

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

Mémoire

Présenté par : **BOUSSAID SIHAM** et **BOUMERAOU SYLIA**

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

En Génie des Procédés

Option : génie alimentaire

Thème

*Etude de la stabilité d'un emballage
plastique pour la conservation des
produits alimentaires*

Devant le jury composé de :

Pr. CHIBANI N

BELKHIRI

Pr. BELHAMEL K.

Mlle BOUZEMBOUA M.

PRESIDENT

EXAMINATEUR

PROMOTEUR

CO-PROMOTEUR

Promotion 2019/2020

Remerciements

Avant tout nous remercions " DIEU " tout puissant de nous avoir guidées tout au long de nos années d'études et de nous avoir donné le courage pour réaliser ce travail. Tout travail de recherche n'est jamais l'œuvre d'une seule personne, à cet effet, nous tenons à exprimer nos sincères reconnaissances et remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. Notre reconnaissance exprimée en premier lieu à notre promoteur Monsieur belhamel Kamel qui nous a guidées, encouragé tout au long de cette recherche ainsi que ses soutiens et bons conseils par sa connaissance profonde et son attitude scientifique.

Je remercie chaleureusement ma Co-promotrice Melaaz bouzemboua pour tout ce qu'elle m'a apporté durant ma recherche. Son enthousiasme, sa motivation pour le travail et son dévouement m'ont encouragé à surpasser les difficultés de la recherche.

Nous présentons nos remerciements également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail de recherche.

Ensuite, Nous remercions également tous les enseignants de l'université Abd Rahman Mira Bejaïa, qui ont contribué à notre formation durant tout notre cursus universitaire.



DEDICACE

**Je dédie ce modeste travail à ma mère qui
m'a aidée, soutenue, encouragée et
conseillée. Elle a toujours été ma source
d'inspiration.**

**À mes chers frères : Sofiane, Nassim et
hicham qui m'ont soutenue tout au long de
mes études.**

A mes chers oncles Azzedine et karim.

**A mes chères tantes khalida, Salima et Afaf
et à ma belle sœur Imane aussi**

**À toutes mes ami(e)s et à tous ceux et celles
qui me sont chers.**

**Une pensée émouvante a mon défunt
père a l'occasion de la fin de mon
travail que je dédie à sa mémoire.**

Siham



Dédicaces

Je remercie le bon dieu pour nous avoir donné la force

Et la patience pour finir ce modeste travail.

Je dédie ce travail

A ma mère,

qui m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

A mon père,

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et le plus digne de
mon Estime et de mon respect*

A mon frère et mes sœurs et à toute ma famille

Et mes amies

Merci infiniment

Silia

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ADN	Acide désoxyribonucléique.
BPA	Bisphénol A
CSAH	Comité Scientifique de l'Alimentation Humaine
CE	commission Européen
DJT	Dose journalière tolérable
DLLME	micro extraction liquide- liquide dispersive
EU	Europe – Règlement
IUPAC	international union of pure and applied chemistry
LMG	Limites de migration globale
LMS	Limites de migration spécifique
LLE	extraction liquide- liquide
MG	Migration globale
MS	Migration spécifique
MAP	Emballage atmosphère modifiée
PE	Polyéthylène
DEHP	phtalate
PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de vinyle
PET	Polyéthylène téréphtalate
PS	Polystyrène
PEHD	Polyéthylène à haute densité
PEBD	Polyéthylène basse densité
PA	Polyamide
PSE	Polystyrène Expansé
PADI	Packaging Acceptable Daily Intake

Liste des abréviations

pH	Potentiel Hydrogène
PC	polycarbonate
QM	Concentration maximale dans le matériau d'emballage
QMA	Concentration maximale par unité d'emballage
UV	Ultraviolet
UVC	L'unité de vente consommateur
UA-DLLME	micro extraction liquide-liquide dispersive assisté par ultrasons

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: Emballage intelligent.....	6
Figure I.2: Emballage actif.....	7
Figure I.3: Emballage biodégradable.....	7
Figure I.4: Emballage sous atmosphère modifiée (MAP).....	8
Figure I.5 Classification des emballages.....	10
Figure I.6: Types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires.....	16

Chapitre II

Figure II.1: Phénomènes de transport de matière au travers d'un film.....	20
Figure II.2 : Migration spécifique et migration globale.....	21
Figure II.3 : Structure chimique du phtalate.....	24
Figure II.4 : Échanges de matières entre les matériaux et leur environnement.....	24
Figure II.5 : Schématisation des différents mécanismes de perte d'adjuvants.....	26

Chapitre III

Figure III. 1 : Structure chimique du bisphénol A.....	33
Figure III.2 : Utilisation du bisphénol A.....	35

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Repères de l’histoire de l’emballage alimentaire.....	5
Tableau I.3 : les différents plastiques et leurs utilisations les plus fréquentes dans l’industrie alimentaire.....	16
Tableau I. 3 : Quelques additifs incorporés dans le polymère.....	18
Tableau I.5 : les différents types d’adjuvants ajoutés en faible proportion dans le Polymère.....	19

Chapitre II

Tableau II.1: Critères de pureté de pigments et colorants.....	29
Tableau II.2: les types d’aliments et leur simulateur pour les tests de migration.....	30
Tableau II.3: Durées des tests de migration en fonction des conditions d’utilisation de matériaux entrant en contact avec des denrées alimentaires.....	31
Tableau II.4 : Durées et températures des tests de migration en fonction des conditions d’utilisation de matériaux entrant en contact avec des denrées alimentaires.....	31

Chapitre III

Tableau III -1 Caractéristiques physico-chimique de BPA.....	34
---	-----------

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralité sur les emballages alimentaires	
I.1. Historique.....	4
I.1.1. Emballage intelligent.....	5
I.1.2. Emballage actif.....	6
I.1.3. Emballage biodégradable.....	7
I.1.4 Emballage sous atmosphère modifiée (MAP)	8
I.2. Définition.....	8
I.3. Les différents types d'emballages.....	8
I.3.1. L'emballage primaire ou emballage de vente.....	8
I.3.1. L'emballage primaire ou emballage de vente.....	8
I.3.3. L'emballage tertiaire ou « packaging logistique».....	8
I.4. Les fonctions de l'emballage.....	9
I.5. La classification des emballages par matériaux.....	10
I.6. Rôles de l'emballage alimentaire.....	11
I.6.1. Rôle technique de l'emballage.....	11
I.6.2. Rôle marketing de l'emballage.....	12
I.6.3. Rôle conservatoire.....	12
I.7. Les emballages en plastique.....	13

I.7.1. Définition.....	13
I.7.2. Les différentes familles de plastique.....	14
I.7.3. Types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires.....	15
I.7.4. Constitution des matières plastiques.....	16
I.7.4.1. Réactifs et produits de polymérisation.....	17
I.7.4.2. Additifs ajoutés aux des polymères.....	17

Chapitre II : LES INTERACTIONS EMBALLAGE / ALIMENT

II.1. Introduction.....	20
II.2. Définition de la migration.....	21
II.2.1. Les Types de migration.....	21
II.2.3. Limites de migration.....	22
II.3. Sources de contamination de l'aliment.....	23
II.4. Migrants potentiels.....	24
II.4.1. Exemple des migrants d'emballage alimentaire.....	24
II.4.2. Migration des phtalates.....	25
II.4.3. Principaux effets sur la santé.....	26
II.5. Les additifs	26
II.5.1. La migration d'adjuvants.....	27
II.5.2. Paramètres influençant les migrations d'additifs.....	28
II.5.2.1. Les conditions de contact et de conservation.....	28
II.5.2.2. La nature de l'aliment emballé.....	28
II.5.2.3. La nature du matériau d'emballage.....	28

II.5.3. Conséquences de la migration des additifs.....	28
II.6. Les colorants.....	29
II.6.1. Les principales classes de colorants.....	29
II.6.2. Migration de la matière colorante.....	29
II.7 Evaluation de la migration.....	30
II.7.1. Les tests de migration.....	30
II.8. Cadre réglementaire sur les matériaux a entré en contact avec les denrées alimentaires.....	32

Chapitre III : Migration du bisphénol A

III.1. Introduction.....	33
III.2. Qu'est-ce-que le bisphénol A?.....	33
III.3. Utilisation du bisphénol A.....	34
III.4. Sources d'exposition au bisphénol A.....	35
III.5. Effets toxiques de bisphénol A (BPA).....	36
III.6. Données de biosurveillance de l'exposition humaine au bisphénol A.....	36
III.7. Conseils pratiques pour éviter l'exposition au BPA.....	36
III.8. Réglementation et législation sur BPA.....	37
III.9. Etude réalisé sur la migration du BPA.....	38
Conclusion générale.....	42

Introduction

Introduction

L'Homme a toujours eu besoin de protéger son aliment. C'est sans doute cet instinct qui a mené inconsciemment à l'utilisation de l'emballage alimentaire. Les premiers hommes se sont servis de feuilles, de peaux d'animaux et de coquilles de noix pour protéger, cacher et porter leur nourriture (**COLAK B-Y, 2014**).

Les emballages sont présents dans tous les secteurs industriels : agro-alimentaire, cosmétique, pharmacie, produits d'entretien, produits chimiques, transport, distribution...etc. Ils ont pour rôle d'assurer la protection et la préservation des produits qu'ils contiennent. En effet, ils permettent d'éviter les pollutions et les contaminations extérieures que pourraient subir les produits emballés, contribuant ainsi au maintien de la qualité et de la sécurité de ces produits (**TRAN N-G. 2015**).

L'emballage occupe une place de plus en plus importante dans l'industrie agro-alimentaire où il sert à protéger, à conserver, vendre le produit et à informer le consommateur (**Mathlouthi M , 2008**). Leur développement a induit une forte évolution de nos habitudes de consommation. Les matériaux utilisés dans la conception des emballages alimentaires sont divers : papier, carton, verre, bois, aluminium, acier et matières plastiques. Les matériaux plastiques sont ceux qui ont connus plus grande diversification et le plus grand nombre de développement (**Gillet G. 2008**).

Un des rôles essentiels de l'emballage est d'assurer une bonne protection du produit qu'il contient. Cependant, il permet de contribuer au maintien de la qualité et d'augmenté la durée de conservation des aliments frais et transformés, dont il faut également que le matériau utilisé soit plus ou moins inerte, c'est-à-dire ne risque pas de perturber le produit venant au contact dans les mêmes termes de sécurité comme de qualité sensorielle (**Durand C, 1996**).

L'extension du secteur de distribution qui nécessite la conservation et le transport à grande échelle des aliments pose un problème de sécurité alimentaire. En effet, une des sources de pollution des aliments peut être la qualité de leur emballage. De plus en plus, le plastique est utilisé comme matériau de conditionnement à la place du verre. Cet engouement pour l'emballage plastique s'explique par sa solidité et légèreté, ainsi le cout du transport et le prix final du produit est largement réduit. Le secteur de l'agroalimentaire représente aujourd'hui plus de 50% du marché des plastiques. En effet, les plastiques contiennent des composés (additifs, monomères) susceptibles de migrer de la paroi du plastique vers le

Introduction générale

contenu qui est l'aliment ou la boisson. Ce phénomène peut avoir des conséquences tant organoleptiques que toxicologiques (**Kouame 1.E.F,2004**).

Des transferts de masse se produisent du matériau d'emballage vers le produit (phénomène de migration) et/ou du produit vers le matériau (phénomène de sorption). Ces deux phénomènes peuvent avoir des conséquences néfastes sur le système emballage/produit. Il s'ensuit alors une diminution de la qualité et donc une dégradation de l'image de marque de l'entreprise. Les industriels se voient alors dans l'obligation de faire de la sur-qualité sur leurs emballages, avec des surcoûts de fabrication et de transport non négligeables (**TRAN N-G. 2015**).

Suite à ses différents travaux, une réglementation stricte et harmonisée a été mise en place dans l'union européenne pour les matériaux au contact des aliments. Elle repose sur le règlement cadre 1935/2004 (commission européenne, 2004) qui impose à la fois un principe d'inertie des matériaux vis-à-vis de l'aliment et engage la responsabilité de l'industrie alimentaire qui met sur le marché l'aliment emballé. Même si elle est toujours en phase de consolidation, une réglementation détaillée incluant notamment une liste positive des additifs et monomères, a été mise en place pour les matériaux thermoplastiques dans le cadre de la directive 1001/72/CE (commission européenne, 2002) et de ses différents amendements successifs (**Gillet G. 2008**).

