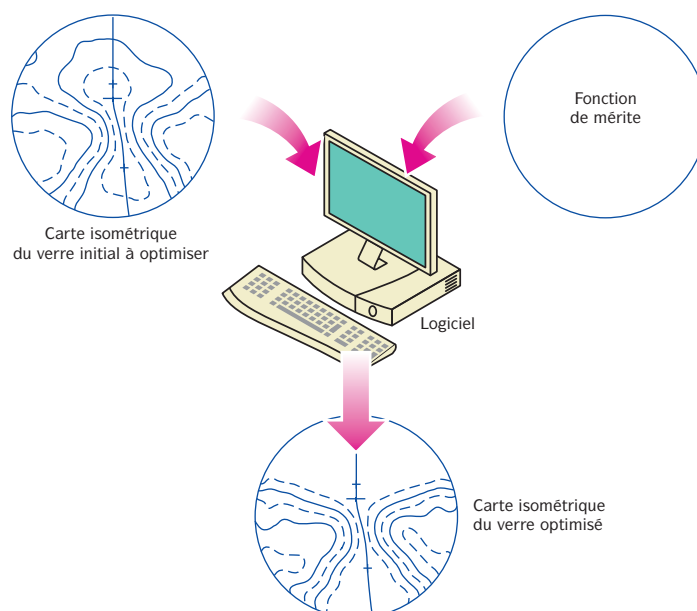


Fig. 13 : Logiciel d'optimisation.

## B Conception des verres progressifs

### 1) Exigences optiques spécifiques d'un verre progressif

Les caractéristiques optiques d'un verre progressif sont déterminées par expérimentation clinique dans la recherche du parfait respect de la physiologie de l'œil et de la vision. Ces caractéristiques optiques sont réparties en deux catégories :

- caractéristiques devant avoir des valeurs bien déterminées ou contraintes obligatoires,
- caractéristiques devant être maintenues en dessous de seuils donnés.

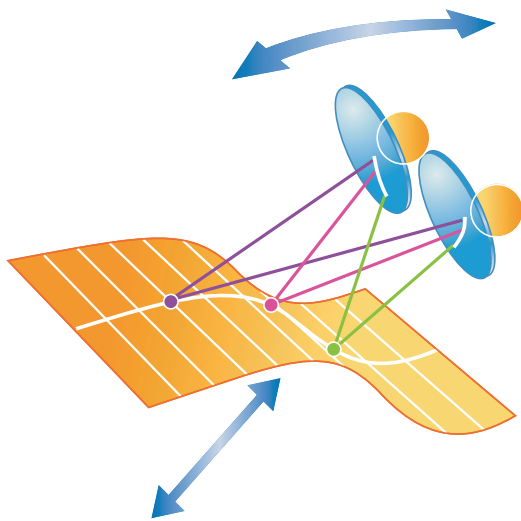
#### a) Exigences de progression de puissance

La fonction première d'un verre progressif est de restituer au porteur une bonne efficacité en vision de près et à distance intermédiaire, tout en lui conservant une vision nette de loin. Cette efficacité repose sur le respect impératif des puissances de vision de loin et de vision de près. Pour ce qui concerne la définition de la progression, elle est plus libre. Plus précisément :

- Positionnement en hauteur de la zone de vision de près : des considérations physiologiques telles que la tension des muscles oculo-moteurs ou la plage limitée de fusion binoculaire vers le bas plaident en faveur d'une position haute de la vision de près dans le verre. Cela nécessite le choix d'une progression relativement courte entraînant une variation plus rapide des aberrations périphériques. Un bon compromis consiste à localiser la zone de vision de près pour un abaissement du regard de l'ordre de  $25^\circ$ .

- Profil de progression de puissance : la progression de la puissance le long de la méridienne du verre, doit permettre au porteur d'explorer le champ objet sans lui imposer de fatigants mouvements verticaux de la tête. Cela est obtenu en définissant le profil de progression de façon à ce qu'il respecte la coordination naturelle des mouvements verticaux des yeux et de la tête ainsi que l'orientation de l'horoptère vertical - lieu des points de l'espace vus binoculairement simples - auquel est liée l'inclinaison naturelle des documents lors de la lecture.

- Positionnement horizontal de la zone de vision de près : il doit être adapté à la convergence naturelle des yeux, à la valeur de l'addition et à la correction de vision de loin. La convergence naturelle des lignes de regard lors de l'abaissement du regard et la distance de lecture moyenne définissent le décentrement de la zone de vision de près à réaliser. Par ailleurs, l'acuité visuelle diminuant avec l'âge, les presbytes confirmés lisent plus près que les presbytes débutants afin de se procurer un effet de grossissement : la zone de vision de près doit en conséquence être décentrée plus fortement avec l'augmentation de l'addition. Enfin, les effets prismatiques de la correction de vision de loin décalent sensiblement le point d'impact de l'œil sur le verre : la zone de vision de près doit donc être plus fortement décentrée pour un hypermétrope que pour un myope.



**Fig. 14** : Progression de puissance.

**b) Exigences de perception visuelle**

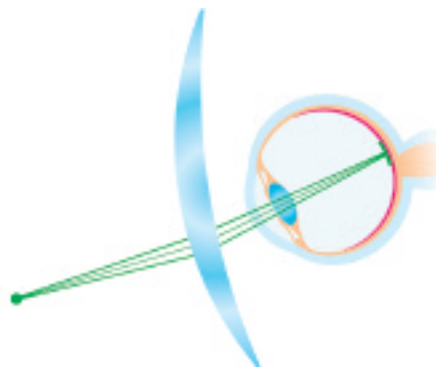
Pour une vision fovéale optimale, les aberrations d'image doivent être minimisées sur toute la surface et tout particulièrement le long de la méridienne de progression.

Dans la zone centrale du verre, il importe d'équilibrer puissance, astigmatisme et prisme vertical entre les yeux droit et gauche pour le bon respect de la fusion motrice et sensorielle des images en vision binoculaire. Ceci est réalisé par une conception asymétrique de la surface du verre progressif couplée à un positionnement latéral adéquat de la méridienne.

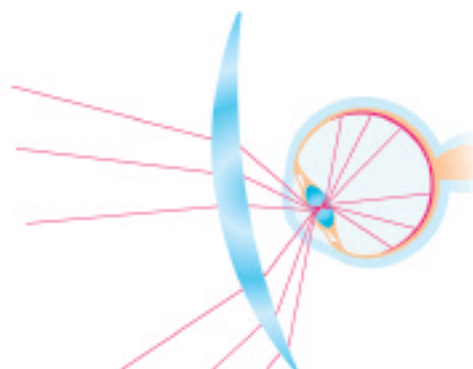
Dans la périphérie du verre, utilisée en vision extrafovéale, les aberrations ne peuvent pas être complètement éliminées. Dans cette région, les exigences de qualité d'image sont moins élevées mais la maîtrise des effets prismatiques reste importante. La perception du mouvement est une fonction clé de la périphérie du verre où le gradient de variation des aberrations résiduelles importe davantage que leur valeur absolue. Pour modéliser les effets des verres ophtalmiques sur la vision périphérique, on utilise un modèle d'œil différent de celui utilisé pour la vision centrale. On considère l'œil en position fixe regardant un espace visuel maillé et on considère les rayons émis depuis chaque point de l'espace objet et passant par le centre de la pupille après réfraction par les deux dioptries du verre. On étudie la position de ces rayons et leurs lieux d'interception de la rétine. Celle-ci renseigne -notamment quand le sujet bouge la tête ou se déplace- sur les performances du verre en vision dynamique.

Toutes les exigences optiques décrites ci-dessus sont introduites dans la fonction de mérite et ensuite intégrées dans le logiciel d'optimisation du verre.

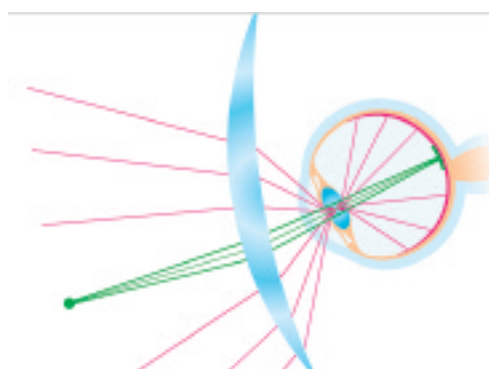
**Fig. 15** : Modélisations du système verre+œil.



a) Modèle utilisé pour la vision centrale : les rayons sont émis du point fixé et se focalisent sur la rétine



b) Modèle utilisé pour la vision périphérique : les rayons sont émis depuis chaque point de l'espace objet . On étudie la position de leur image sur la rétine plutôt que sa qualité.



c) Combinaison des 2 modèles de vision centrale et vision périphérique : le concepteur doit manager les 2 effets simultanément.

**Personnalisation des verres progressifs :**

Les récentes technologies de fabrication des verres par surfacage direct permettent de calculer et réaliser les verres progressifs individuellement pour chaque porteur. C'est ainsi que l'on peut y intégrer des caractéristiques propres au comportement de chaque individu. Par exemple, la coordination spécifique des mouvements des yeux et de la tête pour laquelle on fait varier la

dimension du champ central et la douceur périphérique du design en fonction de la mesure du comportement de chaque porteur (voir plus loin l'explication détaillée du Varilux Ipseo). Par ailleurs, il est aussi possible d'intégrer au calcul du verre progressif des paramètres relatifs à la prescription et au centrage / montage du verre dans la monture

**2) Etudes cliniques et « boucle dioptrique »**

A l'issue du processus d'optimisation et de calcul du verre, différents designs de surfaces progressives sont proposés. Des prototypes de verres de chaque type sont alors fabriqués et testés au travers d'essais cliniques très rigoureux menés en « double insu » (ni le patient ni l'expérimentateur ne connaissent la nature exacte du verre testé). Le protocole suivi pour ces essais vise à s'assurer qu'aucun biais ne puisse être introduit dans l'évaluation clinique des designs. Sont ainsi contrôlés : la représentativité de l'échantillon de patients testé, la nature de l'équipement porté précédemment, l'ordre de déroulement des essais, le temps de port, l'identité des montures, des matériaux et traitements et la précision du centrage des verres. Des évaluations comparatives des verres sont effectuées par l'analyse approfondie des notations, appréciations et remarques formulées par les porteurs. Leur significativité statistique est analysée. Ces études conduisent à la sélection de la meilleure surface progressive.

Soulignons ici qu'il est très difficile, voire même impossible, d'établir une relation formelle entre le calcul des caractéristiques des verres et la satisfaction des porteurs. C'est la raison pour laquelle toute innovation est systématiquement validée au travers du processus de la « boucle dioptrique » (figure 16). Celle-ci consiste à traduire toute idée physiologique nouvelle en un calcul de design de surface, à en réaliser une série de verres prototypes, à mesurer ces verres pour en vérifier la conformité et à les soumettre à l'évaluation clinique par les patients. Si l'innovation est confirmée par une meilleure performance visuelle et satisfaction des patients, un nouveau verre peut être né. Si elle ne l'est pas, c'est une information nouvelle qui vient enrichir la connaissance de l'équipe de conception ; et le processus itératif de la « boucle dioptrique » se poursuit alors sur de nouvelles bases.

