

Matériaux des lentilles souples en 2012

RÉSUMÉ : Le matériau idéal des lentilles souples doit être stable, durable et reproductible tout en étant compatible avec la physiologie oculaire et tout en respectant le métabolisme cornéen, optiquement transparent et confortable. Il en existe aujourd'hui de deux types : hydrogel et silicone-hydrogel. La composition chimique du matériau définit ses propriétés physiques (perméabilité à l'oxygène, mouillabilité, état d'hydratation, module de Young, coefficient de friction) qui prennent toute leur importance avec les silicone-hydrogels.



→ L. BLOISE
Ophtalmologiste,
SAINT-LAURENT-DU-VAR.

Dans les années 1950, O. Wichterlé a formulé les conditions pour qu'un matériau soit compatible avec le tissu vivant :

- une élasticité comparable à celle du tissu avec lequel il sera en contact ;
- l'absence d'éléments irritants ;
- la perméabilité aux métabolites hydro-solubles et le faible poids moléculaire ;
- stabilité aussi bien chimique que bio-chimique, dans les conditions physiologiques.

Avec D. Lim, il développe l'hydroxyéthyl méthacrylate ou HEMA qui, aujourd'hui

encore, est présent dans toutes les lentilles souples, vu qu'il s'agit du monomère de base du matériau hydrogel.

Les lentilles souples sont commercialisées depuis le début des années 1960.

Composition chimique des lentilles souples

1. Les hydrogels (Hy) (tableau I)

Ce sont des polymères capables de conserver une certaine quantité d'eau,

Nom commercial	Laboratoire	USAN	Teneur en eau	Monomères	FDA Group	Dk
Soflens 38	B & L	Polymacon	38,0	HEMA	I	9
Biomedics 55	CooperVision	Ocufilecon D	55,0	HEMA, MA	IV	19
1-Day Acuvue	Vistakon	Etafilecon	58,0	HEMA, MA	IV	28
Acuvue 2	Vistakon	Etafilecon	58,0	HEMA, MA	IV	28
Proclear Compatibles	CooperVision	Omafilecon	62,0	HEMA, PC	II	33
Soflens 66	B & L	Alphafilcon	66,0	HEMA, NVP	II	32
Focus Dailies	CIBA Vision	Nelfilcon	69,0	Modified PVA	II	26
Soflens One Day	B & L	Hilafilcon	70,0	HEMA, NVP	II	26

HEMA 2 : hydroxyéthylméthacrylate ; MA : methacrylic acid ; MMA : méthyl méthacrylate ; NVP : N-vinyl pyrrolidone ; PC : phosphorylcholine ; PVA : poly vinyl alcohol ; PVP : polyvinyl pyrrolidone.

TABLEAU I : Exemples de lentille hydrogel (dénomination et composition).

REVUES GÉNÉRALES

Contactologie

constitués de monomères unis les uns aux autres par des liaisons covalentes. Les polymères possèdent une chaîne principale constituée de molécules de carbone et de groupes pendants ou latéraux qui les différencient entre eux [1]. Les propriétés du polymère dépendent du type d'assemblage et du degré de polymérisation des monomères.

On distingue :

- les homopolymères : un seul motif monomère avec un enchaînement linéaire ;
- les copolymères : 2 ou plusieurs monomères différents ;
- les polymères réticulés ou macromolécules : enchaînement des monomères dans les 3 directions de l'espace.

Le polymère le plus utilisé est le polyHEMA (parfois simplement désigné sous le nom d'HEMA qui est le monomère constitutif) contenant 38 % d'eau. Le principal inconvénient de ce matériau est que le transport d'oxygène se fait uniquement au travers de l'eau contenue dans le matériau et que l'eau a une capacité limitée à dissoudre et à transporter l'oxygène (Dk eau 80). La quantité d'eau absorbée par l'hydrogel est la teneur en eau (*Equilibrium Water Content* : EWC) : ce facteur influence fortement les propriétés finales de la lentille : propriétés mécaniques, propriétés de surface, et la transparence.

Historiquement, pour améliorer le transport d'oxygène et la mouillabilité du matériau, deux stratégies étaient possibles [1] :

- ajouter en petite quantité des molécules chargées négativement type MA (monomère hydrophobe) ;
- ajouter en grande quantité des molécules hydrophiles ou neutres type PVA ou NVP (monomère hydrophile) ;

Plus récemment, l'adjonction de molécules biomimétiques (phosphorylcholine) ou mucomimétiques est utilisée.

Monomères	Teneur en eau	Résistance mécanique
Hydrophiles	↗	↘
Hydrophobes	↘	↗

TABLEAU II : Action des monomères.

