

Développement d'une (ou des) stratégie(s) de priorisation des substances néoformées indésirables issues de l'emploi des auxiliaires technologiques dans la fabrication des denrées, de l'emploi des matériaux au contact des denrées et des procédés de préparation des aliments

Autosaisine Anses
2015-SA-0108

RAPPORT D'ETAPE

Approche méthodologique inventoriant des couples procédés/matrices alimentaires et procédés/matériaux au contact des denrées alimentaires en vue d'une hiérarchisation sur leur susceptibilité à générer de substances néoformées

Groupe de travail « Evaluation des substances et procédés soumis à autorisation (ESPA) »

14 juin 2018

Mots clés

Substances néoformées, hiérarchisation, couples procédés, production alimentaire, matériaux au contact des denrées alimentaires.

By-products, hierarchisation, process couples, food production, food contact materials.

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GRUPE DE TRAVAIL « EVALUATION DES SUBSTANCES ET PROCEDES SOUMIS A AUTORISATION EN ALIMENTATION HUMAINE (ESPA) »

Président

M. Claude ATGIE – Professeur – toxicologie alimentaire, nutrition

Membres

M. Fabien BOLLE –Ingénieur – agroalimentaire, matériaux au contact des denrées alimentaires

M. Jalloul BOUAJILA – Maître de conférences – chimie analytique, valorisation substances naturelles

M. Nicolas CABATON – Chargé de recherches– toxicologie alimentaire, nutrition

Mme Marie-Christine CHAGNON – Professeur –toxicologie alimentaire, matériaux au contact des denrées alimentaires

M. Dany CHEVALIER – Maître de conférences – toxicologie, nanomatériaux

Mme Véronique COMA – Maître de conférences – technologie alimentaire, matériaux d'emballage actifs et intelligents

M. Luc FILLAUDEAU – Directeur de recherches – génie des procédés industriels

M. Angel GIL-IZQUIERDO – Chargé de recherches – technologie et chimie alimentaire

Mme Florence LACOSTE – Ingénieur – chimie industrielle, chimie analytique

M. Claude LAMBRE – Docteur en sciences – toxicologie

M. Michel LAURENTIE – Directeur de recherches – pharmacocinétique, pharmacologie animale

M. Jean-Michel MAIXENT – Professeur – toxicologie, physiologie humaine

Mme Anne PLATEL – Maître de conférences – toxicologie génétique

M. Philippe SAILLARD – Ingénieur – chimie matériaux au contact des denrées alimentaires

M. Patrick SAUVEGRAIN – Ingénieur – chimie matériaux au contact des denrées alimentaires

M. François ZUBER – Directeur scientifique – procédés de transformation et préservation des denrées

RAPPORTEURS

M. Claude ATGIE – Président du GT ESPA – toxicologie alimentaire

Mme Valérie CAMEL – Membre du CES ERCA – chimie analytique

M. Jalloul BOUAJILA – Membre du GT ESPA – chimie analytique

M. Philippe SAILLARD – Membre du GT ESPA – chimie des matériaux au contact des aliments

M. Patrick SAUVEGRAIN – Membre du GT ESPA – tests de migration matériaux au contact des aliments

M. François ZUBER – Membre du GT ESPA – procédés industriels de transformation et préservation des denrées alimentaires.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Fernando AGUILAR – Chef de projets – Anses

Contribution scientifique

Mme Véronique SIROT – Chef de projets - Anses

Mme Alexandra PAPADOPOULOS – Chargée de projets - Anses

.....

Secrétariat administratif

Mme Catherine FRANCOIS – Anses

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles, abréviations et définitions	7
Liste des tableaux.....	9
Liste des annexes.....	9
Liste des figures	9
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	10
1.1 Contexte.....	10
1.2 Objet de la saisine.....	10
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	11
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	11
2 Introduction	12
3 Etape 1 : Identification et définition de la question posée	15
4 Etape 2 : Elaboration des listes des procédés à hiérarchiser	17
4.1 Approche méthodologique.....	17
4.2 Synthèse des discussions techniques	19
4.2.1 Elaboration des listes dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires	19
4.2.2 L'analyse sur les procédés et les opérations unitaires (OU)	20
4.2.3 Elaboration des listes dans le domaine de la fabrication des MCDA	22
4.2.3.1 L'analyse sur les procédés.....	22
4.2.3.2 L'analyse sur les opérations unitaires (OU).....	24
5 Etape 3 : Identification et définition des critères pour comparer les différents couples.....	28
5.1 Identification et définition de critères sélectionnés dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires.....	31
5.2 Identification et définition de critères sélectionnés dans le domaine des MCDA	34
6 Projet d'analyse d'incertitude dans la hiérarchisation des couples procédés/matrices en termes de susceptibilité de générer de substances néoformées	36
6.1 Déroulement de l'analyse d'incertitude	36
7 Conclusions du groupe de travail	39
Recommandations issues de ce travail :	40
8 Bibliographie.....	41
9 Annexes techniques	43

ANNEXES Administratifs.....	58
Annexe 1 : Lettre de l'autosaisine Anses 2015-SA-0108.....	59



Sigles, abréviations et définitions

CES AAAT : Comité d'experts spécialisé Additifs, Arômes et Auxiliaires Technologiques.

CES ERCA : Comité d'experts spécialisé Evaluation des risques chimiques dans les aliments.

GT ESPA : Groupe de travail Evaluation de substances et procédés soumis à autorisation.

CES MCDA : Comité d'experts spécialisé Matériaux au Contact des Aliments.