Depuis l'essor de l'industrie du plastique, un très grand nombre des substances chimiques sont utilisées pour la fabrication des emballages plastiques alimentaires. Certaines de ces substances sont capables de migrer de l'emballage plastique vers la nourriture. Chaque jour lorsque nous mangeons, nous ingérons donc des composés potentiellement toxiques pour notre organisme. Des composés chimiques tels que le bisphénol-A (BPA), les phtalates ou encore le styrène, sont largement présents dans les emballages et peuvent contaminer les aliments. En effet, la migration de ces composés de l'emballage vers la nourriture est possible lors de certaines conditions (augmentation de la température, contact avec la matière grasse des aliments, temps de chauffage...) (**Rouchon T et al, 2012**).

Le phtalate (DEHP) est donc un migrant d'emballage qui se distingue par son affinité pour les récepteurs aux œstrogènes et aux androgènes. Plusieurs études illustrent des effets du DEHP le développement de la masse grasse et le métabolisme énergétique (**Boudalia S et al, 2014**).

Introduction générale

Le bisphénol A (BPA) est une molécule largement utilisée dans la société actuelle. Sa production annuelle est estimée à trois millions de tonnes par an en 2010. Cette molécule est principalement utilisée en tant que plastifiant, elle est donc retrouvée dans un grand nombre de produits nous entourant comme les contenants alimentaires (**Marion G-V, 2016**).

En effet, le BPA résiduel peut migrer des divers contenants alimentaires qui contiennent le polymère et contaminer la nourriture ou la boisson qui est contenue. C'est le cas lors d'un chauffage prolongé, après exposition à des produits acides ou lors de lavage avec des détergents agressifs et rinçage insuffisant. Le BPA peut entrer dans l'organisme par la muqueuse située sous la langue et non pas seulement par voie intestinale. On suspecte également des sources d'exposition par contact, à travers la peau.

Ce travail a pour objet de mieux appréhender les risques liés à l'utilisation des matériaux plastiques destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires et les interactions causés. Nous nous intéresserons dans ce mémoire sur le phénomène de migration et nous exposons les principaux problèmes que posent les transferts de masse entre contenant et contenu sur l'emballage et le produit emballé.

Le présent travail est constitué d'une partie bibliographique qui regroupe trois chapitres dont le premier est consacré aux généralités sur les emballages alimentaires, le deuxième est consacré aux interactions contenant/ contenu et la migration du bisphénol A comme troisième chapitre.

Nous terminerons enfin par une conclusion générale résumant l'essentiel de cette étude ainsi que perspective.

Chapitre I : Généralité sur les emballages alimentaires

I.1 Historique

Le besoin d'emballer les aliments date de la préhistoire. En effet, les chasseurs préhistoriques enveloppaient leurs gibiers dans des peaux d'animaux afin de faciliter le transport d'une part et d'autre part pour les protéger des intempéries. Il est à souligner l'utilisation de matériaux naturels dont les feuilles et les écorces d'arbres, les pierres creuses et les coquillages pendant cette période. Les premiers récipients en verre furent utilisés par les Égyptiens à partir de 1500 avant J.-C. L'essor du matériau moderne et pratique: le plastique, se conjugue avec les innovations du XXe siècle. Dans le tableau suivant sont consignés les événements qui ont marqué le plus l'histoire de l'emballage après la révolution industrielle. (Ghali S, 2017).

Tableau I.1 : Repères de l'histoire de l'emballage alimentaire (Ghali S, 2017)

Dates	Repères
1809	Nicolas Appert découvre le procédé de conservation par la chaleur des denrées alimentaires contenues dans des bocaux en verre.
1810	Le procédé est appliqué à des boîtes en fer blanc (boîtes de conserve)
1858	L'Américain Mason crée le couvercle métallique à vis pour les pots en verre.
1871	Jones (États-Unis) invente le carton ondulé
1883	Stilwell (États-Unis) commercialise les premiers sacs en papier.
1885	Painter (États-Unis) dépose le brevet de la première capsule de bouteille jetable.
1934	L'American Can Company commercialise les premières « boîtes boissons » ancêtres des canettes pour la brasserie américaine Kru eger
1951	Invention en Suède de l'ancêtre du Tetrapak: emballage tétraédrique jetable en papier plastifié
1969	Après Lesieur en 1960, Vittel commercialise ses premières maxibouteilles rondes en PVC (polychlorure de vinyle).
1976	Pepsi-Cola vend ses premières bouteilles en PET (polyéthylène)
2000	Apparition du Doy pack: sachet en plastique souple tenant debout.
2005	Le fabricant Tetrapak lance le Tetrapak Wedge Aseptic Clear: emballage transparent.

I.2 Définition

Emballage, étymologiquement, vient du préfixe (en) et de (balle) dont le sens était de serrer avec une idée de pelotonner ; emballer c'est donc mettre en balle et, par extension, un emballage est donc un assemblage de matériaux destinés à protéger un produit qui doit être transporté. **(Multon, J.L)**

L'emballage doit préserver les différentes qualités du produit jusqu'à sa consommation, qualités hygiéniques (non-toxicité), nutritionnelles (valeur énergétique, teneur en vitamines, acides gras insaturés, etc.), organoleptiques (goût, odeur, couleur, texture) et technologiques (aptitude à la transformation) **(Boussoum M, 2012)**.

I.3 Les emballages innovants

I.3.1 Emballage intelligent

Ce sont des emballages dans lesquels on ajoute divers nanosenseurs qui ont la capacité de mesurer des variations de la température et de détecter le degré de détérioration des aliments. Ces emballages peuvent aussi gérer et contrôler les conditions de l' environnement entourant l'aliment **(Smolander et chaudhry, 2010)**.

Selon le Conseil National de l'Alimentation (2009): « les emballages intelligents contiennent des composés ou des systèmes capables d'enregistrer ou d'afficher divers indicateurs ou marqueurs de la qualité ou de la traçabilité, pendant la fabrication, le transport, l' entreposage ou la consommation du produit » la figure suivante représente un emballage intelligent **(Chaudhry Q et al, 2008)**.



Figure I.1 : Emballage intelligent (<http://www.ineltec.fr/fr/actualites-ineltec-france/item/114-emballages-intelligents>)

I.3.2 Emballage actif

L'emballage actif est un emballage qui contient des composés actifs qui réagissent avec l'environnement pour conserver le produit. Il permet des échanges de gaz, de vapeurs ou de solutés entre l'aliment, l'emballage et éventuellement l'atmosphère entourant le produit. Ces emballages actifs ont une action propre sur le ralentissement de certaines réactions de détérioration des aliments. Par exemple, un emballage peut être utilisé pour libérer un agent gazeux quand l'aliment commencera à pourrir afin de contrer le processus de mûrissement (Chaudhry Q et al, 2008).

Le Conseil National de l'alimentation (2009), souligne que: Les meilleurs exemples d'emballages actifs couramment utilisés depuis quelques années pour de nombreux produits alimentaires (salaisons, charcuteries, fruits et légumes, etc.) sont: les absorbeurs de vapeur d'eau, d'oxygène ou d'éthylène, les émetteurs d'éthanol ou de composés antimicrobiens ainsi que des matériaux contenant des sels d'argent à propriétés antimicrobiennes.

Les emballages actifs les plus développés actuellement sont les emballages aux propriétés antimicrobiennes. La figure suivante représente un emballage actif (Adam, 2013).



Figure I.2 : Emballage actif

(<http://french.foilfoodpouches.com/supplier-337456-biodegradable-packaging-bags>)

I.3.3 Emballage biodégradable

Dits aussi emballages comestibles, ces emballages sont fabriqués à base de polymères d'origine biologique ou « bio-polymères ».

Selon les recherches, en combinant ces bio-polymères à certains nanomatériaux, nous obtiendrons des propriétés pouvant contribuer à améliorer la qualité des emballages tout en demeurant biodégradables et sécuritaires pour l'environnement. La figure suivante représente un emballage biodégradable. **(Robinson et Morrison, 2010).**



Figure I.3 : Emballage biodégradable

((<http://french.foilfoodpouches.com/supplier-337456-biodegradable-packaging-bags>)

I.3.4 Emballage sous atmosphère modifiée (MAP)

L'emballage sous atmosphère modifiée ou sous vide (MAP) permet d'évacuer l'air de l'emballage pour favoriser la conservation des aliments.

Nous injectons un mélange en proportions différentes de gaz inertes en fonction de l'aliment à conserver. Les gaz utilisés sont: N, CO₂, O₂ **(Brouillet et Fugit, 2009).**

Les avantages de l'emballage sous atmosphère modifiée (MAP)

- Réduire le rythme de respiration des aliments
- Réduire la sensibilité à l'éthylène
- Rallonger la vie du produit en entrepôt

I.4 Les différents types d'emballages

On distingue de façon générale, trois types d'emballages selon la fonction qu'ils remplissent

I.4.1 L'emballage primaire ou emballage de vente

C'est la plus petite unité de contenant destinée à la vente. Elle entre directement en contact avec le produit de consommation. C'est souvent l'unité de vente consommateur (UVC) (Virginillo, 2011).

Il assure essentiellement la fonction de protection, bien que les autres fonctions. Par exemple dans le cas d'une pâte dentifrice, ce sera le tube souple. Ce tube contient et protège la pâte, mais il véhicule aussi des messages et participe au produit en facilitant son application sur la brosse à dents (Rocher E, 2008).

I.4.2 L'emballage secondaire ou emballage de groupage

L'emballage secondaire est le rassemblement de plusieurs emballages primaires contenant des denrées. Il est aussi appelé suremballage (surpackaging) (Ghali, 2017).

I. 4.3 L'emballage tertiaire ou « packaging logistique

L'emballage tertiaire permet de transporter les produits en magasins ou chez le distributeur. Il permet une distribution efficace des produits, et en réduisant l'impact environnemental des déchets et la détérioration des produits. La figure suivante montre la classification des emballages (Virginillo M. 2011).

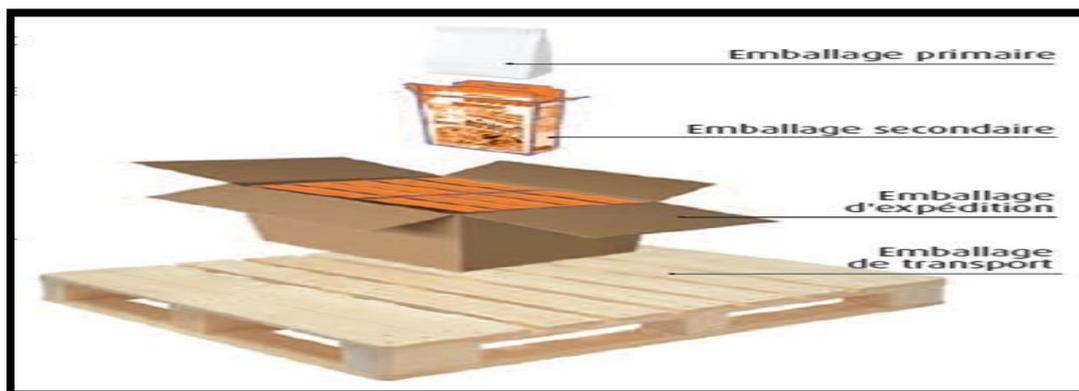


Figure I.5:classification des emballages (Ctac ,2010)

I.5 Les fonctions de l'emballage

Tous les emballages répondent à des fonctions précises qui n'ont guère varié dans leur principe, mais qui connaissent une importance croissante dans notre vie quotidienne :

- ❖ **Une fonction de contenant** : l'emballage est avant tout un récipient, associé à des servitudes métrologiques réglementaires (obligation de l'indication exacte de la masse ou du volume contenu) ;
- ❖ **une fonction de présentation**, visant à retenir l'attention et à séduire l'acheteur dans le linéaire de distribution (c'est la fonction qui intéresse les services « marketing »).
- ❖ **Une fonction d'information**, par l'étiquetage, de plus en plus importante, associée à des servitudes réglementaires quant aux types d'informations et à la loyauté des renseignements donnés.
- ❖ **Une fonction de service**, dans la mesure où l'emballage apporte un service spécifique: flacon pulvérisateur, flacon saupoudreur, boîte auto –chauffante, etc. la notion de service s'étend également à la commodité d'emploi, notamment à la facilité d'ouverture sans outils particulier. On pourrait inclure dans cette fonction de service une fonction de réutilisation, de nombreux emballages connaissant un second usage, parfois imprévu; réutilisation parfois utilisée comme argument de vente (on pense au verre à moutarde, par exemple).
- ❖ **Une fonction de sécurité alimentaire**: protection vis-à-vis d'une contamination ou d'une population délictueuse (fraude, vol par substitutions, malveillance, etc.).
- ❖ **Une fonction de protection physique vis-à-vis des chocs mécaniques** (manutention, palettisation, transport), des variations de température (emballages isothermes) de la lumière (matériaux filtrant les UV par exemple).
- ❖ **Une fonction d'auxiliaire technologique de conservation et de protection de la qualité du produit alimentaire** contre les agents extérieurs d'altération physico-chimique et biochimique des aliments associée à une obligation d'innocuité toxicologique et d'inertie chimique des matériaux constituant l'emballage vis –à-vis de son contenu (problème des transferts) (**Multon J-L, 1998**).