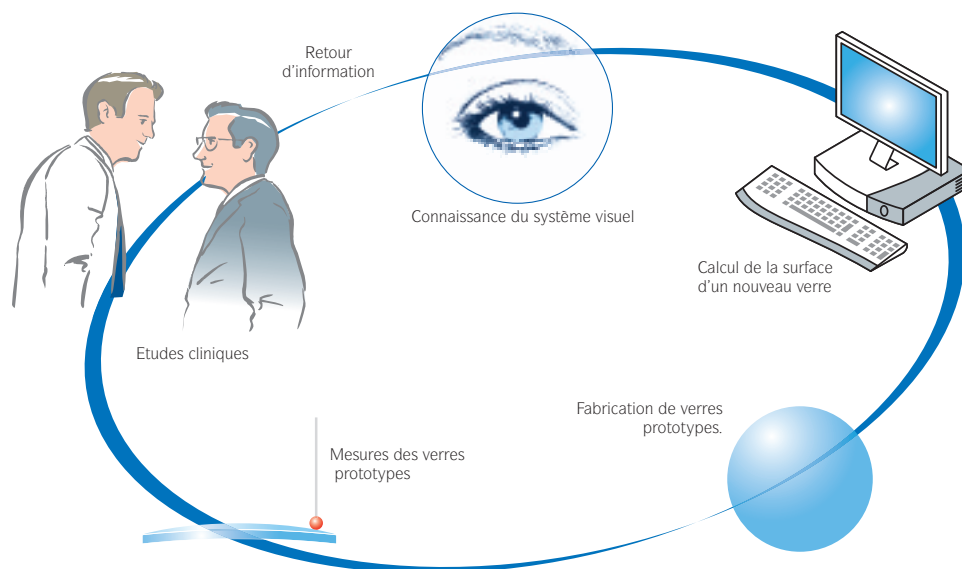


Fig. 16 : La « Boucle Dioptrique » : « Il n'est de réelle innovation que celle qui est perçue par les porteurs ».

# 4. Description et Contrôle

## des verres progressifs

### A Représentation graphique des verres progressifs

Les concepteurs de verres utilisent différentes méthodes de représentation graphique des caractéristiques optiques des verres progressifs. Le plus souvent elles concernent les caractéristiques « optiques » des verres c'est-à-dire celles relatives au système verre + œil, lesquelles sont à bien différencier des caractéristiques « surfaciques » qui décrivent la géométrie des surfaces progressives elles-mêmes. Les caractéristiques les plus souvent décrites sont les suivantes :

#### 1) Profil de puissance

La courbe représente la progression de puissance du verre le long de sa méridienne, depuis la vision de loin jusqu'à la vision de près. Cette progression de puissance résulte de la variation continue de courbure du verre entre le haut et le bas. Ce profil de puissance décrit la fonction première du verre et permet d'évaluer la longueur de progression.

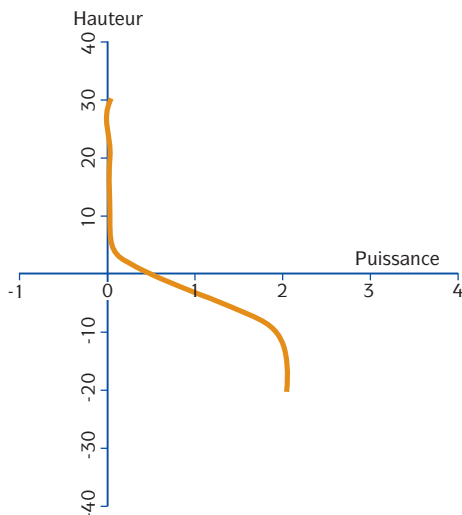
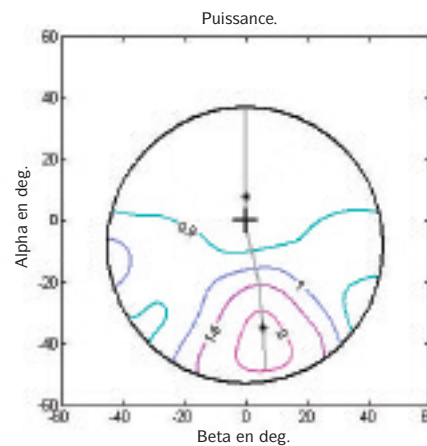


Fig. 17 : Profil de puissance d'un verre progressif.

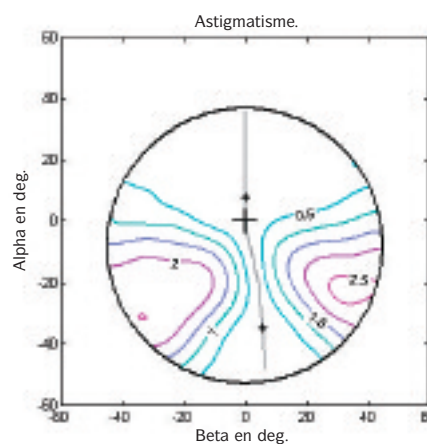
#### 2) Courbes isométriques

Il s'agit d'une carte bidimensionnelle du verre représentant la distribution soit de la puissance, soit de l'astigmatisme. La carte montre des lignes de valeur dioptrique constante (iso-puissance ou iso-astigmatisme). Entre deux lignes consécutives, la puissance ou l'astigmatisme varie d'une valeur constante, 0,50 D dans ces exemples. A noter que ces 2 types de relevés ne devraient jamais être présentés séparément puisqu'ils sont interdépendants.

Fig. 18 : Courbes isométriques des caractéristiques d'un verre progressif.



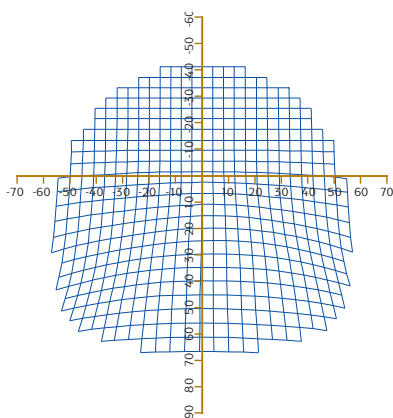
a) Puissance.



b) Astigmatisme.

**3) Graphique à grille :**

Ce type de graphique permet de mettre en évidence la distribution des effets prismatiques du verre en montrant comment ils affectent la forme d'une grille rectangulaire observée à travers le verre.



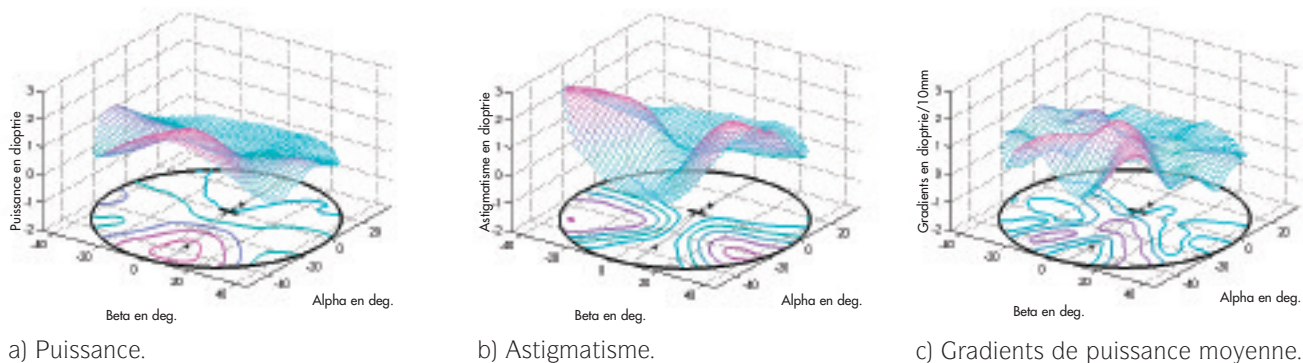
**Fig. 19 :** Graphique à grille d'un verre progressif.

**4) Graphiques tridimensionnels :**

Les représentations tridimensionnelles projettent verticalement la valeur d'une caractéristique optique donnée en chaque point du verre par rapport à un plan de référence. Elle peut être utilisée pour montrer une distribution de puissance, d'astigmatisme, d'effets prismatiques ou de gradients de ces caractéristiques. Ces graphiques tridimensionnels sont plus démonstratifs des caractéristiques du verre que les courbes isométriques.

**Interprétation des graphiques :**  
 Bien qu'ils soient utiles dans le processus de conception des verres, tous ces graphiques ne sont que de simples représentations des caractéristiques des verres progressifs et ne sont pas directement corrélables avec la satisfaction des porteurs. En tant que tels, ces graphiques ne peuvent donc pas être utilisés pour prédire le confort des patients ou réaliser des comparaisons qualitatives des verres progressifs. Seules des études cliniques, conduites dans des conditions parfaitement contrôlées et impliquant un échantillon de porteurs représentatif de la population des presbytes, peuvent fournir les bases fiables d'évaluation et de comparaison qualitative des verres progressifs.

**Fig. 20 :** Graphiques tridimensionnels des caractéristiques d'un verre progressif.





## B Mesure et contrôle des surfaces progressives :

Le contrôle de la conformité des surfaces progressives est une activité cruciale pour les concepteurs et fabricants de verres progressifs.

Il peut être réalisé au moyen de méthodes de mesure tridimensionnelles analysant la topographie de la surface ou de méthodes déflectométriques analysant la déviation de rayons lumineux produite par la surface. Ces données de mesure peuvent être directement comparées aux équations théoriques de la surface pour en vérifier la conformité. Elles peuvent aussi être exploitées

au moyen d'outil de simulation recréant les conditions d'utilisation du verre par l'oeil afin de fournir une évaluation « porteur » de la surface.

Au cours des étapes de la fabrication des verres, des fronto-focomètres traditionnels peuvent aussi être utilisés pour mesurer les puissance, astigmatisme et prisme en des points sélectionnés du verre.

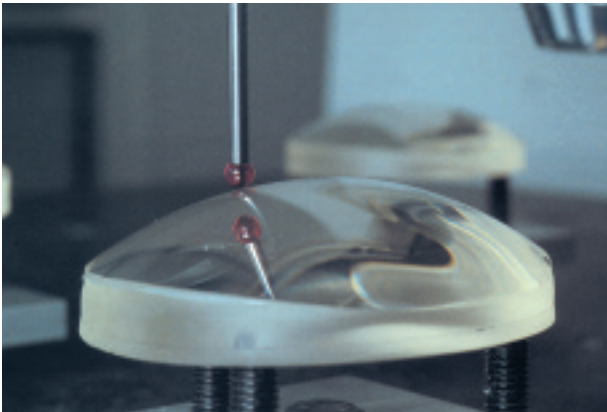


Fig. 21 : Contrôle d'une surface progressive.

