

**THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**Soutenue publiquement le lundi 10 juillet 2023
Par Mme DJEHA Alicia**

**Quelle forme galénique privilégier pour une
photoprotection topique efficace ?**

Membres du jury :

Président : Dr. KARROUT Youness, Maître de conférences des universités,
Pharmacien, Pharmacotechnie industrielle, UFR3S-Pharmacie, Université de Lille.

Directeur de thèse : Dr. KARROUT Youness, Maître de conférences des universités,
Pharmacien, Pharmacotechnie industrielle, UFR3S-Pharmacie, Université de Lille.

Assesseur : Dr. GERVOIS Philippe, Maître de conférences des universités,
Pharmacien, Biochimie, UFR3S-Pharmacie, Université de Lille.

Membre extérieur : Mme DEL REY Marjorie, Docteur en pharmacie, Titulaire de la
Pharmacie de Toufflers.

Faculté de Pharmacie de Lille
3 Rue du Professeur Laguesse – 59000 Lille
03 20 96 40 40
<https://pharmacie.univ-lille.fr>

Université de Lille

Président
Premier Vice-président
Vice-présidente Formation
Vice-président Recherche
Vice-présidente Réseaux internationaux et européens
Vice-président Ressources humaines
Directrice Générale des Services

Régis BORDET
Etienne PEYRAT
Christel BEAUCOURT
Olivier COLOT
Kathleen O'CONNOR
Jérôme FONCEL
Marie-Dominique SAVINA

UFR3S

Doyen
Premier Vice-Doyen
Vice-Doyen Recherche
Vice-Doyen Finances et Patrimoine
Vice-Doyen Coordination pluriprofessionnelle et Formations sanitaires
Vice-Doyen RH, SI et Qualité
Vice-Doyenne Formation tout au long de la vie
Vice-Doyen Territoires-Partenariats
Vice-Doyenne Vie de Campus
Vice-Doyen International et Communication
Vice-Doyen étudiant

Dominique LACROIX
Guillaume PENEL
Éric BOULANGER
Damien CUNY
Sébastien D'HARANCY
Hervé HUBERT
Caroline LANIER
Thomas MORGENROTH
Claire PINÇON
Vincent SOBANSKI
Dorian QUINZAIN

Faculté de Pharmacie

Doyen
Premier Assesseur et Assesseur en charge des études
Assesseur aux Ressources et Personnels
Assesseur à la Santé et à l'Accompagnement
Assesseur à la Vie de la Faculté
Responsable des Services
Représentant étudiant

Delphine ALLORGE
Benjamin BERTIN
Stéphanie DELBAERE
Anne GARAT
Emmanuelle LIPKA
Cyrille PORTA
Honoré GUISE

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers (PU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie et Santé publique	81
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie	82
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	DINE	Thierry	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie	82
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie	82
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	ODOU	Pascal	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie	82
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	STAELS	Bart	Biologie cellulaire	82

Professeurs des Universités (PU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ALIOUAT	El Moukhtar	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Biophysique – RMN	85
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie	87
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	CHAVATTE	Philippe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques	87
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques	87
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Biophysique – RMN	85
Mme	DEPREZ	Rebecca	Chimie thérapeutique	86
M.	DEPREZ	Benoît	Chimie bioinorganique	85

M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques	87
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie	86
M.	ELATI	Mohamed	Biomathématiques	27
M.	FOLIGNÉ	Benoît	Bactériologie - Virologie	87
Mme	FOULON	Catherine	Chimie analytique	85
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie et Santé publique	86
M.	GOOSSENS	Jean-François	Chimie analytique	85
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie	86
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique	86
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques	26
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie cellulaire	87
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie cellulaire	87
Mme	MELNYK	Patricia	Chimie physique	85
M.	MILLET	Régis	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	MUHR-TAILLEUX	Anne	Biochimie	87
Mme	PERROY	Anne-Catherine	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	ROMOND	Marie-Bénédicte	Bactériologie - Virologie	87
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie	86
M.	SERGHERAERT	Éric	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	WILLAND	Nicolas	Chimie organique	86

Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers (MCU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BLONDIAUX	Nicolas	Bactériologie - Virologie	82
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie	82

Mme	GARAT	Anne	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	ODOU	Marie-Françoise	Bactériologie - Virologie	82

Maîtres de Conférences des Universités (MCU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	AGOURIDAS	Laurence	Chimie thérapeutique	85
Mme	ALIOUAT	Cécile-Marie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	ANTHÉRIEU	Sébastien	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie	87
M.	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire	87
Mme	BARTHELEMY	Christine	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	85
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie - Virologie	87
M.	BELARBI	Karim-Ali	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	BERTHET	Jérôme	Biophysique - RMN	85
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie	87
M.	BOCHU	Christophe	Biophysique - RMN	85
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie	86
M.	BOSC	Damien	Chimie thérapeutique	86
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie	87
Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire	87
Mme	CARRIÉ	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	CHARTON	Julie	Chimie organique	86
M.	CHEVALIER	Dany	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	DANEL	Cécile	Chimie analytique	85
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie - Biologie animale	87

Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques	85
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques	27
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire	87
M.	EL BAKALI	Jamal	Chimie thérapeutique	86
M.	FARCE	Amaury	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	FLIPO	Marion	Chimie organique	86
M.	FURMAN	Christophe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie	87
Mme	GOOSSENS	Laurence	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie	87
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques	26
Mme	HAMOUDI-BEN YELLES	Chérifa-Mounira	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie	86
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie	87
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	KARROUT	Youness	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie	87
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie analytique	85
Mme	LEHMANN	Hélène	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	LELEU	Natascha	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie analytique	85
Mme	LOINGEVILLE	Florence	Biomathématiques	26
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie	86
M.	MOREAU	Pierre-Arthur	Sciences végétales et fongiques	87
M.	MORGENROTH	Thomas	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle	85

Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques	85
M.	PIVA	Frank	Biochimie	85
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie et Santé publique	86
M.	POURCET	Benoît	Biochimie	87
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques / Innovations pédagogiques	85
Mme	RAVEZ	Séverine	Chimie thérapeutique	86
Mme	RIVIÈRE	Céline	Pharmacognosie	86
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie	86
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie	87
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie - Virologie	87
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie	87
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Chimie organique	86
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques	87
M.	YOUS	Saïd	Chimie thérapeutique	86
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques	85

Professeurs certifiés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	HUGES	Dominique	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeurs Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	DAO PHAN	Haï Pascal	Chimie thérapeutique	86
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie pharmaceutique	86

Maîtres de Conférences Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques	85
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques	85
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	85
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	MITOUMBA	Fabrice	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	86
M.	PELLETIER	Franck	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques	85

Assistants Hospitalo-Universitaire (AHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUVELIER	Élodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie	82
Mme	LENSKI	Marie	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81

Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	GEORGE	Fanny	Bactériologie - Virologie / Immunologie	87
Mme	N'GUESSAN	Cécilia	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	RUEZ	Richard	Hématologie	87
M.	SAIED	Tarak	Biophysique - RMN	85
M.	SIEROCKI	Pierre	Chimie bioinorganique	85

Enseignant contractuel

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière

Faculté de Pharmacie de Lille

3 Rue du Professeur Laguesse – 59000 Lille

03 20 96 40 40

<https://pharmacie.univ-lille.fr>

**L'Université n'entend donner aucune
approbation aux opinions émises dans les
thèses ; celles-ci sont propres à leurs
auteurs.**

Remerciements

A mon directeur de thèse Dr. Youness KARROUT

Pour le temps que vous m'avez accordé, votre aide et votre disponibilité lors de la réalisation de ce travail. Pour vos conseils qui ont été précieux pour toutes les étapes cette thèse, du choix de sujet à la relecture finale. Pour votre bonne humeur et votre bienveillance.

Au Dr. Philippe GERVOIS

Pour avoir accepté si rapidement d'évaluer cette thèse et prendre le temps de lire ce travail. J'espère que vous apprécierez cette lecture.

A Madame Marjorie Del Rey, Docteur en Pharmacie

Pour l'accompagnement, le soutien et votre engagement en tant que maître de stage durant mes années d'étude. Pour la confiance que vous m'avez accordée lors de mon embauche, qui m'a permis de gagner en assurance, en maturité et en expérience. Ce fut un plaisir de travailler au sein de votre équipe ces dernières années.

Pour avoir accepté de faire partie de mon jury et de prendre de votre temps pour lire ce travail.

A mes parents

Sans qui je ne serais sûrement pas arrivée aussi loin, pour m'avoir soutenue et poussée à donner le meilleur de moi-même depuis petite. Pour avoir pris soin de moi. Merci de m'avoir élevé en m'inculquant la valeur de l'effort et le respect. Maman, merci pour ton écoute de chaque instant et ton soutien. Papa, merci pour ta présence et ton aide au cours de ces années. Merci pour toutes vos petites attentions.

Merci pour tout, tout simplement. Je vous aime.

A mes frères, Gaëtan et Ethan

Pour votre présence et votre capacité à me faire rire depuis que vous êtes arrivés dans ma vie. Pour la complicité que nous partageons et les moments forts et ce malgré nos prises de bec. Je sais que je pourrai toujours compter sur vous.

Au reste de ma famille

Avec qui il est impossible de s'ennuyer, et avec qui j'ai passé de très bons moments que ce soit durant les fêtes, anniversaires ou juste dans la vie de tous les jours. Merci à tous.

A la Triade, Romi et Vija

Pour votre aide, concernant l'illustration et la correction de ce travail.

Pour votre soutien pendant toutes ses années malgré la distance. Pour les bons moments, les fous rires et les sous-entendus que seuls nous pouvons comprendre. Pour nos vacances et réveillons du nouvel an inoubliables. Pour votre présence.

Merci pour votre amitié incroyable.

A Mathilde, Margaux, Chloé, Eloïse, Louise, Elise

Sans qui ces années d'études n'auraient pas été pareilles. Je suis heureuse de vous avoir rencontrées et de savoir que notre amitié dure toujours après tout ce temps et ce même si on se voit moins souvent. Petite dédicace à une super binôme avec qui j'ai passé des moments incroyables, merci Mathilde.

A l'équipe de la pharmacie de Toufflers

Pour votre accueil chaleureux, vos conseils et votre bonne humeur constante.
Pour ces délires et moments incroyables passés avec vous. Pour avoir rendu le travail amusant et pour être devenue plus que des collègues.

Table des matières

Liste des figures	18
Liste des tableaux.....	19
Abréviations.....	20
Introduction.....	21
I. La peau, une barrière	23
1. Topographie.....	24
1.1 Hypoderme.....	24
1.2 Derme.....	25
1.2.1 Composition	25
1.2.2 Derme papillaire et réticulaire	26
1.3 Epiderme	27
1.3.1 Histologie	27
1.3.2 Différentes couches	28
2. Différences physiologiques face au soleil	32
2.1 Mélanine.....	32
2.1.1 Classification de la peau	34
2.1.2 Deux pathologies liées à la mélanine.....	35
2.2 De l'enfance à l'âge adulte	36
2.2.1 Nouveau-né et enfant	36
2.2.2 Personne âgée.....	36
2.3 Photosensibilisation.....	37
2.3.1 Phototoxicité	37
2.3.2 Photo-allergie.....	37
II. Rayonnement solaire.....	39
1. A la surface de la terre	39
2. Les ultraviolets	39
3. Action des UVs sur la peau.....	41
3.1 Photoproduction de vitamine	41
3.2 Effets mutagènes.....	41
3.2.1 Stress oxydatif : production de ROS	41
3.2.2 Effet mutagène direct sur l'ADN.....	42
3.3 Immunosuppression	42
3.4 Erythème actinique.....	43
3.5 Pigmentation induite	44
3.6 Photovieillissement.....	44

4. Facteurs de risque : l'exposition.....	45
4.1 Définition	45
4.2 La « quantité ».....	45
4.2.1 Indice UV	45
4.2.2 Facteurs géographiques et environnementaux.....	46
III. Protection solaire topique	49
1. Réglementation et définition.....	49
2. Réglementation Européenne	49
3. Essais réalisés et recommandations d'une protection solaire en Europe	51
3.1 Indice de protection	51
3.2 Photostabilité.....	52
3.3 Absorption transcutanée.....	53
3.4 Rémanence	53
4. L'ingrédient principal : les filtres	54
4.1 Chimiques / Organiques.....	54
4.2 Minéraux.....	56
IV. Formes galéniques et conditionnement	57
1. Conditionnement.....	57
1.1 Bâton et sticks	57
1.2 Poudrier et Pinceau préremplis	58
1.3 Pots et tubes	59
1.4 Flacons et sprays	60
1.5 Bombe aérosol	63
2. Formes galéniques	65
2.1 Poudres.....	66
2.2 Formes huileuses	68
2.2.1 Sticks et Baumes	68
2.2.2 Huiles.....	71
2.2.3 Lipogels	73
2.3 Formes aqueuses.....	74
2.3.1 Lotions	74
2.3.2 Hydrogels.....	75
2.4 Emulsions.....	76
2.4.1 Les crèmes	80
2.4.2 Gels-crèmes.....	81
2.4.3 Emulsions fluides	81
2.4.4 Emulsions sprayables	82
2.4.5 Emulsions à reconstituer extemporanément.....	83

2.5 Mousses	83
V. Rôle du pharmacien / Conseils	85
1. Conseils généraux liés à l'exposition au soleil	85
2. Choix d'une photoprotection topique.....	88
2.1 Choix du SPF	88
2.2 Choix de la forme galénique et du contenant	89
VI. Conclusion	91
Bibliographie.....	92

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de l'anatomie de la peau

Figure 2 : Coupe de l'épiderme

Figure 3 : Synthèse de la mélanine

Figure 4 : Schéma de pénétration de la peau par les UVs

Figure 5 : Schéma de 3 filtres chimiques, chromophore coloré en rouge

Figure 6 : Schéma du mécanisme de conversion de l'énergie après absorption UV

Figure 7 : Schéma d'un bouchon pompe

Figure 8 : Vu par transparence d'un flacon airless et principe de fonctionnement

Figure 9 : Schéma d'une valve aérosol

Figure 10 : Schéma simplifié d'une bombe aérosol

Figure 11 : Figure illustrant la quantité de poudre moyenne utilisée par rapport à la quantité nécessaire à l'obtention du SPF.

Figure 12 : Schéma simplifié d'une émulsion

Figure 13 : Schéma de différentes phases d'instabilité d'une émulsion

Figure 14 : Schéma d'une molécule amphiphile

Figure 15 : Schéma de la structure de la mousse

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de Fitzpatrick

Tableau 2 : Classification par ITA proposée par Chardon et al.

Tableau 3 : Classification du spectre UV réactualisée par John Parrish

Tableau 4 : Classification des degrés de gravité de l'érythème actinique

Tableau 5 : Classification des catégories d'expositions en fonction de l'indice UV

Tableau 6 : Indice de protection solaire recommandé en fonction du phototype et de l'exposition

Abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

CSSC : Comité Scientifique Européen pour la Sécurité des Consommateurs

DEM : Dose érythémateuse minimale

DMP : Dose minimale pigmentogène

FPS = SPF : Facteur de protection solaire = Sun protection factor

H/L : Eau dans huile

H/L/H : Eau dans huile dans eau

HLB : Hydrophilic – Lipophilic Balance

ISO : International Organisation for Standardization

ITA : Individual Typology Angle

IUV : Indice ultraviolet global solaire

L/H : Huile dans eau

L/H/L : Huile dans eau dans huile

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PAF : Facteur d'activation plaquettaire (platelet-activating factor)

PPD : Pigmentation persistante (persistent pigmentation darkening)

ROS : Espèces réactives de l'oxygène (reactive oxygen species)

TNF : Facteur de nécrose tumorale (tumor necrosis factor)

UPF : Facteur de protection ultraviolet (ultraviolet protection factor)

UV : Ultraviolet

Introduction

La peau est le plus grand organe du corps humain. Étant externe, elle est exposée à de nombreuses agressions extérieures. Il s'agit de ce fait de la première ligne de défense du corps humain contre les divers facteurs environnementaux.

L'un de ces nombreux facteurs n'est autre que le soleil. Cette naine jaune qui est essentielle à la vie sur Terre se situe à environ 150 millions de kilomètres de notre planète. Les gaz composant cette étoile sont confrontés à une température et une pression importante, ce qui entraîne des réactions de fusion à l'origine du rayonnement solaire. Ce rayonnement permet à la Terre d'être une planète habitable en apportant chaleur et énergie. Cependant, certains rayons, par l'énergie qu'ils possèdent, ne sont pas sans conséquences sur les cellules de notre corps et particulièrement sur celles de notre peau (1,2).

La relation entre le soleil et la pigmentation cutanée est connue depuis bien longtemps. À l'époque gréco-romaine, les classes aisées cherchent à avoir le teint pâle, car les peaux bronzées sont associées aux ouvriers et aux classes pauvres devant travailler en extérieur. Cela devient un critère de beauté, au point d'utiliser de nombreux cosmétiques comme la poudre de riz, de craie ou encore le blanc de céruse afin de blanchir le teint. Cet état d'esprit est conservé en Asie et jusqu'à la fin du XIXe siècle environ dans les pays européens. Au début du XXe siècle en Europe les mentalités changent, un teint hâlé devient synonyme de vacances, de voyage et de richesse, mais également de bonne santé et un critère de beauté (3–5).

A la fin du XIXe on commence à prendre conscience de certains effets du soleil, notamment l'érythème qui apparaît rapidement après l'exposition. On commence à s'intéresser lentement à la protection solaire mais aussi à l'apparition du bronzage et à comment accélérer son apparition.

Ce n'est qu'à la fin du XXe siècle que les effets les plus dangereux de ces rayonnements sont mis en évidence. L'exposition solaire moyenne ayant augmenté, on observe en parallèle une hausse de l'incidence des tumeurs cutanées. Il est ensuite prouvé que le mode et la quantité de l'exposition solaire ont un impact significatif sur l'apparition de ce type de tumeur. Il s'agit d'un facteur de risque exogène.

Par conséquent, la recherche de divers moyens de photoprotection s'est accélérée afin de protéger les populations s'exposant au soleil et ainsi diminuer l'incidence de ces cancers de la peau. La prévention des cancers de la peau est devenue un enjeu majeur de santé publique. Effectivement, d'après les chiffres de Santé Publique France, l'augmentation moyenne annuelle de l'incidence des mélanomes de la peau était de 4% de 1990 à 2018 chez l'homme et 2,7% chez la femme (6).

Parmi ces nombreux moyens de protection s'est surtout développé une gamme de photoprotecteurs dite topique, vulgairement appelée « crèmes solaires ». Ceux-ci existent maintenant sous de nombreuses formes et sont présents en masse sur les étalages des pharmacies. Etant l'un des acteurs de la santé publique les plus accessibles, le pharmacien a pour devoir d'aider les patients à choisir le produit le plus adapté à leur utilisation. Pour cela, le pharmacien doit connaître les produits disponibles à l'officine.

Plusieurs questions se posent alors : Y-a-t'il des différences entre les diverses formes galéniques ? Certaines formes sont-elles plus adaptées à un type de peau ? à un âge ? à une activité spécifique ? à une fréquence d'exposition plus ou moins élevée ?

Pour répondre à ces interrogations, nous allons devoir revenir sur certains points essentiels. En premier lieu, sur la peau, sa composition, son rôle et les différences physiologiques selon les individus ; puis il nous sera important de connaître les divers rayonnements solaires et leurs effets sur l'organisme. Ensuite, nous présenterons les aspects techniques généraux des protections solaires topiques avant d'approfondir dans une quatrième partie les différentes formes galéniques disponibles sur le marché. Enfin l'accompagnement et les conseils associés à la délivrance de protecteurs solaires topiques.

I. La peau, une barrière

La peau est l'un des organes les plus importants par sa taille. En effet, un adulte possède en moyenne 1,5 à 2 m² de peau. Cet organe fait la continuité avec différentes muqueuses (digestive, vaginale ...). Grâce à sa taille et sa localisation, la peau est des plus visibles. Elle peut prendre des aspects différents d'une personne à une autre et même d'un âge à un autre. Qu'elle soit de couleur différente, avec ou sans grains de beauté, présentant une pilosité plus ou moins importante, la peau n'en reste pas moins une protection naturelle pour tous.

La composition de la peau est assez complexe, ce qui lui permet de jouer un rôle important dans :

- La protection : elle sépare nos organes de l'extérieur en formant une barrière physique qui les protègent à la fois des agressions chimiques, biologiques, thermiques et mécaniques.
- La thermorégulation : l'homme étant un mammifère homéotherme, sa température centrale reste stable et est comprise entre 36°C et 37,5°C. Elle est régulée grâce à différents mécanismes comme la thermogenèse, la sudation ou la régulation du flux sanguin cutané, entre autres.
- La perception : la peau possède de nombreuses fibres nerveuses et récepteurs permettant l'extéroception. Cela permet une sensibilité mécanique, thermique et douloureuse divergente en fonction des densités des différents récepteurs.
- Le stockage : l'énergie est conservée sous forme de lipides dans des adipocytes présents au niveau de l'hypoderme.
- Les échanges avec l'extérieur, notamment concernant l'eau et l'excrétion de métabolites toxiques ou de déchets grâce à la sueur.
- Le métabolisme : synthèse de la vitamine D(7).