Au total, les lentilles hydrogel sont composées de trois types de monomères (**tableau II**) :

- >>> les hydrophiles : ils augmentent la teneur en eau du matériau ;
- >>> les hydrophobes : ils améliorent la résistance mécanique du matériau ;
- >>> les agents de réticulation : ils favorisent la résistance mécanique et thermique du matériau.

L'ISO 11539 standard pour la classification des lentilles de contact utilise 6 codes pour décrire le type de matériau. Cette norme internationale [2] décrit une méthode de classification des lentilles de contact ainsi que des matériaux utilisés pour leur fabrication. Elle permet une identification spécifique et non nominative, sous forme simplifiée, des principaux éléments chimiques constitutifs des matériaux (**tableaux III, IV et V**).

Préfixe	Optionnel en dehors des USA : Ex. Eta., Hila., Vifi., etc.
Radical	Lentilles souples : filcon teneur en eau > 10 % Lentilles rigides : Focon, teneur en eau < 10 %
Séries	A : Formule d'origine, puis B, C... en cas de révision du matériau
Groupe (chiffre romain)	Groupe FDA : I, II, III, IV (cf. tableau IV) V : silicone-hydrogel
Dk (chiffre arabe)	0 à 6 (cf. tableau V)
Modifications	m en cas de modification chimique de la surface

TABLEAU III : Classification des lentilles de contact ISO 11539.

I	Non ionique	Teneur en eau < 50 %
II		Teneur en eau > 50 %
III	Ionique	Teneur en eau < 50 %
IV		Teneur en eau > 50 %

TABLEAU IV : Groupe FDA.

	Dk
0	< 1
1	1 à 15
2	16 à 30
3	31 à 60
4	61 à 100
5	101 à 150
6	150 à 200

TABLEAU V : Valeurs du Dk.

Ex. : Filcon II 3 signifie qu'il s'agit d'une lentille souple non ionique à teneur en eau > 50 % et un Dk compris entre 31 et 60.

2. Les silicone-hydrogels (Si-Hy) [3]

Les premières lentilles en Si-Hy (**tableau VI**) sont apparues sur le marché en 1999, après plus de 20 ans de recherche suite au brevet du TRIS par Tanaka au Japon. Il s'agit d'un matériau biphase comprenant :

>>> **Une phase silicone** ayant pour fonction la perméabilité à l'oxygène.

Les groupes silicone utilisés sont :

- le TRIS qui a la propriété de créer des volumes libres importants, permettant le passage aisé de la petite molécule d'oxygène ;
- les macromères de siloxane.

>>> **Une phase hydrogel** ayant pour fonction la perméabilité hydraulique et ionique, à savoir le transport des fluides et des ions, essentiels pour assurer l'apport d'éléments nutritifs à la cornée et l'évacuation des déchets métaboliques. Cette phase permet une bonne mobilité et mouillabilité de la lentille, responsable du confort de port [1]. L'hydrogel

	TRIS ou dérivés	Macromères	Agents mouillants	Traitement de surface/ mouillabilité
Purevision Balafilcon	●			Plasma oxydation ●
Night & Day Lotrafilcon A	●	●		Plasma coating/25 nm ●
Air Optix Lotrafilcon B	●	●		Plasma coating/25 nm ●
Oasys Senofilcon A	●	●	Hydraclear ●	*
Biofinity Comfilcon A		●		*
Premio Asmofilcon A	●	●	Menisilk ●	Nanogloss surface coating ●
Max 2 Permofilcon A		●		*
Absolute Silikofilcon A		●		*
True Eye Narafilcon	●	●	Hydraclear ●	
Total One Delefilcon		●	DMPC ●	Gradient ●

DMPC : phosphatidylcholine.
* pour ces lentilles, aucun traitement de surface ni d'agents adjuvants, leur mouillabilité est inhérente au matériau.

TABLEAU VI : Liste non exhaustive des lentilles en Si-Hy par ordre d'apparition sur le marché, en bleu les LJJ.

utilisé est de l'HEMA ± associé à des monomères hydrophiles.

La combinaison de la silicone et des composants hydrophiles est complexe; il s'agit d'obtenir un matériau optiquement transparent et de masquer la nature hydrophobe/lipophile de la silicone sans perdre les bénéfices de celui-ci. Pour contrecarrer l'hydrophobie de la silicone, il y a différentes possibilités :

>>> Traitement de la surface en chambre plasma par :

- oxydation plasmatique (transformation de la silicone en îlots de silicate);
- création d'un *coating* de 25 nm.