# Complément

## Description mathématique des surfaces progressives

### A Description mathématique locale des surfaces :

Toute surface définie par une équation  $z = f(x,y)$  peut être exprimée mathématiquement dans un système de coordonnées 3D de référence Oxyz, xOy étant le plan tangentiel à la surface au point O, par une équation du second degré, plus des termes de degré plus élevé. Cette surface du second degré est osculatrice avec la surface au point O (c'est-à-dire que ses courbures sont identiques à celles de la surface réelle) et définie par l'équation :

$$z = rx^2 + 2sxy + ty^2$$

où r, s, t sont des dérivées locales de la surface :

$$r = d^2z/dx^2, \quad s = d^2z/dxdy, \quad t = d^2z/dy^2$$

Cette surface du second degré définit l'axe local et les courbures principales de la surface en O. En outre, toute surface pouvant être assimilée localement à une surface torique, caractérisée par ses courbures principales orthogonales  $C_1$  et  $C_2$  et par son axe dérivé des équations suivantes :

$$C_1.C_2 = \frac{r.t - s^2}{(1 + p^2 + q^2)^2} \quad (\text{courbure totale})$$

$$\frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{t.(1 + p^2) + r.(1 + q^2) - 2.p.q.s}{2.(1 + p^2 + q^2)^{2/3}} \quad (\text{courbure moyenne})$$

où  $p = dx/dz$  et  $q = dz/dy$

Axe =  $\text{Arctg}(m)$  où m est la solution de l'équation quadratique :

$$[t.p.q - s(1 + q^2)].m^2 + [t.(1 + p^2) - r.(1 + q^2)].m$$

$$+ s.(1 + p^2) - r.p.q = 0$$

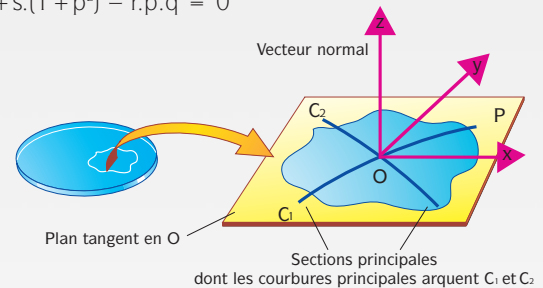


Fig. A : Description locale d'une surface

### B Caractéristique mathématique de surfaces dans un domaine circulaire :

Toute partie d'une surface complexe peut être définie en utilisant le système de référence appelé polynômes de Zernike. Ce système est utilisé pour exprimer la surface sous forme mathématique par la somme d'une série de polynômes spécifiques. Les dix premiers polynômes de Zernike permettent de remarquables applications mathématiques et physiques : le 5ème donne accès à la courbure moyenne de la surface, le 4ème et le 6ème à son cylindre et à son axe, et les 7ème et 10ème à sa pente de variation de courbure. La surface du verre est exprimée sous forme mathématique par la formule :

$$f(y, z) = \sum_{i=0}^{i=9} Z_i . P_i$$

$P_i$  : polynôme de Zernike

où  $Z_i$  : coefficients

y, z : variables réduites

Piston	1	$Z_0$
Déviations en y	y	$Z_1$
Déviations en z	z	$Z_2$
Asti +- 45°	2y.z	$Z_3$
Défocalisation	$-1 + 2y^2 + 2.z^2$	$Z_4$
Asti 0,90°	$z^2 - y^2$	$Z_5$
Coma tr y	$3y.z^2 - y^3$	$Z_6$
Coma y	$-2y + 3y.z^2 + 3y^3$	$Z_7$
Coma z	$-2z + 3z.y^2 + 3.z^3$	$Z_8$
Coma tr z	$z^3 - 3zy^2$	$Z_9$

Expansion d'une surface dans les 10 premiers polynômes de Zernike

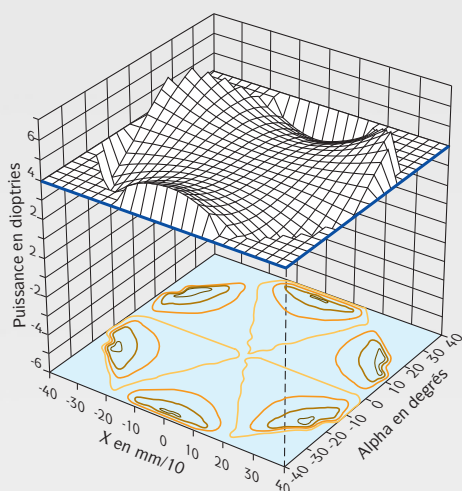


Fig. B : Représentation graphique du 8<sup>ème</sup> polynôme de Zernike

## C Modélisation mathématique de surfaces avec fonctions polynomiales par B-splines :

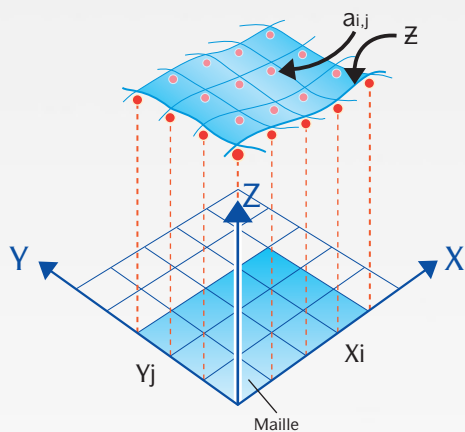


Fig. C : Modélisation d'une surface avec fonctions B-splines.

$$z = \sum_{i,j} \lambda_{i,j} \cdot a_{i,j}$$

$$p = \frac{df}{dx} = \sum_{i,j} w_{i,j}^x \cdot (a_{i+1,j} - a_{i,j})$$

$$q = \frac{df}{dy} = \sum_{i,j} w_{i,j}^y \cdot (a_{i,j+1} - a_{i,j})$$

$$r = \frac{d^2f}{dx^2} = \sum_{i,j} w_{i,j}^{xx} \cdot (a_{i+2,j} - 2 \cdot a_{i+1,j} + a_{i,j})$$

$$s = \frac{d^2f}{dxdy} = \sum_{i,j} w_{i,j}^{xy} \cdot (a_{i+1,j+1} - a_{i+1,j} + a_{i,j} - a_{i,j+1})$$

$$t = \frac{d^2f}{dy^2} = \sum_{i,j} w_{i,j}^{yy} \cdot (a_{i,j+2} - 2 \cdot a_{i,j+1} + a_{i,j})$$

avec  $\lambda_{i,j}, w_{i,j}^x, w_{i,j}^y, w_{i,j}^{xx}, w_{i,j}^{xy}, w_{i,j}^{yy}$ ,  
sont des coefficients tabulés.

Toute surface bi-régulière peut être représentée par un ensemble d'abscisses et d'ordonnées réparties uniformément sur la surface selon une grille de référence régulière. Les caractéristiques locales de la surface  $z = f(x,y)$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $t$  en un point de coordonnées  $x,y$  sont déduites des valeurs ordonnées discrètes au voisinage de ce point par leur combinaison sur une matrice carrée. Ces caractéristiques sont calculées selon les formules suivantes :

# 5. Fabrication

## des verres progressifs

### A Fabrication des surfaces progressives

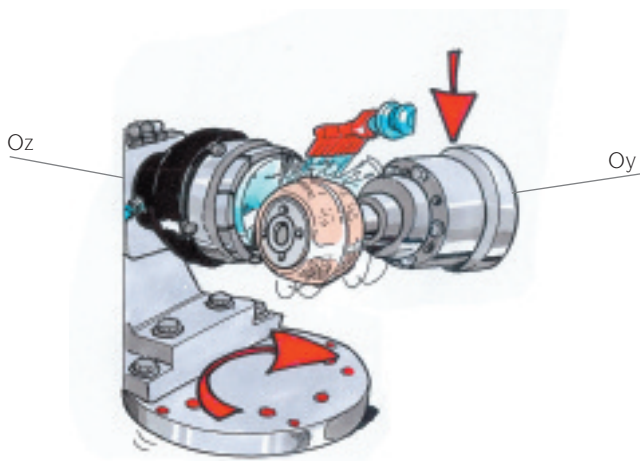


Fig. 22 : Principe d'ébauche d'une surface progressive.

Toute la difficulté de fabrication des verres progressifs réside dans le fait de pouvoir générer et reproduire avec grande précision une surface dont la courbure varie et ne possède pas de symétrie de rotation. Les premières surfaces progressives ont été réalisées par reproduction d'une surface modèle suivie d'opérations de polissage souple ne déformant pas la surface. Aujourd'hui, ces surfaces peuvent être générées et polies directement au moyen de machines à commandes numériques (ou générateurs C.N.C. pour « Computer Numerically Controlled ») afin de réaliser soit la surface progressive elle-même, soit celle du moule dans lequel le verre sera fabriqué.

La fabrication d'une surface progressive suit les étapes essentielles suivantes :

#### 1) Design de la surface et modélisation numérique

Le design de la surface progressive et le calcul de sa topographie est traduit en données numériques sous la forme de coordonnées tridimensionnelles -en x, y et z- communiquées directement au générateur. Quelques milliers de points peuvent être nécessaires pour décrire une surface progressive et ceci pour chacune des combinaisons de base, addition et œil. Les coordonnées de chaque point sont données par rapport à une surface de référence, la plus généralement utilisée est une sphère de rayon proche de celui de la base du verre à obtenir.

#### 2) Ebauchage de la surface progressive :

Le principe d'ébauchage sur générateur CNC est le suivant (voir figure 22) : le verre, solidement bloqué sur un gland métallique, est placé dans le générateur sur un support en rotation autour de l'axe Oz de la surface. La meule diamantée, en rotation autour de l'axe Oy, se déplace en x, y et z sur commande de l'ordinateur. Pendant la phase d'ébauchage, elle entre en contact avec la surface du verre et usine chaque point à l'altitude souhaitée en décrivant sur le verre un parcours en forme de spirale.

#### 3) Polissage de la surface progressive :

L'état de la surface obtenue à l'issue de l'ébauchage est le plus souvent d'un grain suffisamment fin pour en permettre directement le polissage sans étape intermédiaire de doucissage. Ce polissage est réalisé soit au moyen d'un polissoir souple soit directement en 3 dimensions au moyen du générateur CNC.

#### 4) Gravure laser de la surface progressive :

Afin d'en permettre le centrage et l'identification, la surface progressive est immédiatement gravée après l'opération de polissage. Ces gravures sont réalisées au moyen d'un laser et au travers de masques correspondant aux indications à inscrire : 2 petits cercles séparés de 34 mm et placés sur l'axe horizontal du verre pour permettre le centrage, addition gravée sous le cercle temporal et logo précisant le design de la surface et le matériau pour permettre l'identification. Ces gravures sont réalisées soit directement sur le verre, soit sur le moule servant à sa fabrication; dans ce cas elles apparaissent en relief sur le verre.

#### 5) Contrôle de la surface progressive :

Afin de s'assurer que la surface progressive réalisée correspond parfaitement au design optique souhaité, un contrôle systématique en est réalisé au cours de la production par la mesure des surfaces au moyen des techniques décrites plus haut.

## B Optimisation de la géométrie des verres progressifs finis

### 1) Prisme d'équilibrage des verres progressifs

En raison de l'augmentation de la courbure de la surface progressive dans la zone de vision de près, un verre progressif est naturellement plus mince dans sa partie inférieure que dans sa partie supérieure (voir figure 23). Pour obtenir des verres plus minces les surfaçeurs utilisent en général une technique « d'équilibrage » qui consiste à positionner les surfaces avant et arrière relativement l'une par rapport à l'autre afin d'égaliser l'épaisseur des parties supérieure et inférieure. Ce procédé « d'équilibrage » induit un prisme base inférieure ; sa valeur, exprimée en dioptries prismatiques est généralement égale aux deux tiers de l'addition et peut être mesurée au point de contrôle du prisme. Par exemple, dans un verre progressif d'addition 3.00 D, un prisme de  $2 \Delta$  base à  $270^\circ$  est réalisé ; en l'absence de prescription prismatique, cette valeur peut être directement lue au point de contrôle. Des prismes d'équilibrage de valeurs identiques doivent toujours être réalisés sur les verres droit et gauche afin d'éviter l'introduction d'un déséquilibre des prismes verticaux.

Le prisme d'équilibrage se traduit pour le porteur par un léger décalage vers le haut de l'ensemble du champ visuel. Il a été prouvé cliniquement que celui-ci n'a pas d'effet significatif sur le confort visuel. Puisque cette technique permet d'obtenir des verres nettement plus minces, plus légers et plus confortables elle est aujourd'hui appliquée à tous les verres progressifs quelles que soient leurs puissances et additions.



Fig. 23 : Prisme d'équilibrage d'un verre progressif.

### 2) Pré-décentrement et pré-détourage des verres progressifs « non taillés »

Pour les marchés dans lesquels les verres sont distribués « non taillés », le pré-décentrement et pré-détourage des verres progressifs sont des techniques utilisées pour fabriquer des verres progressifs convexes plus minces. Un verre progressif étant par nature plus convexe selon la verticale que l'horizontale, réduire sa dimension verticale sans modifier sa dimension horizontale permet d'en réduire significativement l'épaisseur. Puisque le verre est quasiment toujours décentré du côté nasal de la monture, on peut, par pré-décentrement de la surface progressive côté nasal, réduire le diamètre du verre « non taillé » à utiliser tout en lui conservant la même capacité temporelle. Par exemple, un tel verre fabriqué avec un pré-décentrement de la surface progressive de 2.5 mm possède un diamètre de 65/70 mm, c'est-à-dire un diamètre géométrique de 65 mm -donc l'épaisseur correspondante- mais un diamètre effectif de 70 mm. De la même manière, pré-détourer le verre fini « non taillé » à une forme elliptique permet de réduire sa dimension verticale sans modifier sa capacité et donc de réduire plus encore son épaisseur.