I.6 La classification des emballages par matériaux

La diversité des matériaux utilisés pour fabriquer les emballages a conduit les professions correspondantes à une diversité d'appellation des produits finis: (**Pothen, 2013**).

- **emballages en verre**, tels que : bouteilles, flacons, bocaux, pots, bonbonnes;
- **emballages en papier**, tels que : feuilles, sacs, sachets;
- **emballages en carton compact ou carton plat**, tels que : boîtes pliantes, étuis
- **emballages en carton ondulé**, tels que : caisses, boîtes, bacs, plateaux, cagettes, palettes, présentoirs;
- **emballages en acier**, tels que : boîtes-boissons, boîtes de conserve, boîtiers pour aérosols, seaux, bidons, pots, fûts, barils;
- **emballages en aluminium**, tels que : boîtes-boissons, boîtes de conserve, coupelles, tubes, capsules, aérosols, barquettes, bidons;
- **emballages en bois**, tels que : caisses, cageots, plateaux, tonneaux, palettes, caissettes, boîtes à fromage;
- **emballages en matières plastiques rigides**, tels que : bouteilles, flacons, boîtiers, barquettes, caisses, bidons, fûts, casiers, tubes;
- **emballages en matières plastiques souples**, tels que : sacs, sachets, films, poches;
- **emballages complexes ou multicouches souples ou rigides**, tels que : briques, flacons, pots
- **emballages associant des matériaux multiples**, tels que : caisses outres, boîtes composites
- **emballages en matériaux divers** (textiles, tissus, cuirs...).

I.7 Rôles de l'emballage alimentaire

I.7.1 Rôle technique

Les emballages ont pour rôle de contenir le produit, de le préserver de toute contamination, de permettre son transport, sa distribution, son stockage, son utilisation et enfin sa disposition finale. Ils contribuent à protéger la qualité du contenu d'un point de vue hygiénique,

nutritionnelle, sensorielle, organoleptique, technologique et s'assure donc que notre emballage soit conforme aux standards établis (**Mathlouthi M, 2008**).

I.7.2 Rôle marketing

Dans un marché de plus en plus compétitif où l'emballage est devenu l'outil de communication le plus stratégique pour tous les produits de consommation courante.

Premier contact avec le consommateur, voire souvent le design d'emballage il est un véritable défi de communication.

Même le meilleur produit bénéficiant du meilleur conditionnement peut se voir ignorer si:

- Il n'attire pas l'attention
- Il ne communique pas le bon message
- Le positionnement des différents éléments de communication transmettent une multitude de messages pouvant être positifs ou négatifs à l'image souhaitée.

Parmi les critères d'évaluation de l'emballage, nous citons :

- ✓ Visibilité : le produit capte l'attention des yeux
- ✓ Attirance : Le produit suscite l'intérêt il est désirable
- ✓ Lisibilité : La lecture, les communications elles sont faciles
- ✓ Personnalité : L'emballage donne une idée juste et complète du produit
- ✓ Différenciation: Le produit permet de se distinguer des produits concurrents (**Mathlouthi M, 2008**).

I.7.3 Rôle de conservation

Les aliments sont des produits périssables, sous l'influence du temps et de l'environnement; la conservation implique habituellement d'empêcher le développement des bactéries, champignons et autres microorganismes, de retarder l'oxydation des graisses qui provoque le rancissement (**Mathlouthi M, 2008**).

Contrôler ces niveaux de dégradations permet d'obtenir une durée de vie relativement plus longue.

Un emballage barrière empêche ou ralentit la perméabilité d'une composante volatile ou gazeuse (exemple : barrière à l'oxygène, à l'humidité, aux arômes, etc.).

I.8 Les emballages en plastique

I.8.1 Définition

La matière plastique est un composé macromoléculaire organique obtenu par polymérisation, polycondensation, polyaddition à partir d'une molécule de poids moléculaire inférieure, ou par une modification chimique de macromolécules naturelles, d'autres substances ou autres matières peuvent être ajoutées à ce composé macromoléculaire (**Lefaux R. 1986**).

I.8.2 Les différentes familles de plastique

Il existe trois grandes familles de plastique : Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. Elles ont toutes trois des propriétés Différentes.

➤ Les thermoplastiques

La plupart des polymères utilisés pour l'emballage alimentaire sont des matériaux Thermoplastiques constitués des chaînes linéaires qui peuvent avoir des ramifications plus ou moins longues. Cette famille de polymères thermoplastiques regroupe les polyoléfines, le polystyrène, les polyamides et les polymères acryliques et vinyliques.

Ils ont la propriété d'être malléables lorsqu'on les chauffe, Une fois refroidis, ce sont des plastiques durs. Les thermoplastiques conservent leurs propriétés. Ils sont réversibles et facilement recyclables. Dans les thermoplastiques, il existe entre autre : Polycarbonate (utilisé pour les fours à micro-ondes), PVC (utilisé pour l'isolation, et les contours de fenêtres), Polyéthylène (utilisé pour les sacs plastiques). (**Oussama. Z, 2008**)

➤ **Le thermodurcissable**

C'est un polymère ne pouvant être mis en œuvre qu'une seule fois. Il est insoluble et une fois durci, on ne peut pas changer sa forme. C'est une résine utilisée dans l'industrie, qui, après polymérisation (montée en chaleur) ne reviendra pas à son état initial (liquide ou pâteux). Quelques exemples : le polyamide (circuits imprimés), le Polyester insaturé (fibres textiles).

➤ **Les élastomères**

Ils ont les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc c'est-à-dire qu'ils supportent de très grandes déformations avant rupture. Ils ont une contrainte : ils peuvent se déformer. Ils ont une bonne élasticité, grâce à la vulcanisation qui consiste à cuire avec différents agents chimiques les molécules pour les rendre flexibles.

Les élastomères les plus utilisés sont :

- le caoutchouc naturel issu du latex
- . - le poly isoprène synthétique
- le polybutadiène
- le styrène-butadiène

Grâce aux propriétés des différents plastiques, la diversité des demandes de l'utilisateur est satisfaite. Ces trois grandes familles regroupent donc une multitude de plastiques différents selon les caractéristiques attendues. (**Dumaine E et al, 2011.**)

I.8.3 Types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires

Les principaux matériaux plastiques utilisés pour le contact alimentaire sont constitués majoritairement de polymères semi-cristallins, les polyoléfines et le PET. Le polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP) qui font partie de la famille des polyoléfines entrent principalement dans la fabrication de films d'emballage, d'opercules, de bouchons et sont utilisés comme couche de scellage dans les matériaux multicouches. Le polychlorure de vinyle (PVC) est également utilisé pour les bouteilles d'huile, de vinaigre avec des additifs spécifiques

au contenant. Le polyéthylène téréphtalate (PET), contrairement au PVC, à une très faible perméabilité au CO₂. Il est donc employé dans la fabrication des bouteilles de boissons gazeuses. Il est largement utilisé pour les bouteilles d'eau minérale. Le polystyrène (PS), polymère totalement amorphe, est surtout utilisé dans les emballages de produits laitiers (yaourts, crème fraîche, desserts lactés). La figure suivante représente les types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires (Berlinet, 2006).



Figure I.6 : Types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires

(<http://www.lasantedanslassiette.com/dans-l-assiette/cuisine-saine/plastiques-alimentaires>)

Tableau I.2 : les différents plastiques et leurs utilisations les plus fréquentes dans l'industrie alimentaire (conseil TAC, 2010).

Sigle	Nom	Usage	Recyclage	Nocivité
	PET Polyéthylène Téréphtalate	Bouteilles transparentes d'eau, de boisson gazeuse, de jus de fruits, d'huile de cuisine Emballages jetables : barquette alimentaire, sac de cuisson, cosmétique, verres, jouets, ustensiles de cuisine...	Fibre polaire, peluche, bouteilles, etc.	Peut relarguer des perturbateurs endocriniens (le trioxyde d'antimoine, qui est possiblement cancérigène). Favorisée lorsqu'il est chauffé.
	HDPE Polyéthylène haute densité	Bouteilles opaques (lait), flacons d'entretien, bouchons vissés, flacons cosmétique et gel douche	Arrosoir, tuyaux etc.	/
	PVC Polychlorure de vinyle	Surtout jouets, tuyaux, rideaux de douche, couches Rarement alimentaire (viande, fromage, bouteilles vin blanc)	Tuyaux d'égouts	Relargue phtalates quand chauffé ou stockés en contact avec des corps gras
	LDPE Polyéthylène basse densité	Sac congélation, poches alimentaires, film alimentaires, barquettes	Sac poubelle	/
	PP Polypropylène	Certains gobelets, gourdes souples réutilisables, récipients alimentaires réutilisables, pots alimentaire (yaourt, margarine, beurre), ...	Souvent incinéré	/
	PS Polystyrène	Barquettes alimentaires à emporter, couverts et verres jetables, yaourts,	NON	Relargue du styrène (possiblement cancérigène)
	Autres (dont polycarbonate = PC)	PC : biberons, résines internes des boîtes de conserve, récipient pour micro-ondes	NON	PC contient bisphénol A

I.8.4 Constitution des matières plastiques

La matière plastique utilisée par les industrielles sous plusieurs nuances et noms elle est constituée principalement d'un polymère, un adjuvant et un additif. Ces différents composés sont introduits dans le polymère de base pour améliorer les propriétés mécanique, physiques, chimiques et thermique (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement, résistance aux hydrocarbures). Les polymères sont mélangés avec d'autres substances (additifs) afin de générer des plastiques avec les propriétés souhaitées. Par exemple, des charges minérales ou des fibres qui servent à renforcer la structure. (American Chemistry Council, 2017)

I.8.4.1 Réactifs et produits de polymérisation

- **Les monomères :** sont utilisés dans la synthèse des polymères. Des traces de monomères et d'oligomères peuvent subsister à la fin de la synthèse, et être retenus dans la matrice où ils sont généralement très solubles. Ils ont un potentiel de migration important, leur masse moléculaire

étant souvent faible. Dans certains cas, des monomères seront néoformés par dégradation lors de la mise en œuvre du polymère.

- **Des catalyseurs ou des amorceurs** : sont également utilisés pour augmenter les rendements et les cinétiques de polymérisation. Ces substances à base de métaux et/ou de substances organiques sont susceptibles d'être présentes dans l'emballage.

- **produit de polymérisation** : des petites molécules peuvent être obtenues comme sous-produits de réaction. Ces derniers sont bien entendu toxiques et les industriels cherchent à l'éliminer par différents procédés (**Hammami T, et, (2016)**).

I.8.4.2 Additifs ajoutés aux polymères

Ces composés sont ajoutés aux polymères pour améliorer ou modifier leurs propriétés comme la stabilité, la souplesse, la teinte.....etc.

Les additifs sont des matières ajoutées à un polymère, modifient ses propriétés ou ses caractéristiques.

Deux principales classes d'additifs sont à prendre en compte : les stabilisants et les adjuvants technologiques.

a) Les stabilisants : Ces additifs permettent de conserver les propriétés physico-chimiques des polymères au cours du temps en réagissant à la place du polymère.

On distingue deux principaux types de stabilisants (**oussama Z. 2008.**)

- **Les antioxydants** : ces additifs permettent de protéger les polymères contre l'oxydation.