Bien que son aspect varie selon les individus, son organisation reste fondamentalement identique. Elle se présente sous la forme d'une association complexe de tissus ayant chacun un rôle et une composition différente. On y retrouve parallèlement un certain nombre d'annexes.

1. Topographie

La peau est composée d'une superposition de couches cellulaires. On distingue trois couches différentes par leur organisation et leur composition. Ces dernières sont de l'intérieur vers l'extérieur : l'hypoderme, le derme et l'épiderme.

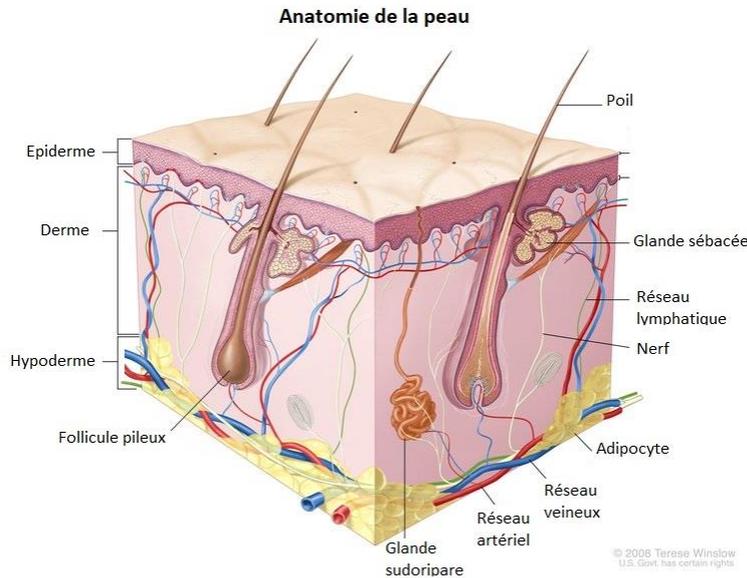


Figure 1 : Schéma de l'anatomie de la peau (8)

1.1 Hypoderme

L'hypoderme est constitué de lobules adipeux séparés les uns des autres par des septums interlobulaires conjonctifs. Ces septums permettent le passage des nombreuses innervations et d'un réseau vasculaire important. Ces lobules adipeux sont constitués d'adipocytes matures sous forme d'amas. L'épaisseur de l'hypoderme varie selon différents facteurs comme les conditions de nutrition, mais également le sexe et la région du corps.

Cette composition particulière lui confère des caractéristiques nécessaires à différents rôles :

- Un rôle d'amortissement entre le derme et les structures sous-jacentes (organes, muscles, tendons ...) lorsqu'une pression est exercée sur la peau. Cela explique son épaisseur plus importante au niveau des zones qui doivent supporter les impacts (ex : fesses, talons ...).
- Un rôle de réservoir : énergétique et d'hormones stéroïdes.
- Un rôle d'isolant thermique face aux températures extérieures.(9)

1.2 Derme

Il n'existe pas de délimitation franche entre le derme et l'épiderme, mais leurs compositions diffèrent grandement. Le derme est un tissu conjonctif richement vascularisé et innervé.

Le derme est la couche la plus épaisse des trois couches composant la peau, il mesure en moyenne 2 millimètres mais peut atteindre 3 à 4 millimètres au niveau de la paume des mains par exemple.

L'implantation des annexes cutanées est majoritaire dans le derme. On y retrouve les follicules pileux mais également certaines glandes :

- Les glandes sudoripares eccrines et apocrines, responsables respectivement de la sueur aqueuse et des odeurs corporelles.
- Les glandes sébacées : productrices de sébum et donc du film hydrolipidique.

Cette épaisseur et sa composition font du derme le support solide de la peau possédant une résistance et une élasticité importante ainsi qu'une grande capacité de régénération/cicatrisation. En plus de ce rôle, la présence de nombreux vaisseaux lui donne une importance toute particulière dans la thermorégulation.

1.2.1 Composition

Les Cellules

De nombreuses cellules coexistent dans le derme. Il serait cependant possible de différencier deux catégories : les cellules dites fixes et les cellules mobiles.

Les cellules fixes ou résidentes sont les cellules qui structurent le derme : les fibroblastes. Ces derniers produisent les différents composants de la matrice extracellulaire (collagène, élastine, glycoprotéines, substance extra-cellulaire) et peuvent en outre les dégrader en sécrétant des collagénases ou protéases. Ils « organisent » le tissu. De plus, ils sécrètent des facteurs chimiotactiques intervenant dans la défense de l'organisme.

Les cellules mobiles quant à elles font partie du système immunitaire. Parmi les cellules mobiles on retrouve des cellules dendritiques, des mastocytes et des leucocytes entre autres.

Matrice extracellulaire

Cette substance amorphe est produite par les fibroblastes. Elle est composée de macromolécules et permet de créer un lien entre les cellules du derme.

Cette matrice se compose de glycoprotéines et protéoglycanes, de collagène et de fibres élastiques. Chaque composant possède des particularités et donne une capacité spécifique au derme. Néanmoins, tous permettent la solidarisation et l'adhésion des cellules.

Les glycoprotéines, dont les protéoglycanes, forment un gel fortement hydraté. Parmi ces glycoprotéines on retrouve des protéines comme la fibronectine qui a un rôle clé pour la croissance, la migration et la différenciation cellulaire et donc la cicatrisation.

Le collagène représente 98% de la masse du derme. Les collagènes les plus présents dans le derme sont le collagène de type I et de type III. Ces fibres sont inextensibles et confèrent une bonne résistance au derme.

Comme leur nom l'indique, les fibres élastiques rendent la peau élastique et ainsi lui permettent de se remettre en place après étirement.

1.2.2 Derme papillaire et réticulaire

Classiquement, le derme peut être divisé en deux compartiments dont l'organisation et la composition diffèrent légèrement.

Le derme papillaire

Superficiel, il forme les papilles dermiques qui se trouvent en contact avec les crêtes épidermiques. Ce tissu lâche se compose de fines fibrilles de collagène et de fibres élastiques qui sont perpendiculaires à la jonction avec l'épiderme. Un plexus vasculaire situé sous les crêtes épidermiques permet la vascularisation des cellules épidermiques.

Le derme réticulaire

Profond et plus épais, il se compose de fibres de collagène plus épaisses en faisceau. Ces derniers sont organisés sous forme de réseau, ce qui lui confère une résistance plus importante. Les fibres de collagène comme les fibres élastiques le composant sont majoritairement parallèles à la jonction dermo-épidermique. (9)

1.3 Epiderme

L'épiderme est la couche la plus superficielle de la peau. Son épaisseur moyenne est 0,1mm, mais elle varie selon la localisation de 50µm au niveau des paupières à 1000µm sur la paume des mains (9).

Il limite les pertes de liquide et joue un rôle de protection face aux agressions extérieures ce qui explique qu'il ne soit ni innervé, ni vascularisé.

1.3.1 Histologie

L'épiderme est un épithélium pavimenteux stratifié. Cela signifie qu'il est composé de plusieurs strates ou assises de cellules.

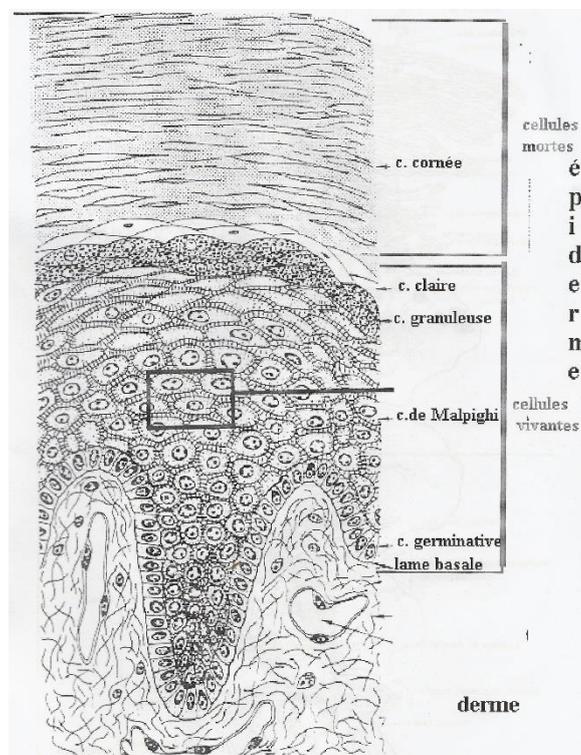


Figure 2 : Coupe de l'épiderme (9).

Cet épithélium possède une capacité de renouvellement importante. En effet, il est composé en majorité de kératinocytes, des cellules qui mûrissent tout en migrant de la couche la plus profonde à la couche la plus superficielle de l'épiderme avant de se desquamer. Ce cycle de maturation aussi appelé turn-over s'effectue en 4 à 5 semaines mais peut varier en fonction de l'âge ou dans le cas de certaines pathologies.

Lors de ce processus, les cellules évoluent progressivement en changeant à la fois de structure et de composition : aplatissement des cellules, perte de noyau et kératinisation.

La kératinisation définit le processus de synthèse de la kératine par les kératinocytes lors de leur maturation. La concentration augmente en fonction de la maturation et donc de la migration de ces dernières vers les couches les plus superficielles de la peau.

Les kératines sont des protéines fibreuses hélicoïdales possédant des acides aminés soufrés. Au fur et à mesure de la migration des cellules de la couche épineuse à la couche cornée de la peau, on observe la formation de ponts disulfures qui induisent la formation de tonofilaments qui, par juxtaposition, formeront un réseau cellulaire reliant les desmosomes et hémidesmosomes à la région périnucléaire des cellules. Elles participent grandement à la cohésion du tissu épidermique et à son élasticité. (10)

1.3.2 Différentes couches

L'épiderme est formé de nombreuses assises de cellules. Il est possible de différencier un certain nombre de couches au niveau de cet épiderme.

De la partie la plus profonde à la partie la plus superficielle on trouve : la lame basale, la couche germinative, la couche épineuse, la couche granuleuse, la couche claire et enfin la couche cornée.

La lame basale

La lame basale est une structure continue faisant le lien entre le derme et l'épiderme, elle permet la cohésion cutanée.

On constate que cette lame basale n'est pas symétrique. En effet, on distingue en microscopie électronique 3 zones :

- La lamina densa : la partie faisant face au derme. Cette dernière est composée de fibres de collagène de type IV et de glycoprotéines dont les interactions servent de socle à la lame basale.
- La lamina lucida : transparente en microscopie électronique, elle est en contact direct avec les cellules basales épidermiques. Celles-ci sont liées à la lame basale par des hémidesmosomes dont les filaments d'ancrage traversent la lamina lucida.
- La sub-lamina densa : dans cette zone, du collagène de type VII forme des fibres d'ancrage entre le collagène du derme et la lamina densa. (11)

La couche germinative

Il s'agit de la couche la plus profonde de l'épiderme, on y trouve la plus grande diversité cellulaire de l'épiderme. On retrouve 4 types cellulaires :

➤ Les kératinocytes

On observe une seule assise de cellules cylindriques qui sont implantées perpendiculairement à la lame basale. Ces dernières comportent des tonofilaments de molécules de kératine qui permettent la cohésion de l'épiderme. En effet, certains tonofilaments sont orientés vers le pôle basal de la cellule afin de permettre une jonction avec la lame basale au moyen d'hémidesmosomes. D'autres, orientés vers les pôles latéraux ou apical, permettent la jonction cellulaire avec d'autres kératinocytes par formation de desmosomes. (11)

Ces cellules sont en mitose de manière presque constante par la présence de divers facteurs de croissance. On parle de cellules germinatives ou cellules souches épithéliales.

La division d'une cellule germinative forme deux cellules filles identiques. L'une d'entre elle reste dans la couche germinative et se divisera à nouveau, tandis que l'autre entame une différenciation et migre dans la couche épineuse. Cela permet la régénération de la peau. (9)

➤ Les mélanocytes

Aussi appelées Cellules de Masson, les mélanocytes sont des cellules de grande taille présentes dans la couche germinative de l'épiderme. Elles sont de forme étoilée avec des dendrites sombres qui s'immiscent entre les kératinocytes.

Leur grande particularité est la présence de mélanosomes dans leur cytoplasme. Ces derniers sont des organites qui migrent le long des dendrites. C'est dans ces derniers que s'effectue la synthèse, le stockage et le transport de la mélanine.

Le mélanocyte repose sur la membrane basale et est entouré d'une trentaine de kératinocytes auxquels il transfère la mélanine produite. Cet ensemble mélanocyte / kératinocyte est appelé unité épidermique de mélanisation.

La mélanogenèse comprenant la synthèse et la distribution de la mélanine a lieu dans les mélanosomes. On observe une maturation des mélanosomes en 4 stades où l'organite qui, au départ est rond et incolore, s'opacifie et prend une forme ovoïde.(11)

Une fois arrivés à maturité, ils seront libérés dans l'espace extracellulaire sous forme de globules entourés d'une membrane plasmique mélanocytaire à diverses zones des dendrites. Ces globules seront ensuite phagocytés par les kératinocytes environnants.

Après cette phagocytose, les mélanosomes se placent dans la zone périnucléaire afin de protéger le noyau des kératinocytes. (9)

➤ Les cellules de Langerhans

Les cellules de Langerhans représentent une petite portion des cellules de l'épiderme. Ce sont des cellules dendritiques qui ne possèdent pas de desmosomes, permettant leur déplacement dans la peau. On les retrouve en majorité dans la couche épineuse.

Elles possèdent un rôle immunitaire, car elles permettent l'immunisation contre les antigènes en contact avec la peau. (12)

➤ Les cellules de Merkel

On retrouve les cellules de Merkel dans la couche germinative et la couche basale de l'épiderme. Elles ne sont cependant pas réparties équitablement sur toute la surface du corps.

Elles sont en relation avec une terminaison nerveuse libre qui forme un disque de Merkel. Ces cellules sont des mécano-récepteurs, c'est-à-dire qu'elles permettent de ressentir la pression. On en retrouve une plus grande densité aux endroits nécessitant une perception plus fine comme la paume des mains ou les lèvres.(7)

La couche épineuse

Elle se compose de 5 ou 6 couches de cellules polyédriques assez volumineuses avec un gros noyau clair. Leur cytoplasme contient, comme les cellules germinatives, des tonofilaments de kératine. Toutefois, le poids moléculaire de ces derniers et leur quantité sont plus importants. (11)

Cette couche tire son nom des nombreuses interdigitations qui séparent les cellules polyédriques les unes des autres. Ces « épines » formées par la présence de nombreux desmosomes sont responsables en partie de la grande résistance mécanique, mais aussi de la grande perméabilité de cette couche.(9)

La couche granuleuse

Trois assises de kératinocytes aplatis à noyau ovale et dense forment cette couche. On observe une raréfaction des organites dans ces cellules mais aussi l'apparition de granulations :

- Granulations de keratohyaline : contiennent les précurseurs à la fabrication de la filaggrine
- Kératinosomes : ces derniers déversent leur contenu (lipides notamment) dans l'espace extracellulaire pour former un ciment intercellulaire hydrophobe.(11)

La couche claire

Elle n'est pas présente partout mais l'est notamment au niveau de la zone palmoplantaire qui est donc plus épaisse. Elle se compose d'une ou deux assises de cellules plates sans noyau.

La couche cornée

Il est question de la partie la plus externe de l'épiderme qui est exposée à l'air libre. Elle se compose de 4 à 20 assises de cornéocytes.

Ces derniers sont des cellules aplaties, anucléées, sans organites et totalement kératinisées. Cette kératine se présente sous la forme de filaments immergés dans une matrice dense composée de filaggrine (protéine amorphe). Leur membrane plasmique est plus épaisse et on retrouve un film lipidique qui double la membrane entre les cellules.

La partie basse de cette couche cornée présente de nombreuses cellules liées entre elles par des cornéodesmosomes (structure simplifiée des desmosomes) permettant d'assurer une cohésion entre les cellules. Ces jonctions et la présence du ciment intercellulaire à ce niveau assurent la fonction de barrière de l'épiderme face aux agressions extérieures.(11)

La partie la plus exposée est celle où se produit la desquamation des cellules cornées.

2. Adaptations physiologiques face au soleil

Face au soleil, nous ne sommes pas égaux. On observe différentes réactions de la peau selon le profil des personnes pour une même exposition aux rayons UVs.

Différents facteurs entrent en jeu dans la protection solaire naturelle, des facteurs génétiques, environnementaux, hormonaux, ou encore l'âge. Ces facteurs influent sur la qualité des composants de la peau et ainsi sur sa capacité de protection aux agressions extérieures.

2.1 Mélanine

L'une des différences fondamentales concernant la peau est visible : sa couleur. Cette pigmentation est liée à la mélanine, qui est un composé coloré formé à partir de tyrosine. Il existe deux types de mélanine dont la production diffère.

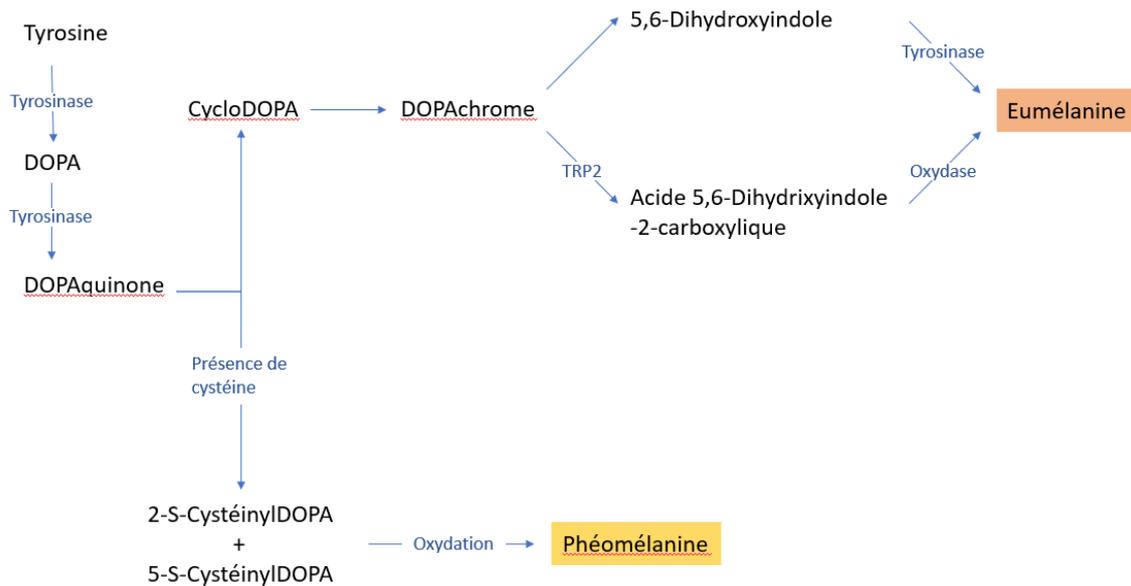


Figure 3 : Synthèse de la mélanine

L'eumélanine : la plus courante est de couleur brune ou noire. Elle est plus photoprotectrice et absorbe les UV en formant des radicaux libres.

La pheomélanine : de couleur jaune orangé à cause de la présence de cystéine (souffre), elle est moins protectrice car sa capacité d'absorption des UV est moindre par rapport à l'eumélanine. De plus, elle augmente la quantité de radicaux libres après exposition au soleil. De ce fait, elle est considérée comme phototoxique.

Bien que la mélanine joue un rôle esthétique, son principal intérêt est celui de la photoprotection. Elle réalise cette action grâce à deux mécanismes différents :

- Une action directe dans les kératinocytes par la présence de mélanosomes supranucléaires qui absorbent les rayonnements et protègent ainsi l'ADN.
- Une action indirecte par l'action de neutralisation de l'eumélanine sur les radicaux libres et l'augmentation de l'épaisseur de la couche cornée.

La pigmentation de la peau est liée à la mélanine et, par conséquent, aux mélanosomes. On observe une différence qualitative et quantitative de ces mélanosomes entre différents individus, mais aussi une différence dans leur devenir.

Pour une peau claire, on observe de petits mélanosomes de faible pigmentation (contenant principalement de la pheomélanine), agrégés et présents dans la couche basale et la couche épineuse.

Pour une peau foncée, les mélanosomes sont plus grands et plus pigmentés (eumélanine). Ils sont isolés et on les retrouve dans toutes les couches de l'épiderme, même la couche cornée.

Ces différences confèrent une meilleure protection face au soleil pour les personnes ayant une peau foncée. La mélanine présente dans l'épiderme des peaux foncées absorbe plus de rayons UV, ce qui diminue le passage de ces derniers ainsi que leur action sur les couches plus profondes de la peau. Cela permet de classer les individus selon leur phototype, c'est-à-dire la fragilité de leur peau face au soleil.