Le pré-décentrement est également utilisé pour les verres semi-finis pour en accroître le diamètre effectif.

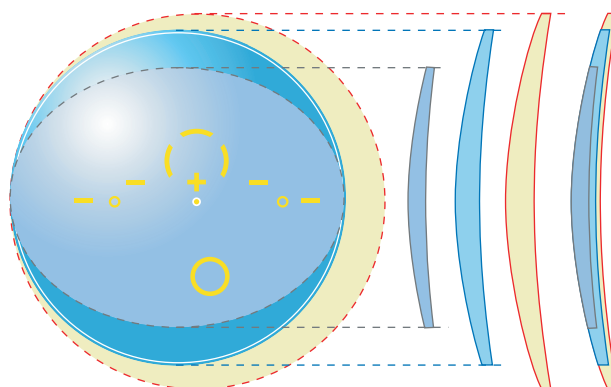


Fig. 24 : Pré-décentrement des verres progressifs finis.

### 3) Précalibrage

La manière la plus efficace de réduire l'épaisseur des verres convexes est de les fabriquer sous forme « précalibré ». Cette technique consiste à surfer le verre aussi mince que possible en fonction de la monture choisie, du centrage des verres et de la prescription du porteur. Les écarts pupillaires du porteur, les hauteurs de montage, la forme approchée ou exacte de la monture et ses dimensions sont transmis au surfaçeur (figure 25).

Celui-ci calcule l'épaisseur au centre minimale à réaliser en fonction de l'épaisseur minimale voulue au point le plus mince du bord du verre; cette épaisseur est fonction du type de montage à réaliser. Bien que non spécifique aux verres progressifs, les résultats obtenus par le précalibrage sont les plus spectaculaires avec ce type de verres. Cette technique est systématiquement utilisée par les laboratoires qui réalisent à la fois le surfaçage et le montage des verres.

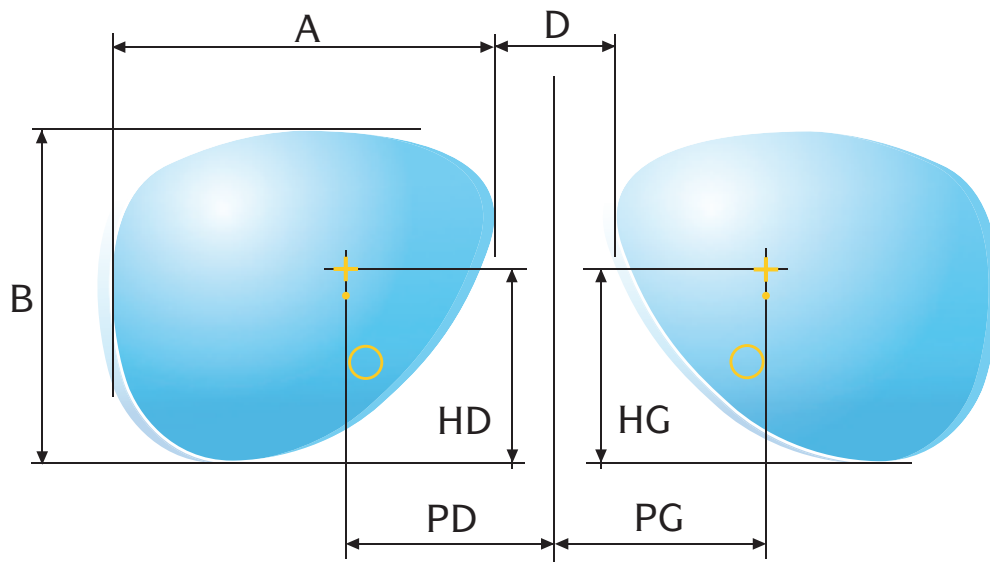


Fig. 25 : Principe du précalibrage.

# 6. Evolution

## des verres progressifs

### 1<sup>ère</sup> génération : le “premier” verre progressif

Après plusieurs tentatives infructueuses menées depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, les premiers verres progressifs ont vu le jour en France en 1959. A la suite d'un travail personnel de plusieurs années, Mr Bernard Maitenaz en concrétisa l'idée et la première réalisation au sein de la Société des Lunetiers (ou S.L. qui, plus tard devenue Essel, fusionnera en 1973 avec la société Silor pour donner naissance à Essilor).

Les verres progressifs ont une puissance qui varie le long d'une ligne caractéristique appelée «ombilic», dont chacun des points présente la particularité de posséder deux rayons de courbures principaux égaux. Dans les tout premiers verres progressifs étudiés, cet ombilic traversait le verre verticalement, c'est-à-dire que la puissance variait de manière continue du haut en bas du verre. La loi de variation de puissance fut ensuite modifiée pour introduire une stabilisation de la puissance dans les zones supérieure et inférieure du verre, afin d'élargir le champ du porteur en vision de loin et de permettre la mesure au fronto-focomètre de la puissance de vision de près.

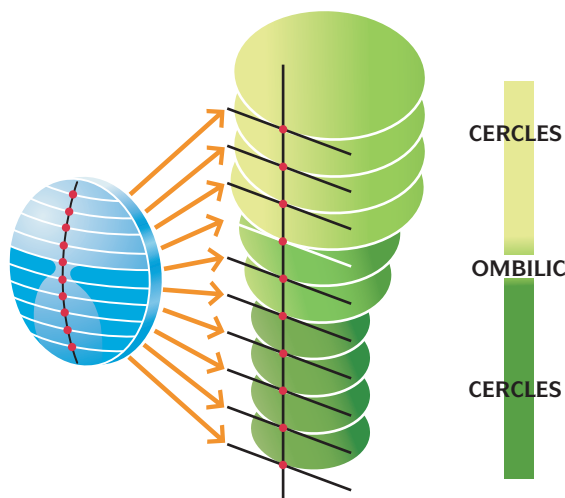
Dans les premiers verres progressifs, commercialisés sous le nom de Varilux en 1959, la zone de vision de loin avait été choisie entièrement sphérique et la zone de vision de près assez largement stabilisée, afin de se rapprocher de la structure des verres bifocaux que les progressifs étaient destinés à remplacer (figure 26). Les zones latérales inférieures, bien que contrôlées, comportaient de ce fait des aberrations latérales importantes qui nécessitaient un effort d'adaptation de la part des porteurs.

Concernant la vision binoculaire, c'est dès 1964 qu'ont été introduits les premiers verres progressifs asymétriques (œil droit différent de l'œil gauche) permettant une qualité de vision latérale améliorée, grâce aux zones homologues calculées à cet effet. Les progressifs étaient avant cette date, conçus et fabriqués symétriquement par rapport à leur méridienne de progression et tournés d'environ 10° dans un sens pour produire un verre droit et 10° dans le sens inverse pour produire un verre gauche.

Si les préoccupations optiques étaient essentielles, le défi de l'époque relevait aussi de la mécanique : il consistait également à concevoir des machines permettant de fabriquer, pour la première fois, des surfaces optiques non de révolution. Les verres étant réalisés à cette époque en verre minéral difficile à mettre en forme et à polir, c'est en adoptant un principe de calcul et de fabrication des surfaces point par point et en faisant appel à des techniques de reproduction d'une surface modèle et de polissage souple que le Varilux a pu être fabriqué industriellement.

Proposer un verre progressif qui comportait d'inévitables imperfections latérales était à l'époque une véritable gageure et, au-delà des défis techniques, il fallait aussi vaincre le scepticisme des professionnels. La conviction et l'obstination des concepteurs ont permis de démontrer que la réalisation de tels verres progressifs était possible et ont montré la voie à suivre pour les améliorer : celle d'une meilleure compréhension de la vision périphérique à travers un verre ophtalmique et de sa meilleure prise en compte dans la conception des surfaces progressives.

Varilux 1, bien que première réalisation du verre progressif, était déjà porteur de tous leurs principes de base ; il était le précurseur d'une grande révolution qu'allait connaître le monde de l'optique.



a) Conception de surface du Varilux® 1.



b) Bernard Maitenaz: inventeur du verre progressif.

Fig. 26 : Progressif de 1<sup>ère</sup> génération (Varilux® 1).

## 2<sup>ème</sup> génération : le verre progressif “à modulation optique”

Après que le concept nouveau de surface progressive ait été adopté par la profession, Bernard Maitenaz et ses collaborateurs ont pu s'écarter de la structure « sphérique » du Varilux 1 et concevoir une surface progressive améliorant les zones périphériques du verre. Ils ont abouti en 1972 au lancement de la 2<sup>ème</sup> génération du verre progressif, sous le nom de Varilux 2.

L'objectif poursuivi dans la conception de ce verre était non seulement de réduire le niveau des aberrations latérales mais aussi de contrôler les effets de déformations qu'elles produisaient :

- La réduction des aberrations a été obtenue par l'introduction d'une « modulation optique » horizontale qui consiste en une légère augmentation de la puissance dans les parties latérales supérieures du verre et une légère diminution de la puissance dans ses parties latérales inférieures. La réduction de la différence de rayon de courbure existant ainsi entre les zones supérieure et inférieure latérales a permis de réduire considérablement l'importance des aberrations. La surface progressive retenue peut être modélisée par une succession de coniques telle que celle présentée figure 27.

- Par ailleurs, pour réduire considérablement l'effet de tangage reproché au Varilux 1, le concept d'« orthoscopie » a été introduit : l'idée était de s'assurer que la perception des droites de l'espace observé, et plus particulièrement les verticales et horizontales, soit préservée à travers la périphérie du verre. Pour satisfaire à cette condition, il fallait calculer une surface progressive dont la particularité était d'avoir d'une part, un effet prismatique horizontal variant peu le long de deux lignes verticales (l'une nasale, l'autre temporale), et d'autre part, un effet prismatique vertical variant peu le long de deux lignes horizontales (l'une supérieure, l'autre inférieure). Les brevets du Varilux 2 qui l'ont protégé pendant de nombreuses années, incluaient cette caractéristique. Bien qu'aménagé dans sa forme, le principe de l'orthoscopie a été conservé dans les générations de Varilux qui ont suivi.

- Bien entendu, du point de vue de la vision binoculaire, le Varilux 2 a été réalisé dès le départ en version asymétrique, c'est-à-dire conçu et fabriqué spécifiquement pour l'œil droit et l'œil gauche, la correspondance des zones utilisées simultanément par les deux yeux étant particulièrement soignée.

Avec la 2<sup>ème</sup> génération de verres progressifs, un réel progrès avait été accompli et c'est à partir de cette époque que les verres progressifs ont été vraiment reconnus et acceptés comme un moyen standard de correction de la presbytie. Dans la décennie qui a suivi le lancement du Varilux 2, plusieurs variantes dérivées du Varilux 2 ont été proposées par d'autres fabricants, se concentrant sur des caractéristiques optiques spécifiques. Certaines se sont focalisées sur la largeur des zones de vision de près et de vision de loin concentrant, en conséquence, les aberrations sur la périphérie du verre (Ultravue d'American Optical, Progressiv R de Rodenstock, Visa de BBGR, VIP/Graduate de Sola). D'autres ont pris l'option opposée en cherchant à réduire le montant des aberrations latérales périphériques en les distribuant plus largement sur le verre (Omni d'American Optical). Enfin, d'autres encore se sont concentrées sur la symétrie optique du verre et le confort de la vision binoculaire (Gradal HS de Zeiss). C'est ainsi que, par l'action conjuguée des professionnels qui avaient adopté ce nouveau moyen de correction, et des fabricants qui finalement s'y étaient intéressés, les verres progressifs ont commencé à connaître un réel essor auprès des presbytes.

