

L'adaptation en lentilles de contact des enfants porteurs d'un kératocône

Florence Malet

L'adaptation de lentilles chez l'enfant porteur d'un kératocône est particulièrement importante en termes de développement visuel lorsque les lunettes ne peuvent plus corriger l'astigmatisme irrégulier. La tolérance des lentilles rigides est souvent satisfaisante avec un temps d'adaptation souvent plus court que chez l'adulte ainsi que l'on montré des évaluations réalisées chez les enfants adaptés en lentilles rigides pour des amétropies simples.

La surveillance de l'évolution du kératocône est un paramètre essentiel très spécifique chez l'enfant.

La découverte d'un kératocône chez l'enfant est souvent faite à un stade déjà relativement évolué de l'affection et va donc nécessiter une correction par lentilles de contact. Il existe de rares cas où la détection de la maladie est faite lors d'un examen systématique de la fratrie d'un porteur d'un kératocône, mais il s'agit le plus souvent de formes frustes ou débutantes dont la correction ne nécessite pas à ce stade de lentilles. Une des particularités des kératocônes chez l'enfant est leur rapidité évolutive qui, aujourd'hui, nécessite une prise en charge associant à leur correction optique un traitement par cross-linking pour stabiliser l'évolution.

L'adaptation en lentilles du kératocône chez l'enfant va poser en pratique plusieurs problèmes :

1. celui du contexte et de l'environnement familial particulièrement soucieux de la découverte la maladie,
2. celui de l'adaptation elle-même à un âge où le port de lentilles n'a pas été envisagé le plus souvent,
3. celui du suivi évolutif de l'affection qui va nécessiter un traitement complémentaire par cross-linking.

Le contexte psychologique est un élément particulièrement important à prendre en compte. L'anxiété parentale, bien compréhensible, est souvent transmise à l'enfant ; ceci doit nous amener à prendre tout le temps nécessaire en explications non seulement dans la démarche de l'adaptation en lentilles en particulier mais aussi dans la prise en charge plus globale de la maladie.

Centre national de référence du kératocône,
CHU Bordeaux

Les indications d'adaptation en lentilles chez l'enfant porteur d'un kératocône

Le paramètre essentiel de l'indication est l'amélioration de l'acuité visuelle attendue. Son évaluation peut être faite après mesure de la meilleure acuité visuelle corrigée par verres correcteurs et utilisation d'un trou sténopéique. Cette mesure nous donnera l'acuité visuelle que l'on pourra obtenir avec une lentille rigide.

Les kératocônes unilatéraux de l'enfant doivent être équipés en lentilles en raison d'une possible amblyopie, ce d'autant que l'enfant est jeune. Il n'existe pas de valeur seuil minimale d'acuité visuelle orientant vers le port de lentilles et faisant abandonner les lunettes ; cependant, il est communément admis qu'une réduction de l'acuité visuelle supérieure à 20 % par rapport à l'acuité visuelle connue au préalable reste le moment opportun pour débiter l'adaptation. Il est à noter que les enfants ne se plaignent pas de gêne visuelle liée aux aberrations optiques d'ordre supérieur telles que le décrivent les adultes jeunes.

Les contre-indications d'adaptation en lentilles sont rares

Elles peuvent être liée à un stade évolutif sévère de la maladie avec présence d'opacités cornéennes profondes qui ne pourront pas permettre d'obtenir un gain d'acuité visuelle (figure 1). Cependant, en présence d'opacités modérées, un test d'évaluation du potentiel visuel a son

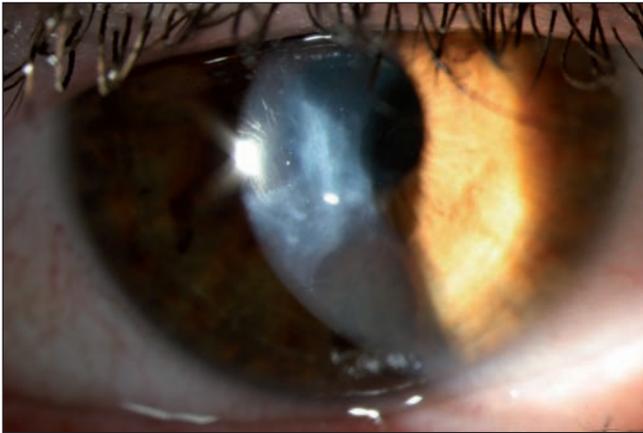


Figure 1. Opacités cornéennes profondes.

intérêt car il permet de repousser un peu la réalisation d'une kératoplastie chez l'enfant. Certains terrains sont plus difficiles à équiper comme l'association à une trisomie 21 ou lors de retard mental isolé. Des manifestations allergiques sévères constituent également une contre-indication transitoire. Un eczéma sévère du visage et des paupières nécessite une prise en charge coordonnée avec un dermatologiste afin d'améliorer l'état local avant de démarrer une adaptation.