- **Les antilumières** : ces additifs absorbent la lumière à la place du polymère (directement ou par transfert de l'énergie absorbée par le polymère). Généralement, ces substances transforment l'énergie lumineuse en chaleur. (**Oussama Z. 2008.**)

b) Les adjuvants technologiques : Les adjuvants technologiques permettent de modifier les propriétés physiques et/ou chimiques des polymères. Il en existe une grande diversité, que l'on peut classer par leur mode d'action :

- **Les modificateurs de propriétés mécaniques**, qui rendent le polymère plus résistant aux sollicitations mécaniques (charges, renforts, antichoc, plastifiants... etc.).
- **Les additifs de mise en œuvre** (plastifiants, stabilisants, agents de nucléation, agents de réticulation... etc.).
- **Les modificateurs des propriétés de la surface du polymère** (antistatique, lubrifiants... etc.). les tableaux suivants présentent les additifs et adjuvants ajoutés dans le polymère (Oussama Z.2008).

Tableau I. 3 : Quelques additifs incorporés dans le polymère (Oussama Z. 2008.)

Types d'additifs	Fonction	Nature	Polymères les incorporants
Charges	Apporter une tenue thermique, chimique et réduire les coûts.	Talc, calcaire, farine de bois, cellulose.	PP, polyesters, PA
Plastifiants	Donner de la souplesse.	Phosphates, phtalates, adipates, stéarates, glycols	PVC souple
Stabilisants	Contre le vieillissement.	Sels de plombs, baryum, calcium, étain, stéarates, huiles de soja.	Vinyliques
Antioxydants	Contre l'oxydation.	Amines aromatiques, dérivés phénoliques.	PE, PP et styréniques
Colorants	Donner un aspect coloré.	Pigments minéraux, (oxyde de Cd, Cr, Fe, Ti) et organique (C) phtalocyanines, diazoïque.	Tous

Tableau I.4 : les différents types d'adjuvants ajoutés en faible proportion dans le polymère (Oussama, Z. 2008).

Types d'adjuvants	Fonctions	Nature	Polymères les incorporants
Réticulants	Modifier la structure.	Anhydrides phtaliques, polyamides aliphatiques, sels de zirconium, dérivés d'étain.	Polyesters, silicones, PEhd
Gonflants	Augmenter la structure cellulaire.	Azodiocarbonamides, CO ₂ , pentane, fluorocarbures	PSE
Solvants	Faciliter l'enduction	Toluène, xylène, phtalate de diméthyle, cyclohexane, éthanol.	PVC ? cellulosiques
Anti-UV	Retarder la dégradation photochimique.	Benzophénone, complexe organométallique.	Tous
Antistatique	Diminuer l'énergie électrostatique.	Alkylphénol, alkylsulfonate, dérivés aminés.	Styréniques, Vinyliques, oléfiniques.
Fongicides	Augmenter la résistance aux microorganismes.	Dérivés organiques d'étain, dérivés halogénés du phénol.	Vinyliques, polyesters
Lubrifiants	Faciliter le moulage.	Oléamine, acide palmitique,	PE, PP, vinyliques,

Chapitre II : les interactions emballage / aliment

II.1 Introduction

Plusieurs types d'interactions existent entre un emballage (contenant) et le produit emballé (contenu). L'inertie d'un emballage est rarement totale ce qui peut engendrer par exemple une altération des propriétés organoleptiques de l'aliment ou éventuellement un problème toxicologique. Ce contact contenant/contenu peut également influencer les propriétés mécaniques de l'emballage (oussama Z, 2008).

Les principaux types d'interaction contenant/contenu sont les suivants :

- **Des phénomènes de sorption** pour lesquels des constituants de l'aliment peuvent être absorbés par l'emballage. Ceci, d'une part, nuit à la qualité de l'aliment et, d'autre part, peut conduire à la détérioration de l'emballage. La sorption est souvent la première étape des processus de perméation (Chagnon, M.C , 2010).
- **Des phénomènes de perméation** qui caractérisent le transfert des substances volatiles au travers du matériau. Il peut y avoir soit une perte d'arôme de la part de l'aliment soit une contamination de l'aliment par les substances provenant de l'environnement (gaz, odeurs) ou de la paroi externe de l'emballage, ce qui peut avoir des effets négatifs tant sur le plan toxicologique qu'organoleptique (Chagnon, M.C , 2010).
- **Des phénomènes de migration**, c'est-à-dire, le transfert vers l'aliment des constituants du matériau d'emballage (additifs, monomères, composés néoformés...) la figure suivante représente les phénomènes de transfert de matière au travers d'un film. (Chagnon, M.C , 2010).

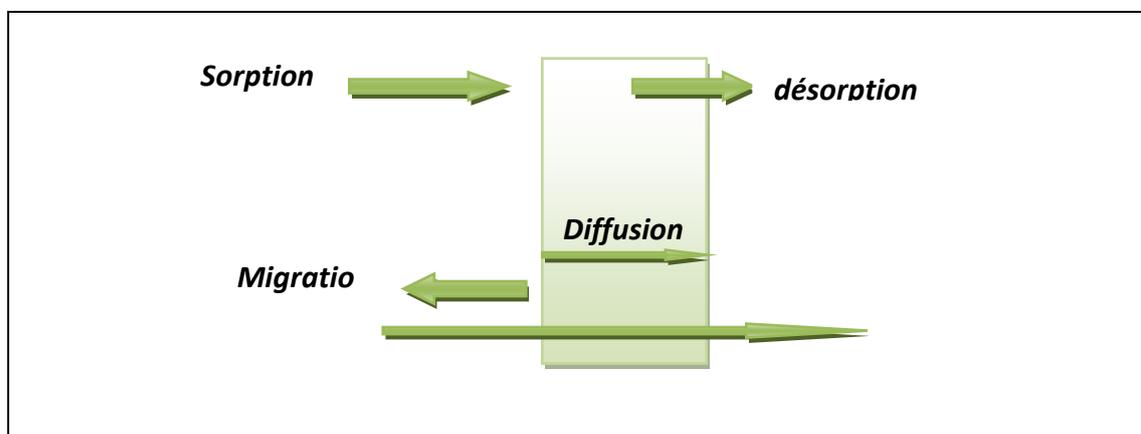


Figure II.1: Phénomènes de transfert de matière au travers d'un film (Aurélié, 2009).

Dans ce qui suit, la migration sera détaillée de façon plus importante que les autres interactions, car la migration est un phénomène susceptible de présenter un danger pour la santé humain.

II.2 Définition de la migration

Dans les interactions contenant - contenu, on appelle « migration » le passage de composants depuis l'emballage vers le produit.

Pour garantir la neutralité alimentaire d'un matériau susceptible de venir au contact d'un produit donné, il convient donc de connaître ces risques de migration en quantité et en qualité. En fait, législation sur les matières plastiques prévoit deux types de migration pour les substances autorisées. (Chagnon, M.C ,2010)

II.2.1 Les Types de migration

On distingue deux types de migration :

- **La migration globale (MG)**, qui donne des informations sur la masse de l'ensemble des substances qui migrent quelle que soit leur nature, on parle alors de migrat. Cette mesure représente un critère d'inertie (Severin et al, 2011).
- **La migration spécifique (MS)** qui, au contraire, s'efforce de qualifier et d'identifier chacun de ces éléments. La figure suivante schématise les deux types de migration (oussama Z, 2008).

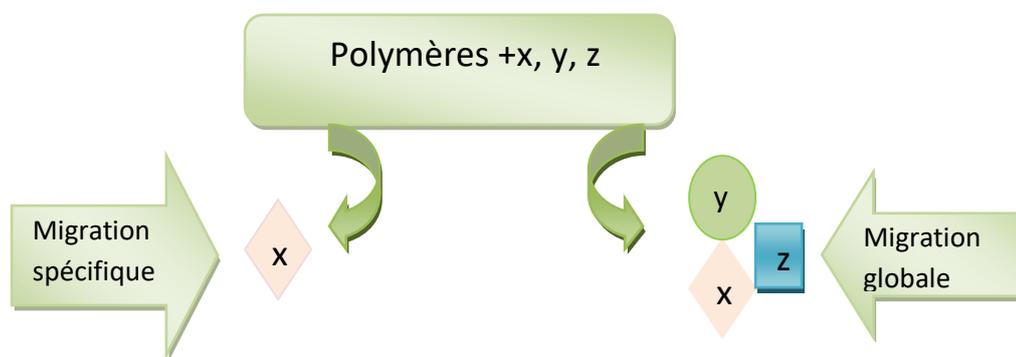


Figure II.2 : Migration spécifique et migration globale (Ducruet V, et al, 1992)

II .2.1 Limites de migration

Elles peuvent également définir, ou limiter, l'utilisation d'une matière, ainsi que sa qualité. Les limites de migration fixées pour certaines des substances correspondent à la

quantité admissible dans l'alimentation humaine, exprimée en mg/kg de denrée alimentaire ou en d'autres termes tels que la valeur PADI (Packaging Acceptable Daily Intake), la dose quotidienne admissible de matière de conditionnement. Ces valeurs tiennent compte des données toxicologiques et du mode de vie des individus (habitudes alimentaires, culinaires...).

Elles sont établies en fonction de la dose :

- Quotidienne de substance admissible par individu, exprimée en mg/kg corporel par jour ;
- Totale quotidienne de substance absorbée par individu, exprimée en mg/jour, et incluant les préparations des aliments, les additifs alimentaires, plus les éléments naturels des matières premières (**Kozłowski, 2012**).

Quatre limites sont définies dans les textes réglementaires Européens :

❖ Les limites de migration globale (LMG) :

La migration globale est le premier critère pour évaluer l'inertie de l'emballage alimentaire. Elle est définie comme la masse totale cédée par l'emballage à l'aliment à son contact, appelé migrant. La LMG est fixée à 60 mg/kg d'aliment ou 10 mg/dm² de matériau pour des contenants de taille moyenne et elle est indépendante de la toxicité des migrants (**Bach C, 2011**).

❖ Les limites de migration spécifique (LMS) :

La migration spécifique est la masse totale d'un constituant connu et bien identifié qui migre de l'emballage vers l'aliment, on parle de migrant. La LMS est basée sur des critères toxicologiques et peut s'exprimer en mg de migrant / kg d'aliment ou bien en mg de migrant/dm² de matériau. Cette limite est liée à la dose journalière tolérable (DJT), calculée selon la relation: $LMS \text{ (mg/kg aliment)} = 60 \times DJT \text{ (mg/kg poids corporel/jour)}$ ou $LMS \text{ (mg/kg)} = 6 \times LMS \text{ (mg/dm}^2\text{)}$ ou $LMS \text{ (mg/dm}^2\text{)} = 10 DJT$ (**Bach C, 2011**).

❖ La concentration maximale dans le matériau d'emballage (QM) :

C'est la quantité maximale autorisée de substance (dose maximale d'emploi) dans le matériau pour lequel on ne tolère aucune migration détectable dans l'aliment. Cette restriction est employée pour des substances avec des doses tolérables très basses. C'est le résultat d'une

combinaison entre des impératifs sanitaires, des critères toxicologiques et des limites analytiques (**Bach C, 2011**).

❖ La concentration maximale par unité d'emballage (QMA) :

Cette restriction est la quantité maximale par unité d'aire d'emballage, employée lorsque la migration est inférieure à 0,05 mg/kg. C'est le cas des substances employées en très faibles quantités, dont la migration est faible et lorsque sa totalité reste acceptable (**Bach C, 2011**).

II.3 Sources de contamination de l'aliment

Elles sont au nombre de trois :

- La première source de contamination est due à l'emballage et en particulier aux additifs ajoutés au polymère en vue d'améliorer sa qualité, de le stabiliser, de le rendre plus souple, ou encore de le teinter. Des monomères peuvent aussi être transférés à l'aliment ; ce phénomène de migration peut avoir des conséquences tant sur le plan organoleptique que toxicologique.
- La deuxième source est due à l'aliment lui-même. En effet, certains de ses constituants sont susceptibles d'être transférés à l'emballage et d'en modifier la structure, activant ainsi la migration du contenant vers le contenu. C'est le cas des aliments gras pour lesquels les interactions avec l'emballage augmentent avec le temps, la chaleur et leur richesse en matières grasses. C'est aussi le cas des arômes, molécules volatiles dont la fuite, dans ou au travers de l'emballage entraîne une baisse de la qualité organoleptique (arôme et goût) du produit.
- La troisième source est une contamination par l'environnement ; les odeurs résiduelles d'un lieu de stockage, les constituants d'encres de la paroi externe de l'emballage peuvent traverser le contenant et venir altérer l'aliment, tant au niveau organoleptique que toxicologique (**Riquet A-M, 1998**).