2.1.1 Classification de la peau

Phototype

Le phototype est un type de classification développée par Thomas Fitzpatrick (13) pour les individus de type caucasien, basée sur la capacité de bronzage et l'apparition de coups de soleil notamment. Cette échelle a évolué dans le temps, passant de 4 phototypes à 6 gradués I à VI. Elle reflète en partie la coloration de la peau et sa sensibilité aux rayons UV du soleil (14).

Tableau 1 : Classification de Fitzpatrick (13)

Type de Peau	Caractéristiques typiques	Capacité à bronzer / coup de soleil
I	Peau très pâle, tâche de rousseur Cheveux roux ou blond Yeux clairs (bleu, vert)	Brûle toujours Ne bronze jamais
II	Peau très claire Cheveux roux ou blond Yeux bleus, noisette ou vert	Brûle facilement, Bronze difficilement
III	Peau claire Toutes couleur de cheveux et d'yeux	Brûle parfois légèrement Bronze progressivement
IV	Peau mate	Ne brûle que très légèrement Bronze facilement
V	Peau foncée	Brûle rarement Bronze facilement
VI	Peau très foncée ou noire	Ne brûle jamais Bronze systématiquement

On évalue le phototype à l'aide de questionnaires simplifiés modifiés selon les populations (15). Cet indice est basé sur une appréciation subjective de l'individu.

ITA : Individual Typology Angle

La subjectivité de l'échelle des phototypes créée par Fitzpatrick a poussé les chercheurs à créer une autre échelle plus objective.

Ainsi l'ITA a vu le jour. Cette échelle est basée sur la pigmentation constitutive de la peau (naturelle, sans UV). Il s'agit d'un angle défini par différents paramètres comme la luminance et le composant jaune de la couleur de la peau (16).

Tableau 2 : Classification par ITA proposée par Chardon et al. (16)

Classification de la peau	ITA
Très claire	$ITA^\circ > 55$
Claire	$41 < ITA^\circ < 55$
Intermédiaire	$28 < ITA^\circ < 41$
Mate	$10 < ITA^\circ < 28$
Brune	$-30 < ITA^\circ < 10$
Foncée	$ITA^\circ < -30$

2.1.2 Deux pathologies liées à la mélanine

Albinisme

La pathologie la plus connue de la mélanine est l'albinisme, une maladie génétique autosomale récessive. Celle-ci implique un déficit total ou partiel de la biosynthèse de la mélanine. Ainsi, les personnes atteintes de cette pathologie présentent une peau pâle voire blanche, des yeux et des cheveux clairs.

Cette pathologie induit une sensibilité beaucoup plus importante aux rayons du soleil et des risques accrus de dommages cutanés et de cancer de la peau.

Vitiligo

Le vitiligo est une maladie auto-immune chronique provoquant une dépigmentation par la destruction sélective des mélanocytes. Cela se transcrit par l'apparition de plaques blanches (dépigmentées) sur la peau. Ces zones dépigmentées ont donc perdu une grande partie de leur protection solaire naturelle.

L'étiologie du vitiligo n'est cependant pas totalement élucidée, elle semble liée à différents paramètres, notamment génétiques mais également environnementaux (17).

2.2 De l'enfance à l'âge adulte

Fondamentalement, l'organisation globale de la peau est identique de la naissance à l'âge adulte. On observe néanmoins des différences, à la fois qualitatives et quantitatives.

2.2.1 Nouveau-né et enfant

La peau du nouveau-né a en effet une fonction de barrière comme celle de l'adulte, cependant cette dernière n'est pas mature.

Tout d'abord, la peau du nouveau-né est bien plus fine que celle d'un adulte : les couches qui la composent sont elles-mêmes plus petites que chez l'adulte. Ceci explique la fragilité de la peau du nourrisson et sa perméabilité accrue.

Toutefois, la peau du nouveau-né a une capacité de régénération plus importante que celle de l'adulte, car le turn-over de la peau est beaucoup plus rapide (18).

2.2.2 Personne âgée

Avec l'âge, on observe également une détérioration ou un vieillissement de la peau.

Les fibres élastiques et les fibres de collagène subissent des dommages progressifs. Le derme, et donc la peau, sont progressivement moins tendus et moins élastiques (19).

L'épiderme quant à lui subit différentes modifications :

- Un amincissement de 10 à 50% de 30 à 80 ans.
- Un aplatissement de la jonction dermo-épidermique, résultant en une diminution de la surface de contact, c'est-à-dire en une diminution des cellules basales notamment germinatives.
- Un allongement du cycle cellulaire et de la migration cellulaire des kératinocytes, ce qui explique l'augmentation de la fragilité de la peau.
- Une diminution du nombre de cellules de Langerhans.

- Une diminution du nombre de mélanocytes à partir de 30 ans et une modification de leurs caractéristiques de développement (19).
- Une diminution de la sécrétion de sébum et de l'activité de la plupart des glandes qui augmente la sècheresse cutanée (20).

2.3 Photosensibilisation

La photosensibilisation est liée à la présence d'une molécule appelée photosensibilisateur. Ce type de molécule est excité par l'absorption de photons et transfère l'énergie libérée lors du retour à son état initial aux molécules alentour.

Ceci augmente la sensibilité de la peau aux rayons UVs. En général les effets sont des effets à court terme comme la phototoxicité ou photo-allergie. A long terme les effets peuvent être mutagènes ou cancérigènes.

La photosensibilité englobe deux types de réaction : la phototoxicité et la photo-allergie.

2.3.1 Phototoxicité

Il s'agit d'une irritation forte causée par la présence d'un produit en présence de soleil. Les cellules sont plus sensibles aux rayons UVs suite à cette exposition au produit. (21) (22)

Cette sensibilisation induit une réaction plus importante et ainsi l'apparition d'un érythème actinique plus important, voire de brûlures ou de démangeaisons.

2.3.2 Photo-allergie

Considérée comme réaction allergique de contact, la photo-allergie est induite par l'exposition combinée à un produit chimique et au soleil. Le produit chimique lors de son exposition au soleil change de structure et devient un photo-allergène. Ce photo-allergène est reconnu par le système immunitaire uniquement lors de l'exposition au soleil. On observe donc une inflammation de la peau au niveau des zones exposées aux rayons UVs. Les zones touchées présentent généralement une forme d'eczéma ou des prurits.

De nombreuses molécules peuvent conduire à cette réaction : anti-inflammatoires, médicaments de chimiothérapie, parfums

II. Rayonnement solaire

Le spectre solaire est infini à l'émission. Cependant un tel rayonnement ne serait pas propice à la vie. Tous les rayonnements solaires n'atteignent pas la couche terrestre.

1. A la surface de la terre

On constate que le spectre des radiations reçues sur Terre est considérablement réduit. Il est limité de 290 à 1500 nm et comprend une partie des UVs, la lumière visible et une partie des infrarouges (23). Cela est dû notamment à la couche d'ozone qui limite le passage d'une grande partie des rayonnements.

2. Les ultraviolets

Ils ne représentent que 5% des rayons solaires atteignant la surface terrestre. Néanmoins, ces rayons sont responsables de la quasi-totalité des effets sur la peau, qu'ils soient bénéfiques ou néfastes.

Découverts en 1801 par Johann W. Ritter, les UV comprennent les rayons solaires de 200 à 400 nm.

En 1932, Williams Coblentz a proposé de fractionner le Spectre UV en 3 sous-catégories : les UVA, UVB et UVC. John Parrish en 1978 a réactualisé les limites de longueur d'onde des différents types d'UVs suite à certaines considérations pratiques.

Tableau 3 : Classification du spectre UV réactualisée par John Parrish

Catégorie	Longueur d'onde en nm
UVC	200 à 290
UVB	290 à 320
UVA	320 à 400

UVA

De 320 à 400 nm, ces UVs sont peu énergétiques, on les retrouve sur Terre à tout moment de l'année. Ces derniers sont capables de traverser le verre. Ils atteignent facilement le derme mais leur faible énergie leur confère une faible action directe sur l'ADN. Néanmoins, ils sont tout de même mutagènes de façon indirecte par production de radicaux libres (23) (24).

UVB

De 290 à 320 nm, ces rayons UVs sont partiellement arrêtés par la couche d'ozone, ils ne représentent que 5% des UVs parvenant à la surface de la Terre. Contrairement aux UVA, ils sont absorbés par les nuages et le verre. Cela signifie que la quantité à laquelle un être humain est exposé dépend de plusieurs facteurs : la latitude, l'altitude, les saisons, l'heure de la journée mais également le temps et la pollution atmosphérique (25). Ces UVs pénètrent moins profondément la peau mais sont plus énergétiques et peuvent ainsi provoquer des lésions directes à l'ADN (23) (24).

UVC

De 200 à 290 nm, ils sont arrêtés par la couche d'ozone et n'atteignent pas la surface de la Terre. Ils ne présentent donc aucun danger pour les êtres vivants (26).

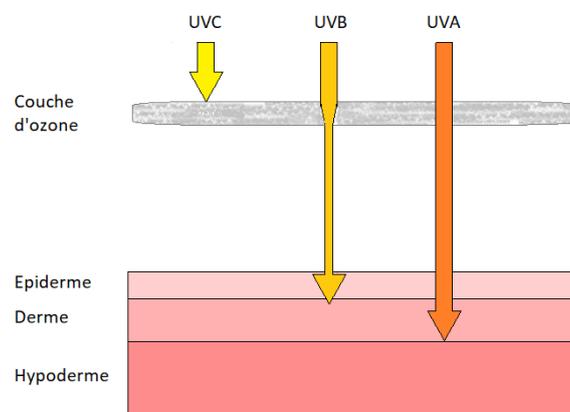


Figure 4 : Schéma de pénétration de la peau par les UVs

3. Action des UVs sur la peau

Les UVs ont divers effets sur la santé : ils sont à la fois indispensables à la vie humaine et potentiellement dangereux pour celle-ci.

3.1 Photoproduction de vitamine

La vitamine D est un composant essentiel à la santé de l'être humain. En plus de son rôle dans le métabolisme de la structure osseuse, elle possède des effets bénéfiques à la fois dans la réponse immunitaire et la réduction de l'hypertension (27).

La vitamine D peut être de source exogène, c'est-à-dire provenir de notre alimentation (poissons gras et dérivés), ou de source endogène par synthèse cutanée.

La synthèse de la vitamine D nécessite l'irradiation de la peau par les UVs. La première étape de cette synthèse est réalisée par photo-conversion. Les UVB permettent la conversion du 7-dehydrocholestérol (pro-vitamine D3) en pré-vitamine D3. Cette dernière sera isomérisée grâce à la chaleur corporelle en vitamine D3 qui sera transportée au foie pour y subir une hydroxylation ce qui aboutira à la formation de la 25-hydroxyvitamine D3 (forme de réserve). Enfin, une autre hydroxylation au niveau rénal permettra d'obtenir la 1,25-dihydroxyvitamine D3 (forme active) (28).



3.2 Effets mutagènes

3.2.1 Stress oxydatif : production de ROS

Les UVA ont une longueur d'onde supérieure aux autres UVs, ils pénètrent plus facilement la peau et peuvent avoir une action plus en profondeur. Cependant leur faible énergie ne leur permet pas d'avoir une action directe sur l'ADN. Néanmoins cela ne signifie pas qu'ils n'ont aucun impact sur les cellules.

On retrouve dans la peau des composés dits photosensibilisateurs comme les riboflavines, la mélanine ou les quinones capables d'absorber les UVA (29). On parle de photo-excitation. De cet état découle la production d'espèces réactives à l'oxygène (ROS).

Bien que le corps humain possède des défenses contre ces ROS, si ces dernières sont insuffisantes ou non fonctionnelles, les ROS peuvent avoir un impact sur les macromolécules biologiques.

Etant des espèces extrêmement réactives, les ROS peuvent induire une oxydation à la fois des lipides, protéines et également de l'ADN. C'est-à-dire des dommages cellulaires.

3.2.2 Effet mutagène direct sur l'ADN

L'exposition au UVs peut induire des lésions directes de l'ADN. En effet l'absorption de certains rayons UV provoque la formation de lésions de l'ADN et plus précisément au niveau des bases pyrimidiques (thymine et cytosine) adjacentes. Conduisant à la formation de dimères pyrimidiques.(30)

Si ces lésions ne sont pas réparées par l'organisme, elles peuvent conduire à la mutation dans l'ADN d'une base cytosine en une base thymine lors de la réplication. Et ainsi modifier le code génétique. En fonction du gène touché, les conséquences varient. Ces lésions arrivent fréquemment mais les cellules possèdent divers mécanismes permettant leur réparation et évitant la formation de ces mutations.

3.3 Immunosuppression

Les rayons UVs possèdent par divers mécanisme une action immunosuppressive cutanée (31). Cette immunosuppression touche plusieurs mécanismes de la réaction immunitaire comme :

- La production de cytokines et médiateurs solubles : notamment TNF, prostaglandine E2, PAF, ...
- Des effets sur les lymphocytes T : Il existe deux types de lymphocytes T, les cellules effectrices promeuvent la réaction immunitaire et à l'inverse les cellules T régulatrices sécrètent des cytokines immunosuppressives.

A la suite d'une exposition aux UVs le ratio cellules T effectrices / cellules T régulatrices diminue, induisant une diminution de la réponse immunitaire. (32)

- La présentation des antigènes : afin d'activer les lymphocytes T, des cellules présentatrices d'antigène doivent présenter les antigènes à ces derniers.

Cependant la capacité de présentation des antigènes par les cellules de Langerhans est altérée par les UV (notamment UVB). A la fois de manière directe mais également indirecte par la production de cytokines immunosuppressives par les kératinocytes, les macrophages et les lymphocytes T régulateurs.(30)

3.4 Erythème actinique

L'érythème actinique aussi appelé coup de soleil est l'un des effets précoces d'une exposition trop importante aux rayonnement UVs. La gravité de ce dernier est variable en fonction de l'intensité de l'exposition aux rayonnements UVs. On distingue 4 degrés de gravité (tableau 4)

Tableau 4 : Classification des degrés de gravité de l'érythème actinique (33)

1 ^{er} Degré	Erythème rose apparaissant entre 6 et 24h après exposition. Disparaît après 72h.
2 ^{ème} Degré	Erythème rouge vif apparaît dans les 2 à 12h après exposition. Légèrement douloureux. Disparition après 72h avec légère desquamation. Pigmentation transitoire.
3 ^{ème} Degré	Erythème cyanique avec œdème palpable. Apparition dans les 2 à 6h après exposition. Pigmentation durable
4 ^{ème} Degré	Phlyctène pouvant être accompagné de troubles généraux. Exfoliation intense. Pas de pigmentation secondaire.

L'érythème actinique découle des dommages que les UVs infligent à l'ADN. Ce sont les réponses permettant la réparation de l'ADN qui consiste en différents mécanismes notamment le relargage de marqueurs inflammatoires et les mécanismes d'apoptose cellulaires.

Les marqueurs inflammatoires (prostaglandines, ROS, bradykinine) vont provoquer une vasodilatation des vaisseaux dermiques qui provoque un œdème, une rougeur et les douleurs liées.(34) En plus de la vasodilatation, on observe une augmentation de l'apoptose et une desquamation plus importante.

3.5 Pigmentation induite

Les UVs induisent la pigmentation de la peau par stimulation de la production par les kératinocytes de facteurs stimulant la mélanogenèse comme α -MSH. On observe donc une influence à la fois sur la quantité, la taille des mélanocytes et leur transfert. La pigmentation photoinduite (ou bronzage) apparaît 48 à 72 heures après l'exposition et est réversible. (11)

3.6 Photovieillissement

Le photovieillissement également appelé héliodermie est un processus lié à l'exposition chronique aux UVs. Il s'ajoute au vieillissement cutané physiologique. Ces deux types de vieillissement sont liés au stress oxydatif (35).

Dans le cadre du photovieillissement, les rayons UVs augmentent la concentration en dérivé réactif de l'oxygène (ROS) par leur interaction avec différents chromophores (Riboflavine, tryptophane ...). Ces ROS ont une action sur diverses protéines (ex : phosphatase) et induisent des réponses diverses sur les cellules notamment la dégradation et la production de collagène (35).

Ceci altère la qualité de la peau sur le long terme. Cette atteinte est caractérisée par un épaissement et un jaunissement, l'apparition de rides (dynamiques, élastosiques et de froissement) et une dilatation des orifices folliculaires. On parle de peau citréine. En plus de son changement d'aspect, la peau perd son élasticité.(36)

On observe d'autres lésions liées au photovieillissement :

- Pigmentées : Apparition de taches brunes sur la peau (lentigo) taches grises ou rose (kératose actinique), taches blanches (hypomélanose en goutte) ...
- Vasculaires : rougeurs notamment au niveau du nez et des joues (rosacée)
- Elastose actinique : épaissement de la peau par apparition d'amas de microfibrille au niveau du derme réticulaire.

4. Facteurs de risque : l'exposition

4.1 Définition

Comme vu précédemment, les UVs ont une action sur la peau de l'être humain. Les conséquences diffèrent en fonction de l'exposition.

L'exposition est liée à la fois au temps d'exposition mais également à la « quantité » de rayons UVs auxquels une personne est exposée.

4.2 La « quantité »

La quantité de rayons UVs à laquelle la peau est exposée est inhérente à divers facteurs environnementaux qu'il est nécessaire de prendre en compte afin de protéger au mieux la population.

4.2.1 Indice UV

L'intensité des rayonnements UV atteignant la terre peut être mesurée. Toutefois, ces mesures sont complexes et ne permettent pas d'informer le grand public de la dangerosité de l'exposition. C'est pourquoi l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en collaboration avec de nombreuses agences internationales a développé l'Indice solaire UV global (IUV). Ce dernier correspond à une mesure simplifiée de l'intensité des rayonnements UV atteignant la Terre (37).

Plus son nombre est élevé, plus les dommages associés aux soleils peuvent être importants et cela en un temps plus court. Cet IUV permet donc de classer l'exposition UVs en différentes catégories.

Tableau 5 : Classification des catégories d'exposition en fonction de l'indice UV (37)

Catégorie d'exposition	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée	Extrême
IUV	<2	3 à 5	6 à 7	8 à 10	>11

Ces différentes catégories d'exposition permettent d'informer la population des gestes nécessaires afin de se protéger des rayons UVs et ainsi de limiter leurs effets nocifs.

4.2.2 Facteurs géographiques et environnementaux

L'exposition varie en fonction de nombreux facteurs.(37)

La latitude : les rayons UVs doivent parcourir une distance plus courte dans l'atmosphère au niveau de l'équateur, ceci signifie que les rayons UVs sont moins absorbés à cette latitude comparativement aux latitudes extrêmes comme celle des pôles.

L'altitude : l'atmosphère étant plus fine là où l'altitude est plus élevée, cette dernière absorbe moins de rayons UVs. Ce qui implique que l'intensité des rayonnements atteignant la terre est plus importante en altitude.

La saison et l'heure de la journée : l'intensité des UVs varie également en fonction de la hauteur du soleil dans le ciel et ceci pour une raison de distance. Dès lors, l'intensité des rayons UVs est moins importante en matinée ou en soirée, tout comme en hiver.

L'ozone : il s'agit d'un gaz présent dans l'atmosphère. Ce dernier absorbe les rayons UVs. Sa concentration influence donc la quantité de rayons UVs capables d'atteindre la Terre. Cependant cette concentration est variable.

La météo : Si la couverture nuageuse ou brumeuse est importante elle peut provoquer une faible diminution des UVs atteignant la surface de la Terre (moins de 10%).

A l'inverse, si la couche nuageuse est faible par exemple ou que le ciel n'est que parsemé de nuages, l'effet de ces derniers est fortement amoindri. Il est même possible que l'exposition soit plus importante par dispersion des rayons UVs

Les surfaces : lorsque l'on parle d'exposition au soleil, on pense majoritairement au rayonnement direct provenant de l'étoile elle-même. Néanmoins, il est nécessaire de prendre en compte les rayons réfléchis par le milieu.

L'environnement proche d'une personne peut en effet réfléchir les rayons UVs, par exemple, la neige réfléchit environ 80% des UVs, donc en plus des UVs directs, les êtres vivants reçoivent une quantité importante de rayons réfléchis, ce qui explique par exemple le besoin de protection solaire lors de vacances au ski.

L'écume et le sable blanc, entre autres, sont capables de réfléchir dans une moindre mesure ces rayons UVs.

III. Protection solaire topique

1. Réglementation et définition

Historiquement en France et en Europe, les photoprotecteurs topiques sont considérés comme des produits cosmétiques.