La consultation pré-adaptation, la génétique

L'interrogatoire et l'entretien initial sont importants pour bien expliquer et motiver l'enfant et les parents pour une correction en lentilles. Il est certain que si l'un des deux parents est ou a été porteur de lentilles, le début en est facilité. Il est fondamental de préciser que le port des lentilles ne freine pas l'évolution du kératocône et que la finalité de cette adaptation est un gain de vision. On explique parallèlement que l'évolution du kératocône sera prise en charge par un traitement différent qu'est le cross-linking. L'importance de ne pas se frotter les yeux, source d'aggravation de la maladie, est également rappelée dans cet entretien.

Lors de cette consultation, beaucoup de parents posent à nouveau des questions sur le caractère génétique de la maladie, notamment si l'un d'entre eux est porteur de l'affection. La génétique joue en effet un rôle majeur dans la survenue et la transmission du kératocône. Les chercheurs n'ont pas encore identifié de gène particulier car il y en a sans doute plusieurs.

En effet, si la plupart des kératocônes sont « isolés » (environ 10 % des cas), jusqu'à 40 % semblent être trans-

mis génétiquement selon les critères diagnostiques utilisés. De plus, une étude a montré que lorsqu'un apparenté de 1^{er} degré est atteint, le risque de développer un kératocône est 15 à 67 fois supérieur à celui de la population générale. On pense qu'il existe au sein d'une même famille des formes de kératocône gênantes et d'autres, dites frustes ou « infracliniques », qui sont très discrètes et la plupart du temps non dépistées. C'est pourquoi il est difficile de connaître la prévalence exacte du kératocône et son mode de transmission génétique et seul un examen minutieux par vidéokératographie peut permettre de déceler ces formes frustes chez des personnes apparemment non atteintes (parents, fratrie).

Les examens complémentaires chez l'enfant

La vidéotopographie est essentielle avant toute adaptation de façon à bien préciser le stade de l'affection. Elle est facilement réalisable chez l'enfant à partir de 6 ans. Les cartes tangentielles sont actuellement disponibles avec tous les topographes et permettent de bien situer le sommet du cône. Les différents aspects topographiques mettent souvent en évidence une atteinte différente entre les deux yeux avec conservation d'un certain degré d'énantiomorphisme, c'est-à-dire de symétrie en miroir. Les formes les plus fréquemment observées sont les kératocônes inféro-nasaux ; le sommet peut cependant se situer dans n'importe quel quadrant. Le siège est retrouvé en inféro-nasal dans 55 à 70 % des cas, en inféro-temporal dans environ 30 % des cas et dans un autre quadrant, supérieur, nasal ou temporal, dans 7 % des cas. Les cartes différentielles sont intéressantes dans le suivi de l'enfant, mais elles doivent être idéalement réalisées dans les mêmes conditions de retrait préalable des lentilles. En pratique, il est souvent difficile d'avoir des mesures après le retrait des lentilles supérieures à 12 heures en raison de la dépendance visuelle de cette correction. La mesure de la kératométrie maximale reste la mesure clé en termes de suivi évolutif. L'astigmatisme relevé dans les zones de 3 mm et 5 mm donnent des informations sur la pente du cône, utiles à l'adaptation des lentilles, notamment en ce qui concerne les dégagements périphériques (figure 2).

Les vidéotopographes avec mesure de l'élévation tels l'Orbscan, le Pentacam et le Galliléi permettent des évaluations très précises de la topographie postérieure (figure 3). Leur couplage avec l'évaluation des aberrations permet de bien comprendre les acuités visuelles très altérées. On a pu montrer en corrélant les aspects topographiques aux valeurs d'acuité visuelle que celles-

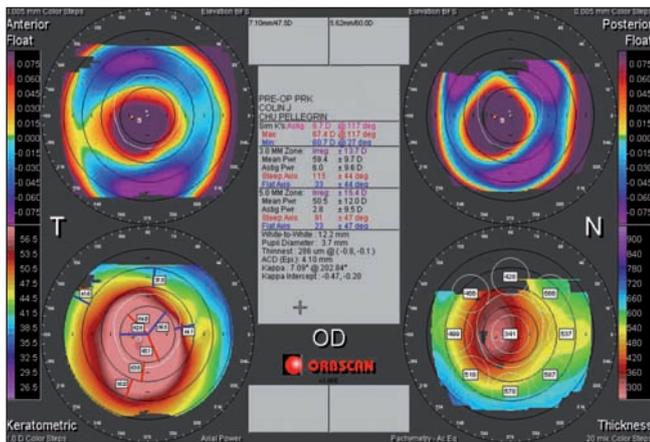


Figure 2. Orbscan : kératocône évolué.