II.4 Migrants potentiels

Toute substance présente dans un matériau d'emballage peut migrer vers l'aliment. Cependant, seuls les migrants potentiels de masse molaire inférieure à 1000 g/mol sont susceptibles de poser un risque sanitaire. En effet, le Comité Scientifique de l'Alimentation Humaine (CSAH) a estimé que les molécules de masse supérieure sont peu assimilées par le tractus gastro-intestinal (**Feigenbaum A, 1993**).

Une classification des migrants potentiels en trois catégories facilite l'évaluation du risque sanitaire :

- Les réactifs et produits de polymérisation.
- Les additifs des polymères.
- Les migrants qui n'appartiennent à aucune des catégories précédentes, et à caractères non prévisibles (**Pennarum P, 2001**).

II.4.1 Exemple des migrants d'emballage alimentaire

➤ Phtalates

Les phtalates sont un groupe de produits chimiques dérivés (sel ou esters) de l'acide phtalique et sont couramment utilisés comme plastifiants des matières plastiques.

Les phtalates ressemblent à l'huile végétale pure, ont peu ou pas d'odeur et confèrent des caractéristiques appréciables aux différents produits de consommation et dans la construction : flexibilité, durabilité, longévité et moins cher.

On retrouve des phtalates dans plusieurs produits de consommation courante, tels les revêtements de sol en vinyle, les huiles lubrifiantes, les solvants, les produits pharmaceutiques, et les produits cosmétiques. L'usage des phtalates comme plastifiant représente une autre des applications très courantes de ces produits. Et la structure chimique du phtalate est montrée dans la figure suivante (**Saint-Laurin et Rhainds, 2004**).

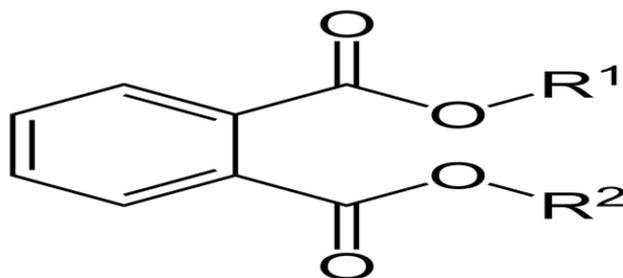


Figure II.3 : Structure chimique du phtalate.

II.4.2 Migration des phtalates

C'est le passage dans des denrées alimentaires (lait et produits laitiers par exemple) de composants provenant de l'emballage. Pour pouvoir assurer la sécurité des produits, il est important de contrôler la migration des matériaux utilisés pour l'emballage (Figure 3). Les phtalates une fois polymérisées, ces molécules sont restées à l'intérieur du matériau, sauf que, sous l'action de la chaleur par exemple, elles migrent dans les aliments. Même si des seuils de migration sont fixés par la réglementation européenne et respectés par les industriels, on peut se demander si la multi-exposition à ces molécules ne nous met pas en danger. La figure suivante montre les échanges de matière entre les matériaux et leur environnement

(Endrizzi A, et al, 2009).

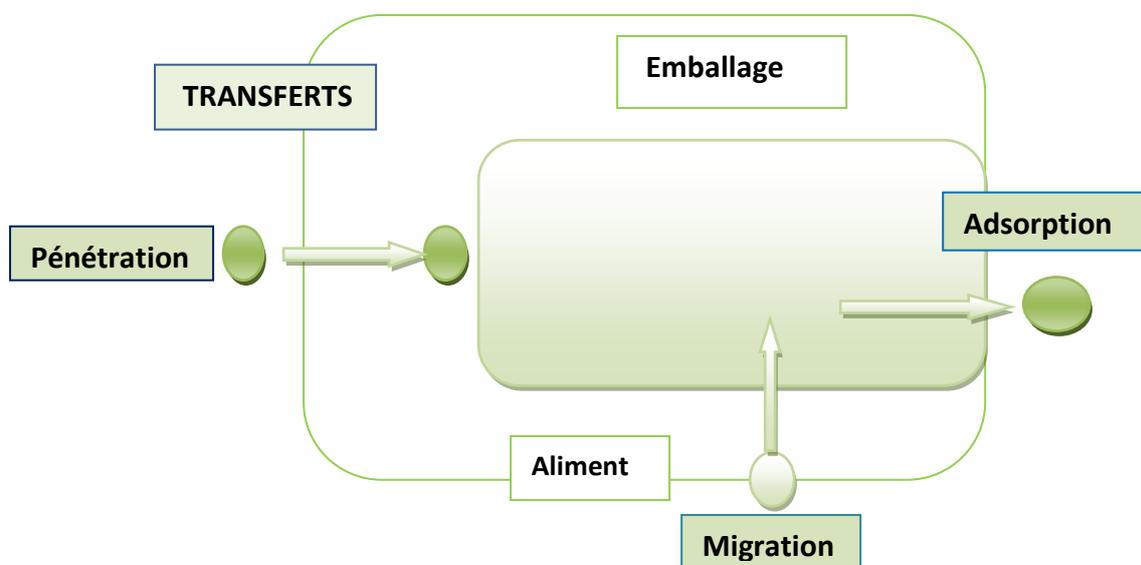


Figure II.4: Échanges de matières entre les matériaux et leur environnement (Endrizzi A, et al, 2009).

II.4.3 Les effets néfastes sur la santé

- Problèmes de fertilité masculine.
- Cancers.
- Diminution de la mobilité des spermatozoïdes.
- Altération du niveau d'hormones chez l'homme.
- Diminution de la distance urogénitale chez les nouveau-nés mâles.

- Toxique pour le cerveau et le système nerveux.
- Altération du fonctionnement de la thyroïde.
- Augmente la résistance à l'insuline.
- Favorise la prise de poids au niveau abdominal.
- Toxique pour le système respiratoire.
- Mutagène pour l'ADN.
- Amène une puberté précoce chez les jeunes filles.
- Accouchement prématuré.

II.5 Les additifs

Les additifs sont la source la plus importante de migrants potentiels en générant des néoformés parce qu'ils ne sont pas liés chimiquement à la chaîne polymérique. (Cristina B, 2012).

II.5.1 La migration d'adjuvants

La perte d'adjuvants résulte de la migration de ces derniers hors des matériaux. Dans tous les cas, le départ de l'adjuvant se traduit par la perte des propriétés qu'il était censé apporter au polymère.

On peut distinguer trois mécanismes principaux : (Azzi N, 2017).

a) Évaporation : Les molécules du plastifiant se trouvant à la surface peuvent donc passer dans l'atmosphère, d'où l'existence d'un gradient de concentration dans l'épaisseur du matériau. La capacité d'évaporation du plastifiant est directement liée au poids moléculaire de ce dernier.

b) Extraction : Les phénomènes d'extraction sont à prendre en compte dans le cas de contact entre un polymère et un milieu liquide.

c) L'exsudation : L'exsudation n'est autre que le résultat d'une évolution vers l'équilibre. Dans certains cas, le mélange (polymère + adjuvant) peut être déstabilisé par

un tiers corps provenant de l'environnement. Les principaux mécanismes physiques de perte d'adjuvants sont schématisés sur la figure suivante

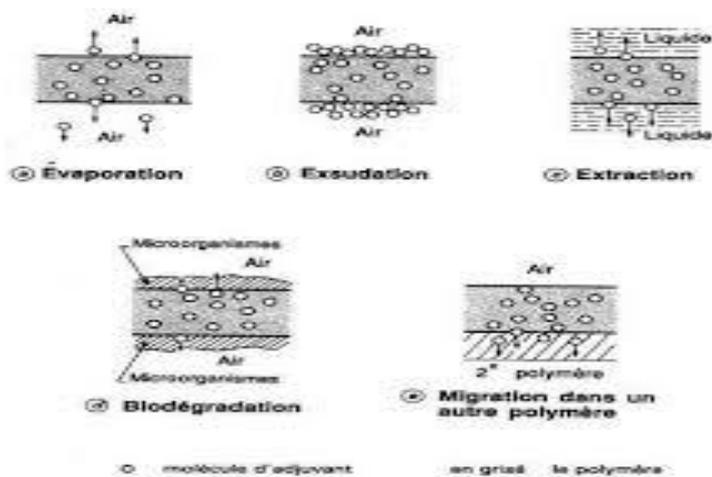


Figure II.5 : Schématisation des différents mécanismes de perte d'adjuvants (Azzi N, 2017)

II.5.2 Paramètres influençant les migrations d'additifs

Ils sont regroupés comme suit : (Boussoum M-O, 2012).

II.5.2.1 Les conditions de contact et de conservation : La migration augmente avec la durée, l'agitation et la température de stockage. Elle est aussi fonction de la surface et de l'épaisseur

du matériau au contact de l'aliment, mais il existe aussi des matériaux très fins susceptibles de transférer des additifs.

II.5.2.2 La nature de l'aliment emballé : Il existe des phénomènes d'affinité entre le migrant et le produit emballé ; comme la plupart des monomères et des adjuvants sont lipophiles, le migrant migrera mieux dans un milieu gras que dans un milieu aqueux.

II.5.2.3 La nature du matériau d'emballage : Certains additifs ont plus ou moins d'affinité pour le milieu au contact. Prenons l'exemple du PVC rigide : pour améliorer sa souplesse, les fabricants lui ajoutent généralement des huiles minérales (hydrocarbures d'origine minérale). Plus la concentration d'huile augmente, plus la migration est importante.

II.5.3 Conséquences de la migration des additifs

Le transfert de masse (migration) du matériau de l'emballage vers l'aliment peut avoir des conséquences négatives et positives :

- La migration de substances toxiques de l'emballage vers l'aliment présente un risque sérieux de sécurité de l'aliment (**KATAN L-L , 1996**).
- la migration de substances particulières pourrait induire des détériorations sensorielles de l'aliment (**LINSSEN J-P, et al, 1991**).
- la migration d'additifs particuliers vers les aliments tels que les antioxydants et les agents antimicrobiens, pourrait améliorer la durée de conservation du produit et en même temps minimaliser l'usage direct de ces additifs dans la fabrication de l'aliment (**WENG Y-M, et al, 1999**).
- Une meilleure compréhension de la migration dans les plastiques est donc importante non seulement pour parer aux dangers que peut générer une migration de produits toxiques mais aussi trouver des applications pratiques bénéfiques à ce phénomène tel que le contrôle de la libération de produits pharmaceutiques à travers les polymères (**BRYDSON J- A, 1995**).

II.6 Les colorants

Les colorants, qui peuvent être des teintures ou des pigments, sont ajoutés aux plastiques pour en rehausser les qualités esthétiques avec des quantités relativement faible : 0.1% à 5% au maximum. Beaucoup sont nocifs. Le risque apparaît essentiellement au moment de l'incorporation où les produits purs sont manipulés. La revue bibliographique ne permet pas de préciser la toxicité de tous les pigments et colorants (**Kouame, 2004**).

II.6.1 Les principales classes de colorants

Les colorants utilisés dans les plastiques entrent dans deux catégories très larges: les pigments et les colorants. Les pigments sont définis comme des colorants qui ne se dissolvent pas dans la matrice plastique d'intérêt, tandis que les colorants se dissolvent pendant leur application. (**Harris, 1999**).

II.6.2 Migration de la matière colorante

L'emploi de matières colorantes dans les matériaux destinés au contact avec les denrées alimentaires est prévu dans les réglementations des différents pays sous certaines conditions. Entre ces conditions la plus importante et qui est reprise dans toutes les lois ou recommandations est la non migration dans les denrées alimentaires au contact.

Par exemple, pour les matières plastiques les réglementations italienne et française prévoient des critères de pureté de la matière colorante elle-même qui ne doit dépasser des teneurs fixes de métaux lourds et d'amines aromatiques selon le Tableau suivant (**Garlanda T, 1972**).

Tableau II.1: Critères de pureté de pigments et colorants (**Garlanda T, 1972**).