>>> Incorporation d'agents mouillants dans la matrice.

>>> Utilisation de matériaux naturellement mouillables.

>>> Technologie gradient : le silicone-hydrogel au cœur de la lentille est recouvert d'une couche hydrogel (4-5 µm) par l'intermédiaire d'une zone de transition (**fig. 1**).

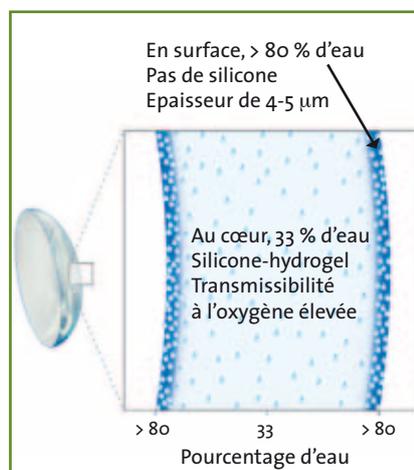


FIG. 1.

Courtesy of Ciba Vision

Propriétés physiques des lentilles souples

La composition chimique des matériaux définit leurs propriétés physiques, que l'on peut décomposer en :

- propriétés physiques du matériau : transmissibilité à l'oxygène, propriétés mécaniques, état d'hydratation ;
- propriétés de surface du matériau : mouillabilité, coefficient de friction, dépôts.

1. Propriétés physiques du matériau

● Transmissibilité à l'oxygène (Dk/e)

C'est une propriété de la lentille qui dépend de la perméabilité du matériau (Dk) et de l'épaisseur de la lentille (e). Selon le matériau, le passage de l'oxygène au travers de la lentille est fonction :

- de la teneur en eau pour les lentilles en hydrogel ;
- de la quantité de silicone pour les lentilles en silicone-hydrogel.

Harvitt et Bonanno ont redéfini les valeurs de Dk/e minimum pour un port journalier (Dk/e = 35) et pour un continu (Dk/e = 125) [4]. L'augmentation de la transmissibilité à l'oxygène a permis de diminuer le nombre de complications liées à l'hypoxie.

● Propriétés mécaniques

Les matériaux des lentilles sont des matériaux viscoélastiques, leurs réponses aux contraintes externes dépendent de leur structure moléculaire. La présence de silicone dans le matériau entraîne une augmentation de la "rigidité" de la lentille. Il existe un rapport inverse entre la teneur en eau et la "rigidité" de la lentille. Les propriétés mécaniques sont définies par le module de Young (module d'allongement ou module d'élasticité longitudinale) et le module de rigidité (contrainte de compression liée à la déformation) (**tableau VII**). Elles permettent une prédiction raisonnable de la flexibilité d'un matériau sur l'œil.

REVUES GÉNÉRALES

Contactologie

Avantages

- Bon recouvrement cornéen, besoin limité de rayons de courbure différents
- Confort satisfaisant
- Réduction des complications mécaniques (SEAL, CGP)

Inconvénients

- Manipulation délicate, fragilité de la lentille
- Faible durabilité
- Incapacité à masquer l'astigmatisme

TABLEAU VII : Avantages et inconvénients d'une lentille à faible module.

● *Etat d'hydratation de la lentille*

La sensation de "sécheresse" est un sujet complexe et sans aucun doute lié à un grand nombre de facteurs, dont celui de la déshydratation de la lentille au cours du port. En effet, le symptôme subjectif de sécheresse semble se produire plus fréquemment chez les porteurs de lentille souple, celle-ci subissant une plus grande déshydratation pendant le port.

La composition du matériau influence le taux et le degré de déshydratation.

En clinique, les porteurs de lentilles en Si-Hy ont une sensation de sécheresse moindre que les porteurs d'hydrogel malgré une durée de port plus longue dans la journée et une teneur en eau moins importante.

En effet, les silicone-hydrogels se déshydratent à un taux plus lent et à un degré moindre que les hydrogels grâce à une meilleure mouillabilité de surface, une diminution des interactions hydrophobes avec les paupières et une diminution de la quantité de dépôts protéiques.

2. Propriétés de surface du matériau

● *La mouillabilité*

Elle caractérise les propriétés de recouvrement d'un liquide sur un solide. Elle per-

met de maintenir un film lacrymal stable et épais sur toute la surface de la lentille entre chaque clignement. La stabilité du film lacrymal garantit une bonne lubrification et minimise l'attraction des dépôts. Augmenter la force d'adhésion entre les molécules d'eau du film lacrymal et les molécules de la surface de la lentille permet une bonne mouillabilité.