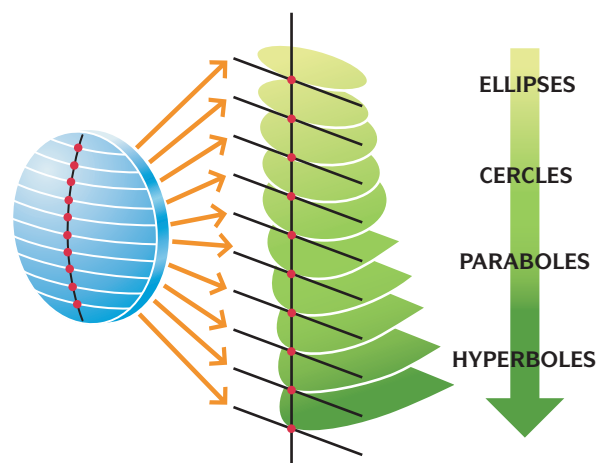


Fig. 27 : Progressif de 2<sup>ème</sup> génération :  
conception de surface du Varilux® 2.



## 3<sup>ème</sup> génération : le verre progressif “multi-design”

Une étape nouvelle de l'amélioration des verres progressifs a été franchie peu avant les années 1990 avec l'introduction du concept de « multi-design ». L'idée était qu'utiliser une surface progressive unique et de la décliner homothétiquement pour toutes les additions ne permettait pas de concevoir la surface progressive optimale pour chaque niveau de presbytie et, qu'en s'affranchissant de cette contrainte, on pouvait offrir aux jeunes presbytes comme aux presbytes confirmés des surfaces progressives plus spécifiquement adaptées à leur besoins. Il a plus particulièrement été identifié que le jeune presbyte recherchait une surface plus « douce » facilitant sa première adaptation aux verres progressifs et que le presbyte confirmé préférait une surface plus « dure » lui assurant une bonne largeur de champ de vision.

En effet, avec les progressifs « mono-design », les concepteurs faisaient face à une alternative simple :

- soit utiliser une surface progressive de type « doux » -c'est à dire de progression longue et de caractéristiques optiques étalées sur la surface du verre- qui s'avérait très confortable pour le jeune presbyte mais n'offrait qu'un champ de vision limité au presbyte confirmé,

- soit utiliser une surface progressive de type « dur » -c'est-à-dire de progression courte et de caractéristiques optiques plus concentrées sur le verre- qui s'avérait satisfaisante pour le presbyte confirmé mais présentait trop de déformations pour l'adaptation du jeune presbyte.

La solution qui est alors apparue -concomitamment avec l'amélioration des moyens de calcul- était de sélectionner le meilleur des surfaces « douces » et « dures » et de faire le choix d'une surface plus douce pour les faibles additions et d'une surface plus dure pour les fortes additions. L'avantage était, plus précisément, de pouvoir conserver au presbyte un champ de vision de près de largeur sensiblement constante avec l'augmentation de l'addition (voir figure 28).

C'est ainsi qu'a été introduit en 1988, le Varilux Multi-Design d'Essilor dont chacune des 12 additions (de 0.75 à 3.50 D par 0.25) possédait une conception spécifique et dont les surfaces progressives évoluaient en cohérence avec l'addition. Il a été suivi d'autres verres de philosophie similaire et de réalisation approchante qui ont été introduits par plusieurs fabricants tels qu'American Optical avec l'Omni Pro, BBGR avec le Visa 3S ou Hoya avec l'Hoyalux. Bien que le Varilux Multi-Design n'ait connu qu'une existence de quelques années et qu'il ait disparu au profit de la génération qui a suivi, il était le porteur et précurseur du concept du « multi-design » qui s'applique toujours aujourd'hui à la très grande majorité des verres progressifs du marché.

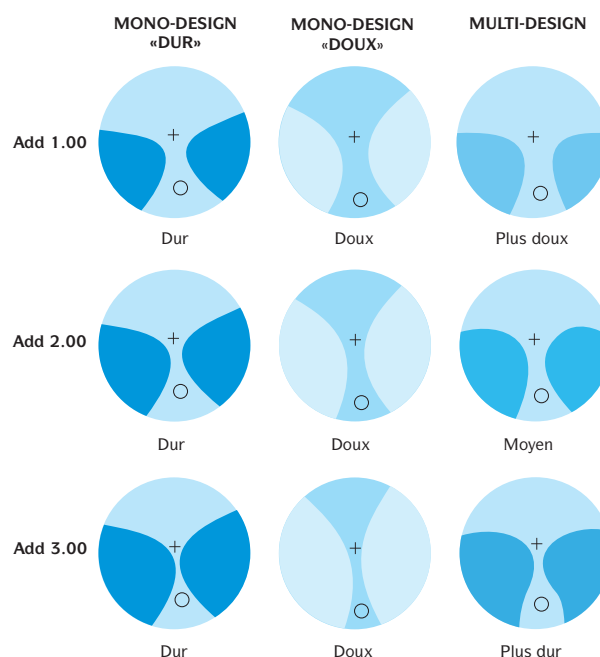


Fig. 28 : Principe du progressif “multi-design” comparé aux progressifs “mono-design”.

## 4<sup>ème</sup> génération : le verre progressif “à vision naturelle”

La 4<sup>ème</sup> génération du verre progressif a été introduite en 1993 sous le nom de Varilux Comfort. Sa conception est partie de l'observation du comportement des porteurs de verres progressifs et sa réalisation a été rendue possible par l'évolution de la technologie de fabrication et de contrôle des surfaces progressives. L'idée de base était de raccourcir la longueur de progression du verre afin d'offrir aux porteurs une posture plus confortable en vision de près et de réussir, dans le même temps, à maîtriser la périphérie du verre afin d'éviter l'apparition de déformations inconfortables. Schématiquement, on peut dire qu'avant l'avènement de cette 4<sup>ème</sup> génération, les concepteurs de progressifs faisaient face à une alternative : soit concevoir un verre à progression « courte » mais de périphérie « dure », soit un verre à périphérie « douce » mais de progression « longue ». Le premier offrait aux porteurs une posture de lecture plus confortable mais un moindre confort en vision périphérique ; le second apportait un réel confort en vision dynamique mais une posture de lecture moins confortable. L'idée a été d'essayer de réunir en un même verre les deux caractéristiques de « progression courte » et « périphérie douce » afin d'offrir aux porteurs les deux bénéfices d'une posture confortable en vision de près et d'un vrai confort en vision périphérique et dynamique (figure 29). Ce qui fut fait dans la conception du Varilux Comfort.

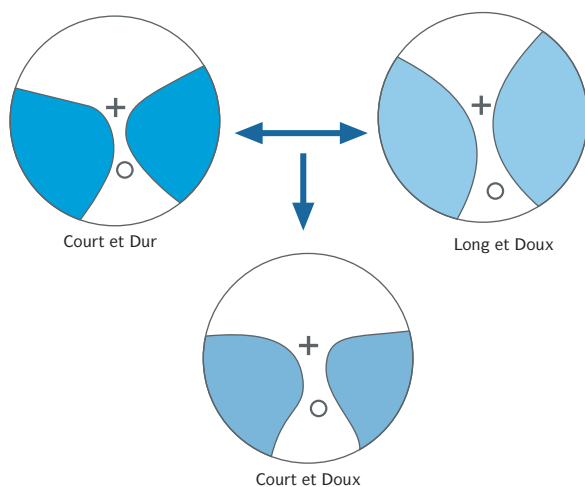


Fig. 29 : Principe de base de la conception du Varilux Comfort®.

Détaillons les caractéristiques de ce verre : Pour offrir une posture plus confortable en vision de près, la zone de vision de près a été positionnée assez haute dans le verre afin que le porteur puisse l'atteindre facilement et naturellement par un abaissement du regard de l'ordre de 25°, réduit de 5° par rapport aux générations précédentes de verres progressifs. En conséquence, le porteur peut conserver la tête abaissée d'un angle d'environ 35° (au lieu de 30°), position plus proche de la posture naturelle qu'il connaissait avant d'être presbyte (figure 30). Par ailleurs, il peut explorer son champ de vision de près plus facilement car les mouvements de la tête et des yeux nécessaires sont moindres (figure 31).

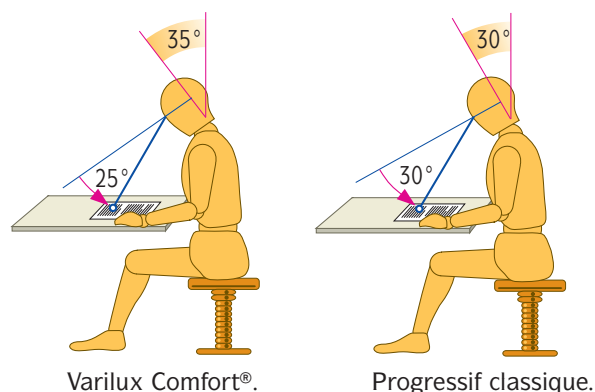


Fig. 30 : Postures de la tête et des yeux avec Varilux Comfort® comparées à progressif classique.

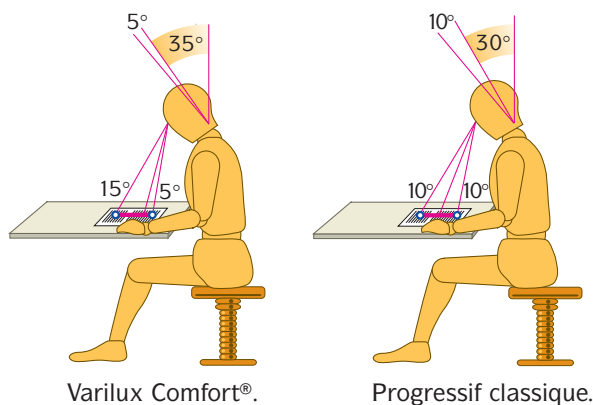
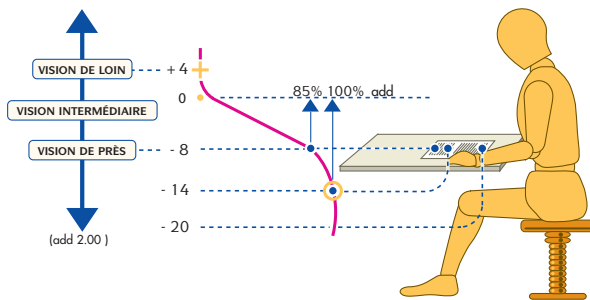


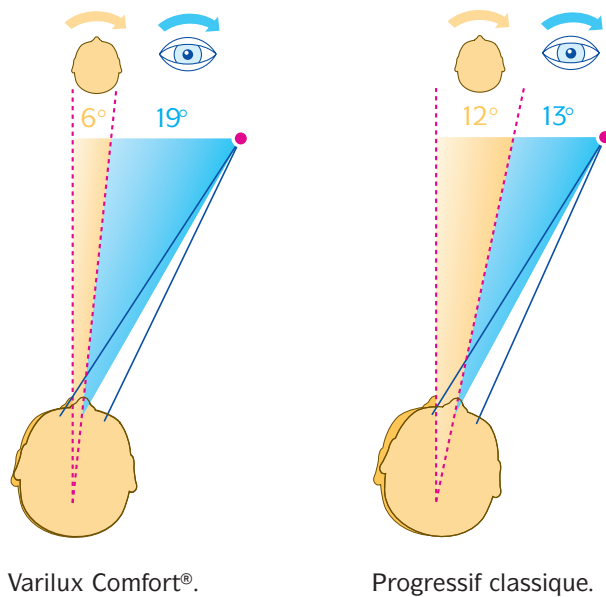
Fig. 31 : Mouvements de tête avec Varilux Comfort® comparés à progressif classique.