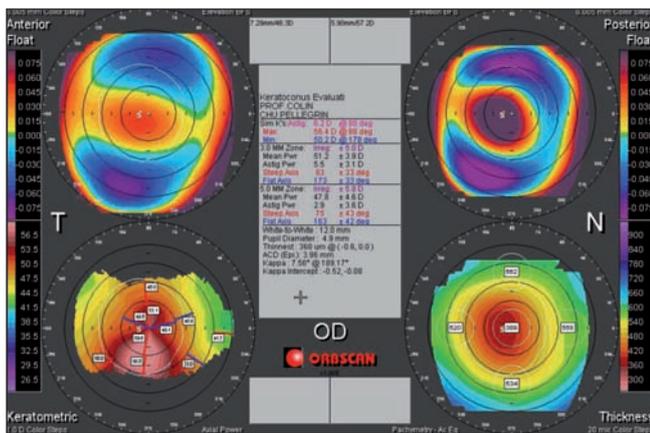
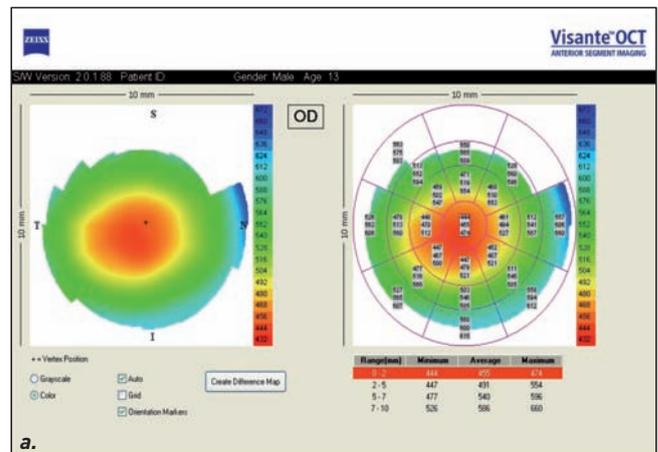


Figure 3. Orbscan : sommet du kératocône relativement peu décentré en élevation postérieure.

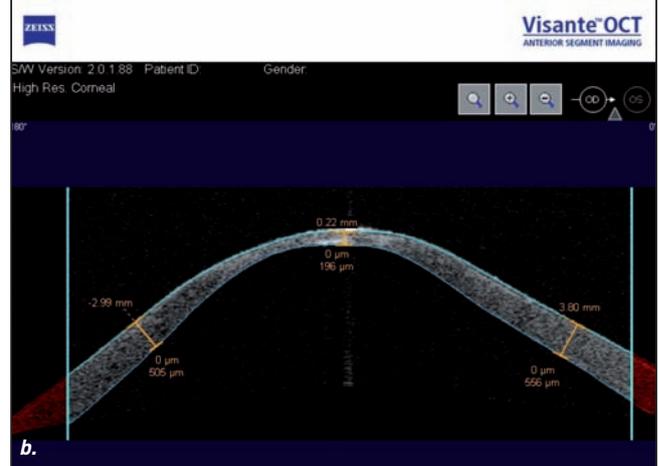
ci étaient corrélées à la distance du sommet du kératocône au centre de la cornée mais aussi, et surtout, à la distance centre cornéen-point de kératométrie maximale. La baisse de vision est très corrélée également avec l'amplitude d'élevation maximale sur la carte d'élevation antérieure.

Il est à noter que la pachymétrie minimale influence également le niveau d'acuité visuelle. Le suivi de la pachymétrie est très important en termes de surveillance d'évolution de la maladie et les mesures les plus précises peuvent être obtenues avec l'OCT de segment antérieur (type Visante) (figure 4).

L'évaluation par l'Ocular Response Analyser (ORA) n'est pas un examen clinique de routine chez l'enfant ; cependant, il faut savoir que l'âge et la kératométrie n'interviennent pas significativement sur les résultats obtenus. Son intérêt est plus important dans l'évaluation et le suivi des enfants traités par cross-linking afin de mesurer l'efficacité du traitement. Les valeurs de mesure consi-



a.



b.

Figure 4. a. Pachymétrie. b. Opacités d'un kératocône évolué mises en évidence par un OCT de segment antérieur.

d r es comme anormales sont un CRF (Corneal Resistance Factor) > 8 mmHg, un CH (Corneal Hysteresis) < 7 mmHg et un CH > CRF.