Ces produits cosmétiques sont définis dans le Code de Santé Publique à l'article L.5131-1 comme « *toute substance ou mélange destiné à être mis en contact avec les parties superficielles du corps humain (l'épiderme, les systèmes pileux et capillaire, les ongles, les lèvres et les organes génitaux externes) ou avec les dents et les muqueuses buccales, en vue, exclusivement ou principalement, de les nettoyer, de les parfumer, d'en modifier l'aspect, de les protéger, de les maintenir en bon état ou de corriger les odeurs corporelles.* » (38)

2. Réglementation Européenne

Le 27 juillet 1976 fut publiée au Journal Officiel de l'Union Européenne la Directive Européenne 76/768/CEE, cette dernière est la première concernant les produits cosmétiques. Cette législation a été initiée par la France en 1972 suite au décès de plusieurs nourrissons lié à une intoxication après utilisation d'un talc contenant un composé neurotoxique. (22)

Cette dernière a évolué avec le temps étant complétée par le décret n°2000-569 du 23 juin 2000 et ayant subi des modifications par la Directive Européenne 2003/15/CE du 27 février 2003.

Enfin en 2009 a été créé le Règlement cosmétique européen, ce dernier a force de loi et a été appliqué dès 2013.(39)

Une protection solaire topique est un produit destiné à être appliqué sur la peau pour la protéger des rayonnements UVs en absorbant et/ou réfléchissant ces rayonnements. Les photoprotecteurs topiques doivent, afin d'être mis sur le marché en Europe, satisfaire les dispositions du règlement européen (CE) n° 1223/2009. Ce texte aborde plusieurs points importants concernant les cosmétiques, notamment en matière de sécurité.

La sécurité est au centre de ce texte, il aborde en effet différents points concernant :

- Le fabricant, les responsabilités de ce dernier, tout comme celles des distributeurs et importateurs (notion de personne responsable)
- L'évaluation de la sécurité du produit (traçabilité des substances, contrôle sur les ingrédients, profil toxicologique, tests d'innocuité ...)
- Les ingrédients utilisables dans les cosmétiques (liste de 8 annexes comprenant des listes « positives » c'est-à-dire ingrédients autorisés et des listes « négatives » avec les composants interdits.

La deuxième catégorie de produits solaires est plus restreinte, il s'agit de celle des dispositifs médicaux de classe I. Le terme « dispositif médical » s'applique ici aux photoprotecteurs topiques comme « [...] *une matière ou autre article destiné par le fabricant à être utilisé, seul ou en association, chez l'homme à des fins de prévention, [...] de traitement ou d'atténuation d'une maladie et dont l'action principale voulue dans ou sur le corps humain n'est pas obtenue par des moyens pharmacologiques ou immunologiques ni par métabolisme, mais dont la fonction peut être assistée par de tels moyens* » (40)

Ainsi cette catégorie ne dispose pas des mêmes réglementations, il est nécessaire pour obtenir cette classification de prouver que le produit démontre une efficacité dans la prévention d'une photodermatose, mais aussi de pouvoir répondre à des exigences de sécurité et de santé définies par la *Directive 93/42/CEE du Conseil du 14 juin 1993 relative aux dispositifs médicaux*.

Il n'existe toutefois pas de différence importante en ce qui concerne la composition des photoprotecteurs topiques commercialisés sous le statut de dispositifs médicaux et ceux commercialisés sous le statut de cosmétiques, puisque tous deux utilisent les mêmes filtres.(41)

3. Essais réalisés et recommandations d'une protection solaire en Europe

3.1 Indice de protection

L'indice de protection solaire, aussi appelé facteur de protection solaire (FPS) ou *sun protection factor* (SPF) en anglais, est une indication permettant d'informer le consommateur de la qualité / capacité du produit à protéger la peau vis-à-vis des rayons UVs.

Il existe différentes méthodes in vivo et in vitro permettant de déterminer cet indice. Cependant, dans un souci d'harmonisation des chiffres et de corrélation entre les différents SPFs indiqués sur les produits en Europe, certaines méthodes codifiées et applicables aux différents types d'UV (A et B) ont été retenues.

Protection contre les UVB

Il existe diverses méthodes d'évaluation pour obtenir le SPF UVB qui permettent d'afficher le coefficient de protection sur l'étiquetage des photoprotecteurs topiques.

Les différentes méthodes sont toutes basées sur l'apparition d'un érythème ou « coup de soleil ». Plus précisément, elle se base sur le calcul suivant :

$$\frac{\text{DEM avec protection}}{\text{DEM sans protection}} = \text{SPF}$$

La DEM signifiant Dose érythémateuse minimale

En Europe, la norme ISO 24444 :2019 basée, sur la méthode internationale actualisée en 2006. Il s'agit de l'exposition de volontaires sains par irradiation artificielle suivant des directives précises (lampes spécifiques, quantité de produits appliqués, nombres de sujets et phototypes ...).

Cette méthode in-vivo demande plusieurs jours pour être réalisée

- Jour 1 : irradiation sans protection,
- Jour 2 : appréciation de l'érythème et irradiation avec protection,
- Jour 3 : appréciation de l'érythème avec protection.

Aucune méthode in vitro n'a encore été validée par l'ISO.

Protection contre les UVA

En ce qui concerne les méthodes de détermination du SPF UVA, les méthodes utilisant l'érythème ne sont pas utilisées car trop compliquées. On utilise donc la pigmentation et plus précisément la mesure de la pigmentation persistante ou PPD (Persistent Pigmentation Darkening).

Contrairement aux méthodes concernant les UVB, plusieurs méthodes sont reconnues.

Une méthode in-vivo est normalisée dans la norme ISO 24442:2022 pour l'Europe. De façon similaire à la méthode de détermination du SPF UVB, le but est de déterminer une dose minimale pigmentogène (DMP) chez des sujets sains, par irradiation artificielle pour une zone sans protection solaire et une zone protégée afin de calculer le ratio DMP avec protection / DMP sans protection.

La norme ISO 24443, quant à elle, définit une méthode in-vitro permettant de réaliser le calcul du SPF UVA ainsi que d'autres facteurs entrant en jeu dans la protection contre les UVA, comme la longueur d'onde critique qui indique si le produit possède une efficacité dans les UVA. Cette dernière doit être supérieure à 370 nm.

Afin d'être mis sur le marché, le SPF UVA ne doit pas être inférieur au tiers du SPF UVB.

3.2 Photostabilité

Cette photostabilité est essentielle à l'activité des filtres UV. En effet un filtre peut voir sa structure modifiée après l'absorption de rayons UVs, ceci diminuant son efficacité.

Plus la stabilité d'un filtre est élevée, plus la quantité nécessaire de ce dernier est moindre, ce qui permet d'améliorer la tolérance du produit mais également le coût de production.(42)

3.3 Absorption transcutanée

Une « crème solaire » doit se fixer à la couche externe de la peau, au niveau de l'épiderme, mais ne doit en aucun cas avoir une action systémique et donc ne doit pas être absorbé par la peau.

Cette absorption transcutanée de substance active (ici les filtres) est corrélée à 3 facteurs :

- L'état de la peau (saine, lésée, pathologique)
- La nature de la molécule active (taille, forme, nature chimique)
- Le véhicule (pouvant faciliter la pénétration de la substance active)

Les tests de pénétration transcutanée sont réalisés sur toutes les substances actives afin de comprendre leur devenir en cas d'utilisation dans un produit cosmétique, pour des raisons de sécurité notamment.

Il s'agit d'un test in vitro réalisé en suivant les instructions de la guideline 428 de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE).(43) Cette méthode a été approuvée par le Comité Scientifique Européen pour la Sécurité des Consommateurs (CSSC). Elle consiste à placer la substance active dans le compartiment donneur d'une cellule de Frantz et à prélever à différents temps du liquide du compartiment receveur de la cellule de Frantz.

Ces deux compartiments sont séparés par une membrane constituée de peau humaine ou de peau porcine jeune. On dose la molécule d'intérêt dans les différents prélèvements.

En plus de ce dosage du liquide du compartiment receveur, on dose la molécule dans les différentes couches de la peau.

3.4 Rémanence

La rémanence d'un produit solaire correspond à la persistance de sa capacité de protection dans les conditions d'usage normales. Celle-ci est liée notamment à la résistance à l'eau (transpiration et baignade). (22)

Il n'existe pas de méthode ISO pour quantifier la rémanence, cependant les différentes méthodes de mesure de cette rémanence sont basées sur un même principe : la mesure du SPF avant et après exposition à plusieurs bains de 20 minutes. Ces bains ont à une température allant de 23 à 35 °C.

En Europe, on considère une photoprotection topique comme :

- Résistante à l'eau si le SPF après 2 bains est supérieur à 50% du SPF initial,
- Très résistante à l'eau si le SPF après 4 bains est supérieur à 50% du SPF initial.(42)

4. L'ingrédient principal : les filtres

Le principe actif des protections solaires est le filtre. Il en existe différents types : les filtres minéraux et les filtres chimiques. Afin d'entrer dans la formule de produits de protection solaire, un filtre doit être inscrit sur la liste de la commission européenne.

4.1 Chimiques / Organiques

Ces filtres dit chimiques ou organiques sont des molécules de synthèse présentant la capacité d'absorber des photons. Cette capacité est due à la présence de liaisons π conjuguées.

En France et en Europe, 29 de ces filtres sont autorisés depuis la parution au journal officiel de l'Union Européenne le 11 novembre 2022 du Règlement 2022/2195 de la Commission du 10 novembre 2022 (44), ce dernier ayant modifié le règlement (CE) n° 1223/2009 (39).

Afin d'absorber les photons, un filtre est composé d'une partie appelée chromophore (figure 4). Ce dernier est composé de liaisons π conjuguées. Le nombre de liaisons π conjuguées est proportionnel à l'absorption de photons. Plus il augmente, plus la longueur d'onde du maximum d'absorption est élevée.

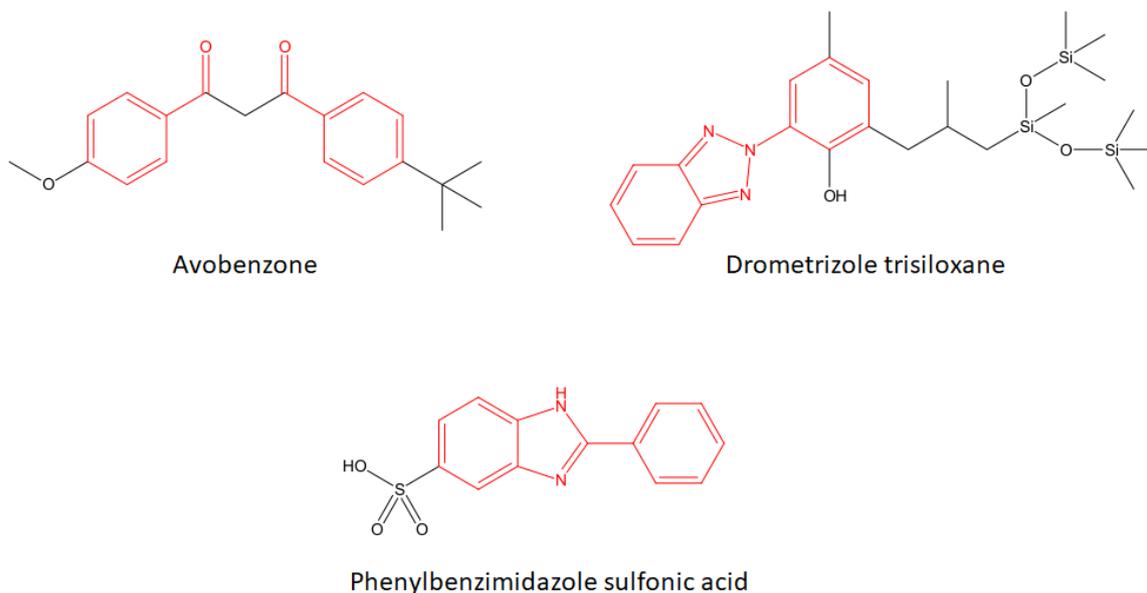


Figure 5 : Schéma de 3 filtres chimiques, chromophore coloré en rouge.

En pratique, la molécule possédant un chromophore reçoit un photon qui provoque une excitation de cette molécule : passage à l'état excité. Cet état n'étant pas stable, on observe une relaxation par émission d'un photon d'énergie différente, moins dangereux pour la peau (figure 5), ou par vibration. Cela lui permet de revenir à un état stable et d'avoir la possibilité d'absorber un nouveau photon(45).

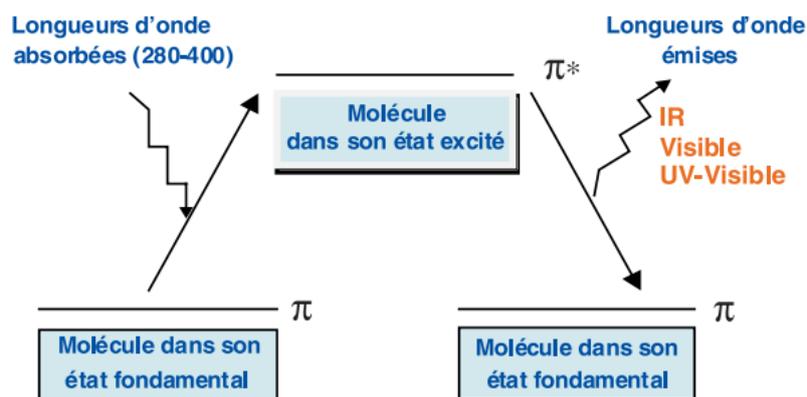


Figure 6 : Schéma du mécanisme de conversion de l'énergie après absorption UV(45)

Ces molécules permettent donc la protection de la surface qu'elles recouvrent mais uniquement pour des longueurs d'onde définies. On distingue des filtres capables d'absorber dans les UVA, dans les UVB ou dits à large spectre absorbant à la fois dans les UVA et UVB. De plus leurs caractéristiques chimiques sont variées : formes (solide ou liquide), solubilités (insoluble, hydrophile, lipophile), spectre d'absorption. De ce fait, l'association de plusieurs filtres est indispensable à une bonne protection solaire.

Il est important de souligner que les concentrations des filtres chimiques dans les produits cosmétiques sont limitées par la réglementation. De plus, certains de ses filtres ont la capacité de provoquer des réactions allergiques, tandis que d'autres sont des perturbateurs endocriniens.

4.2 Minéraux

Il s'agit de poudres inertes obtenues par broyage qui ont une action de barrière physique entre la peau et les rayons UVs. Leur action est identique à celle d'un miroir, ils réfléchissent les rayons UVs. Ce type de filtre réfléchit un large spectre de la lumière.

Les deux filtres de cette catégorie autorisés en Europe sont le dioxyde de titane et l'oxyde de zinc.

Historiquement, ces filtres sont connus pour être difficiles à appliquer / étaler sur la peau et pour laisser un film blanc sur la peau. Ce sont des poudres granuleuses, dont la taille des particules rend impossible l'absorption de ces produits par la peau.

Depuis une dizaine d'années, on cherche à limiter l'aspect blanchâtre de ces filtres et à améliorer leur étalement en réduisant la taille des particules à l'échelle nanométrique. Toutefois, cette réduction de taille implique une réduction du spectre d'action de ces filtres minéraux.

IV. Formes galéniques et conditionnement

Le marché des photoprotecteurs topiques étant très concurrentiel, il est nécessaire de se démarquer par une large gamme de produit, et donc par des formes galéniques et des conditionnements divers et variés.

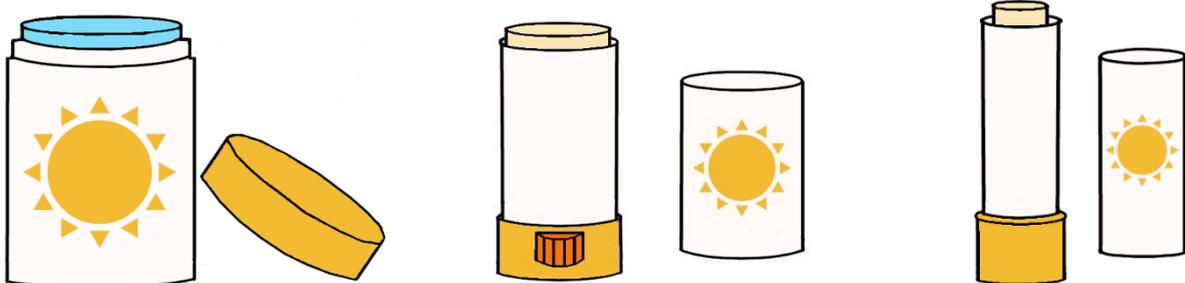
La forme galénique et le conditionnement présentent des différences significatives dont les avantages et les inconvénients sont plus ou moins adaptés à certaines utilisations. On peut retrouver les mêmes formes galéniques sous des conditionnements variés. Ces derniers apportent des particularités d'utilisation à prendre en compte lors du choix d'un photoprotecteur et lors de l'application.

Dès lors, il est nécessaire d'identifier à la fois la forme galénique et le conditionnement utilisé pour mieux comprendre les disparités entre les produits.

1. Conditionnement

1.1 Bâton et sticks

Ce type de présentation est adapté aux formes galéniques solides comme les sticks et baumes. De plus, on trouve quelques rares lipogels sous ce conditionnement sur le marché européen, comme le Sun Secure Easy Stick Spf50+ de SVR®. Il existe sur le marché différentes formes (cylindriques, cubiques, ...) et tailles de sticks.



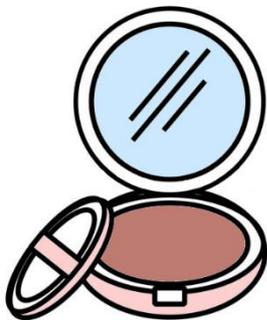
Le fonctionnement des sticks est simple. Le produit solide est fixé à une plateforme. Cette dernière monte et descend sous l'action de différents systèmes.

Soit par mouvement direct d'un curseur fixé à la plateforme, soit sous l'action d'une molette ou en tournant l'embase de manœuvre du bâton. Dans ces deux derniers cas, la plateforme possède un morceau (appelé téton) qui s'insère dans une rainure hélicoïdale se trouvant au niveau du cache. De ce fait, tourner l'embase par rapport au cache provoque l'élévation de la plateforme dans le tube.

Ils sont appréciés pour leur format nomade permettant de les transporter sans problème (dans une poche ou un sac). Il est ainsi simple de renouveler l'application. Il ne présente pas non plus le risque de fuir ou de couler. Sa forme permet également de ne pas avoir à toucher le produit avec les mains lors de l'application.

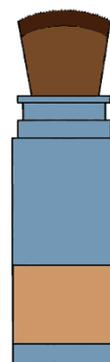
La largeur du stick est adaptée à son utilisation, c'est-à-dire les petites zones : les lèvres, le visage, les tatouages ou les cicatrices. Ce type de contenant possédant une grande ouverture est susceptible aux risques de contamination (sables, poussière), mais les produits qu'il contiennent étant solides et lipophiles, il est simple d'enlever les saletés et la contamination bactérienne est limitée par l'absence d'eau.

1.2 Poudrier et Pinceau préremplis



Les poudriers sont des conditionnements adaptés uniquement aux poudres compactes, tandis que les pinceaux préremplis sont utilisés afin de contenir les poudres libres. Ces accessoires de maquillage permettent de ne pas appliquer la poudre avec les doigts et de toujours l'avoir à portée de main pour les retouches car ils sont de petites tailles. L'avantage des poudriers est la présence d'un miroir pour l'application.

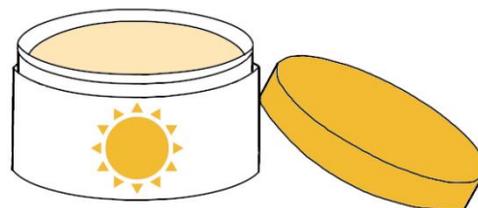
Ce type d'application à l'éponge ou au pinceau n'est adapté qu'à des zones restreintes (visage et cou) et permet de ne pas avoir de la poudre sur les doigts. Il est préférable de choisir un poudrier dans le cadre de la photoprotection, le pinceau prérempli ne permettant pas d'estimer la quantité de produit appliqué sur la peau contrairement au poudrier, même si cela reste approximatif.



1.3 Pots et tubes

Ces conditionnements sont les plus anciens retrouvés sur le marché.

Les pots sont devenus extrêmement rares. De taille variée, ce dernier est utilisé uniquement pour les formes baumes ou crèmes qui sont assez solides pour ne pas couler du pot. Cette forme présente un désavantage important concernant la contamination du produit par les germes.



Il est nécessaire d'avoir les mains propres pour éviter de contaminer le pot lors du prélèvement de produit et de faire attention à ce que l'environnement extérieur ne le contamine pas, ce qui est compliqué en cas d'utilisation à la plage, lors de la pratique d'une activité physique ou lors de l'exécution d'un travail salissant en extérieur (agriculture, construction ...).

Les bouchons peuvent être totalement dévissables, auquel cas il est nécessaire de faire attention à ne pas le perdre et à ce qu'il ne soit pas non plus contaminé par l'environnement. Ceci est le cas de la grande majorité des pots. Certains peuvent néanmoins être fixés afin de ne pas perdre le bouchon, comme pour la plupart des tubes sur le marché.