Ces avantages résultent du profil de progression spécifique du Varilux Comfort : pour une addition de 2.00 D, 85 % de l'addition – considéré comme le début de la zone de vision de près – sont atteints à 12 mm en dessous de la croix de montage, comparé à un minimum de 14 à 15 mm pour un progressif de génération précédente (figure 32).



**Fig. 32** : Profil de progression de puissance du Varilux Comfort® (plan addition 2.00).

Afin de procurer une vision périphérique et dynamique confortable, la surface progressive a été adoucie par un contrôle strict de la variation des caractéristiques optiques périphériques. En effet, il a été observé qu'en vision périphérique les porteurs étaient plus sensibles à la vitesse de variation de la puissance et de l'astigmatisme de la surface progressive -en fait aux variations des effets prismatiques qui leur sont attachés- qu'à leurs valeurs absolues. C'est ainsi que sur la surface progressive du Varilux Comfort, la puissance ne varie rapidement qu'à l'endroit où cela est nécessaire -c'est-à-dire au centre du verre le long de la méridienne de progression afin que la progression soit courte- et que partout ailleurs sur la surface elle varie moins rapidement. Cette caractéristique constitue l'un des brevets du Varilux Comfort. Par ailleurs, l'adoucissement périphérique de la surface permet d'offrir aux porteurs des champs de vision plus larges et, en conséquence, une réduction très significative de leurs mouvements de tête horizontaux (figure 33).



**Fig. 33** : Mouvements de la tête horizontaux avec Varilux Comfort® comparé à un progressif classique.

En vision binoculaire, l'asymétrie des verres a été renforcée afin d'équilibrer parfaitement les perceptions des deux yeux. Le profil géométrique de la progression - ou parcours de la progression sur le verre - a été étudié de manière à mieux correspondre au comportement du porteur : la progression de puissance ne suit plus une ligne droite sur le verre mais une ligne brisée et ce, de manière à suivre très exactement le parcours des yeux lors de l'abaissement du regard. En effet, celui-ci s'opère en coordination avec les mouvements verticaux de la tête et le plus souvent sous deux modes : passage vision de loin à vision intermédiaire et vision de près dans un premier temps et exploration prolongée de la zone de vision de près dans un deuxième temps. Ces deux modes génèrent des convergences des yeux différentes et nécessitent de proposer un profil de progression en deux parties tel que celui représenté sur la figure 34. Par ailleurs, le concept du multi-design par addition a connu une nouvelle application avec le Varilux Comfort : celle d'un décentrement variable de la zone de vision de près avec l'addition qui prend en compte le fait que les presbytes lisent plus près au fur et à mesure que leur addition augmente. En effet, par ce rapprochement ils se créent un grossissement artificiel qui vise à compenser la baisse de leur acuité visuelle induite par la perte progressive de transparence des milieux intra-oculaires avec l'âge. L'amplitude de cette variation du décentrement de la zone de vision de près est d'environ 1.6 mm par verre entre l'addition la plus faible et l'addition la plus forte (de 2.2 à 3.8 mm. Elle s'accompagne d'un raccourcissement de la longueur de progression avec l'augmentation de l'addition et plus précisément d'une remontée du point de départ de la zone de vision de près où les 85% de l'addition sont atteints (figure 34).

Le Varilux Comfort a rencontré un succès retentissant et contribué à assurer la percée définitive des verres progressifs comme moyen de correction de la presbytie. Il a été suivi de l'introduction de nombreux autres verres progressifs ; on en a dénombré dans le monde jusqu'à cinquante types différents.

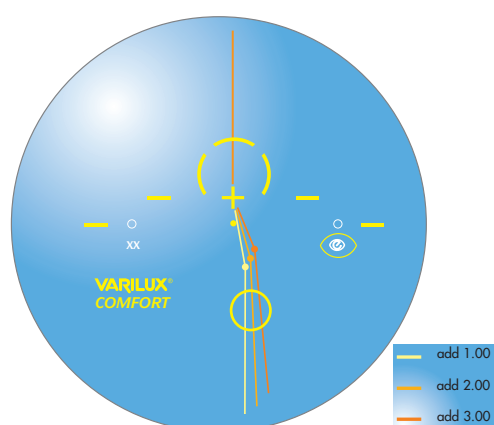


Fig. 34 : Décentrement variable de la zone de vision de près avec l'addition (Varilux Comfort®)

## 5<sup>ème</sup> génération : le verre progressif “à champ de vision élargi”

Pour améliorer encore la performance des verres progressifs, les concepteurs se sont intéressés aux attentes exprimées par les presbytes porteurs de verres progressifs. Elles sont de deux ordres : les jeunes presbytes recherchent avant tout « une adaptation facile et rapide » à leurs premiers verres progressifs et les presbytes confirmés « un plus grand champ de vision ». Le verre Varilux Panamic d'Essilor, représentant la 5<sup>ème</sup> génération des verres progressifs et lancé en l'an 2000, a été conçu afin de répondre à cette double attente. A cet effet, des améliorations ont été apportées dans chacun des domaines de la vision périphérique, de la vision binoculaire et de la vision fovéale, la somme de ces améliorations contribuant à atteindre le bénéfice recherché.

Afin d'offrir aux jeunes presbytes une « adaptation facile et rapide », les améliorations suivantes ont été apportées (figure 35) :

- en vision périphérique, réduction des déformations par contrôle de la distribution des effets prismatiques sur la surface du verre.
- en vision binoculaire, réduction des effets de tangage par minimisation de la différence de perception de vitesse de déplacement des objets perçue par l'œil droit et l'œil gauche. Il a été à cette occasion découvert que les sensations de tangage, parfois ressenties par les porteurs, trouvent essentiellement leur source dans la vision binoculaire.
- en vision fovéale, respect de la posture naturelle de la tête et des yeux par conservation du profil de progression du Varilux Comfort.

**Fig. 35** : Améliorations apportées par le Varilux Panamic® pour les jeunes presbytes.



Varilux Panamic®.



Progressif classique.

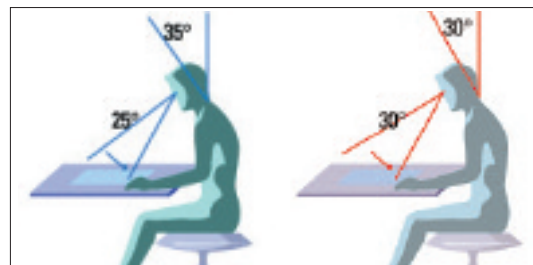
a) Vision périphérique.



Varilux Panamic®.

Progressif classique.

b) Vision binoculaire.



Varilux Panamic®.

Progressif classique.

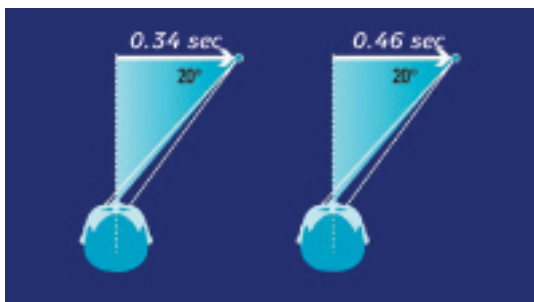
Varilux Comfort®.

c) Vision fovéale.

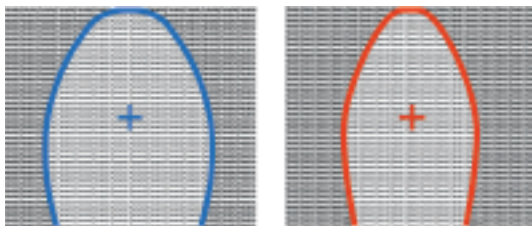
Afin d'apporter aux presbytes confirmés un « champ de vision élargi », les améliorations suivantes ont été apportées (figure 36)

- en vision périphérique, réduction du temps nécessaire à l'identification d'une cible en périphérie par adoucissement de la surface
- en vision binoculaire, élargissement des horoptères -lieu des points vus binoculairement simples- pour toutes les positions des yeux et obtenu grâce à la douceur de variation des effets prismatiques du verre.
- en vision fovéale, élargissement significatif des zones de pleine acuité du verre en vision intermédiaire et vision de près.

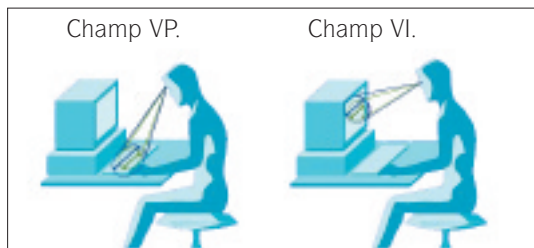
**Fig. 36** : Améliorations apportées par le Varilux Panamic® pour les presbytes confirmés.



Varilux Panamic®. Progressif classique.  
a) Vision périphérique.



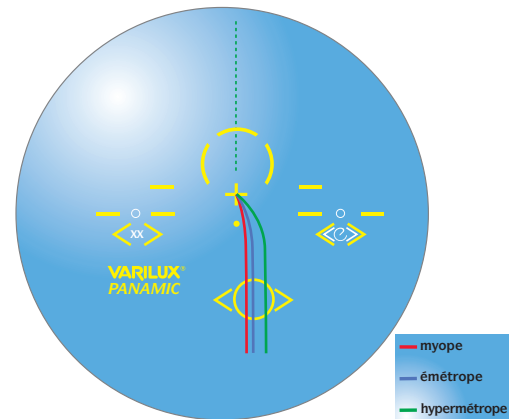
Varilux Panamic®. Progressif classique.  
b) Vision binoculaire.



Varilux Panamic®. ↔  
Varilux Comfort®. ↔  
c) Vision fovéale.

Globalement, le Varilux Panamic est un progressif plus doux que ceux des générations précédentes et la concrétisation de la plus grande importance qu'accordent les porteurs à la variation des caractéristiques optiques du verre par rapport à leurs valeurs absolues.

Par ailleurs, le concept du multi-design a pris avec le Varilux Panamic une nouvelle dimension, celle d'une variation du décentrement de la vision de près en fonction de la correction de la vision de loin et plus seulement en fonction de l'addition. En effet, toute correction vision de loin significative induit la présence d'effets prismatiques dans la zone de vision de près qui décalent sensiblement la position de l'œil dans le verre. Ainsi, le décentrement de la zone de vision de près doit être moindre chez le myope que chez l'hypermétrope. Il nécessite de réaliser sur le verre un décentrement variable en fonction de la correction de vision de loin et plus précisément de la base. Cumulé au décentrement variable avec l'addition, l'amplitude de la variation est de l'ordre de 3.2 mm par verre entre le myope fort d'addition faible et l'hypermétrope fort d'addition forte (de 2.0 à 5.2 mm). Notons que cela ne change en rien le mode de centrage du verre puisque la correction de vision de loin et la distance habituelle de lecture du porteur ne sont pas prises en compte lors de la mesure des demi-écarts inter-pupillaires (figure 37)



**Fig. 37** : Décentrement de la vision de près du Varilux Panamic® avec l'addition et l'amétropie.

A la suite de l'introduction du Varilux Panamic d'autres surfaces progressives ont vu le jour comme l'Evolis de BBGR, le Grand Genius de Seiko avec surface progressive arrière, le Definity de Johnson and Johnson et le Hoyalux ID de Hoya qui partagent la surface progressive sur les faces avant et arrière du verre. Quels que soient leurs conceptions ou leurs modes de réalisation, tous ces nouveaux verres progressifs ont en commun avec le Varilux Panamic la recherche d'un adoucissement des surfaces progressives pour un meilleur confort de vision des presbytes.