Le diagnostic différentiel chez l'enfant

Le kératocône postérieur est une anomalie existant dès la naissance, unilatérale, ne touchant que la face postérieure de la cornée ; il est souvent associé à d'autres anomalies du segment antérieur comme un syndrome de clivage, une atrophie de l'iris, des opacités ou une ectopie du cristallin. Une vidéotopographie en élevation confirme bien la nature postérieure de l'amincissement local ou plus généralisé de la cornée.

Le k ratoglob  est bilatéral, présent dès la naissance le plus souvent. Il est associé à une myopie forte. Le diamètre cornéen est normal à la différence d'une buphtalmie ou d'un glaucome congénital. L'amincissement de la

Dossier

cornée est global et son évolution est marqué par le risque d'une perforation cornéenne.

Chez l'enfant, les diagnostics différentiels pouvant être éliminés sont : la dégénérescence marginale pellucide et bien évidemment les ectasies post-lasik. La dégénérescence marginale pellucide, forme clinique du kératocône, affecte les patients plus âgés avec un début plus tardif dans la vie ; la vidéotopographie montre une atteinte périphérique avec un aspect « en pince de crabe ».

Les mesures pré-adaptation en lentilles et l'examen à la lampe à fente

Les mesures kératométriques obtenus par réfracteur automatique sont très fiables et utiles pour le choix du rayon de la lentille d'essai, mais elles permettent avant tout de connaître le stade évolutif du kératocône en fonction de la kératométrie moyenne obtenue :

- débutant : $K_m < 45$ D, soit $> 7,50$ mm,
- modéré : $K_m = 45$ à 50 D, soit $= 6,75$ à $7,50$ mm,
- évolué : $K_m = 50$ à 55 D, soit $6,14$ à $6,75$ mm.

Le K_{max} sera toujours noté car il est le témoin du critère d'évolutivité de la maladie.

Dans le kératocône de l'enfant, il n'est pas utile de réaliser une cycloplégie, à la différence de toutes les autres adaptations en lentilles chez l'enfant.

Avant toute pose de lentilles, l'examen à la lampe à fente aura noté l'existence et l'importance des stries de Vogt et la présence éventuelle de petites opacités cornéennes superficielles ou profondes. L'état conjonctival palpébral est également évalué à la recherche de signes de conjonctivite allergique : follicules et papilles.

La technique d'adaptation en lentilles chez l'enfant

Elle ne conçoit qu'avec des lentilles rigides

Le potentiel évolutif du kératocône est d'autant plus important que le début de la maladie a démarré à un jeune âge.

L'adaptation en lentilles souples chez un enfant porteur d'un kératocône est une contre-indication. Ce type d'adaptation ne lui permettra plus de connaître un confort ultérieur « correct » en lentilles rigides, le privant ainsi d'une possibilité de correction optique de sa maladie pour les années à venir.

Le choix des lentilles rigides est directement lié au stade évolutif de la maladie et au bombement cornéen mesuré

Dans les kératocônes débutants, la géométrie des lentilles est relativement standard, donc de type sphéro-asphérique. Lorsque l'aplatissement du kératocône est rapide, les dégagements périphériques de la lentille peuvent se révéler insuffisants et le passage de fluorescéine non optimal à ce niveau : il est alors utile de sélectionner une géométrie sphéro-asphérique à forts dégagements ou forte excentricité pour régler ce problème. Le diamètre utilisé est en général de 9,60 mm dans les formes débutantes.

L'adaptation d'une forme débutante chez l'enfant correspond en pratique à l'adaptation de l'œil adelphe le moins touché par la maladie car, à ce stade, l'acuité visuelle en lunettes est assez satisfaisante ; néanmoins, la tolérance d'une adaptation bilatérale en lentilles est souvent bien meilleure qu'une adaptation d'un seul œil et il est donc assez logique d'équiper d'emblée les deux yeux.