Pb	0.01% total
As	0.05% total
Hg	0.005% soluble dans HCl N/10
Cd	0.2% soluble dans HCl N/10 (France 0.1%)
Zn	0.2% soluble dans HCl N/10
Se	0.01% soluble dans HCl N/10
Ba	0.01% soluble dans HCl N/10
Amine aromatique	0.05%

II.7 Evaluation de la migration

II.7.1. Les tests de migration

La directive 82/711/CEE, modifiée par les directives 85/572 puis 97/48/CEE précise les conditions dans lesquelles les tests de migration doivent être effectués. Pour cela, des liquides simulant les principales catégories d'aliments sont définis et les conditions de tests (temps de contact et températures) sont normalisées (**Pennarun P-Y, 2001**).

a) Les milieux simulateurs

Les aliments ont une composition complexe qui rend difficile la détermination de la migration des substances chimiques de l'emballage vers le produit alimentaire. Ainsi la directive européenne propose de simuler la migration dans des solvants précis (**Kouame ,2004**). Le tableau suivant présente les différents simulateurs pour les tests de migration.

Tableau II.2: les types d'aliments et leur simulateur pour les tests de migration (97/48/CEE).

Types d'aliment	Simulateur d'aliment	Nom du simulateur
Aliments aqueux de pH>4.5	Eau distillée ou de qualité équivalente	A
Aliments acide de pH<4.5	Acide acétique à 3% (p/v) dans l'eau	B
Aliments alcoolisés	Ethanol à 10% (v/v) ou au titre réel si supérieur à 10%	C
Aliments gras	Huile d'olive si la méthode analytique le permet. Sinon elle peut être remplacée par un mélange de triglycérides synthétiques (HB307, Myglyol) ou de l'huile de tournesol ou de maïs	D
Aliments secs	Poly(phénylène oxide)	Néant

b) Les conditions de contacts

Selon les conditions d'utilisation de matériaux entrant en contact avec les denrées alimentaires, La température et la durée du test de migration à prendre en considération sont définies dans les Tableaux suivants :

Tableau II.3: Durées des tests de migration en fonction des conditions d'utilisation de matériaux entrant en contact avec des denrées alimentaires (97/48/CEE).

Temps de contact réel	Durée de l'essai
$t \leq 0.5$ h	0.5h
0.5 h < $t \leq 1$ h	1h
1 h < $t \leq 2$ h	2h
2 h < $t \leq 24$ h	24h
$t > 24$ h	10j

Tableau II.4 : Durées et températures des tests de migration en fonction des conditions d'utilisation de matériaux entrant en contact avec des denrées alimentaires (97/48/CEE).

Température de contact	Température de teste
$T \leq 5^{\circ}\text{C}$	5°C
$5^{\circ}\text{C} < T \leq 20^{\circ}\text{C}$	20°C
$20^{\circ}\text{C} < T \leq 40^{\circ}\text{C}$	40°C
$40^{\circ}\text{C} < T \leq 70^{\circ}\text{C}$	70°C
$70^{\circ}\text{C} < T \leq 100^{\circ}\text{C}$	100°C
$100^{\circ}\text{C} < T \leq 121^{\circ}\text{C}$	121°C
$121^{\circ}\text{C} < T \leq 130^{\circ}\text{C}$	130°C
$130^{\circ}\text{C} < T \leq 150^{\circ}\text{C}$	150°C
$T > 150^{\circ}\text{C}$	175°C

II.8 Cadre réglementaire sur les matériaux a entré en contact avec les denrées alimentaires

La réglementation actuelle doit garantir une protection de la santé publique et assurer les intérêts du consommateur en ce qui concerne la mise sur le marché des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les aliments (**Bach C, 2011**).

La réglementation des emballages s'intéresse en priorité au phénomène de migration, en imposant que l'emballage ne cède pas aux aliments des constituants, en quantité susceptible de présenter un danger à la santé humaine, et d'entraîner une modification inacceptable de la composition ou des caractères organoleptiques de ces denrées : C'est le principe d'inertie (règlement 1935/2004 du Parlement Européen et du Conseil, directive 2002/72/CE amendée en 2004). Ce règlement prend en considération tous les matériaux destinés ou susceptibles d'entrer au contact des aliments (**Berlinet C, 2006**).

La directive 2002/72/CE était associée à des textes de référence qui spécifient les dispositions pour la réalisation les essais de migration dans des simulants alimentaires. Ces textes de référence sont les suivants: (**Bach C, 2011**)

- **Directive 82/711/CE (modifiée par les directives 93/8/CEE puis 97/48/CE):**

Établit les conditions dans lesquelles les tests de migration doivent être réalisés (temps de contact et température).

- **Directive 97/48/CE qui modifié la directive 82/711/CE:**

précise que les essais de migration doivent toujours être réalisés selon les conditions de contact correspondantes au pire cas prévu pour les matériaux soumis à étude. Cette directive définit comment réaliser des essais de substitution et alternatifs, quand l'essai de migration n'est pas réalisable pour des raisons techniques liées à la méthode d'analyse.

- **Directive 85/572/CEE:**

précise la liste des simulants et indique comment faire le choix des simulants appropriés pour réaliser les essais de migration, en tenant en compte de la composition chimique des denrées alimentaires et aussi de leur état physique.

Chapitre III : Migration du bisphénol A

III.1 Introduction

Apparue au Canada en 2006, la polémique sur l'utilisation du bisphénol A dans les plastiques alimentaires s'est rapidement amplifiée en atteignant les États-Unis, l'Asie et plus récemment l'Europe. Le bisphénol A serait à l'origine de nombreux problèmes de santé constatés ces dernières années : stérilité, malformations génitales, cancers, hyperactivité (**Perez P et al, 1992**). Certains pays ont interdit son utilisation, d'autres sont encore hésitants. Il est connu de façon certaine comme appartenant à la composition du plastique utilisé pour les emballages alimentaires : biberons, canettes et autres boîtes de conservation des aliments.

Parmi les bisphénols, le bisphénol A (BPA) classé reprotoxique de catégorie 3 des substances toxiques pour la reproduction est le plus connu.

Le bisphénol A (BPA) est une substance chimique de synthèse retrouvée dans les revêtements de différents récipients à usage alimentaire (boîtes de conserve, canettes, bouteilles plastique ou biberons, par exemple). Par chauffage au four à micro-ondes ou dans un lave-vaisselle, le BPA est libéré et peut migrer dans l'aliment placé au contact de l'emballage (**Anger J-P et al, 2001**).

Dans ce chapitre nous allons étudier le contrôle qualité de la migration du bisphénol A des emballages plastiques alimentaire.

III.2 Qu'est-ce-que le bisphénol A ?

Le bisphénol A (BPA), est un composé chimique de synthèse œstrogène-mimétique mis au point par le chimiste russe Alexandre Dianin à la fin du 19ème siècle dans le but de limiter les fausses couches spontanées. Il ne fut cependant jamais utilisé dans ce but et son usage fut détourné au profit de l'industrie plastique à partir des années 1960. La figure suivante représente la structure chimique du bisphénol A.

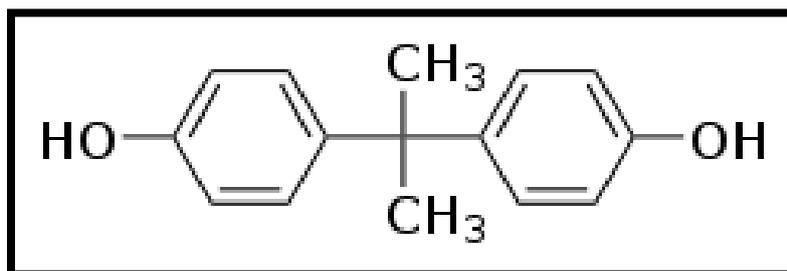


Figure III. 1 : Structure chimique du bisphénol A (**Anger J-P., Kintz P , 2011**).

Le BPA, de formule chimique C₁₅H₁₆O₂, est issu de la condensation de deux phénols avec l'acétone. A température ambiante, le BPA se présente sous la forme d'un solide blanc en poudre, écailles ou cristaux, de masse molaire 228,29 g/mol, de faible odeur phénolique, et peu soluble dans l'eau (Carme L, 2016).

Dans le tableau suivant on trouve les caractéristiques physico-chimiques de BPA.

Tableau III -1 Caractéristiques physico-chimique de BPA (Determe G, 2016)

Paramètres	Valeurs
Formule moléculaire	C ₁₅ H ₁₆ O ₂
Masse moléculaire	228,28 g/mol
Nomenclature IUPAC	2,2-bis (4-hydroxyphényl) propane
Solubilité dans l'eau (à 25 °C)	Solubilité dans l'eau (à 25 °C)
Point de fusion	156-157 °C
Point d'ébullition (à 101,3 kPa)	360 °C
Pression de vapeur (à 25 °C)	4,12 10 ⁻⁹ hPa
Densité (à 25 °C)	1,2 g/cm ³
Constante d'acidité/basicité (pKa)	9,59, 10,2

III.3 Utilisation du bisphénol A

Depuis plus de 50 ans, le BPA est utilisé couramment dans la production de plastiques de type polycarbonate et de résines époxydes.

Les polycarbonates sont largement utilisés dans l'industrie du plastique pour la fabrication d'un très grand nombre d'objets courants dont des contenants alimentaire de type bonbonnes d'eau réutilisables, biberons, vaisselle, mais également lunettes, Compact Disc,...

Les résines époxydes sont quant à elles principalement utilisées pour réaliser le revêtement intérieur des canettes, des boîtes de conserves ou des amalgames dentaires, afin de protéger de l'oxydation les équipements et les objets qu'elles recouvrent.

Le BPA est également utilisé comme révélateur dans les papiers thermiques, ce qui implique donc que l'on en retrouve par exemple dans les tickets de caisse (Carme L, 2016).

Au niveau européen, la production annuelle de BPA s'élevait à 1,6 millions de tonnes en 2005. Cette production a tendance à augmenter chaque année, avec une augmentation annuelle de 10 % entre 2003 et 2006, principalement du fait de la forte demande en polycarbonates (Carme L, 2016). La figure suivante représente des différents emballages contenant BPA.



Figure III.2 : photo représentative des différents emballages contenant BPA (<https://santecool.net/le-bisphenol-a-reconnu-pour-ses-proprietes-de-perturbation-endocrinienne>)

III.4 Sources d'exposition au bisphénol A

Selon les agences de sécurité sanitaires internationales la principale source d'exposition de la population générale serait alimentaire. Elle résulterait du passage du BPA dans l'aliment ou la boisson à partir des polymères en plastiques et résines époxy utilisés pour les emballer ou les contenir. Les autres sources de contamination, telles que la manipulation

de papiers thermosensibles ou l'inhalation de poussières contaminées par le BPA, sont estimées négligeables à ce jour en population générale.

La contamination à partir des aliments est faite soit par migration des polymères dans l'aliment, soit par libération du BPA par l'hydrolyse du polymère, en particulier au cours du chauffage, comme cela peut se produire pour les biberons en polycarbonate par exemple.

D'autres facteurs interviennent : l'exposition aux UV, le passage au lave vaisselle, le nettoyage avec des détergents puissants. Dans des conditions normales d'utilisation d'un biberon, cette migration est de quelques g/L d'eau ou de lait.

Chez les adultes, la consommation de boissons contenues dans des bouteilles en polycarbonates, d'aliments en conserve ou de denrées chauffées aux micro-ondes dans leur emballage plastique se traduit par des valeurs d'exposition moyennes voisines de 0,033 g/kg de poids corporel/jour. En plus des biberons, la contamination des nourrissons par le BPA se fait par le lait maternel lui-même ou le lait maternisé, entraînant 20 et 10 fois plus d'intoxications que ces mêmes biberons (Ait El Cadi M et al, 2012).

III.5 Effets toxiques de bisphénol A (BPA)

Les effets toxiques de cette substance chimique sur la santé humaine sont de plus en plus étudiés et sont au cœur d'une préoccupation sanitaire mondiale. Des études ont montré que le BPA est un perturbateur endocrinien qui peut modifier le fonctionnement naturel du système endocrinien humain. Ainsi, le BPA a une activité œstrogène agoniste et androgène antagoniste. D'autres études se sont intéressées à la cancérogénicité de ce produit, il a été montré qu'une exposition au BPA pouvait augmenter les risques de cancers, en particulier chez les individus à risques. Ces composés ont également des effets toxiques sur la reproduction (Rouchon T et al, 2012).