## Le verre progressif “pour petite monture”

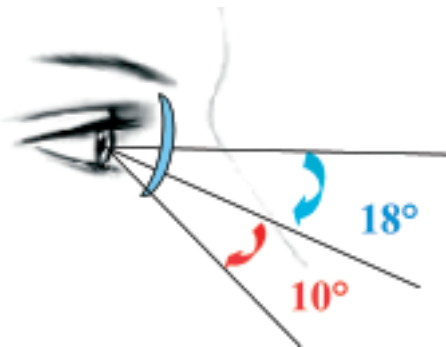
Avec l'évolution de la mode, le choix des porteurs de lunettes se porte souvent sur des montures de petites dimensions, ce qui pose un problème particulier pour leur équipement en verres progressifs. En effet, pour assurer une vision confortable il est nécessaire de disposer d'une hauteur de monture suffisante pour loger la progression du verre dans la monture et offrir des zones de vision de près et de loin confortablement exploitables. De plus, le porteur d'une petite monture a un comportement visuel particulier : il a tendance à abaisser plus la tête et moins les yeux qu'un porteur de monture classique et à faire, en compensation, une exploitation maximale de la largeur de son champ de vision. Ainsi, on considère que le porteur d'une petite monture fait un abaissement moyen des yeux en vision de près inférieur à  $20^\circ$  à comparer à un abaissement supérieur à  $25^\circ$  avec une monture classique (voir figure 38). Il exploite aussi plus largement son champ horizontal en vision de loin. En terme de conception de surface progressive, il est nécessaire de concevoir un verre progressif à progression courte et à zone de vision de loin élargie.

C'est, par exemple, le cas du verre Varilux Ellipse d'Essilor qui possède une progression très courte, telle que le début de la zone de vision de près -point où 85 % de l'addition sont atteints- se trouve à 9.5 mm de la croix de montage (comparé à 12 mm pour les autres Varilux) et qui nécessite un abaissement des yeux d'à peine  $18^\circ$  pour la vision de près. Il autorise des hauteurs de montage jusqu'à 14 mm.

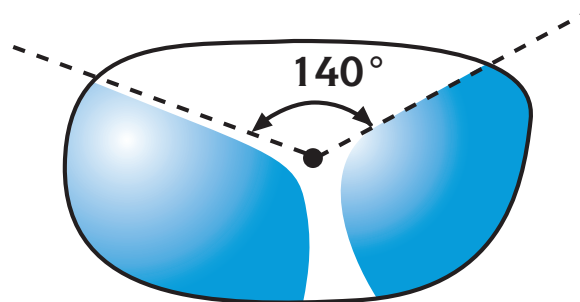
Ce verre offre aussi un angle d'ouverture de sa zone de vision de loin d'environ  $140^\circ$ , supérieur d'au moins  $20^\circ$  à celle d'un progressif classique.

Notons que pour assurer une vision de loin confortable, il est nécessaire de disposer d'un minimum de 10 mm -entre la croix de montage et le bord supérieur de la monture- et donc, en définitive, une hauteur totale de monture de 24 mm. Il va de soi que ces valeurs restent des minimales.

**Fig. 38** : Principe de conception d'un verre progressif pour petite monture (Varilux®Ellipse).



a) Progression courte.



b) Vision de loin dégagée.

## 6<sup>ème</sup> génération : le verre progressif “à haute résolution”

Pour une qualité de vision encore améliorée, la 6<sup>ème</sup> génération des verres progressifs cherche à maximiser la performance visuelle du porteur. Dans la conception des verres progressifs, on ne considérait jusque là que les rayons lumineux qui atteignent l'œil après traversée du verre. Avec cette nouvelle génération, les concepteurs s'intéressent, en plus, à la forme des faisceaux lumineux qui pénètrent dans la pupille. Le principe est d'optimiser la performance visuelle pour chaque direction du regard en maîtrisant les caractéristiques du faisceau lumineux qui entre dans la pupille.

Varilux Physio, introduit par Essilor en 2006, est le premier verre progressif conçu sur ce principe et plus précisément pour :

- maximiser l'acuité visuelle en vision de loin par correction de l'aberration de coma,
- optimiser le fonctionnement de l'accommodation en vision intermédiaire en facilitant la mise au point sur les verticales,
- augmenter l'amplitude du mouvement des yeux en vision de près par agrandissement du champ d'acuité.

Cette optimisation est rendue possible par l'utilisation d'une nouvelle technique de calcul basée sur la maîtrise des fronts d'onde.

### **1) Maximisation de l'acuité visuelle en vision de loin :**

Quelle que soit la correction, le système verre-œil est entaché d'aberrations optiques. Au delà des aberrations classiques -de défaut de puissance et d'astigmatisme des faisceaux obliques-, la coma est, parmi les aberrations d'ordre supérieur, celle qui est la plus présente dans les verres progressifs et influe le plus sur l'acuité visuelle et la sensibilité au contraste. Elle est due à la variation de la puissance du verre -à l'intérieur même de la projection de la pupille de l'œil sur le verre- et affecte la qualité de vision du porteur, plus particulièrement dans la zone de vision de loin du verre où la pupille est plus grande.

Grâce à la technique de maîtrise du front d'onde, la coma peut-être mesurée et parfaitement contrôlée sur un large secteur autour du centre de la vision de loin. Avec Varilux Physio les aberrations perçues par le porteur sont considérablement réduites par rapport à celle d'un verre progressif standard. Pour le porteur, cela se traduit par une image de meilleure précision donc par une meilleure acuité visuelle et un meilleur contraste.

### **2) Optimisation du fonctionnement de l'accommodation en vision intermédiaire :**

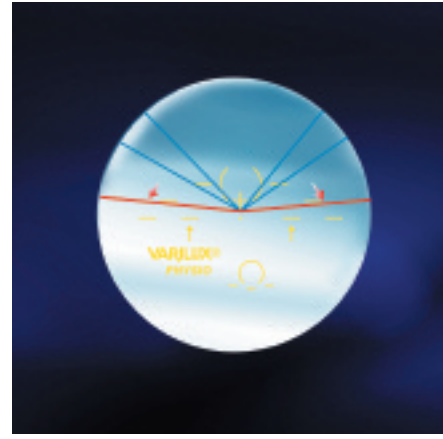
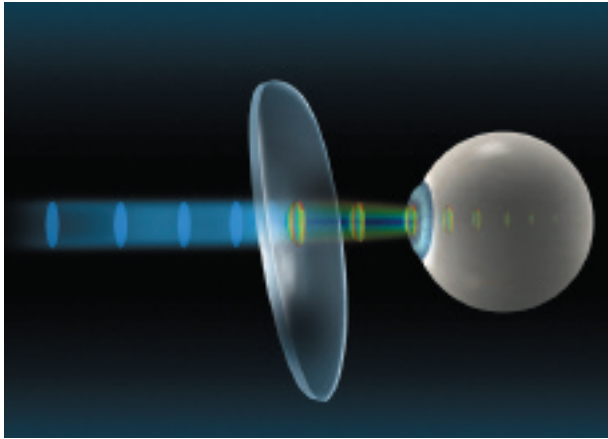
En présence d'astigmatisme, l'œil cherche à en minimiser les effets et recherche naturellement la mise au point sur les directions verticales. C'est le cas dans un verre progressif où subsistent inévitablement des cylindres résiduels de surface, plus particulièrement dans la zone de vision intermédiaire de part et d'autre de la méridienne de progression.

Le principe nouveau retenu avec Varilux Physio est d'orienter verticalement la focale la plus puissante de manière à minimiser l'effort d'accommodation nécessaire. La technique de maîtrise du front d'onde permet de gérer l'astigmatisme résultant sur l'ensemble de la pupille, d'en minimiser la valeur et d'en orienter l'axe verticalement. Pour le porteur, la mise au point se fait plus naturellement et les champs d'acuité en vision intermédiaire sont perçus élargis de plus de 30 % par rapport à un progressif classique.

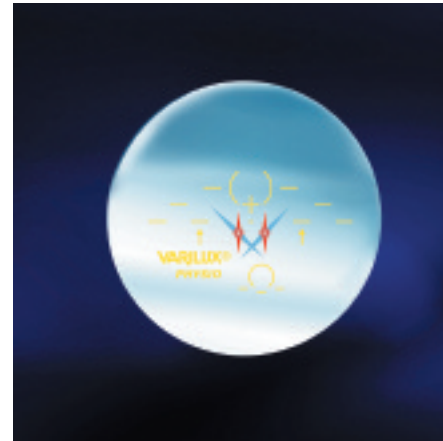
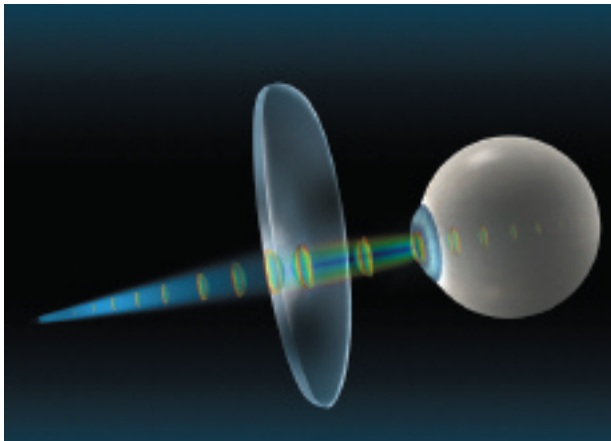
### **3) Augmentation de l'amplitude du mouvement des yeux en vision de près :**

En vision de près les yeux explorent naturellement le champ dans sa direction verticale. Dans un verre progressif, l'amplitude possible du mouvement des yeux est définie par la dimension de la zone du verre où la puissance de vision de près est stabilisée. Si cette zone est limitée, elle impose au porteur de fréquents mouvements verticaux d'ajustement de la tête souvent accompagnés de nécessaires changements de posture. Dans la conception de Varilux Physio, la zone de puissance stabilisée a été agrandie en hauteur. Le porteur bénéficie d'un plus grand champ vertical de vision nette et d'un meilleur respect de sa posture naturelle.

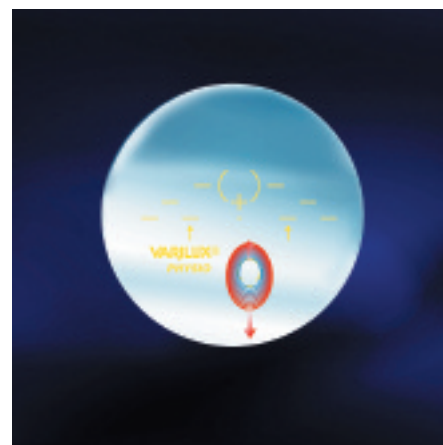
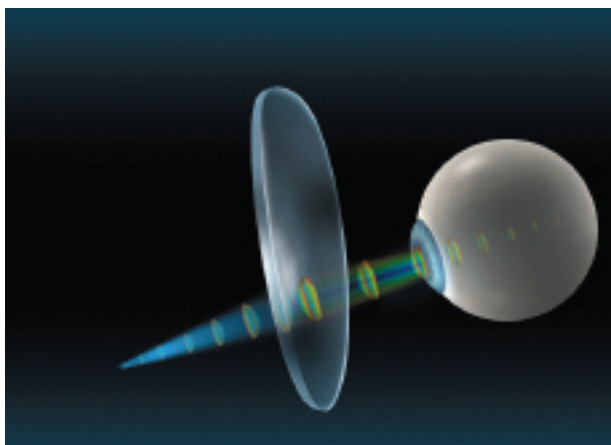




**Fig. 39** : Contrôle de la coma en vision de loin (Varilux Physio®)



**Fig. 40** : Contrôle des axes des cylindres résiduels en vision intermédiaire (Varilux Physio®)



**Fig. 41** : Agrandissement de la zone stabilisée en vision de près (Varilux Physio®)

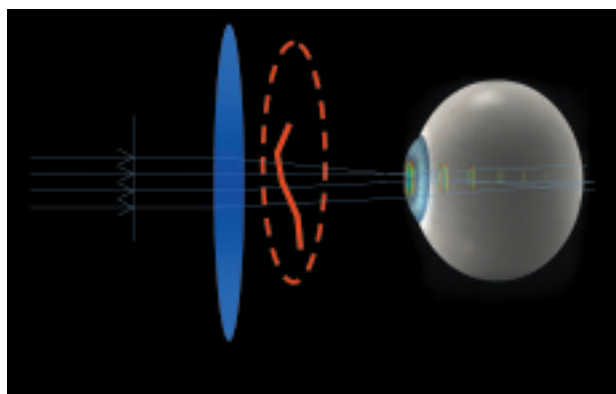
## Une technologie nouvelle : “La Twin Rx Technology™”

Le développement de Varilux Physio a été rendu possible grâce à deux innovations technologiques : le calcul par la « Maîtrise du Front d'Onde » et le procédé de « Jumelage point par point ». La composition de ces deux innovations constituent la « Twin Rx Technology ».