Le tube, quant à lui, reste le conditionnement classique des photoprotecteurs topiques. Il peut contenir différentes formes galéniques, notamment les gels et émulsions ayant une texture semi-solide et un certain niveau de viscosité (pour éviter que le produit ne coule trop facilement). Il a l'avantage, par rapport au pot, d'avoir une ouverture beaucoup plus petite et présente un risque moindre de contamination par l'environnement. La plupart des tubes ont un bouchon à clapet fixé qui évite la perte de ce dernier.

1.4 Flacons et sprays

Les flacons, quant à eux, sont très présents sur le marché. Ils existent en plusieurs dimensions, du format familial au format de poche, et avec plusieurs types de bouchons : le bouchon vis, le bouchon à clapet ou pression, le bouchon pompe doseur et le bouchon pompe spray.

Les bouchons vis et pression sont des bouchons plutôt classiques, on ouvre le bouchon pour pouvoir faire sortir le produit. Le bouchon vis peut être difficile à utiliser (fermeture et ouverture) en cas de capacité de préhension réduite, contrairement au bouchon pression. Ces flacons sont utilisés pour des émulsions et des gels.



Les flacons pompes, très présents sur le marché, sont formés par l'ajout d'un bouchon pompe doseur à un flacon. Ils ont l'avantage d'avoir une quantité de produit délivré par pression définie, les fabricants pouvant ainsi indiquer dans le mode d'emploi la quantité nécessaire à appliquer pour obtenir une protection optimale. On observe la présence sur le marché de deux types de flacons pompes.

Le flacon pompe classique est la version la plus ancienne, il s'agit d'une pompe reliée à un tube plongeur inséré dans un flacon. Le fonctionnement d'un flacon pompe joue sur la différence de pression.

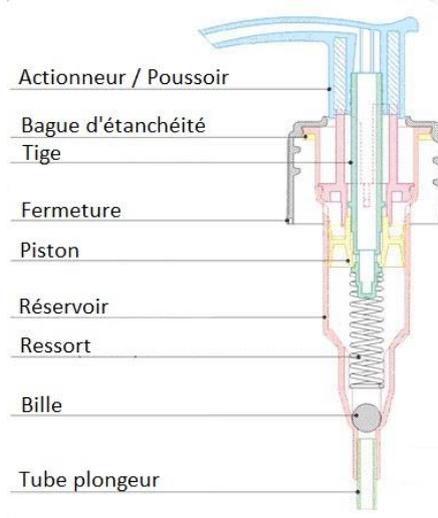


Figure 7 : Schéma d'un bouchon pompe (46)

La pression sur la pompe permet :

- De comprimer le ressort et donc de plaquer la bille pour empêcher le produit de sortir par le tube plongeur.
- De descendre la tête du piston et de permettre au produit présent dans le réservoir de remonter dans le piston puis d'être exprimé.

Relâcher la pompe permet :

- De faire remonter la tête du piston, ce qui empêche le passage de produit du piston vers le réservoir.
- La formation d'une dépression qui entraîne le liquide du tube plongeur vers le réservoir.
- L'entrée d'air dans le contenant provenant du milieu extérieur suite à la diminution du liquide dans le flacon.

Les flacons pompe présentent quelques défauts. En premier lieu, une partie du produit se trouvant dans le conduit du flacon reste au contact de l'air, il peut donc sécher si le produit n'est pas utilisé régulièrement. Ce produit doit être enlevé avant utilisation car non applicable. Deuxièmement, le tube plongeur ne permet qu'une utilisation du flacon tête vers le haut. Il est également responsable de gaspillage, car il est impossible d'extraire tout le produit d'un flacon pompe à moins de dévisser le bouchon. Troisièmement, le produit à l'intérieur du flacon rentre en contact avec l'air extérieur, ce qui peut être un risque de contamination et d'oxydation du produit (47).

Ce type de flacon est de moins en moins utilisé, surtout sur le marché des cosmétiques.

On utilise de plus en plus les flacons pompe airless, qui ont l'avantage de permettre d'utiliser tout le produit du contenant, et de pouvoir être utilisé même tête en bas. Contrairement aux flacons pompes classiques, le système airless est composé d'une pompe et d'un piston en bas du flacon.

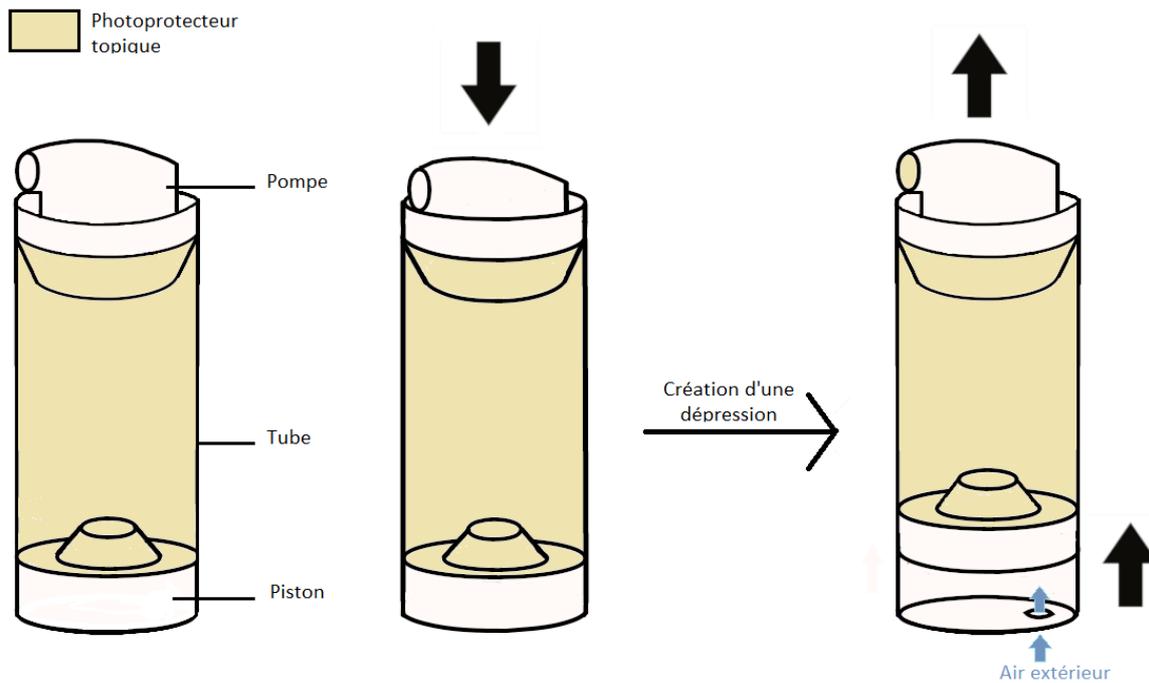
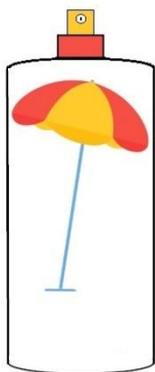


Figure 8 : Vue par transparence d'un flacon airless et principe de fonctionnement

Les flacons airless permettent d'éviter le gaspillage et le contact du produit avec l'air que l'on retrouve avec les flacons pompes traditionnels. Ces deux types de flacons pompes peuvent contenir les mêmes formes galéniques que les autres flacons.



Le dernier type de bouchon est le bouchon pompe spray, qui permet de propulser le produit sous forme de jet non continu. Une pression délivre une quantité de produit défini comme le flacon pompe, mais avec une buse et un bouton poussoir différents. A ne pas confondre avec les aérosols, le principe de fonctionnement du flacon pompe spray est identique à celui des flacons pompes classiques. Ce conditionnement est adapté aux liquides très fluides comme les émulsions sprayables, les huiles et les émulsions à reconstituer extemporanément.

Il est préférable, en cas d'utilisation d'un spray pour la protection du visage, de pulvériser le produit sur les mains avant de l'étaler, pour éviter les inhalations de produit ou encore la pulvérisation de produit dans les yeux, notamment chez les enfants.

1.5 Bombe aérosol

La bombe aérosol est retrouvée sur le marché pour plusieurs formes galéniques. Elle est utilisée notamment pour les émulsions sprayables et les huiles dont la faible viscosité permet la pulvérisation. Elle est indispensable à la formation extemporanée des mousses.



Un aérosol est composé de plusieurs parties distinctes : un récipient, une valve et un diffuseur.



Le récipient, appelé bouteille, doit pouvoir résister à la déformation que pourrait induire la présence de gaz propulseur. Il est souvent en métaux légers et qui résistent à la pression (fer blanc, aluminium). Il contient à la fois le photoprotecteur topique et un gaz propulseur sous forme liquéfiée ou comprimée (butane, isobutane, propane, éther diméthylque,..).

La valve de l'aérosol est composée de plusieurs pièces permettant le bon fonctionnement de cette dernière et sa capacité à assurer plusieurs fonctions cruciales, dont l'atomisation du produit pour une pulvérisation fine, la fermeture étanche du récipient (intégrité du produit et pression maintenue dans le récipient) et la régulation du débit de produit.

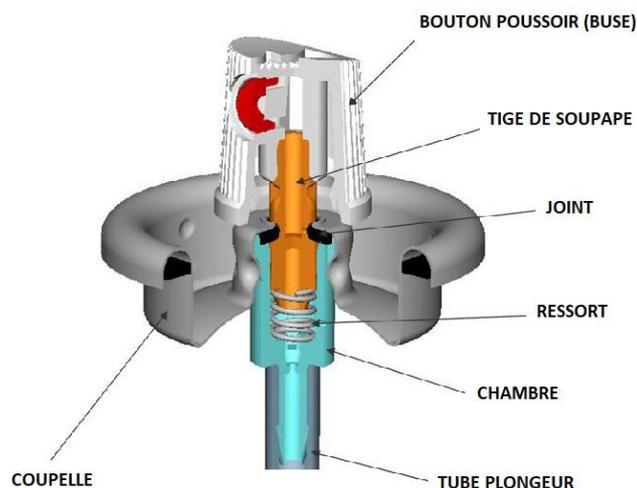


Figure 9 : Schéma d'une valve aérosol (48)

La buse, aussi appelé diffuseur permet l'ouverture de la valve et ainsi la communication des espaces extérieur et intérieur. La surpression liée au gaz à l'intérieur du récipient permet la propulsion du liquide à travers le gicleur. Le diffuseur peut être un diffuseur spray permettant d'obtenir des gouttelettes plus ou moins fines, c'est-à-dire un spray ou une brume. Alternativement, il peut s'agir d'un générateur de mousse en fonction de la forme galénique utilisée et recherchée (49).

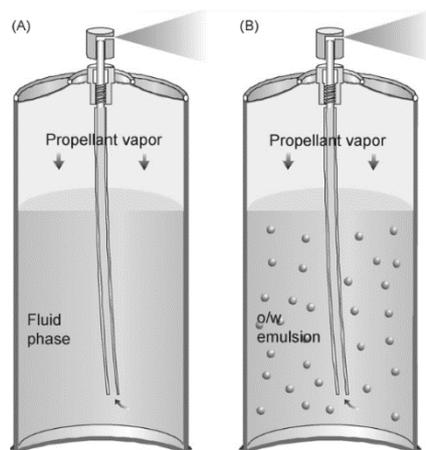


Figure 10 : Schéma simplifié d'une bombe aérosol (49)

Le produit est ainsi expulsé de la bouteille. Le gaz, pour sa part, s'évapore plus ou moins rapidement, on parle de gaz propulseur primaire pour les gaz qui s'évaporent immédiatement (air comprimé) ou de gaz propulseur secondaire pour ceux dont l'évaporation a lieu après un laps de temps (isobutane, pentane ...). Ces derniers permettent une sensation de fraîcheur lors de l'application.

Il est préférable, en cas d'utilisation d'un aérosol pour le visage, de pulvériser le produit sur les mains avant de l'étaler pour éviter les inhalations de produit ou de gaz propulseur secondaire, ou encore la présence de produit dans les yeux, notamment chez les enfants. Cette présence de gaz a pour conséquence la nécessité de secouer le produit avant utilisation. Si cette étape n'est pas respectée, le gaz peut s'échapper totalement avant la fin du produit. Le produit restant n'est pas utilisable puisqu'il ne pourra pas être sorti du conditionnement.

L'un des points négatifs concernant le conditionnement en aérosol est l'application. Au premier abord, elle semble plus pratique car dans le cas des brumes, il n'est pas nécessaire d'étaler le produit, toutefois plusieurs études montrent que les facteurs extérieurs et notamment le vent peuvent avoir un effet sur la quantité de produit appliquée. Une perte de produit de 30 à 90% environ, en fonction de la force du spray et de la force du vent, a été démontrée par une étude australienne (50). De plus, les brumes invisibles sont souvent mal appliquées, avec des zones du corps où le produit n'est pas apposé, il faudrait donc toujours frotter la crème pour une application homogène (72).

Le dernier point important concernant ce conditionnement est sa conservation. Comme indiqué sur les emballages, les aérosols sont extrêmement inflammables. Ce sont des récipients sous pression qui peuvent éclater avec la chaleur, il est ainsi nécessaire de garder le contenant à l'abri de la chaleur (moins de 50°C) et du soleil sous risque d'explosion. Il est important de noter qu'il ne faut pas utiliser le produit près d'une flamme nue ou autre source d'ignition, car si l'aérosol contient un gaz secondaire un risque d'embrasement de ce dernier est encore possible après application (52,53).

2. Formes galéniques

On observe une grande évolution des produits de protection solaire topique depuis l'apparition de ces derniers sur le marché. L'évolution des formulations a permis d'obtenir d'une part, des produits de plus en plus efficaces (SPF 50), et d'autre part, des propriétés complémentaires. Comme une rémanence plus importante ou des capacités d'hydratation de la peau.

Il est essentiel de préciser avant de commencer une comparaison concernant les formes galéniques que de nombreuses marques présentent des produits sous des formes galéniques identiques (crème, huiles ...). Toutefois les formulations divergent d'une marque à l'autre afin d'obtenir des propriétés spécifiques. La présentation des différentes formes galéniques suivantes ne prendra pas en compte la disparité présente entre les différentes formulations. Il s'agit d'un aperçu global des différentes formes.

2.1 Poudres

En ce qui concerne la protection solaire, la forme poudre est accessoire. En effet l'objectif premier de cette forme est cosmétique. Les poudres pour le visage sont utilisées pour matifier et corriger le teint. Au fil des années et avec l'évolution des mœurs vis-à-vis des rayons UVs, les produits de maquillage ont intégré des filtres solaires dans leur composition.

Les poudres sont des produits cosmétiques composées d'un mélange de substances pulvérulentes. On peut distinguer deux types de poudres, les poudres libres et les poudres compactes. Elles diffèrent légèrement l'une de l'autre.

Composition

La formulation de n'importe quelle poudre cosmétique comprend un ingrédient de base en grande proportion. Ce dernier est le plus souvent le talc, mais on trouve aussi des poudres dont la base est de la poudre de riz, particulièrement dans les produits « bio » (22).

A cette base sont ajoutées plusieurs autres substances dont les propriétés sont utilisées afin de modifier les propriétés du produit final. On retrouve parmi ces ajouts des agents anti-agglomérants (kaolin, stéarate de zinc, stéarate de magnésium), des agents de foisonnement réduisant la densité du produit (mica, silice), des facteurs d'adhérence, des opacifiants, des conservateurs.... Et immanquablement des pigments (oxyde de fer) et autres parfums pour rendre le produit plus attractif.

La formulation d'une poudre compacte est assez similaire à celle d'une poudre libre. La seule différence est la présence d'un liant permettant la compaction de la poudre. Ce dernier est un corps gras ou mélange de corps gras (squalène, cire d'abeille, cetearyl octanoate).

Les filtres solaires utilisés dans ces poudres, qu'elles soient compactes ou libres, sont uniquement les filtres minéraux, c'est-à-dire l'oxyde de zinc et le dioxyde de titane. On les retrouve associés ou non, ou sous forme de nanoparticules, afin d'apporter la protection la plus large possible.

Avantages et inconvénients

Les poudres, qu'elles soient compactes ou non, sont des produits légers et volatiles. Grâce à leur conditionnement, elles sont faciles à étaler sur le visage, mais nécessitent cependant de faire attention lors de l'application. Il est préférable d'éviter de respirer ces dernières, pour limiter le risque d'inhalation de substances irritatives qui se retrouvent dans l'air ou sur le pinceau.

Les poudres présentes sur le marché sont toutes colorées car elles servent en priorité à maquiller le teint et/ou à masquer les petites imperfections au-dessus d'un fond de teint. Elles sont donc utilisées quotidiennement par les personnes se maquillant et ne sont pas utilisées par le reste de la population. Les photoprotecteurs en poudres sont réalisés pour un public ciblé et pour les petites zones d'application que sont le visage, le cou et le décolleté.

Cette pigmentation permet en outre de voir où est appliqué le produit (effet matifiant obtenu après application) mais elle a l'inconvénient de tacher assez facilement les vêtements.

Le principal problème que posent ces produits concerne la quantité appliquée par les personnes l'utilisant. D'après plusieurs études, la quantité de produit utilisée lors de l'utilisation du produit sur le visage est très inférieure à celle utilisée lors des tests pour définir le SPF. En effet, plusieurs études montrent une sous application de produit. Dans celle réalisée par Porthilo et Leonardi pour leur article en 2020, les résultats obtenus indiquent une application moyenne de $0,15 \text{ mg/cm}^2$, ce qui réduit le SPF de 87% (54). La quantité à appliquer est conséquente comparativement à celle réellement utilisée par les consommateurs (figure 10). Pour exemple, 1g de poudre est conseillée pour le visage d'un adulte concernant le produit Avène® haute protection compact teinté, ce qui correspond à $1/10^e$ du conditionnement.



▲ FIGURE 29-5 A. The powder on the left is the amount of powder the average woman uses, while the powder pile on the right is the amount of powder necessary to use to meet the SPF on the sunscreen label. The white lotion is the amount of facial lotion required to use on the face to meet the SPF on the label. **B.** The same image viewed from above. In the upper portion of this photo is the amount of facial lotion required to use on the face to meet the SPF on the product label, while the large pile of powder is the amount needed to cover the face with powder to achieve the SPF on the label.

Figure 11 : A - Quantité de poudre moyenne utilisée par une femme à gauche et à droite la quantité nécessaire à l'obtention du SPF ; B - Vue du dessus.(55)

Même avec cette indication de la quantité de poudre à utiliser, il est difficile de connaître la quantité prélevée et appliquée avec le pinceau ou l'éponge, ni même de savoir si l'application est uniforme sur la surface à protéger.

Enfin, bien que les conditionnements des photoprotecteurs en poudre soient pratiques et peuvent être transportés facilement, le produit étant teinté, il n'est pas automatiquement réappliqué toutes les deux heures, mais seulement en cas de disparition physique ou de nécessité de réaliser des retouches sur le maquillage.

2.2 Formes huileuses

2.2.1 Sticks et Baumes

Le stick est le nom d'une forme galénique dérivée de son conditionnement. Elle est généralement utilisée pour les lèvres et pour les petites zones comme les cicatrices et tatouages, mais peut aussi convenir pour les zones du visage les plus exposées (pommettes, nez, front ...).

Cette dernière est l'une des formes les plus utilisées pour la protection labiale, même si les baumes sont également présents sur le marché. Ces derniers sont des pommades anhydres, moins dures que les sticks. La grande différence réside dans l'application : alors que le stick entre en contact direct avec la zone à protéger, le baume est appliqué avec les doigts. (22)

En réalité, ces deux formes peuvent être considérées comme des dérivés de pommades lipophiles, c'est-à-dire un mélange monophasé semi-solide (56).

Composition

La formulation de ces pommades anhydres est similaire à celle des rouges à lèvres présents sur le marché. Elles se composent d'un corps blanc, c'est à dire un mélange équilibré des produits anhydres suivants :

- Cires donnant la consistance et la brillance au produit : elles peuvent être végétales (carnauba, candelila), animale (cire d'abeille) ou même minérale (ozokérite)
- Huiles hydrogénées conférant un effet glissant et facilitant l'application, pouvant être minérales (paraffine), végétales ou encore de synthèse (huile de silicone).
- Corps gras pâteux pour ajuster l'onctuosité : lanoline, vaseline, beurre de karité...

A cette base sont ajoutés des excipients modifiant les propriétés du produit et sa conservation. Parmi ces derniers on peut citer notamment les conservateurs, parfums, antioxydants ou encore les pigments.

La différence entre les sticks et les baumes se trouve dans la proportion de ces ingrédients. Pour un baume on cherche à obtenir un résultat dont la consistance est plus malléable. (22,42)

Concernant les filtres solaires utilisés pour ces formes, il s'agit soit d'un filtre minéral seul (oxyde de zinc ou dioxyde de titane), comme souvent chez les marques dites respectueuses de la peau et de l'océan, soit d'un mélange de filtre minéraux et organiques.