III.6 Données de biosurveillance de l'exposition humaine au bisphénol A

L'exposition externe des adultes au BPA est estimée à des valeurs comprises entre 0,01 et 0,40 µg/kg de poids corporel par jour en moyenne, avec une exposition maximale de 1,4 µg/kg. Chez le nouveau-né et le nourrisson jusqu'à 6 mois, l'exposition moyenne est de 0,3 µg/kg de poids corporel par jour, tandis que l'exposition des enfants de 6 à 36 mois diminue progressivement avec leur croissance pondérale. Les plus hautes valeurs d'exposition

ont été décrites chez des enfants de 0 à 6 mois nourris avec des biberons en polycarbonate, et atteignaient en moyenne 2,4 µg/kg par jour (Carme L, 2016).

III.7 Conseils pratiques pour éviter l'exposition au BPA

- Ne pas chauffer (en particulier aux micro-ondes) la nourriture ou les boissons dans des récipients en plastique contenant du BPA. Privilégier des contenants en silicone ou polypropylène. Utiliser plutôt des contenants en verre ou en céramique.
- Éviter de laver des bouteilles en polycarbonate avec des détergents puissants ou au lave-vaisselle. Ces agents contribuent à détruire les liaisons qui forment le plastique, libérant ainsi le bisphénol A. Lavez les plutôt à l'eau chaude savonneuse avec une éponge.
- Préférer les biberons en polypropylène et en silicone garantis 0 % bisphénol A.
- Éviter d'utiliser les préparations pour nourrisson offertes dans des boîtes de conserve dont la paroi est tapissée d'un revêtement époxydique au bisphénol A.
- Réduire votre consommation d'aliments et de boissons en conserve. Vous limiterez ainsi l'exposition des membres de votre famille au bisphénol A présent dans la paroi des contenants.
- Éviter aussi les conserves très acides (tomates, etc.) ou grasses (poisson dans l'huile, etc.), car le bisphénol A réagit au contact des acides et des lipides (d'intoxications que ces mêmes biberons (Ait El Cadi M et al, 2012).

III.8 Réglementation et législation sur BPA

- Le Canada fut le premiers pays à voter l'interdiction du BPA dans les biberons, en octobre 2008 ;
- La France interdit la commercialisation de biberons contenant du BPA en juin 2010 dans la Loi Grenelle 2 ;
- l'Union Européenne interdit la commercialisation de biberons contenant du BPA en novembre 2010 ;
- l'Union Européenne qui en interdit la fabrication, la vente et l'importation depuis juin 2011 ;

- Le règlement Européen 10/2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires autorise mais réglemente l'utilisation du BPA (Limite de migration spécifique, LMS = 0.6 mg/kg) ;
- Par mesure de précaution, la fabrication et la commercialisation des biberons contenant du bisphénol A sont interdites depuis janvier 2011 en Europe - Règlement d'exécution EU 321/2011 modifiant ce règlement 10/2011 ;
- En parallèle, une loi française (loi n°2012-1442) interdit son usage depuis janvier 2013 dans tous les contenants de produits alimentaires pour nourrissons et les enfants de moins de 3 ans ;
- Et à partir de janvier 2015, Cette interdiction a été étendue à tous les contenants alimentaires, conditionnement et ustensiles

(Rapport du Conseil fédéral de la Commission de la sécurité sociale et de la santé publique du Conseil national en date du 11 novembre 2011 Bénéfices et risques liés à l'utilisation du bisphénol A, suisse).

III.9 Etude réalisé sur la migration du BPA

III.9.1 Migration du BPA des matériaux plastiques vers l'aliment

Matériaux	Aliments	Méthodes	Niveaux de migration	Conclusion	Références
Bouteille en plastiques	Huiles de qualité alimentaires	extraction liquide- liquide.	0.5 – 4.37 µg/g	La quantité de migration de BPA et par conséquent la contamination de presque tous les échantillons testés dépassent la limite de migration spécifique LMS =0.6 µg/g	Nemati et al, (2018)

Biberon en pc	Jus de pomme	analyse directe	0.03 – 5.9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Dans les conditions normales il n'y a pas eu de migration du BPA de biberons en PC vers le jus et dans les conditions exagérés le PC subit une hydrolyse augmentant les concentrations de BPA et sa migration vers le jus de pomme	Biles et al, (1997)
Biberon en pc	Eau	méthode d'extraction en utilisant le méthanol et l'acétone	Flacons neufs : 0.11 - 0.34 $\mu\text{g}/\text{l}$ 51 jours d'utilisation : 3.7 - 17 $\mu\text{g}/\text{l}$ 169 jours d'utilisation : 2.5 - 15 $\mu\text{g}/\text{l}$	les résultats montre que même si avec une utilisation répétée de la bouteille aucun échantillon à exposer un niveau de migration qui dépasse la quantité tolérable.	Brede Et al, (2003)
Biberon en pc	Lait	Extraction avec méthylène, chlorure et hexane	Flacon neufs : - à 40°C : 0.03 $\mu\text{g}/\text{l}$ - à 95°C : 0.13 $\mu\text{g}/\text{l}$ 6 mois d'utilisation : - à 40°C : 0.18 $\mu\text{g}/\text{l}$ - à 95°C : 18.47 $\mu\text{g}/\text{l}$	la migration de BPA depuis un PC augmenté avec l'augmentation de la température.	Nam et al, (2010)

Bouteille d'eau en pc	Eau	/	<p>Pendant 60 jours</p> <ul style="list-style-type: none"> -à 4°C : non détecté -à 20°C : 0.001mg/kg -à 35°C : 0.003mg/kg 	<p>Ses résultats indiquent l'exposition du BPA par la consommation d'eau en bouteille serait extrêmement bas d'après eux la migration de BPA dans les bouteilles d'eau prendrait 1200 jours à 35°C pour atteindre la limite de migration spécifique établie par l'union européenne</p>	<p>Erdem et acar, (2012)</p>
Bouteilles d'eau	Eau	Extraction liquide- liquide (LLE) et dichlorométhane	<ul style="list-style-type: none"> - Eau en bouteille stockée a l'extérieure : 4.03 mg/l - eau en bouteille stockée à l'extérieur : 7.5 mg/l 	<p>Le long stockage d'eau en bouteille sous la lumière direct de soleil devrait être évité pour réduire le risque d'exposition humaine au BPA</p>	<p>Elobeid et al, (2011)</p>

Produits en bouteilles	- Coca cola - lait	la méthode micro-extraction liquide-liquide dispersive assisté par ultrasons (UA-DLLME)	- Boissons gazeuses : 5.3 – 78.9 mg/l. - lait : 0.8 à 8.4 mg/l	Le BPA était présent dans ces produits en bouteilles mais à niveau très bas il ne dépassait pas la valeur de LMS	Lv et al, (2014)
Emballage plastique	Conserve : Poisson en milieu aqueux, légumes, boissons, fruits pates, produits carnés	extraction liquide-liquide échantillon gras : un mélange de n-heptane et d'acetonitrile (1:1) Et non gras : acetonitrile	A 62°C : -37 échantillons niveaux de BPA <0.07 mg/kg -un échantillon : 0.38 mg/kg	Les niveaux de BPA identifiés dans cette étude ne sont pas susceptibles d'être préoccupants pour la santé, et il n'y a aucune raison pour que les consommateurs changent leur source de denrées alimentaires à la suite de ces résultats	Godsson, summerfield, and cooper (2002a)
Biberon en PP et PES	Préparation pour nourrissons	Extraction en phase solide	PES (40°C) : 13.80 mg/ml PES (80°C) : 23.20 mg/ml	Ils mettent en évidence le besoin de régularité et	Russo et al, (2018)

			PP (chauffage micro- onde a 40°C) : 102.18mg/ml PP (80°C) : niveau non détectable	surveillance précise de la libération de perturbateur endocrinien (BPA) même si la nature de la matière plastique ne permettrait pas leur libération.	
Les boites de conserves des fruits et légumes	Les fruits et légumes Conservés	La méthode de micro Extraction liquide-liquide dispersive (DLLME) en utilisant Tétrachlorethylen e comme solvant d'extraction et acetonitrile comme extrait	3.7 à 265.6 µg/kg	Les résultats indique que les légumes et les fruits en conserve présente la plus élevé valeur de BPA toute en dessous de la limite établie par l'union européenne	Cunha et fernandes (2013)

Les résultats de cette vaste revue littérature en ce qui concerne le niveau de migration déterminé dans différents types des matériaux plastique en contact avec aliments, indiquent que la majorité de ces études ont montré des échantillons positifs, aucune d'entre elle ne dépassaient la valeur limite de migration spécifique établie par l'union européenne au moment des études, mais il faut toujours faire des tests et des études expérimentaux puisque il y a toujours le risque de migration du BPA. (VILARINHO F , ET AL ,2019)

Conclusion

Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire nous avons fait une étude bibliographique sur les interactions contenant/contenu a montré qu'il existait principalement trois phénomènes de transport de masse : la migration, la perméabilité et la sorption. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la migration.

Les interactions peuvent avoir des conséquences néfastes sur le produit (altération des propriétés organoleptiques ou problèmes toxicologiques) et sur l'emballage (diminution des propriétés mécaniques).

Les phénomènes de transfert de masse aux interfaces emballage-aliment contribuent fortement aux propriétés de barrière et de sélectivité des emballages, ainsi qu'à la sécurité des aliments emballés. La migration des additifs, liée au contact des emballages en plastiques, donne lieu à des fractions très diverses qui peuvent affecter les propriétés mécaniques du polymère ainsi que la nature du milieu au contact.

L'étude des interactions entre les matériaux utilisés en agro-alimentaire lors de la fabrication, du stockage, de l'achat ou de la consommation d'un produit alimentaire nous montrent leurs véritables influences sur les qualités des aliments.

Comme nous avons pu le voir à travers notre document, les propriétés des matériaux jouent un grand rôle dans le développement des interactions d'un matériau au contact d'un aliment.

Les interactions, à la base considérées comme néfastes pour l'aliment, sont de plus en plus étudiées pour inverser la tendance. On voit apparaître de nouveaux matériaux qui utilisent ces interactions avec l'aliment afin de valoriser le produit. L'emballage actif en est la parfaite illustration. L'absence d'interaction conclure que ce type d'emballage assure la sécurité alimentaire de telle sorte que le consommateur ne soit pas en danger.

Le bisphénol A (BPA) est une substance chimique de synthèse retrouvée dans les revêtements de différents récipients à usage alimentaire (boîtes de conserve, canettes, bouteilles plastique ou biberons, par exemple). Le BPA est libéré et peut migrer dans l'aliment placé au contact de l'emballage. Bien qu'il possède une faible activité œstrogénique, le BPA est suspecté d'être un « perturbateur endocrinien ».

Conclusion

Une étude américaine menée et publiée en septembre 2008 révélait que le BPA serait à l'origine de nombreux problèmes de santé chez l'homme et suggérait pour la première fois l'existence d'un lien entre des taux urinaires élevés de BPA et l'augmentation de l'incidence de diverses maladies graves : pathologies cardiovasculaires, diabète, obésité, malformations génitales, cancers, etc .

L'emploi du BPA est autorisé dans les matériaux en contact avec les aliments au sein de l'Union européenne conformément à la directive 2004/19/CE avec une limite de migration spécifique (LMS) de 0,6 mg/kg d'aliment.

Dans l'attente de plus d'information sur ce domaine, quelques conseils demeurent essentiels et utiles pour mieux utiliser les plastiques alimentaires :

- n'utilisez les plastiques que pour l'usage pour lequel ils sont prévus.
- évitez d'employer des récipients en plastique abîmés.
- Evitez de conditionner les aliments gras ou acides dans des emballages plastiques car la nature de ces produits favorise la migration des molécules d'emballage vers le produit.
- Evitez de conditionner les aliments chauds ou très chauds dans des emballages plastiques car la chaleur favorise la migration des molécules d'emballage vers le produit.

Au future, il serait intéressant de faire une étude expérimentale bien détaillée, avec des méthodes d'extraction d'additifs à partir d'emballages ; pour mettre en évidence le phénomène de migration du bisphénol A, ainsi pour une meilleure évaluation des risques sanitaires liés à l'alimentation humaine.