Dans les kératocônes modérés, ce type de lentille ne peut plus convenir car il s'aligne trop sur la cornée et va entraîner un appui sur le sommet. Les lentilles sphériques « spéciales kératocône » permettent de répartir les zones d'appui en évitant une pression excessive au sommet. Leur diamètre sera choisi en fonction de l'importance du décentrement du cône visible en élévation postérieure ou sur la carte tangentielle. En pratique, les diamètres de 8,50 à 9,00 mm conviennent dans une grande partie des cas, le passage à des diamètres de l'ordre de 9,30 mm ou plus étant réservée aux formes plus décentrées. Lorsque les pentes du kératocône sont importantes, les dégagements périphériques peuvent être insuffisants. Les modifications des dégagements périphériques concernent une augmentation de l'« *edge lift* » de la lentille, c'est-à-dire une lentille avec un aplatissement plus rapide de sa périphérie permettant ainsi un meilleur passage des larmes aux bords de la lentille. Lors d'équipement de kératocônes, il faut en effet avoir des dégagements périphériques relativement importants permettant le renouvellement facile des larmes sous la lentille, gage par ailleurs d'un meilleur confort de port. Des dégagements insuffisants peuvent être responsables d'un ventousage inférieur de la lentille avec une véritable « empreinte » de la lentille dans la cornée au retrait, visible de façon très nette en fin de journée, ce qu'il faut absolument éviter (figure 5).

Plus les kératocônes sont évolués, plus le nombre de dégagements des lentilles sphériques augmente et plus ceux-ci s'aplatissent rapidement ; il est ainsi tout à fait impossible d'équiper des formes évoluées ou sévères avec des lentilles qui ne sont pas « spéciales kératocône ».

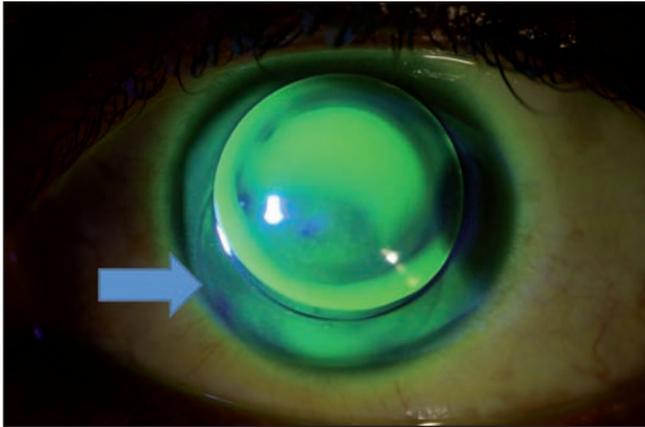


Figure 5. Lentille ventousée : empreinte cornéenne.

Le choix des lentilles disponibles en France pour équiper les kératocônes est très large

Au sein de chaque laboratoire, différentes lentilles correspondant aux différents stades évolutifs sont proposées. Il existe des différences dans les géométries proposées : elles concernent le diamètre total, la taille de la zone optique postérieure, la largeur des bandes de dégagements et leur aplatissement.

Toutes ces lentilles sont répertoriées dans le « Contaguide » et le site contacto.fr des *Cahiers d'Ophtalmologie*¹. Ceux-ci permettent ainsi de sélectionner la géométrie la plus adaptée au stade évolutif du kératocône.

La lentille Rose K, développée par Paul Rose, a permis une simplification de l'adaptation car dans le même set d'essai proposé les géométries ont des caractéristiques différentes en termes de diamètre, de zone optique et de dégagements en fonction du stade évolutif. Toutes les lentilles peuvent être fabriquées en différents matériaux ; les hautes perméabilités au gaz sont à privilégier sur ces cornées au métabolisme anormal.

Le choix d'un haut Dk ne rime pas avec port permanent...

Il n'est en effet pas recommandé de réaliser un port permanent sur une cornée dont le métabolisme est anormal, ce qui est le cas du kératocône. Cependant, cette règle peut être modulée en fonction de l'âge de l'enfant adapté. En effet, le port de lentilles rigides chez un enfant de 8-10 ans avec des manipulations journalières, notamment le matin, n'est pas toujours facile avec des réveils très matinaux avant le départ à l'école... Ce point doit être abordé avec les parents et l'enfant afin de trouver la solution la

1. Son moteur de recherche permet d'affiner la recherche en fonction du diamètre souhaité.

plus adaptée à un port régulier des lentilles, et la solution sera également adaptée dans le temps.

L'adaptation et les images en fluorescéine

Les règles techniques de l'adaptation ne sont pas différentes de celles de l'adaptation d'un adulte porteur d'un kératocône en lentilles rigides.

Choix du rayon de la première lentille d'essai

Il est en général basé sur la kératométrie moyenne. Cette règle doit être cependant adaptée à la règle préconisée par le fabricant de la lentille sélectionnée. La distance du sommet de l'apex du cône par rapport au centre de la cornée visible en vidéotopographie est également un élément dans le choix de la lentille d'essai. Lorsque le sommet du cône est très proche du centre de la cornée (décentrement ≤ 1 mm), les lentilles dont la zone optique postérieure est très petite sont les plus adaptées à ces cônes centraux (exemple : Rose K2NC Nipple Cone (figure 6)).