Avantages et désavantages

Les sticks et baumes sont des produits semi-solides qui possèdent une texture plutôt grasse. Cette texture et leurs conditionnements de petite taille limitent leur application à des surfaces réduites, notamment les lèvres, tatouages, cicatrices et parties du visage fortement exposées : pommettes, front, nez, oreilles

La plupart des sticks et baumes se composent de cires filmogènes, ces dernières permettant la création d'une barrière physique entre la peau protégée et les éléments tels que le froid, le vent, le sel et l'eau, qui ont tendance à assécher cette dernière. Cette même barrière qui protège des éléments permet de diminuer la déshydratation de la peau. De ce fait, ces formes sont particulièrement adaptées en cas de pratique de sports aquatiques comme le surf, mais également pour les sports d'hiver et vacances à la montagne par exemple.

Ce type de produit peut être transparent ou pigmenté, qu'il soit utilisé pour les lèvres ou non. Ces produits existent en de multiples couleurs, des plus classiques comme le blanc ou différentes nuances de beige, au plus extravagantes comme le doré à paillettes, en passant par des couleurs flashy comme le rose, le bleu ou le vert, entre autres. Alors que les versions transparentes et beiges permettent une application discrète, les colorées sont très appréciées des surfeurs, par exemple car en plus du choix esthétique, elles permettent de savoir si le produit a bien été appliqué sur la zone à protéger. Cela peut aussi être un moyen ludique d'apprendre aux enfants à bien appliquer une protection solaire, même si le risque de tache sur les vêtements est plus important.

Comme pour les poudres, l'un des problèmes les plus importants est la quantité de produit appliqué. Plusieurs études démontrent que cette quantité est faible par rapport aux quantités utilisées pour calculer le SPF, elle est de 0,79 mg/cm² en moyenne selon la même étude que pour les poudres, ce qui correspond à une diminution effective du SPF de 61% (54). D'autres études indiquent une quantité de produit appliquée inférieure (57). Lors de l'utilisation d'un stick, on applique souvent une quantité limitée de produit, un seul passage ou deux sur la zone à protéger. Il serait pourtant nécessaire d'en réaliser plusieurs afin de déposer plus de produit. Le problème est assez similaire avec un baume, car la quantité prélevée avec le doigt est souvent minime, et on tend à l'étaler le plus possible afin de ne pas avoir cette texture et cet aspect gras.

L'un des atouts majeurs du stick, en comparaison avec le baume et d'autres formes, est la possibilité de ne pas utiliser ses mains pour appliquer le produit. Les mains ne sont donc pas grasses et ne doivent pas forcément être propres pour pouvoir appliquer ou réappliquer la photoprotection, avantageux lors de vacances à la plage ou encore pour les travailleurs en extérieur (construction, agriculture, ...).

2.2.2 Huiles

Les huiles sont l'une des formes les plus anciennes sur le marché des protections solaires. En effet, en 1935, Eugène Schueller, fondateur de l'Oréal®, a l'idée d'ajouter un filtre photoprotecteur à une huile, cela donne naissance à « l'Ambre solaire ». Ce produit iconique connaît alors un succès incroyable et est encore aujourd'hui vendu par la marque Garnier® (3).

Cette ancienneté est en grande partie liée à la facilité de formulation et de production de cette forme galénique, un produit monophasique avec lequel il est aisé d'obtenir une bonne stabilité (58). Cependant, à cette époque, la protection était extrêmement faible. Elle a grandement évolué depuis, jusqu'à atteindre le SPF 50 pour certains produits.

Composition

En général, les huiles ont une composition réduite. Elles sont elles-mêmes un mélange d'huiles qui ont diverses propriétés.

On distingue néanmoins deux types d'huiles qui se différencient par leurs propriétés organoleptiques et leur pénétration. On discerne des huiles dites « grasses » et des huiles dites « sèches ».

Comme leur nom l'indique, les huiles grasses ont un toucher gras, possiblement collant et visqueux. A l'inverse, les huiles « sèches » ne laissent pas de film gras (59). Les huiles grasses sont les premières à être apparues sur le marché, elles sont composées d'huiles qui ne pénètrent pas ou peu dans la peau. Ce sont des huiles comprenant majoritairement des acides gras mono-insaturés (ex : Oméga 9) et des acides gras saturés (acide stéarique). Elles forment ainsi un film lipidique. Ex : huile d'argan, d'amande douce ...

Les huiles « sèches », quant à elles, sont majoritairement composées d'acides gras polyinsaturés comme les omégas 3 et 6 ou l'acide gadoléique, qui sont des acides gras pénétrants et qui donnent un effet sec à la peau. Ex : huile de noisette, de sésame ... (59,60).

A ces mélanges peuvent être ajoutés des excipients, colorants, vitamines, parfums ou encore des paillettes.

Les filtres solaires utilisés sont des filtres chimiques. Ceci est lié à la texture des filtres organiques, qui donnerait un toucher granuleux et un aspect trouble aux huiles de protections solaires, mais également au fait qu'un grand nombre de filtres organiques sont solubles dans l'huile.

Avantages et inconvénients

Les huiles sont des formulations dont la texture extrêmement fluide est plus ou moins grasse. Cette texture fluide facilite l'étalement du produit sur la peau, ce qui permet une meilleure uniformité du produit sur les zones à protéger (61). Cette caractéristique permet une application sur de grandes zones, c'est-à-dire tout le corps. Cette grande fluidité augmente le risque de coulées, ce qui peut être un inconvénient notamment pour le contour des yeux mais aussi aux alentours des vêtements.

A la base, l'huile est un produit transparent, ce qui peut engendrer des oublis à l'application, mais il existe de nombreux additifs pouvant être ajoutés permettant d'obtenir des propriétés spécifiques et attractives aux yeux des utilisateurs. Il peut s'agir de l'ajout de fragrances, de paillettes, ou encore de rendre le produit teinté pour obtenir après application un rendu hâlé. Ces améliorations organoleptiques permettent d'obtenir une meilleure compliance mais peuvent également engendrer des risques allergiques plus importants en fonction du type d'excipients ajoutés.

Comme indiqué précédemment, les huiles solaires sont extrêmement fluides. Elles s'étalent facilement, ce qui engendre la formation d'un film de produit très fin. La quantité de produit appliquée en moyenne pour les photoprotecteurs topiques étant déjà faible, celle des huiles solaires est souvent encore plus faible (58).

L'huile est la seule forme qui puisse être utilisée sur les cheveux. En effet, les cheveux sont exposés au soleil et leur structure protéique peut être endommagée, la conséquence étant une perte de force, de brillance et un changement léger de couleur. Certaines huiles sèches peuvent être appliquées sur les cheveux afin de limiter ces dommages (62).

2.2.3 Lipogels

Les lipogels sont une présentation de photoprotecteurs topiques extrêmement rare. Ces produits sont très peu représentés car leur production est assez coûteuse : les produits sont plus onéreux (58,63).

Composition

La base d'un lipogel est une phase huileuse assez identique à celle des huiles classiques. A cette dernière, on ajoute un agent gélifiant lipophile qui doit être transparent ou translucide une fois incorporé au mélange d'huile. Ce dernier est capable d'augmenter la viscosité d'une phase lipophile comme le dextrine palmitate/ethylhexanoate, le trihydroxystearin, la silice ou encore des copolymères éthylène/butylène/styrène.

On peut également retrouver d'autres excipients. Mais, les compositions sont relativement simples car la plupart de ces produits revendiquent 100% d'ingrédients d'origine naturelle. Ces revendications expliquent l'utilisation de filtres solaires minéraux (dioxyde de titane).

Avantages et inconvénients

Ils présentent des caractéristiques assez similaires aux autres formes anhydres, c'est-à-dire une texture grasse, peu appréciée par les consommateurs.

La viscosité de ces produits peut être variable, mais est forcément plus importante que celle des huiles solaires : le produit coule moins lors de l'application.

2.3 Formes aqueuses

2.3.1 Lotions

Au vu des nombreux produits portant le nom de lotion solaire sur le marché, on pourrait croire que cette catégorie de produit solaire est fortement utilisée. Toutefois, ce n'est pas le cas. L'utilisation du mot lotion pour ces produits est un abus de langage tiré de l'anglais pour désigner un produit hydratant, souvent une émulsion fluide (64).

En galénique, une lotion est définie comme une dispersion ou dissolution d'un principe actif dans un milieu aqueux ou hydroalcoolique. Bien que retrouvés dans la littérature, ces produits sont très peu représentés sur le marché.

Composition

La composition de ces produits peut être relativement simple. Comme leur nom l'indique, l'ingrédient principal est l'eau distillée. A cela s'ajoutent des antimicrobiens et des conservateurs, parmi lesquels se trouvent des alcools (phenoxyéthanol, éthanol).

A cette base s'ajoutent le plus souvent des agents qui modifient la viscosité (glycérol ou EDTA par exemple). D'autres excipients peuvent être présents comme pour les autres formes galéniques.

Les filtres solaires utilisés sont des filtres solaires hydrophiles car cette forme galénique ne permet pas l'ajout de filtres lipophiles et de filtres minéraux. Elles sont généralement moins protectrices que les formes biphasiques.

Avantages et inconvénients

Les eaux solaires sont extrêmement fluides et peu visqueuses. De ce fait elles sont faciles à étaler, ce qui est avantageux pour l'homogénéité de l'application, mais implique que l'épaisseur du film appliqué à la surface de la peau est relativement fine.

Il s'agit de la seule forme pouvant être appliquée au-dessus du maquillage si son conditionnement est un aérosol permettant d'obtenir une brume, car ce produit est transparent.

La présence d'alcool dans la plupart des formulations peut causer des irritations cutanées et oculaires, d'autant plus que le produit est extrêmement fluide et qu'il nécessite de faire attention lors de l'application au niveau du visage et du contour des yeux. Elle est aussi responsable de la sensation de fraîcheur (liée à une évaporation rapide de l'alcool).

2.3.2 Hydrogels

Tout comme son équivalent huileux le lipogel, la forme hydrogel est une forme peu répandue, suite aux difficultés de formulation mais également aux problèmes d'irritation cutanée. Historiquement, il était compliqué d'obtenir une haute protection solaire, mais récemment on trouve de nombreux travaux sur la réalisation de gels photoprotecteurs avec un SPF élevé (65,66).

Les hydrogels sont définis comme des gels renfermant une forte proportion d'eau gélifiée par des substances hydrophiles (67). On en trouve quelques-uns sur le marché français, des marques Heliocare® ou Daylong® entre autres.

Composition

La base d'un hydrogel est une base hydroalcoolique, c'est-à-dire à base d'eau et d'alcool. Ces alcools sont retrouvés sous diverses formes : éthanol, alcool dénaturé, alcool béhénylique ou cétéarylique ... Ces derniers jouent le même rôle que dans les lotions.

Afin d'obtenir la texture gel, on incorpore un ou plusieurs gélifiants hydrophiles qui, une fois dispersés dans l'eau, deviennent incolores et transparents. Ces derniers peuvent être d'origine végétale (gomme arabique, amidon de tapioca ...), minérale (silice colloïdale), semi-synthétique (gomme xanthane) ou encore synthétique (hydroxyéthylcellulose).

Enfin, comme sur toutes les autres formulations, on retrouve des excipients divers comme les parfums, les conservateurs et les régulateurs de pH, en plus de composés modifiant les propriétés organoleptiques du produit.

Les filtres UV utilisés pour ces produits sont un mélange de filtres chimiques et minéraux. Cependant, ils doivent être hydrophiles, sans quoi, il est nécessaire d'utiliser des surfactants en grande quantité afin de les solubiliser. Ces surfactants sont souvent responsables d'irritations cutanées (22,58,66).

Avantages et désavantages

Les hydrogels sont appréciés pour leur texture non grasse. Mais ils peuvent être légèrement collants à l'application. En outre, leur application est souvent peu homogène suite à la présence d'alcool qui s'évapore rapidement (58).

Cette présence d'alcool est à l'origine de plusieurs propriétés des hydrogels. Elle permet l'obtention d'une sensation de fraîcheur à l'application qui est particulièrement agréable en cas de forte température. Mais ceci peut causer des sensations de picotement au niveau du visage et des yeux.

Enfin, par leur composition les hydrogels sont des véhicules très peu résistants à l'eau et à la sudation, et ce malgré l'ajout d'agents filmogènes ou de résines.

2.4 Emulsions

Une émulsion se définit par la dispersion d'un liquide en fines gouttelettes dans un autre liquide. Ces deux liquides sont non miscibles.

On parle de phase dispersée (liquide en plus petite quantité qui forme les gouttelettes) et de phase dispersante (liquide dans lequel la dispersion a lieu).

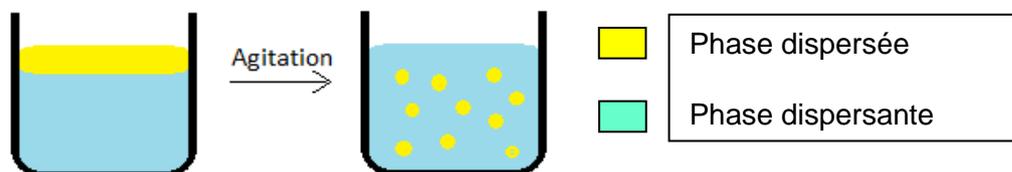


Figure 12 : Schéma simplifié d'une émulsion

Généralement, on observe deux phases, une phase hydrophile ou aqueuse étant hydrosoluble et une phase lipophile (ou grasse). Si les gouttelettes ou globules sont lipophiles et la phase dispersante est hydrophile, on parle d'émulsion huile dans eau ou L/H. L'inverse est également possible et est appelée émulsion eau dans huile ou H/L. Ces deux émulsions sont dites simples, c'est-à-dire avec deux phases, mais il est possible de réaliser des émulsions multiples, composées de plus de deux phases. Souvent il s'agit d'émulsions doubles pouvant être L/H/L ou H/L/H (68).

Concernant les photoprotecteurs topiques et les cosmétiques en général, la majorité des émulsions sont des émulsions L/H car elles limitent l'effet gras lors de l'étalement sur la peau. Les formes H/L présentent une capacité de résistance à l'eau beaucoup plus importante (effet waterproof). Malheureusement l'effet gras après application les rend peu attractives, ainsi elles sont donc beaucoup moins développées (42).

Du fait de la non-miscibilité de ces deux phases, une émulsion est un système instable. Dans les faits, les deux phases cherchent à avoir la plus petite surface de contact possible. L'émulsion se déstabilise selon plusieurs procédés schématisés sur la figure 8 pour atteindre une rupture de phase.

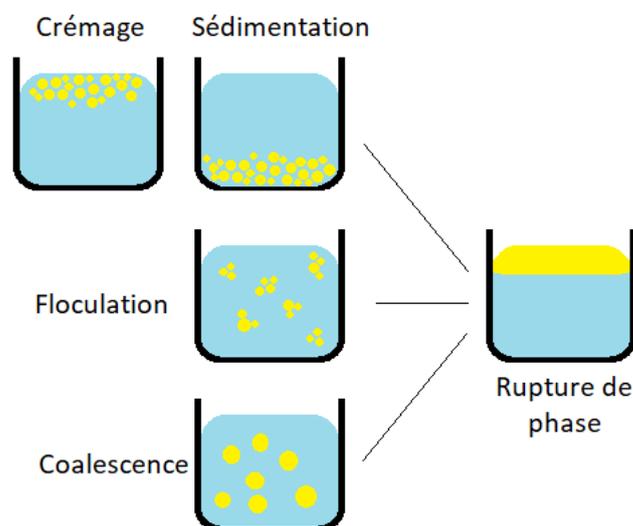


Figure 13 : Schéma de différentes phases d'instabilité d'une émulsion

Sur le marché, on observe la présence de ces émulsions en rupture de phase qu'il est nécessaire d'agiter avant emploi afin de reconstituer l'émulsion extemporanément. Il s'agit néanmoins d'une catégorie bien minoritaire face aux émulsions stables. La stabilisation de ces formes d'émulsions est réalisée grâce à la présence d'un émulsifiant dont le rôle est de diminuer la tension de surface entre les deux liquides.

Les émulsifiants les plus simples sont les tensioactifs. Ces tensioactifs sont des molécules amphiphiles, c'est-à-dire qu'une partie de celles-ci est hydrophile et l'autre hydrophobe. On parle de « tête » hydrophile et de « queue » hydrophobe.

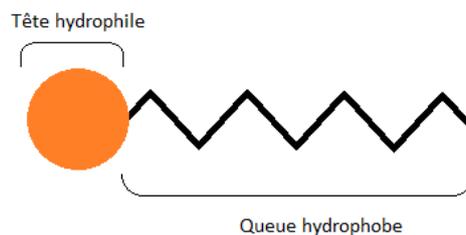


Figure 14 : Schéma d'une molécule amphiphile

Ces molécules servent d'interface entre les deux phases et permettent la stabilisation des gouttelettes dans leur milieu. A chaque tensioactif est attribué un nombre entre 1 et 20, correspondant à l'indice HLB (Hydrophilic – Lipophilic Balance) permettant d'apprécier le caractère plutôt lipophile ou hydrophile du tensioactif :

- HLB < 9 : molécule plutôt lipophile
- HLB > 11 : molécule plutôt hydrophile

Ceci permet d'avoir une idée de l'application la plus adaptée au tensioactif. En effet, si une molécule à un HLB entre 3 et 6, elle sera utilisée pour une émulsion H/L, alors que si ce dernier est entre 9 et 13, la molécule sera utilisée pour une émulsion L/H.

Composition

Pour réaliser une émulsion, peu importe sa texture ou sa stabilité, il est nécessaire d'avoir deux phases.

La phase aqueuse est composée d'une base hydroalcoolique, c'est-à-dire à base d'eau et d'alcool. Ces alcools sont retrouvés sous diverses formes : éthanol, alcool dénaturé, alcool béhénylique ou cétéarylique, glycol, glycérol... A celle-ci s'ajoutent les principes actifs et excipients hydrophiles.

La phase lipophile, quant à elle, est réalisée sur la base d'un mélange d'huiles, de cires et de corps pâteux en fonction de la consistance et des propriétés recherchées. On y trouve aussi des principes actifs et excipients hydrophobes.

Pour finir, en fonction du type d'émulsion, c'est-à-dire si cette dernière n'est pas reconstituée extemporanément et qu'il s'agit d'une émulsion stable, on y retrouve des tensioactifs. Ces derniers doivent être adaptés au type d'émulsion recherché c'est-à-dire H/L ou L/H, aux caractéristiques du milieu dans lequel le tensioactif est ajouté et à l'utilisation dans un cosmétique (peu irritant, non toxique).

L'avantage majeur de cette forme galénique est que celle-ci est biphasique et permet de combiner plusieurs filtres UVs hydrophiles et lipophiles afin d'obtenir une protection optimale, et donc un SPF très élevé.

Avantages et inconvénients

En cosmétique, les émulsions sont très présentes. Leur composition étant biphasique, elle facilite l'incorporation d'autres principes actifs. Ceci permet notamment d'obtenir des produits contenant des antioxydants (vitamines, racine de caragana sinica ...) ou encore anti-âge (lycopènes,...) (63,69). Mais également depuis peu, des crèmes solaires avec des réparateurs d'ADN (photolyase) (63,70–72). Ces associations de principes actifs permettant d'obtenir plusieurs produits en un sont très attractives. On trouve maintenant des associations entre les produits de soins quotidiens comme les fonds de teint ou les crèmes hydratantes et des photoprotecteurs solaires.

La présence de tensioactifs dans les émulsions est nécessaire à la stabilisation de ces dernières, mais certains tensioactifs (ioniques) sont des produits qui peuvent être irritants pour la peau. Ils sont de moins en moins utilisés dans les formulations cosmétiques.

En outre, les émulsions peuvent présenter des caractéristiques variées et adaptées à leur utilisation et conditionnement. Ainsi on retrouve les émulsions sous différentes grandes catégories liées à leur viscosité et accessoirement à leur stabilité : les crèmes, les émulsions fluides, les émulsions sprayables et les émulsions à reconstituer extemporanément.

2.4.1 Les crèmes

La crème est la forme la plus classique et la plus ancienne des protections topiques solaires. Effectivement, on retrouve des traces de l'apparition des « crèmes » solaires dans les années 1900 dans plusieurs ouvrages de Renée Cerbelaud qui compilent des spécialités de parfumerie et de pharmacie (73). Depuis, le nom « crème solaire » est un mésusage utilisé pour désigner tous les produits topiques photoprotecteurs.

La crème étant une forme semi-solide, elle est l'une des formes les plus visqueuses des émulsions. Par ailleurs, la différenciation avec les émulsions fluides est assez arbitraire. On considère comme crème une émulsion dont la viscosité se trouve entre 150 000 et 500 000 centipoises (58).

Les crèmes ont donc une large gamme de viscosité. Il est important de noter que plus la crème est visqueuse, plus l'étalement sur la peau est difficile. Ceci permettrait l'obtention d'un film plus épais sur la peau ; malgré tout, cette viscosité est très peu appréciée des consommateurs pour sa difficulté d'application et la sensation désagréable à l'utilisation. Ainsi les crèmes les plus visqueuses sont souvent les moins bien appliquées sur de larges zones (54,61). En raison de leur touché moins agréable, une plus petite quantité est appliquée et à cause des difficultés d'étalement, l'uniformité est moindre.