Références bibliographiques

A

Adam M. (2013). Les nano-emballages, des risques environnementaux encore mal définis, thèse de doctorat, France.

Ait El cadi M., Bouslimane Y., El jaoudi R ., Bouklouze A et Cherrah Y.(2012). Bisphénol A: à nouveau risque, nouveau défi. nt médecine de la reproduction, gynécologie Endocrinologie; 1-5

Anger J-P., Kintz P. (2011). le bisohénoL A le prochain scandale sanitaire pourra- t- il etre évité. Ann toxicol Anal; 23(1): 1-5.

Atek D., Belhaneche N. (2005). Investigation of the specific migration of additives from rigid polymer J.41 ,707 -714 p.

Aurélié P-B.(2009). Interactions vin/emballage/environnement, thèse de doctorat, centre international d'études supérieures en sciences agronomique, Montpellier, France.

Azzi N. (2017). Effet du vieillissement thermique sur la rigidité diélectrique du polyméthacrylate de méthyl. these de doctorat , Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

B

Bach C. (2011). Evaluation de la migration des constituants de l'emballage en poly(éthylène téréphtalate) (PET) vers l'eau, des facteurs d'influence et du potentiel toxique des migrants, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL, France.

Berlinet C. (2006). Etude de l'influence de l'emballage et de la matrice sur la qualité du jus d'orange, thèse de doctorat, l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires (ENSIA), France.

Boudalia S., Berges R., Chabanet C., Folia M., Decocq L., et al. (2014). A multi-generational study on low-dose BPA exposure in Wistar rats: effects on maternal behavior, flavor intake and development. Neurotoxicol Teratol, 41: 16-26.

Boussoum M-O .(2012). Etude de méthodes de traitement pour diminuer la migration a partir des emballages en PVC, thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure polytechnique(ENP).

Brouillet et Fugit J.L. (2009). Solutions to reduce release behavior of plasticizer out of PVC made equipments binary blends of plasticizers and thermal treatment. 843-854p.

BRYDSON J-A. (1995). Plastics materials, 6th edition. Butterworth Heinemann, oxford .

Références bibliographiques

C

carne L. (2016). Variations interspécifiques de la liaison du bisphénol A et du bisphénol S aux protéines plasmatiques. These de doctorat, toulouse

chagnon, M-C.(2010). Evaluation et gestion des risques, Exemples des matériaux d'emballage à contact alimentaire, Institut français pour la nutrition, n°145, 1-8.

Chaudhry Q., Scotter M., Blackbur J., Ross B., Boxall A., Castle L et Watkins R. (2008). Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. Food Additives & Contaminants, part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 25(3): 241-258.

COLAK B-Y.(2014). Utilisation du caséinate de sodium pour la fabrication de films actifs pour l'emballage alimentaire : Etude des propriétés barrières aux gaz, de l'activité antimicrobienne et de la biodégradabilité.

Conseil TAC .(2010). Le guide de l'emballage alimentaire, conseil TAC.

Cristina B.(2012). Evaluation de la migration des constituants de l'emballage en poly(éthylène téréphtalate) (PET) vers l'eau, des facteurs d'influence et du potentiel toxique des migrants. These de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine.

D

Determe G.(2016). bisphénol A en odontologie. These de doctorat, toulouse.

Ducruet V., Riauet A-M et feigenbaum A. (1992). Les liquids stimulants le contact d'aliment grass avec les emblages alimentaires: interaction du pvc rigide avec des esters d'acide gras . Ann, Fals, N°936, Paris.

Dumaine E. et al .(2011).Les plastiques en débat .

DURAND C. (1996). Généralités sur la perméabilité aux arômes. Ind.Alim.Agr, N° 4, PP 211- 215.

E

Endrizzi A., Karbowski T., Debeaufort F., Chassagne D., Chagnon M.-C et Voilley A. (2009). Transferts de matière au travers des emballages au contact de produits alimentaires. Ind. Agro. Agri.: 11-16.

Références bibliographiques

F

Feigenbaum A., Riquet A-M., Ducruet V et Scholler D.(1993). Safety and quality of foodstuffs in contact with plastic materials: A structural approach, *Journal of Chemical Education* 70(11), 883-null.

G

Garlanda T.(1972). Migration des matières colorantes, *Ann. Inst. Super Sanità*, 8, 461.

Ghali S.(2017). Nanotechnologie et emballages alimentaires : enjeux, acteurs et impacts, mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science de l'environnement, Université du Québec à Montréal, Canada.

Gillet G. (2008). prévision de la conformité des matériaux d'emballage par interaction de méthodes de déformulation et de modélisation du coefficient de partage.

H

Hammami T., Louati H. (2016). Introduction et généralités sur les matières plastiques.

Harris R-M. (1999). Coloring technology for plastics, William Andrew.

K

KATAN L-L. (1996). Effects of migration. In "Migration from food contact materials". These de doctorat,, Blackie Academic and Professional, London .

Kouame Affouet E-F, (2004). étude de la migration des antioxydants phénoliques dans les boissons en sachet (Abidjan-cote d'ivoire).

L

Lefaux R. (1986). Les problems des matériaux en contact avec l'aliment. In *Toxicologie et sécurité des aliments*, DERACHE R. Ed. Tec et Doc. Lavoisier, Paris: 125-126.

LINSSEN J-P., JANSSENS J-L. (1991). Sensory Analysis of Polystyrene Packaging Material Taint in Cocoa Powder for Drinks and Chocolate Flakes, *Food Additives and Contaminants*: 8, 1-7.

Références bibliographiques

M

Marion G-V. (2016). le bisphénol a : des hépatocytes aux odontoblastes

Mathlouthi M. (2008). emballage et conservation des produits alimentaires, these de doctorat.

Multon J-L. (1998). L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation, collection sciences et techniques agroalimentaires, 2e édition technique et documentation.

N

Nemati M., Nofuwi S., Ahmadi S et Monajjemzadech F.(2018). Quality control of the migration on bisphénol a from plastic packaging into Iranian brands of food grade oils. Pharmaceutical sciences, 24: 141-147.

Ngoc G-T. (2015). Etude expérimentale et numérique de l'influence des interactions contenant/contenu sur le comportement élastoviscoplastique d'emballages en polyéthylène haute densité.

O

oussama Z. (2008). Contribution à l'étude et à la modélisation de l'influence des phénomènes de transferts de masse sur le comportement mécanique de flacons en polypropylene, these de doctorat, Université de Paris-Est.

P

Pennarun P-Y(2001). Migration à partir de bouteilles en PET recyclé. Elaboration et validation d'un modèle applicable aux barrières fonctionnelles, thèse de doctorat, Université de Reims Champagne Ardenne, France.

R

(Rapport du Conseil fédéral de la Commission de la sécurité sociale et de la santé publique du Conseil national en date du 11 novembre 2011 Bénéfices et risques liés à l'utilisation du bisphénol A, suisse).

Références bibliographiques

Rouchon T., Saury C et Strek L. (2012). Les plastiques alimentaires : quels risques pour notre santé département de génie génétique, France, N°28.

Riquet A-M. (1998). L'emballage alimentaire et sécurité du consommateur ,these de doctotrat , Paris.

Robinson D., Morrison M-J. (2010). Nanotechnologies for food packaging: Reporting the science and technology research rends Report for the ObservatoryNANO, Observatory NANO. 20 p.

Rocher E. (2008). Conditionnement et emballage, EYROLLES édition d'organisation.

Rouchon T., Saury C et Strek L. (2012). Les plastiques alimentaires : quels risques pour notre santé département de génie génétique, France, N°28.

S

Saint-laurent L., Rhainds M.(2004). Phtalates : état des connaissances sur la toxicité et l'exposition de la population générale. Communiqué toxicologique : toxicologie humaine. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels.Québec. Vol: 6.P: 1 - 2.

Severin I., Riquet A., Chagnon M. (2011). Évaluation et gestion des risques-Matériaux d'emballage à contact alimentaire. Cahiers de nutrition et de diététique : 60-66

Smolander M., Chaudhry Q. (2010). Nanotechnologies in Food Packaging: Nanotechnologies in Food. RSc Publishing, 86-101.

T

TRAN N-G. (2015). Etude expérimentale et numérique de l'influence des interactions contenant/contenu sur le comportement élastoviscoplastique d'emballages en polyéthylène haute densité

V

Vilarinho F., Sendon R., Van der kellen A., Vaz M.F et Sanches silvz A.(2019). Bisphénol a in food as a result of this migration from food packaging. Trend in food science & technology, 91 :33-65

Virginillo M. (2011). Méthode d'analyse du cycle de vie des emballages, these de doctorat, Université Laval, Québec, Canada.

WENG Y.M., CHEN M.J et CHEN W. (1999). Antimicrobial Food Packaging Materials from Poly (ethylene) co-methacrylic acid. Food Science and Technology: 32, 191-195.

Références numériques:

[1]: <http://www.ineltec.fr/fr/actualites-ineltec-france/item/114-emballages-intelligents>

[2]: <http://french.foilfoodpouches.com/supplier-337456-biodegradable-packaging-bags>

[3]: <http://www.lasantedanslassiette.com/dans-l-assiette/cuisine-saine/plastiques-alimentaires>.

[4]: <https://santecool.net/le-bisphenol-a-reconnu-pour-ses-proprietes-de-perturbation-endocrinienne>

[5]: <https://www.scoop.it/topic/emballage-sous-atmosphere-modifiee/?tag=analyseur+CO2>

Résumé

Le résultat obtenu de cette recherche bibliographique conclut que les phénomènes d'échange entre le produit alimentaire et son emballage sont la résultante des interactions existant entre la matrice, l'emballage et son environnement, entraînant des effets sur le produit et /ou l'emballage. Donc il faut également faire attention à l'emballage choisi, le principal rôle d'un emballage alimentaire est d'assurer la conservation intégrale des aliments en termes de qualité et d'hygiène, et ce, tout au long de la durée de vie du produit comprenant la production, la distribution, le stockage et la vente en rayons. BPA qui est utilisé dans la fabrication industrielle des plastiques. Selon les agences sanitaires internationales, la principale source d'exposition de la population générale est alimentaire. Elle résulte du passage du bisphénol A dans l'aliment ou la boisson. En effet, du BPA résiduel peut migrer des divers contenants alimentaires qui contiennent le polymère et contaminer la nourriture ou la boisson qui est contenue. Les effets toxiques de cette substance chimique sur la santé humaine sont de plus en plus étudiés et sont au cœur d'une préoccupation sanitaire mondiale. Des études ont montré que le BPA est un perturbateur endocrinien qui peut modifier le fonctionnement naturel du système endocrinien humain. Les résultats de cette vaste revue littéraire en ce qui concerne le niveau de migration déterminé dans différents types de matériaux plastiques en contact avec les aliments, indiquent que la majorité de ces études ont montré des échantillons positifs, aucune d'entre elles ne dépassait la valeur limite de migration spécifique établie par l'union européenne au moment des études. Même si la majorité des études ont montré qu'il n'y a pas vraiment de migration qui dépasse la limite spécifique mais quand même il faut faire des tests et des études expérimentales pour vérifier, parce que quelques études montrent qu'il y a toujours le risque de migration.

Abstract

The result obtained from this bibliographic research concluded that the exchange phenomena between the food product and its packaging are the result of the interactions existing between the matrix, the packaging and its environment, leading to effects on the product and / or the packaging. So we must also pay attention to the packaging chosen, the main role of food packaging is to ensure the full preservation of food in terms of quality and hygiene, and this, throughout the life of the product. Product comprising production, distribution, storage and sale on shelves. BPA which is used in the industrial manufacture of plastics. According to international health agencies, the main source of exposure for the general population is from food. It results from the passage of bisphenol A in food or drink. Indeed residual BPA can migrate from the various food containers that contain the polymer and contaminate the food or drink that is contained. The toxic effects of this chemical on human health are increasingly studied and are at the heart of a global health concern. Studies have shown that BPA is an endocrine disruptor that can alter the natural functioning of the human endocrine system. The results of this vast literature review regarding the level of migration determined in different types of plastic materials in contact with food indicate that the majority of these studies showed positive samples, none of them exceeded the limit value. Specific migration established by the European Union at the time of studies. Even if the majority of studies have shown that there is not really migration that exceeds the specific limit but still it is necessary to do tests and experimental studies to verify, because there are some studies which show that there is always the risk of migration.