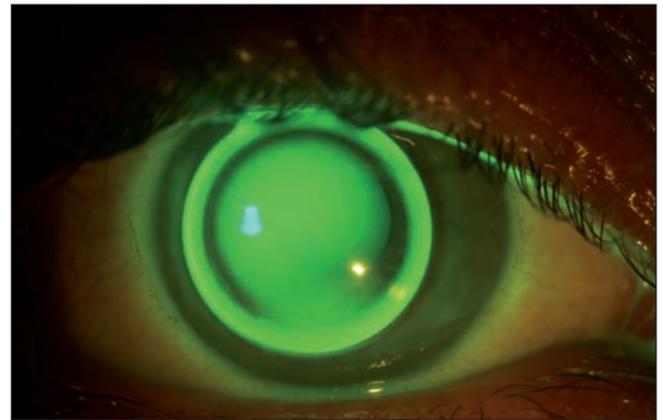


Figure 6. Kératocône centré évolué : lentille à petite zone optique centrale (Rose K2NC).

Chez l'enfant, l'instillation d'une goutte d'anesthésique local est la règle avant la pose de la lentille d'essai. Ce « premier contact » est très important et demeure souvent un facteur de pronostic du succès d'un port de lentilles.

Puis choix définitif des paramètres de la lentille

La première lentille sélectionnée posée, c'est l'examen biomicroscopique et l'image en fluorescence qui conduiront aux éventuelles modifications avant d'opter pour un choix définitif des paramètres de la lentille.

Il s'agit d'adaptations techniques nécessitant plus de temps que des équipements simples en lentilles rigides

Dossier

et une analyse systématique de l'image obtenue est indispensable pour décider de toute modification éventuelle d'un paramètre ou de plusieurs paramètres de la lentille.

La *position de repos* de la lentille est tout d'abord évaluée. Sa situation est idéalement inter-palpébrale et le centrage de celle-ci par rapport à la pupille doit vérifier que, lorsque la pupille est en mydriase, les bords de la lentille n'empiètent pas sur l'aire pupillaire.

La *mobilité de la lentille* est ensuite appréciée au clignement. Elle est de l'ordre de 3 à 4 mm maximum, le déplacement devant être régulier, sans à-coups, ne dépassant pas le limbe en inférieur. La reprise de la lentille par la paupière supérieure doit être faite lors de chaque clignement.

Ces critères vérifiés, l'instillation d'une goutte de fluorescéine à 0,5 % unidose est faite. Après quelques clignements permettant l'étalement de la fluo sous la lentille, l'examen des différentes parties de la lentille est réalisé (figure 7) :

- zone centrale : l'appui de la lentille doit être très léger laissant une fine couche de fluo entre apex du cône et lentille, le clignement laissant renouveler le passage de fluo. Un appui marqué apparaît sous la forme d'une zone noire exagérant les stries de Vogt ;
- moyenne périphérie : la lentille se stabilise à ce niveau et les équilibres entre les différents quadrants cornéens entre pression modérée et zones gardant la fluo de façon plus importante ne doivent pas être excessifs ;
- dégagements périphériques : ils doivent être évalués dans tous les quadrants car dans les kératocônes de siège inférieur, ils peuvent être insuffisants en supérieur et trop importants en inférieur. Une réduction simple du diamètre de la lentille permet alors d'harmoniser ces différences.

Les géométries actuelles de lentilles ont des zones de

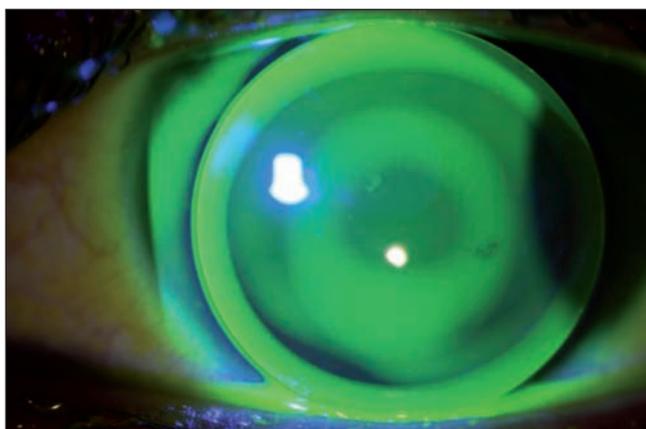


Figure 7. Image en cocarde : bonne adaptation.

transition de plus en plus douces en raison des techniques de fabrication permettant des dégagements asphériques. Si l'aspect de « cocarde » persiste avec ces nouvelles géométries, il est cependant moins marqué qu'il ne l'était avec des géométries de concept plus ancien (multicourbes « marquées ») (figure 8).