Par leur viscosité, les crèmes sont plus facilement employées pour des zones de petite taille ou de taille moyenne comme le visage, le décolleté ou encore les bras.

A l'origine, la crème dans son contenant est blanche. En fonction du type de filtres utilisés et des excipients, elle peut créer un film blanc sur la peau permettant de voir où le produit a été appliqué mais qui est inesthétique. Il existe néanmoins des formes teintées pour le visage, ou encore, des formes qui après étalement deviennent transparentes. Ce sont les plus présentes sur le marché.

2.4.2 Gels-crèmes

Les gels-crèmes représentent la majorité des gels sur le marché car ils permettent d'obtenir une protection solaire importante. Ils peuvent être des hydrogels auxquels de petites quantités de corps gras ont été introduites, ou des microémulsions L/H gélifiées.

Composition

Les gels-crèmes classiques sont obtenus par l'ajout d'un corps gras, souvent une huile végétale ou synthétique et d'un solubilisant (polysorbate 80) aux ingrédients de la formulation d'un gel.

Concernant les émulsions gélifiées, leur réalisation implique l'ajout d'un gélifiant hydrophile à la formulation d'une émulsion.

Avantages et inconvénients

Ce type de gel permet de combiner les avantages de la formulation des émulsions avec les avantages sensoriels des gels. Cela permet notamment d'obtenir une sensation de légèreté et de fraîcheur plus importante qu'avec une crème classique.

2.4.3 Emulsions fluides

Comme leur nom l'indique, leur particularité est leur fluidité. Souvent retrouvées sur le marché sous le terme de lait ou fluide, voire même de lotion par utilisation du mot anglais, ces formes ont une viscosité inférieure à 50 000 centipoises (58).

Elles sont particulièrement appréciées pour leur fluidité et leur facilité d'étalement. Elles sont appliquées sur de larges surfaces et utilisables pour tout le corps. Du fait de leur fluidité, il est nécessaire de faire attention à ce qu'elles ne coulent pas dans les yeux par exemple. Cette facilité d'étalement permet une application plus simple et homogène de ce type d'émulsion. Elles sont généralement appliquées en quantité plus importante que des produits plus visqueux (57,61,74).

Tout comme pour les crèmes, les émulsions fluides sont blanches et, après friction et étalement sur la peau, deviennent transparentes. Il existe également des versions teintées.

Concernant les émulsions fluides, il est important de prendre en compte la phase continue de l'émulsion. Une émulsion H/L sera plus résistante à l'eau et à la sueur qu'une émulsion L/H, car elle possède une meilleure rémanence (75).

2.4.4 Emulsions sprayables

Ces émulsions sont une sous-catégorie des émulsions fluides. Il s'agit d'émulsions auxquelles sont ajoutés des agents filmogènes comme les silicones, afin d'améliorer l'étalement et la tenue du produit. Pour atteindre cette fluidité, ces émulsions sont le plus souvent des émulsions L/H.

Ces émulsions sont très fluides et peu visqueuses ; elles doivent résister aux forces de cisaillement imposées par la sortie de produit de son contenant, c'est-à-dire la pulvérisation (76).

Cette texture fluide facilite l'étalement et l'application sur de grandes zones, mais c'est surtout leur conditionnement qui fait leur particularité. En fonction du conditionnement, on parle de spray, d'aérosol ou de brume. Les émulsions utilisées pour les conditionnements sprays et aérosols classiques sont le plus souvent blanches et deviennent transparentes après étalement, contrairement aux émulsions utilisées pour les brumes qui, ne nécessitant pas d'étalement, sont transparentes.

2.4.5 Emulsions à reconstituer extemporanément

Ce type d'émulsion présente l'avantage de ne pas contenir de tensioactif et donc de ne pas poser de problème de stabilité dans le temps, puisqu'elle est reconstituée avant chaque utilisation. De ce fait, Il nécessite une bonne agitation avant utilisation afin de mélanger les deux phases. Ces produits sont très fluides pour faciliter la dispersion. On les retrouve sous différentes désignations comme « eau solaire » ou encore « hydrolotion ». Tout comme les émulsions fluides, leur texture peut être un problème pour l'application en quantité suffisante de la photoprotection solaire.

Ce type d'émulsion est présenté le plus souvent sous forme de spray dont la bouteille transparente permet d'identifier les deux phases. Par conséquent, on retrouve dans la composition de ces émulsions l'ajout de colorant lipophile ou hydrophile afin de différencier les phases et voir si l'émulsion a bien été réalisée. Une fois appliquée sur la peau, l'émulsion est incolore.

2.5 Mousses

Les mousses sont définies comme la dispersion d'un gaz dans un liquide ou un solide. Le liquide lui-même peut être monophasique hydrophile ou biphasique (c'est-à-dire une émulsion L/H). Ce système de dispersion n'est pas stable et, comme pour les émulsions, il nécessite l'ajout d'agents moussants afin de diminuer la tension de surface entre les deux milieux. Cet agent moussant amphiphile est aussi appelé tensioactif.

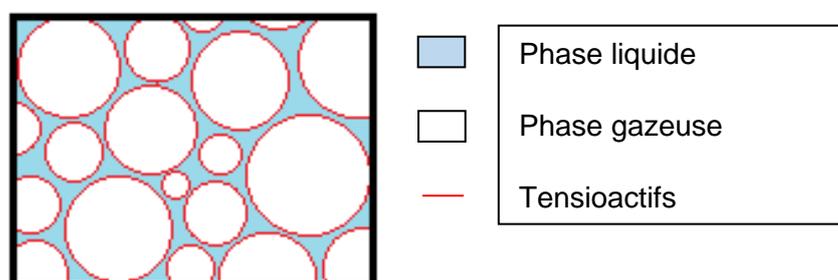


Figure 15 : Schéma de la structure d'une mousse

Composition

Concernant les photoprotecteurs solaires, les mousses retrouvées sur le marché sont réalisées avec une phase liquide sous forme d'émulsion. On y retrouve donc les mêmes composants, avec l'addition des agents moussants (sodium dodecylbenzenesulfonate, decyl glucoside, polysorbate 20...) et stabilisateurs de mousse (gomme xanthane, methylcellulose ...) (49). Il est possible que les agents moussants jouent également le rôle d'émulsionnant.

Avantages et inconvénients

La formation de la mousse est réalisée à l'aide du contenant au moment de l'utilisation. De ce fait, le seul conditionnement possible pour les mousses solaires est l'aérosol (voir partie conditionnement 1.5).

La texture de la mousse est appréciée pour sa légèreté et sa facilité d'étalement. De ce fait ces produits sont utilisables sur de larges zones.

Il y a également Un effet fraîcheur par la présence d'air dans le produit, mais aussi à cause des gaz propulseurs utilisés dans le conditionnement.

V. Rôle du pharmacien / Conseils

Présents dans la plupart des pharmacies, les produits de protection solaire sont les incontournables de l'été. Plus que de la vente, le pharmacien se doit de conseiller et d'apporter des informations concernant l'exposition solaire et l'utilisation des photoprotecteurs. Il s'agit d'un axe de santé publique.

1. Conseils généraux liés à l'exposition au soleil

Le soleil, comme expliqué précédemment, est nécessaire à la vie. Toutefois, une exposition trop importante à ce dernier peut entraîner des conséquences plus ou moins graves. Il est nécessaire de se protéger dès le plus jeune âge car les dommages des rayons UV sur la santé se cumulent au cours du temps. On parle souvent de capital soleil.

Il est nécessaire, afin de s'exposer en limitant les risques, de suivre quelques conseils peu importe le type de peau.

Exposition

Pour réduire le risque lié aux rayons UVs, il est préférable de limiter l'exposition à ceux-ci, notamment aux moments où les rayons UVs sont les plus intenses, c'est-à-dire au milieu de journée entre 10h et 16h (77,78).

Il est d'autant plus facile, avec internet, de se renseigner sur l'indice d'exposition UVs afin de pouvoir planifier au mieux ses sorties et activités. Par conséquent, des précautions particulières peuvent être prises (protections, durée d'exposition modérée) lors des journées à indice UV élevé ou modéré.

De plus, se mettre à l'ombre dès que possible permet de limiter l'exposition. Effectivement, à l'ombre, la quantité de rayons UVs est moindre par rapport à une exposition directe au soleil. Attention, être à l'ombre ne veut pas dire qu'il n'y a aucun risque : le parasol, les tentes de plage ou les arbres ne sont donc pas des protections totales. Les UVs peuvent être réfléchis par de nombreuses surfaces (eau, neige, nuages, miroir...).

Protection physique : Vêtements, chapeaux, lunettes

En cas d'exposition, les vêtements sont le type de protection le plus efficace car ils arrêtent le plus les rayons UVs. Il est recommandé de porter des vêtements amples faits de tissus à tissage serré mais également un chapeau à bord large ou une casquette pour protéger au mieux le visage, la nuque et les oreilles (77–79). Il est important de relever que la protection que confèrent les vêtements varie en fonction du tissu qui les compose, notamment l'épaisseur, le serrage des mailles, les teintures, et la nature des fibres. De plus, certains tissus sont recouverts d'une fine couche de matériaux qui absorbent ou réfléchissent les rayons UVs. (80,81)

Il est possible d'octroyer un facteur de protection appelé Ultraviolet Protection Factor (UPF) à chaque tissu en fonction de leurs caractéristiques et donc du pourcentage d'UV qui peut traverser le textile. Il faut en plus de cet indice prendre en compte la couleur du vêtement, en effet les couleurs sombres et vives absorbent mieux les rayons UVs. Toutefois, elles absorbent les infrarouges, ce qui provoque la production de chaleur. En cas de forte température, ces derniers ne sont pas forcément recommandés. (79,82)

Enfin, pour protéger au mieux les yeux, de bonnes lunettes de soleil c'est-à-dire avec un filtre anti-UV suivant les normes CE de catégorie 3 (plutôt adaptée pour l'été) ou 4 (adaptée pour la montagne). Une monture enveloppante est préférable pour protéger au mieux les yeux et le contour des yeux, qui est un endroit où la peau est plus fine et plus fragile. (83)

Photoprotecteurs topiques

On complète la protection des vêtements par une photoprotection topique adaptée sur les parties du corps qui restent exposées au soleil. Il est important de penser à toutes les parties du corps : certaines sont souvent oubliées comme les oreilles, les lèvres, le contour des yeux, le dos des pieds et des mains, les aisselles et l'arrière des genoux (84).

Cette protection est à appliquer trente minutes avant chaque exposition et à renouveler toutes les deux heures et après la baignade ou encore l'activité physique. L'application du produit doit se faire en quantité suffisante ; le SPF est défini pour l'application de 2mg/cm² de peau soit environ 6 cuillères à café de produit pour tout le corps. Cette dose théorique est malheureusement souvent très supérieure à celle appliquée dans la plupart des cas, comme l'indiquent plusieurs études (52,84,85).

Les photoprotecteurs solaires ne sont pas capables de protéger complètement contre les rayons UVs, il est donc tout de même conseillé de limiter son exposition, ou du moins de respecter les conseils précédemment donnés.

Enfin, les produits de photoprotection étant des produits cosmétiques, il est important pour une bonne conservation de suivre les instructions sur l'emballage, de bien refermer le conditionnement pour éviter la contamination ou la dégradation prématurée du produit, mais également de respecter les dates de péremption et la période de conservation, car les filtres solaires se dégradent au cours du temps, diminuant ainsi la capacité de protection du produit (86).

Hydratation

Il est nécessaire de boire en quantité suffisante afin de ne pas être déshydraté en toute circonstance. En cas de forte chaleur, souvent associée à un indice UVs élevé, il est indispensable de boire en conséquence.

Cas particulier : les enfants

Les enfants, ayant une peau immature, il est indispensable de les protéger et de faire d'autant plus attention à suivre les conseils précédents. Leur peau brûle facilement au soleil même si le ciel est couvert. Ils sont aussi plus sensibles aux risques de déshydratation. Les dommages causés au cours de l'enfance s'accumulent au fil du temps et sont la cause principale de mélanome chez l'adulte. De ce fait, en plus ces précautions, il est conseillé de ne pas exposer les enfants de moins de 3 ans directement au soleil (87–89).

Il est important de souligner que, les crèmes solaires ne pouvant pas être appliquées chez l'enfant avant 6 mois, le suivi du conseil précédent est d'autant plus important, et la protection vestimentaire est dès lors indispensable. (90)

2. Choix d'une photoprotection topique

Avant même de choisir la bonne forme topique, il est nécessaire de prendre en compte le besoin de protection et donc le SPF à choisir en fonction du phototype et de l'exposition.

2.1 Choix du SPF

Le phototype reflète la couleur de la peau, sa sensibilité et sa réactivité au soleil comme expliqué précédemment (2.1.1.1). Un sujet sensible avec un phototype de classe I nécessitera une photoprotection plus importante qu'un sujet ayant un phototype de classe VI.

En plus du phototype, il est nécessaire de quantifier l'exposition à laquelle est confronté l'individu, qu'elle soit modérée (balade, vie au grand air), élevée (plage) ou extrême (montagne, glacier). C'est le rapprochement de ces deux informations qui permet de choisir l'indice de protection (SPF) le plus adapté (figure 14). (91,92)

Tableau 6 : Indice de protection solaire recommandé en fonction du phototype et de l'exposition. (91)

		Exposition modérée (Balade brève)	Exposition importante (Plage, activité extérieure longue)	Exposition extrême (Tropique, bateau, montagnane)
Phototype 1	HAUTE PROTECTION +++ SPF 50	TRES HAUTE PROTECTION ++++ SPF 50+	TRES HAUTE PROTECTION ++++ SPF 50 +	
Phototype 2	MOYENNE PROTECTION ++ SPF 30	HAUTE PROTECTION +++ SPF 50	HAUTE PROTECTION +++ SPF 50	
Phototype 3	MOYENNE PROTECTION ++ SPF 30	MOYENNE PROTECTION ++ SPF 30	HAUTE PROTECTION +++ SPF 50	
Phototype 4	FAIBLE PROTECTION + SPF 15	FAIBLE PROTECTION + SPF 15	MOYENNE PROTECTION ++ SPF 30	
Phototype 5				
Phototype 6				

2.2 Choix de la forme galénique et du contenant

La meilleure protection topique est celle qui est appliquée correctement et répétée fréquemment. De ce fait, le choix de la protection est grandement influencé par les préférences de la personne à laquelle, celle-ci est destinée, puisque si la texture, l'aspect ou la composition ne plaît pas, elle ne sera pas utilisée (93).

Même s'il est nécessaire de s'adapter aux demandes du patient, les protections les plus adaptées et les mieux utilisées d'après les études sont, malgré tout, les émulsions. Ce sont d'ailleurs les produits les plus vendus. En effet, leur composition permet d'obtenir de fortes protections et des textures agréables adaptées à tous les types de peau et à la zone à protéger. Leur fluidité leur confère une facilité d'étalement et une application homogène (37,75,93,94). Si possible, le conditionnement à privilégier pour ces émulsions est un flacon pompe airless, car il présente certains avantages. En effet, ce type de conditionnement limite le gaspillage et la pompe doseuse permet une meilleure observance avec une quantité appliquée plus importante et plus homogène. (57,95)

Au comptoir, lors de la délivrance de ces produits, il est important de rappeler les besoins liés à l'application. C'est-à-dire appliquer le produit 30 minutes avant l'exposition et renouveler l'application toutes les deux heures ou après une baignade ou une activité sportive, mais aussi de parler des quantités à appliquer (qui ne sont pas toujours indiquées sur l'emballage).

Afin de pouvoir conseiller le patient concernant la quantité à appliquer, il faut s'adapter à la forme galénique utilisée :

- Poudre : 1g de poudre pour le visage et le cou.
- Stick : plusieurs passages (5 à 7 passages).
- Lotions, huiles, émulsions et gel : pour le visage et le cou, utiliser au moins une demi-cuillère à café de produit. Pour le reste du corps, utiliser 7 cuillères à café de produit. Certaines marques ont créé des tableaux de doses nécessaires à appliquer, comme Bioderma®. (96)
- Spray : 12 à 15 pulvérisations pour le corps en moyenne.
- Aérosol : pulvériser partout sur les zones exposées et étaler le produit.
- Brumes : pulvériser partout sur les parties exposées, plusieurs passages.

Il est possible de combiner plusieurs formes galéniques pour une protection optimale, soit pour des parties différentes (stick et crème ou émulsion fluide), soit pour la même partie du corps.

Cette technique est notamment utilisée pour le visage, car les quantités de produit utilisées sont souvent bien plus faibles que celles nécessaires pour atteindre le SPF indiqué sur l'emballage. On parle de layering : Il s'agit d'une technique qui consiste à appliquer plusieurs produits contenant des filtres solaires, comme l'application d'une crème solaire classique puis d'une émulsion fluide teintée suivi de poudre. Bien qu'en général, les quantités de produit appliquées sont très inférieures aux quantités conseillées, leur superposition permet d'obtenir une meilleure protection qu'avec l'utilisation d'un seul produit. (74)

Depuis quelques années, en plus d'un intérêt pour la forme galénique et ses propriétés, les consommateurs sont de plus en plus attentifs aux ingrédients composants les produits de photoprotection solaire : en matière de santé avec les perturbateurs endocriniens ou les allergènes entre autres, mais aussi en matière d'écologie, avec la faible biodégradabilité ou la pollution engendrée par les ingrédients. Un certain nombre de sites internet et d'applications existent afin de classer ces ingrédients et de noter les produits cosmétiques en fonction de leur sécurité d'utilisation comme le site « UFC que choisir », ainsi que de la corrélation entre sécurité et impact écologique comme « INCI Beauty ». (97,98)

Ce travail de conseil est indispensable à la santé publique car la compliance est le point sur lequel le pharmacien peut avoir une influence. Il s'agit de la barrière la plus importante aux bénéfices apportés par les photoprotecteurs. Ainsi le développement de formes galéniques et de conditionnements avec des propriétés donnant envie d'appliquer les protections solaires est indispensable. Tout cela en réduisant au maximum l'impact sur l'environnement et en assurant la sécurité du consommateur. (90,93,99,100)

VI. Conclusion

Le secteur des photoprotecteurs topiques est à la fois un secteur très concurrentiel et un enjeu de santé publique. Ces deux aspects expliquent la présence d'un nombre de formes galéniques important avec des propriétés organoleptiques variables.

L'objectif pour les futurs produits de protection solaire est de s'adapter à la vie quotidienne et aux activités des patients, tout en ayant une texture appréciable. Ainsi, la recherche porte sur de nouveaux ingrédients (polymères, extraits de plantes...) apportant des améliorations sensorielles tout en étant plus respectueux de l'environnement. Elle porte également sur les nanomatériaux, notamment pour les filtres minéraux, ces filtres sous forme de nanoparticule possèdent des propriétés organoleptiques plus appréciable notamment l'absence d'effet granuleux et l'obtention de produits incolores cependant leur spectre de protection est réduit et des questions se posent quant au passage systémique de ces molécules. Certaines études, plus rares, se concentrent quant à elles sur l'amélioration de formes existantes et de nouvelles formes galéniques. (63,101–104)

Récemment, on note la présence de recherches sur une forme de patch en silicone pensée pour des petites zones, destiné spécifiquement à des patients ayant une peau lésée ou sensible, atteints de brûlures ou d'eczéma. Les résultats trouvés sont plutôt positifs. Cette forme patch existe déjà dans certains pays, comme en Asie pour les pommettes, mais les ingrédients ne sont pas approuvés en Europe. (105)

Bibliographie

1. CEA. Le Soleil [Internet]. CEA/Découvrir & Comprendre. CEA; 2017 [cité 29 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/essentiel-sur-le-soleil.aspx>
2. CEA. Le Soleil [Internet]. CEA/Découvrir & Comprendre. CEA; 2012 [cité 29 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/soleil.aspx>
3. Couteau C, Coiffard L. Historique de la photoprotection topique. *Rev Hist Pharm.* 2010;97(366):151-62.
4. Lanoë C. La céruse dans la fabrication des cosmétiques sous l'Ancien Régime (XVIe-XVIIIe siècles). *Tech Cult Rev Semest D'anthropologie Tech* [Internet]. 1 mars 2002 [cité 29 mars 2023];(38). Disponible sur: <https://journals.openedition.org/tc/224#tocto1n1>
5. Fischer S. Asie : blanchir à tout prix [Internet]. *Le Point.* 2013 [cité 29 mars 2023]. Disponible sur: https://www.lepoint.fr/insolite/asie-blanchir-a-tout-prix-23-08-2013-1716793_48.php
6. Le Guyader-Peyrou S, Deffosse G, Uhry Z, Grosclaude P, Remontet L, Colonna M, et al. Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018. Étude à partir des registres des cancers du réseau Francim. Synthèse. 2019.
7. Kolarsick PAJ, Kolarsick MA, Goodwin C. Anatomy and Physiology of the Skin. *J Dermatol Nurses Assoc.* août 2011;3(4):203-13.
8. Winslow T. Skin, Basal Cell And Squamous Cell, Anatomy [Internet]. 2008 [cité 17 janv 2022]. Disponible sur: <https://visualsonline.cancer.gov/details.cfm?imageid=11324>
9. Aliouat M. La peau, Anatomie Physiologie. 2019.
10. Bousquet O, Coulombe PA. Les kératines : un autre regard sur la biologie de la peau. *médecine/sciences.* 1 janv 2002;18(1):45-54.
11. Méliissopoulos A, Levacher C. La peau: structure et physiologie. 2e éd. Paris: Éd. Tec & doc-Lavoisier; 2012. 272 p.
12. Prost-Squarcioni C. Histologie de la peau et des follicules pileux. *MS Médecine Sci.* 2006;22(2):131-7.
13. Fitzpatrick T. The validity and practicality of sun-reactive skin type I through VI. *Arch Dermatol.* juin 1988;124(6):869-71.
14. Del Bino S, Bernerd F. Variations in skin colour and the biological consequences of ultraviolet radiation exposure. *Br J Dermatol.* 2013;169(s3):33-40.