### **Maîtrise du Front d'Onde™ :**

Tous les verres progressifs, de part leurs variations de puissance, déforment les faisceaux lumineux et donc les fronts d'ondes lumineuses qui les traversent. Il en découle des aberrations optiques qui affectent l'acuité visuelle du porteur. Pour obtenir une image rétinienne de haute résolution, il est nécessaire, pour chaque direction du regard, de pouvoir analyser l'ensemble du faisceau lumineux qui traverse le verre et pénétre dans l'œil et de réduire au maximum les déformations du front d'onde entrant dans la pupille. Gérer un tel faisceau ne peut être réalisé par les méthodes classiques de calcul qui ne considèrent qu'un rayon lumineux unique passant par le centre de la pupille. Seule la technique de maîtrise du front d'onde permet d'optimiser la qualité du faisceau dans son ensemble. Elle consiste à réaliser un calcul local de la surface qui permet d'obtenir un front d'onde émergent du verre qui soit le plus régulier et sphérique possible.

C'est la première fois, avec Varilux Physio, qu'est utilisée une telle technique de calcul d'un verre progressif.

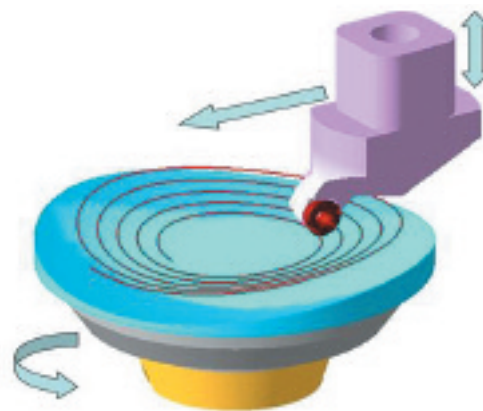


**Fig. A :** Technologie de Maîtrise du Front d'Onde™.

### **Jumelage Point par Point™ :**

Le design de la surface progressive résulte d'un calcul complexe intégrant toutes les fonctions optiques déterminées par la technique de maîtrise du front d'onde en chaque point du verre et pour toutes les directions de regard. Ce design optique complexe intègre un calcul de haute précision de la surface arrière du verre s'ajustant à la surface avant progressive dans chaque direction du regard. Un logiciel de calcul réalise un Jumelage Point à Point des surfaces avant et arrière du verre et détermine la surface arrière complémentaire à réaliser pour obtenir la fonction optique recherchée. Une technologie de surfacage direct point par point dite « Surfacage Numérique Avancé » permet de réaliser la fabrication de la surface arrière complexe.

L'innovation réside dans le fait que le verre est optimisé pour chaque correction. Par les méthodes classiques, seulement une puissance par base était exactement optimisée. Aujourd'hui le surfacage numérique permet de fabriquer point à point la surface arrière permettant d'obtenir très exactement la fonction optique recherchée et donc d'optimiser parfaitement le verre quelle que soit la prescription.



**Fig. B :** Surfacage Numérique Avancé™.

# Evolution

## des verres progressifs

### Une nouvelle dimension : le verre progressif “personnalisé”

Avec l'évolution de la technologie, tant de calcul que de fabrication, il est devenu possible de réaliser des surfaces progressives à la pièce et de les concevoir sur-mesure pour chaque porteur. Une ère nouvelle s'ouvre donc, celles des verres progressifs « personnalisés » aux besoins de chaque porteur.

Une première approche d'individualisation des verres progressifs a été réalisée par Rodenstock avec l'Impression ILT (pour Individual Lens Technology) et Zeiss avec l'Individual sur des critères liés à la prescription et au centrage du verre. Ces verres sont calculés à partir de la prescription mais aussi des données du centrage : demi-écarts inter-pupillaires, distance verre-œil, inclinaison de la monture et angle de galbe de la monture. L'idée de base est de redonner à chaque presbyte la même vision que celle du presbyte emmétrope de même addition.

Une autre approche est celle retenue par Essilor avec Varilux Ipseo. Elle consiste à proposer un verre conçu et fabriqué en fonction du comportement visuel du porteur. Le critère retenu pour la personnalisation est la coordination des mouvements des yeux et de la tête c'est-à-dire la tendance naturelle du porteur à plus utiliser les yeux ou la tête pour explorer son champ de vision. Ainsi, on peut distinguer deux comportements opposés :

- les patients qui ont plutôt tendance à tourner les yeux en gardant la tête fixe, dénommés « Visionautes » (ou « Eye Movers » en anglais),

- les patients qui ont plutôt tendance à tourner la tête en conservant les yeux peu mobiles, dénommés « Céphalonautes » (ou « Head Movers » en anglais).

Ces stratégies visuelles, acquises au cours du développement, sont des caractéristiques propres à chaque individu. Elles sont très stables et reproductibles et sont indépendantes de l'amétropie, du niveau de presbytie et de l'âge des sujets. Tous les types de comportements existent et se distribuent de manière continue du plus « visionaute » ne bougeant quasiment pas la tête au plus « céphalonaute » qui ne bouge que très peu les yeux. En matière de conception de verres progressifs, ils ont un intérêt fondamental car ils définissent la manière dont l'œil explore le verre et en utilise les différentes parties. En particulier :

- un « visionaute » fait de son verre une utilisation plutôt statique : l'essentiel des mouvements est fait par les yeux, la vision est plutôt fovéale, le sujet est plus sensible à la netteté de l'image, il faudra donc privilégier sur le verre la largeur du champ d'acuité.

- un « céphalonaute » fait de son verre une utilisation plutôt dynamique : la tête fait l'essentiel du mouvement, la vision est plutôt périphérique, le sujet est plus sensible aux effets de tangage, il faudra donc privilégier sur le verre la douceur des zones périphériques.

Ainsi, en fonction du comportement du porteur, on peut calculer la surface progressive qui lui est propre et lui apporte le meilleur confort.

En pratique, il est nécessaire de pouvoir mesurer le comportement tête/œil de chaque porteur. Un instrument appelé « Système d'Empreinte Visuelle » (en Anglais « Vision Print System ») a été conçu à cet effet (figure 42). Le sujet placé devant l'instrument, porte une paire de lunettes munie d'un radar permettant de mesurer ses mouvements de tête. Sa tâche est d'aller regarder des diodes lumineuses qui s'allument aléatoirement à 40° d'excentricité à droite et à gauche et de ramener son regard sur une diode centrale après chaque excursion périphérique. La mesure est effectuée une vingtaine de fois à la distance de 40 cm. Deux informations en sont extraites :

- le coefficient tête/œil, nombre compris entre 0 et 1, qui donne la proportion de mouvements de tête utilisée par le sujet. Celui-ci sera considéré comme « visionaute » si le coefficient est inférieur à 0.5 et comme « céphalonaute » si ce coefficient est compris entre 0.5 et 1.
- le coefficient de stabilité qui est l'écart-type des mesures réalisées.



Fig. 42 : Système d'Empreinte Visuelle™.

Ces deux informations servent ensuite à calculer la surface progressive selon les deux principes suivants :

- le coefficient tête/œil qui mesure la zone du verre utilisée pour l'acuité maximale et indique donc quelle répartition sera à réaliser dans la conception du verre entre la zone centrale de vision fovéale et la zone latérale de vision périphérique : la zone centrale d'acuité sera élargie pour un « visionaute » et la zone périphérique adoucie pour un « céphalonaute ».
- le coefficient de stabilité qui mesure la reproductibilité du comportement tête/œil et indique comment la limite entre la zone centrale de vision fovéale et la zone latérale de vision périphérique pourra être gérée : cette limite sera d'autant plus marquée que le comportement sera plus reproductible et d'autant plus douce que le comportement sera plus variable.

Ainsi, en plus des caractéristiques habituelles de la prescription, est ajoutée une nouvelle composante qui précise la dynamique de l'utilisation des verres et permet une personnalisation des surfaces progressives selon les comportements individuels des porteurs. Conçu à la mesure exacte du porteur il offre une performance visuelle améliorée. Par ailleurs, ce verre bénéficie aussi de tous les avantages des dernières avancées de la technologie : différentes longueurs de progression, Twin Rx Technology etc...

Le critère de coordination tête-œil retenu pour le Varilux Ipseo est un premier critère de personnalisation. Il sera suivi d'autres approches. Nous ne sommes donc aujourd'hui qu'à l'aube de l'ère des verres progressifs personnalisés.

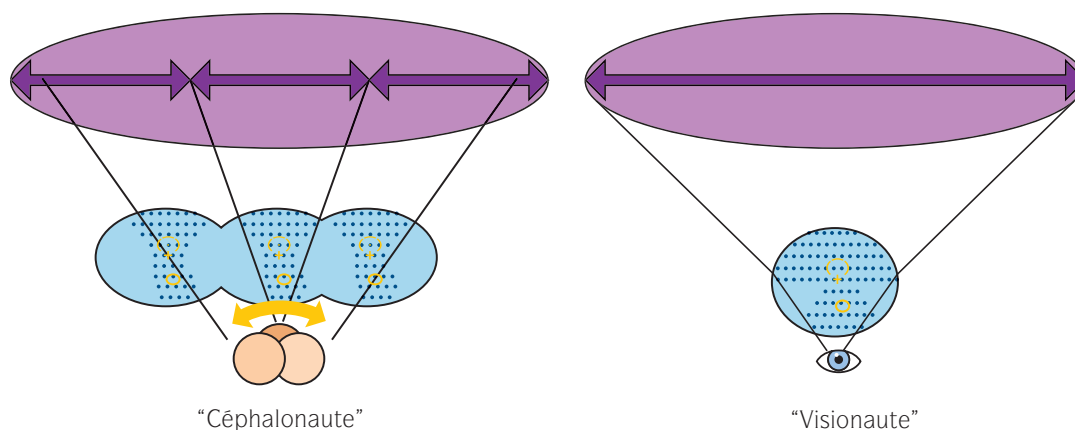


Fig. 43 : Principe de personnalisation du Varilux® Ipseo™.

# Conclusion

Depuis l'apparition des verres progressifs il y a près de cinquante ans, la technologie de leur conception et fabrication a connu une incessante évolution : de surfaces progressives réalisées à l'origine de manière quasi artisanale jusqu'aux plus récentes technologies de surfaçage direct par machines à commande numérique, des progrès considérables ont été réalisés.

Parallèlement, le confort de vision des presbytes a été très nettement amélioré : si les verres progressifs nécessitaient, à l'origine, un réel effort d'adaptation de la part des porteurs, leur apprentissage est quasi-immédiat avec les surfaces progressives les plus récentes.

Aujourd'hui, la performance des verres progressifs et leur supériorité sur les verres bifocaux et unifocaux ne sont plus à démontrer. Leur développement va se poursuivre et s'accélérer : si plus de cinq cent millions de presbytes ont déjà bénéficié du confort de ces verres, le cap du milliard sera largement franchi dans la décennie à venir.

L'aventure mondiale de la correction de la presbytie par verres progressifs va se poursuivre. Des presbytes toujours plus nombreux vont adopter les verres progressifs afin de « mieux voir » pour « mieux vivre ».



[www.varilux-university.org](http://www.varilux-university.org)