Si l'appui central est trop fort (donc lentille avec rayon central trop plat) et que les dégagements périphériques sont trop plats : il faut resserrer le rayon central de la lentille.

Si la zone centrale est trop fluorescente (donc rayon central trop serré) et les dégagements périphériques insuffisants (trop noirs), on augmente le rayon central (figure 9).

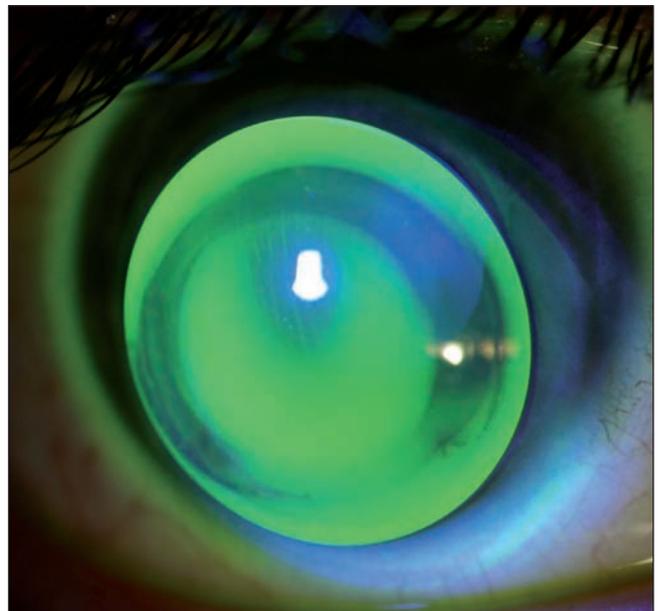


Figure 8. Kératocône stade 3. Géométrie multicourbe : adaptation correcte (stries de Vogt très visibles).

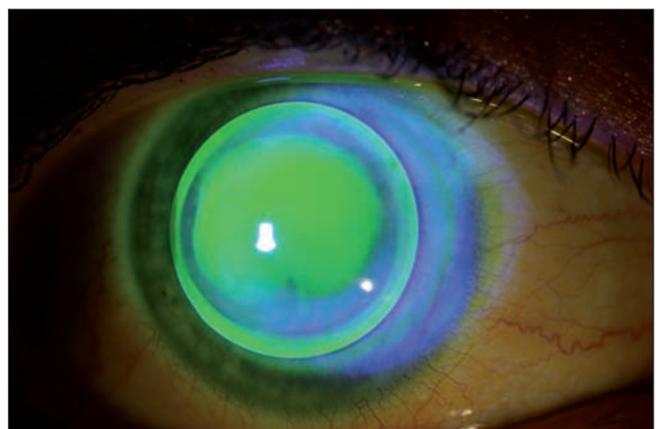


Figure 9. Adaptation trop serrée: augmenter le rayon.

Mais si on doit resserrer la partie centrale et aplatir la périphérie ou vice-versa, c'est-à-dire réaliser deux choses opposés sur la même lentille, c'est impossible : il faut donc changer de géométrie de lentille.

Le calcul de la puissance de la lentille à commander n'est fait qu'avec la lentille définitive sélectionnée car les puissances des lentilles des kératocônes sont en effet liées à leurs géométries. Cette réfraction additionnelle sur la lentille sera faite avec la méthode du brouillard car l'accommodation est importante chez les enfants. L'utilisation du réfracteur automatique sur la lentille peut aider à dépister des surcorrections myopiques.

L'ordonnance précisera comme habituellement tous les paramètres des lentilles prescrites ainsi que l'entretien préconisé. La déprotéinisation est indispensable et doit être réalisée une fois par semaine.

Le suivi des enfants

Il est particulièrement important, nous l'avons dit, en raison du potentiel évolutif rapide de la maladie.

La fréquence des contrôles de l'adaptation est initialement trimestrielle. L'évaluation des contrôles vidéotopographiques sera faite au minimum après un retrait des lentilles d'au moins 12 heures. Ce délai pourra être augmenté si nécessaire en cas d'évolution importante de la maladie.

L'augmentation de saillie du cône sera également identifiée lors du contrôle de l'adaptation par l'image fluoresceinique sous la lentille et pourra être objectivée par avec un appui central trop marqué et une périphérie serrée (figure 10).