15. Sharma VK, Gupta V, Jangid BL, Pathak M. Modification of the Fitzpatrick system of skin phototype classification for the Indian population, and its correlation with narrowband diffuse reflectance spectrophotometry. *Clin Exp Dermatol.* avr 2018;43(3):274-80.
16. Chardon A, Cretois I, Hourseau C. Skin colour typology and suntanning pathways. *Int J Cosmet Sci.* 1991;13(4):191-208.
17. Bergqvist C, Ezzedine K. Vitiligo: A Review. *Dermatology.* 2020;236(6):571-92.
18. Dyer JA. Newborn skin care. *Semin Perinatol.* févr 2013;37(1):3-7.
19. Wulf HC, Sandby-Møller J, Kobayasi T, Gniadecki R. Skin aging and natural photoprotection. *Micron.* avr 2004;35(3):185-91.
20. Le vieillissement humain support de cours [Internet]. 2008 [cité 23 janv 2022]. Disponible sur: <http://campus.cerimes.fr/geriatrie/enseignement/geriatrie1/site/html/cours.pdf>
21. Société française de photodermatologie, éditeur. *Photodermatologie: photobiologie cutanée, photoprotection et photothérapie.* 3e éd. Montrouge: Doin; 2018. 381 p.
22. Martini MC. *Introduction à la dermopharmacie et à la cosmétologie.* 3e éd. Cachan: Éd. Médicales internationales; 2011.
23. Roelandts R. Rayonnement solaire. *Ann Dermatol Vénérologie.* mai 2007;134(5):7-8.
24. Schuch AP, Moreno NC, Schuch NJ, Menck CFM, Garcia CCM. Sunlight damage to cellular DNA: Focus on oxidatively generated lesions. *Free Radic Biol Med.* juin 2017;107:110-24.
25. Avril MF, Brodin M, Dreno B, Dreno P, Gotman A, Jeanmougin M, et al. *Soleil et peaux : Bénéfices, risques et prévention.* Elsevier Masson; 2002. 296 p.
26. Gabros S, Nessel TA, Zito PM. Sunscreens And Photoprotection. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 23 janv 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537164/>
27. Engelsen O. The Relationship between Ultraviolet Radiation Exposure and Vitamin D Status. *Nutrients.* 4 mai 2010;2(5):482-95.
28. Abhimanyu A, Coussens AK. The role of UV radiation and vitamin D in the seasonality and outcomes of infectious disease. *Photochem Photobiol Sci.* 2017;16(3):314-38.
29. Wondrak GT, Jacobson MK, Jacobson EL. Endogenous UVA-photosensitizers: mediators of skin photodamage and novel targets for skin photoprotection. *Photochem Photobiol Sci.* 2006;5(2):215-37.
30. Matsumura Y, Ananthaswamy HN. Toxic effects of ultraviolet radiation on the skin. *Toxicol Appl Pharmacol.* mars 2004;195(3):298-308.

31. Mechanisms Involved in Ultraviolet Light-Induced Immunosuppression | Elsevier Enhanced Reader [Internet]. [cité 19 avr 2022]. Disponible sur: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1087002415302367?token=267FC2DA4A94E6EF188C542EE952549EEF8C316062D1A9DC3FBA9FD0A375DDB0CA8B3C07A7788F23DAD28A11603B2CFE&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220419160903>
32. Elmetts CA, Calla C, Xu H. PHOTOIMMUNOLOGY. *Dermatol Clin.* juill 2014;32(3):277-vii.
33. Letawe C, Claessens N, Piérard GE. RÉPONSES PHYSIOLOGIQUES À L'EXPOSITION SOLAIRE. *Rev Med Liege.* :6.
34. Guerra KC, Urban K, Crane JS. Sunburn. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 1 mai 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534837/>
35. Rittié L, Fisher GJ. Natural and Sun-Induced Aging of Human Skin. *Cold Spring Harb Perspect Med.* janv 2015;5(1):a015370.
36. Serge Dahan, Raimbault C, Cogrel O, Mazer JM, Pusel B. *Dermatologie esthétique.* Elsevier Health Sciences; 2020. 392 p.
37. World Health Organization, Organisation Mondiale de la Santé. Global solar UV index: a practical guide : a joint recommendation of World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. WHO: Geneva; 2002.
38. Article L5131-1 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. févr 26, 2014. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000028655292/
39. Règlement (CE) n o 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) [Internet]. OJ L nov 30, 2009. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1223/oj/fra>
40. Directive 93/42/CEE du Conseil du 14 juin 1993 relative aux dispositifs médicaux [Internet]. oct 11, 2007. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/dir/1993/42/2007-10-11/fra>
41. Couteau C, Papis E, Coiffard LJM. Comparaison de produits de protection solaire ayant un statut de cosmétique ou de dispositif médical par détermination de leur efficacité, de leur photo-stabilité et de leur résistance à l'eau grâce à une méthode in vitro. *Ann Dermatol Vénéréologie.* 1 févr 2016;143(2):124-9.
42. Pensé-Lhéritier AM. *Conception des produits cosmétiques: la formulation.* 2e éd. Chartres: Cosmetic valley editions; 2018. 383 p.

43. Test No. 428: Skin Absorption: In Vitro Method | READ online [Internet]. 2004 [cité 16 août 2022]. Disponible sur: https://read.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-428-skin-absorption-in-vitro-method_9789264071087-en
44. Commission Regulation (EU) 2022/2195 of 10 November 2022 amending Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council as regards the use of Butylated Hydroxytoluene, Acid Yellow 3, Homosalate and HAA299 in cosmetic products and correcting that Regulation as regards the use of Resorcinol in cosmetic products (Text with EEA relevance) [Internet]. OJ L nov 10, 2022. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2022/2195/oj/eng>
45. Ferrero L, Pissavini M. Progrès récents dans la protection solaire. Actual Chim. nov 2008;(323-324):72-80.
46. JH-BT-105-24 410 lotion pump bottle soap pump dispenser [Internet]. Canvard Packaging International Co., Limited. [cité 13 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.canvardpackaging.com/products/jh-bt-105-24-410-lotion-pump-bottle-soap-pump-dispenser/>
47. Le flacon airless: un conditionnement technique, hygiénique et performant [Internet]. Kiné Medical. [cité 13 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.kinemedical.fr/fr/dossiers/tous-les-dossiers/le-flacon-airless-un-conditionnement-tchnique-hygienique-et-performant>
48. Solvants degreissants industriels [Internet]. [cité 13 avr 2023]. Disponible sur: http://www.aerosol-service.fr/FR/categorie.php?id_categorie=86&numero_onglet=1
49. Arzhavitina A, Steckel H. Foams for pharmaceutical and cosmetic application. Int J Pharm. juill 2010;394(1-2):1-17.
50. Hacker E. Testing aerosol sunscreen product: exploring the impact of wind on the application of sunscreen [Internet]. Brisbane, Australia: Griffith University; 2021 nov [cité 26 févr 2023]. Disponible sur: https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/aerosol_sunscreen_report_november_2021.pdf
51. Barr J. Spray-on sunscreens need a good rub. J Am Acad Dermatol. janv 2005;52(1):180-1.
52. Broussard L, Hirner S, Dellavalle RP, Dunnick CA, Hugh J. Spray sunscreen: Characterizing application area density and implications for sun protection. J Am Acad Dermatol. 1 mars 2020;82(3):749-51.
53. Prevention S, Prevention.com S. Accident domestique: il prend feu après avoir appliqué de la crème solaire en spray [Internet]. Blog Surf Prevention. 2012 [cité 22 mars 2023]. Disponible sur: <https://blog.surf-prevention.com/2012/06/05/feu-creme-solaire-en-spray/>
54. Portilho L, Leonardi GR. The real protection of facial sunscreens. Br J Dermatol. 1 avr 2020;182(4):1050-2.

55. Baumann L. *Cosmetic dermatology and medicine: principles and practice*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 2009. 366 p.
56. Pommade — acadpharm [Internet]. Dictionnaire de l'académie nationale de pharmacie. 2015 [cité 8 févr 2023]. Disponible sur: <https://dictionnaire.acadpharm.org/w/Pommade>
57. Novick R, Anderson G, Miller E, Allgeier D, Unice K. Factors that influence sunscreen application thickness and potential preservative exposure. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2015;31(4):212-23.
58. Lowe NJ. *Sunscreens: Development: Evaluation, and Regulatory Aspects: Second Edition*,. CRC Press; 1996. 818 p.
59. Les huiles « sèches » [Internet]. La Cosmétothèque. 2016 [cité 11 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.biusante.parisdescartes.fr/cosmetotheque/pdf/cosmeto-nouv-003.pdf>
60. Cuisiniez C. La Dermo-cosmétique naturelle [Internet]. [cité 11 janv 2023]. Disponible sur: <https://issuu.com/cuisiniez/docs/oleassence.fr>
61. Pissavini M, Diffey B, Marguerie S, Carayol T, Doucet O. Predicting the efficacy of sunscreens in vivo veritas. *Int J Cosmet Sci*. 2012;34(1):44-8.
62. Davis SL, Marsh JM, Kelly CP, Li L, Tansky CS, Fang R, et al. Protection of hair from damage induced by ultraviolet irradiation using tea (*Camellia sinensis*) extracts. *J Cosmet Dermatol*. 2022;21(5):2246-54.
63. Ngoc LTN, Tran VV, Moon JY, Chae M, Park D, Lee YC. Recent Trends of Sunscreen Cosmetic: An Update Review. *Cosmetics*. déc 2019;6(4):64.
64. Lotion — acadpharm [Internet]. [cité 15 avr 2023]. Disponible sur: <https://dictionnaire.acadpharm.org/w/Lotion>
65. Lu Y, Liu M, Cao Y, Yin J, Zhou H, Yu W, et al. Hydrogel sunscreen based on yeast /gelatin demonstrates excellent UV-shielding and skin protection performance. *Colloids Surf B Biointerfaces*. sept 2021;205:111885.
66. Gwak MA, Hong BM, Park WH. Hyaluronic acid/tannic acid hydrogel sunscreen with excellent anti-UV, antioxidant, and cooling effects. *Int J Biol Macromol*. 30 nov 2021;191:918-24.
67. Gel — acadpharm [Internet]. [cité 15 avr 2023]. Disponible sur: <https://dictionnaire.acadpharm.org/w/Gel>
68. De Luca M, Rocha-Filho P, Grossiord J I., Rabaron A, Vaution C, Seiller M. Les émulsions multiples. *Int J Cosmet Sci*. 1991;13(1):1-21.
69. 명유찬, 장미희, 김안나, 최신욱. Cosmetic composition with anti-uv and anti-wrinkle effect from caragana sinica rehder [Internet]. KR20140006139A, 2014 [cité 3 avr 2023]. Disponible sur: <https://patents.google.com/patent/KR20140006139A/en>

70. Fotoker - Prévient et répare les dommages causés par le soleil [Internet]. [cité 3 avr 2023]. Disponible sur: <https://fotoker.fr/>
71. Eryfotona AK Fluid, prévention et réparation du dommage actinique [Internet]. Isdin. [cité 3 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.isdin.com/fr-FR/protection-solaire/eryfotona-ak-fluid-prevention-reparation-dommage-actinique/https://www.isdin.com/fr-FR/protection-solaire/eryfotona-ak-fluid-prevention-reparation-dommage-actinique/>
72. Megna M, Lembo S, Balato N, Monfrecola G. « Active » photoprotection: sunscreens with DNA repair enzymes. *G Ital Dermatol Venereol.* 1 juin 2017;152(3):302-7.
73. Couteau C, Coiffard L. Historique de la photoprotection topique. *Rev Hist Pharm.* 2010;97(366):151-62.
74. Kim MA, Jung YC, Bae J, Ha J, Kim E. Layering sunscreen with facial makeup enhances its sun protection factor under real-use conditions. *Skin Res Technol.* 2021;27(5):751-7.
75. Beylot G. Les protections solaires. 2010;
76. Bases théoriques de la mesure de viscosité [Internet]. Labomat Essor. [cité 13 févr 2023]. Disponible sur: <https://labomat.eu/fr/faq/586-bases-theoriques-de-la-mesure-de-viscosite.html>
77. Sun protection [Internet]. [cité 27 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/optical-radiation/sun-protection>
78. Comment mieux se protéger du soleil ? - Exposition aux rayonnements UV [Internet]. [cité 21 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.e-cancer.fr/Comprendre-prevenir-depister/Reduire-les-risques-de-cancer/Exposition-aux-rayonnements-UV/Mieux-se-protger-du-soleil#toc-comment-se-prot-ger-des-rayons-uv->
79. Au-delà de la protection solaire: les vêtements UPF offrent une excellente protection contre le soleil en automne [Internet]. The Skin Cancer Foundation. [cité 14 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.skincancer.org/fr/press/beyond-sunscreen-upf-clothing-sun-protection/>
80. Čuden AP, Urbas R. 6 - Advances in ultraviolet (UV) ray blocking textiles. In: Maity S, Singha K, Pandit P, éditeurs. *Functional and Technical Textiles* [Internet]. Woodhead Publishing; 2023 [cité 16 avr 2023]. p. 213-73. (The Textile Institute Book Series). Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323915939000134>
81. Kocić A, Bizjak M, Popović D, Poparić GB, Stanković SB. UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibres. *J Clean Prod.* 10 août 2019;228:1229-37.

82. Sun Protective Clothing [Internet]. The Skin Cancer Foundation. [cité 16 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.skincancer.org/skin-cancer-prevention/sun-protection/sun-protective-clothing/>
83. Lunettes de soleil : comment choisir la bonne protection ? [Internet]. [cité 21 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Lunettes-de-soleil>
84. Heerfordt IM, Torsnes LR, Philipsen PA, Wulf HC. Sunscreen use optimized by two consecutive applications. PLOS ONE. 28 mars 2018;13(3):e0193916.
85. Petersen B, Wulf HC. Application of sunscreen – theory and reality. Photodermatol Photoimmunol Photomed. 2014;30(2-3):96-101.
86. Dossier thématique - Le point sur vos produits solaires - ANSM [Internet]. [cité 27 févr 2023]. Disponible sur: <https://ansm.sante.fr/dossiers-thematiques/le-point-sur-vos-produits-solaires>
87. L'exposition au soleil [Internet]. [cité 27 févr 2023]. Disponible sur: https://soinsdenosenfants.cps.ca/handouts/safety-and-injury-prevention/sun_safety
88. Comment protéger son enfant du soleil? [Internet]. Sante-pratique-paris. 2022 [cité 27 févr 2023]. Disponible sur: <https://sante-pratique-paris.fr/bonnes-pratiques-dossier/protoger-enfant-soleil/>
89. Berneburg M, Surber C. Children and sun protection. Br J Dermatol. 1 nov 2009;161(s3):33-9.
90. Quatrano NA, Dinulos JG. Current principles of sunscreen use in children. Curr Opin Pediatr. févr 2013;25(1):122.
91. Ealet L. Prévention du soleil : Nos conseils pour se protéger du soleil et préserver sa santé [Internet]. Kerbi. 2022 [cité 16 avr 2023]. Disponible sur: <https://kerbi.fr/prevention-du-soleil-nos-conseils-pour-se-protoger-du-soleil-et-preserver-sa-sante/>
92. Passeron T, Lim H w., Goh CL, Kang H y., Ly F, Morita A, et al. Photoprotection according to skin phototype and dermatoses: practical recommendations from an expert panel. J Eur Acad Dermatol Venereol. 2021;35(7):1460-9.
93. Wang SQ, Virmani P, Lim HW. Consumer acceptability and compliance: the next frontier in sunscreen innovation. Photodermatol Photoimmunol Photomed. 2016;32(1):55-6.
94. Couteau C, Coiffard L. Conseiller des produits cosmétiques aux patientes atteintes d'un cancer du sein. Actual Pharm. déc 2022;61(621):35-42.
95. Diaz A, Neale RE, Kimlin MG, Jones L, Janda M. The Children and Sunscreen Study: A Crossover Trial Investigating Children's Sunscreen Application Thickness and the Influence of Age and Dispenser Type. Arch Dermatol. 1 mai 2012;148(5):606-12.

96. Crème solaire SPF 50+ : quelle dose appliquer pour être protégé ? [Internet]. [cité 16 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.bioderma.fr/votre-peau/ete-2020-des-solaires-engages/un-spf-50-sur-letiquette-nest-pas-toujours-un-spf-50-sur-la-peau>
97. Crèmes solaires enfants et adultes [Internet]. [cité 17 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.quechoisir.org/comparatif-creme-solaire-enfant-n335/>
98. Comment les produits sont-ils notés ? - INCI Beauty [Internet]. [cité 17 avr 2023]. Disponible sur: <https://incibeauty.com/blog/396-comment-les-produits-sont-ils-notes>
99. Wolf P, Krutmann J. Sonnenschutz der Zukunft: Herausforderungen und Möglichkeiten. *Hautarzt*. 1 avr 2022;73(4):257-65.
100. Osterwalder U, Herzog B. The long way towards the ideal sunscreen—where we stand and what still needs to be done. *Photochem Photobiol Sci*. 31 mars 2010;9(4):470-81.
101. Darmawan MA, Ramadhani NH, Hubeis NA, Ramadhan MYA, Sahlan M, Abd-Aziz S, et al. Natural sunscreen formulation with a high sun protection factor (SPF) from tengkawang butter and lignin. *Ind Crops Prod*. 1 mars 2022;177:114466.
102. Yarovaya L, Waranuch N, Wisuitiprot W, Khunkitti W. Clinical study of Asian skin changes after application of a sunscreen formulation containing grape seed extract. *J Cosmet Dermatol*. 2022;21(10):4523-35.
103. Resende DISP, Jesus A, Sousa Lobo JM, Sousa E, Cruz MT, Cidade H, et al. Up-to-Date Overview of the Use of Natural Ingredients in Sunscreens. *Pharmaceuticals*. mars 2022;15(3):372.
104. Soleimani S, Yousefzadi M, Babaei Mahani Nezhad S, Pozharitskaya ON, Shikov AN. Potential of the Ethyl Acetate Fraction of *Padina boergesenii* as a Natural UV Filter in Sunscreen Cream Formulation. *Life*. janv 2023;13(1):239.
105. Yu L, Mazurek P, Madsen FB, Skov AL. Glycerol-Filled Silicone Adhesive Patches with Excellent Sun Protection. *Macromol Mater Eng*. 2021;306(5):2000797.

Université de Lille
FACULTE DE PHARMACIE DE LILLE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
Année Universitaire 2022/2023

Nom : DJEHA
Prénom : Alicia

Titre de la thèse :
Quelle forme galénique privilégier pour une photoprotection topique efficace ?

Mots-clés :
Peau / Phototypes / Rayonnements solaires / Effets des ultra-violetes sur la peau /
Prévention / Photoprotecteurs topiques / Formes galéniques / Conseils à l'officine

Résumé :
Le soleil est un acteur nécessaire à la vie sur Terre. Il a toutefois une action sur la peau et est l'un des facteurs de risque prépondérant de certains types de cancer de la peau. Par conséquent la protection solaire est un enjeu majeur de santé publique. Il existe sur le marché de nombreux produits de photoprotection topique dont la forme galénique et le conditionnement varient. Au comptoir, l'objectif du pharmacien est de conseiller un produit de protection solaire adapté au patient et à son utilisation. Pour cela il est indispensable de connaître les différences entre les formes de photoprotecteurs topiques ainsi que leurs caractéristiques spécifiques.

Membres du jury :

Président : Dr. KARROUT Youness, Maître de conférences des universités, Pharmacien, Pharmacotechnie industrielle, UFR3S-Pharmacie, Université de Lille.

Directeur de thèse : Dr. KARROUT Youness, Maître de conférences des universités, Pharmacien, Pharmacotechnie industrielle, UFR3S-Pharmacie, Université de Lille.

Assesseur : Dr. GERVOIS Philippe, Maître de conférences des universités, Pharmacien, Biochimie, UFR3S-Pharmacie, Université de Lille.

Membre extérieur : Mme DEL REY Marjorie, Docteur en pharmacie, Titulaire de la Pharmacie de Toufflers.