La mesure de la mouillabilité se fait *in vitro* en mesurant l'angle de contact. Plus les angles sont faibles, meilleure est la mouillabilité. Cette mesure permet une comparaison des matériaux entre eux et donne une idée de leurs performances, sachant que la composition du liquide choisi est différente de celle des larmes et qu'il n'y a pas l'impact des solutions d'entretien.

● *Le coefficient de friction ou de lubrification*

Il exprime l'habileté des paupières à se déplacer sur la lentille.

Pour l'angle de mouillabilité et le coefficient de friction, il n'existe pas de test standard, chaque fabricant utilise des méthodes de mesure différentes. Les valeurs de ces propriétés de surface sont fournies par le fabricant, par un laboratoire concurrent ou par un laboratoire indépendant. Les valeurs du **tableau VIII** sont données pour information, mais sont difficilement comparables.

● *Dépôts protéiques et lipidiques* [5]

Ils comprennent la composition du matériau (hydrogel ou silicone-hydro-

	DK/e	Teneur en eau	Module de Young	Coefficient de friction	Angle de mouillabilité
Acuvue 2 Etafilcon A	33	58	0,2	NC	63°
Proclear Omafilcon A	42	60	0,49	NC	69°
Purevision Balafilcon A	101	36	1,06	17	56°-95°
Night & Day Lotrafilcon A	175	24	1,5	47	50°-80°
Air Optix Lotrafilcon B	138	33	1,08	22	72°-78°
Oasys Senofilcon A	147	38	0,72	3	56°-68°
Biofinity Comfilcon A	160	48	0,75	11	34°
Premio Asmofilcon A	161	40	0,9	NC	27°
Max 2 Permofilcon A	125	48	0,5	NC	NC
Absolu Silikofilcon A	160	48	0,75	11	NC
True Eye Narafilcon A	100	46	0,66	NC	NC
Total ① Delefilcon A	156	33 à 80 Cœur vers la surface	0,70	NC	40°

TABLEAU VIII : Propriétés physiques des lentilles souples en 2012 (liste non exhaustive) (Données fabricants)

gel), la présence de zones d'assèchement à la surface de la lentille influencent la quantité de dépôts.

Les dépôts protéiques ont plus d'affinités pour les lentilles en hydrogel, en particulier ionique, que pour les lentilles en silicone-hydrogel. Pour les dépôts lipidiques, c'est l'inverse, ils ont plus d'affinités avec les lentilles en silicone-hydrogel. La solution d'entretien prend toute son importance et doit être adaptée au matériau.

Toutes ces propriétés y compris les propriétés optiques (indice de réfraction, filtre UV...) sont responsables des performances cliniques de la lentille. Mais ces mesures sont faites *in vitro* sans tenir compte du mode d'utilisation des lentilles (le porteur) et du milieu dans lequel elles sont utilisées (l'œil).

Pour le médecin contactologue, connaître les propriétés des lentilles va lui permettre d'adapter au mieux la lentille au profil du porteur.

POINTS FORTS

- ➔ La perméabilité à l'oxygène d'un hydrogel dépend de sa teneur en eau alors qu'elle dépend du taux de silicone dans le silicone-hydrogel.
- ➔ Il existe différentes méthodes pour masquer l'hydrophobie de la silicone.
- ➔ Les mesures des propriétés physiques des matériaux (en particulier l'angle de mouillabilité et le coefficient de friction) ne sont pas standardisées, ce qui rend leur comparaison difficile.
- ➔ Tous les matériaux des lentilles souples n'ont pas la même affinité pour les dépôts.

Bibliographie

1. ROCHER-DUBOIS I, SERVEL-ROGALA B, MONTEIL P *et al.* Matériaux et fabrication des lentilles. *In* : Les Lentilles de contact, Malet F *et al.* Rapport de la Société Française d'Ophthalmologie, 2009 ; 31-56.
2. Norme ISO 11539.
3. VIS K, COMET-MATEU F. Le confort des lentilles souples. *In* : Le Confort et lentilles de contact souples. Bloise L *et al.* Rapport de la Société Française des Ophtalmologistes, Adaptateurs des Lentilles de Contact. 137-164.
4. HARVITT D, BONANNO J. Re-evaluation of the oxygen diffusion model for predicting minimum contact lens Dk/t values needed to avoid corneal anoxia. *Optometry & Vision Science*, 1999 ; 76 : 712-719.
5. JONES L, TIGHE B. Silicone Hydrogel Contact Lens Materials Update, Part 2 www.siliconhydrogels.org, aout 2004.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.