Les complications mécaniques liées au port des lentilles sont identiques à celles que l'on peut observer chez l'adulte (kératite de l'apex, syndrome 3 h-9 h) et leur prise

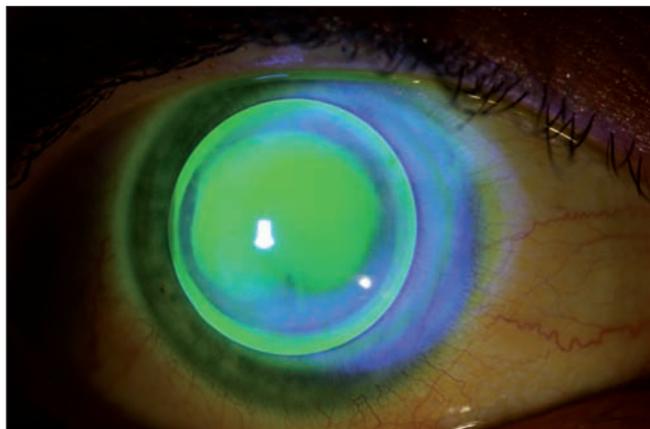


Figure 10. Évolution du kératocône : lentille devenue trop serrée en périphérie et appui central majeur.

en charge ne diffère pas. L'apparition d'opacités cornéennes est un marqueur évolutif de la maladie ; elles siègent au niveau de la membrane de Bowman, plus volontiers vers le sommet du cône et lors de kératométrie supérieure à 52 dioptries. La survenue d'un hydrops est rare mais plus fréquente lors de cônes très évolués.

Après un traitement par cross-linking, l'adaptation ou le retour au port des lentilles sera fait lorsque la cicatrisation épithéliale est parfaite. En pratique, le port des lentilles est repris 15 jours à trois semaines après le traitement. On vérifiera que la géométrie des lentilles est toujours adaptée car on peut dans certains cas noter un aplatissement des valeurs kératométriques.

Bibliographie

Auffarth GU, Wang L, Völcker HE. Keratoconus evaluation using the Orbscan topography system. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:222-8.

Betts AM, Mitchell L, Zadnik K. Visual performance and comfort with the Rose K lens for keratoconus. *Optom Vis Sci* 2002;79:493-501.

Kerautret J, Colin J, Touboul D, Roberts C. Biomechanical characteristics of the ectatic cornea. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(3):510-3.

Edrington TB, Szczotka LB, Barr JT *et al.* Rigid contact lens fitting relationships in keratoconus. *Optom Vis Sci* 1999;76:692-9.

Ertan A, Kamburoglu G, Colin J. Location of steepest corneal area of cone in keratoconus stratified by age using pentacam. *J Refract Surg* 2009;25:1012-6.

Jinabhai A, Radhakrishnan H, O'Donnell C. Visual acuity and ocular aberrations with different rigid gas permeable lens fittings in keratoconus: a case report. *Eye Contact Lens* 2010;36:233-7.

Lim N, Vogt U. Characteristics and functional outcomes of 130 patients with keratoconus attending a specialist contact lens clinic. *Eye* 2002;16:54-9.

Romero-Jiménez M, Santodomingo-Rubido J, Wolffsohn JS. Keratoconus: a review. *Cont Lens Anterior Eye* 2010;33:157-66.

Schmitt PT, Simonpoli S, Colin J. Keratoconus: correlations between clinical aspects and Orbscan evaluations. *J Fr Ophthalmol* 2006;29(9):1001-11.

Schweitzer C, Roberts CJ, Mahmoud AM, Colin J, Maurice-Tison S, Kerautret J. Screening of forme fruste keratoconus with the ocular response analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(5):2403-10.

Sorbara L, Dalton K. The use of video-keratometry in predicting contact lens parameters for keratoconic fitting. *Cont Lens Anterior Eye* 2010;33:112-8.

Tanter M, Touboul D, Gennisson JL, Bercoff J, Fink M. High-resolution quantitative imaging of cornea elasticity using supersonic shear imaging. *IEEE Trans Med Imaging* 2009;28(12):1881-93.

Tellouck L, Touboul D, Garra C, Malet F, Colin J. Corneal hydrops spontaneously resolving in 4 weeks in a 16-year-old patient with keratoconus. *J Fr Ophthalmol* 2010;33(8):603-4.

Touboul D, Roberts C, Kerautret J, Garra C, Maurice-Tison S, Saubusse E, Colin J. Correlations between corneal hysteresis, intraocular pressure, and corneal central pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(4):616-22.

Zadnik K, Barr JT, Edrington TB *et al.* Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998;39:2537-46.

Zadnik K, Steger-May K, Fink BA *et al.* CLEK Study Group. Between-eye asymmetry in keratoconus. *Cornea* 2002;21:671-9.

Zadnik K, Barr JT, Gordon MO, Edrington TB. Biomicroscopic signs and disease severity in keratoconus. *Cornea* 1996;15:139-46.