Substance néoformée : désigne une substance non intentionnellement ajoutée à un aliment ou dans un matériau mais générée lors de la préparation / transformation de la matrice alimentaire ou d'un matériau en conséquence des procédés appliqués. Ces substances sont des produits de réaction et/ou de dégradation des substances initiales.

Susceptibilité : disposition intrinsèque d'un procédé (ou d'un couple) à former des substances néoformées, quelles qu'elles soient, indépendamment de la quantité.

Domaine de la fabrication des aliments :

Aliment ou Denrée alimentaire : (Cf. le Règlement (CE) No 178/2002 (« Food Law ») du Parlement européen du 28 janvier 2002) : Toute matrice ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain. Ce terme recouvre les boissons, les gommes à mâcher et toute substance, y compris l'eau, intégrée intentionnellement dans les denrées alimentaires au cours de leur fabrication, de leur préparation ou de leur traitement. Il inclut l'eau au point de conformité défini à l'article 6 de la directive 98/83/CE, sans préjudice des exigences des directives 80/778/CEE et 98/83/CE.

Auxiliaire Technologique (Cf. le Décret n° 2011-509 du 10 mai 2011) : Toute substance non consommée comme ingrédient alimentaire en soi ; volontairement utilisée dans la transformation de matières premières, de denrées alimentaires ou de leurs ingrédients pour répondre à un objectif technologique pendant le traitement ou la transformation ; et pouvant avoir pour résultat la présence non intentionnelle mais techniquement inévitable de résidus de cette substance ou de ses dérivés dans le produit fini, à condition que ces résidus n'aient pas d'effets technologiques sur le produit fini.

HTST : « *high temperature short time* ».

Matrice : matière organique complexe à vocation alimentaire, contenant des nutriments au sens nutritionnel du terme, ou encore des substances alimentaires au sens biochimique du terme : protéines, lipides, glucides, fibres alimentaires, eau, autres nutriments et micronutriments, acides organiques, vitamines, minéraux, etc. La matrice est la matière sur laquelle s'applique le procédé de transformation/conservation. La matrice est caractérisée par sa composition, mais aussi les paramètres physicochimiques qui en dépendent (par exemple le pH, l'Activité de l'Eau ou *aw*).

Opération Unitaire : subdivision dans un procédé qui consiste en général en une opération physique ou chimique commune à plusieurs procédés industriels. Chaque opération unitaire est basée sur des propriétés physiques et chimiques définies.

Procédé : toute opération unitaire (OU) de technologie alimentaire appliquée sur la matrice : (i) Simple (par exemple : traitement thermique ; traitement par hautes pressions) et/ou (ii) Complexe, c'est à dire combinant plusieurs effets sur la matière (par exemple : cuisson-extrusion, combinant un traitement thermique et un fort cisaillement mécanique).

UHT : ultra haute température.

Domaine de la fabrication des MCDA :

EB : « *electron beam* » (faisceau d'électrons accélérés).

Emballage : Objet destiné à contenir et protéger des marchandises, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation.

Matériau : Matière d'origine naturelle ou artificielle, de nature organique ou inorganique, utilisée pour fabriquer un objet. Un matériau inclut des stades intermédiaires de production (par exemple résines, mélange maître, prépolymère) et ceux qui ont déjà leur composition finale mais qui nécessitent encore une étape de transformation mécanique ou thermomécanique pour obtenir leur forme d'objet final.

MCDA : Matériaux au Contact des Denrées Alimentaires.

PA : polyamide.

PE : polyéthylène (polyoléfine).

PET : poly(éthylène téréphtalate).

PLA : acide polylactique

POM : polyoxyméthylène (polyformaldéhyde ou polyacétale).

PP : polypropylène (polyoléfine).

PS : polystyrène.

PTFE : polytétrafluoroéthylène.

PU : polyester insaturé

PVC : polychlorure de vinyle.

PVDC : polychlorure de vinylidène.

SAN : styrène acrylonitrile.

SI : silicone.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples de procédés génériques et d'opérations unitaires (OU), de matrices alimentaires et de types d'aliments recensés dans le domaine de la fabrication des denrées alimentaires	20
Tableau 2 : Exemples de couples procédé/matière recensés pour les MCDA en première approche	23
Tableau 3 : Critères pouvant être identifiés sur des couples procédé/matière dans la fabrication des MCDA.	25
Tableau 4 : Opérations unitaires (OU) exclues de ce rapport avec les justifications avancées.	26
Tableau 5 : Exercice sur les traitements et/ou critères pouvant être identifiés dans la fabrication des trois denrées alimentaires prises en exemples	29
Tableau 6: Critères identifiés communs aux divers procédés de fabrication de denrées alimentaires, recensés dans un premier temps.	32
Tableau 7 : Critères finaux retenus pour les procédés de fabrication de denrées alimentaires	33
Tableau 8: Subdivision des critères finaux retenus pour les procédés de fabrication de denrées alimentaires.	33
Tableau 9 : Critères identifiés communs aux procédés dans la fabrication de MCDA recensés dans un premier temps	34
Tableau 10 : Subdivision des critères finaux retenus pour les procédés de fabrication de MCDA.....	35
Tableau 11 : Analyse des incertitudes.....	37

Liste des annexes

Annexe A: Familles de procédés, d'opérations unitaires (OU) et de matrices sur lesquelles ces OU sont généralement appliquées en industrie agro-alimentaire.....	44
Annexe B : Couples procédé/matière recensés pour les MCDA (1 ^{ère} approche).....	50
Annexe C : Matières et procédés (Opérations Unitaires) classés par catégorie pour les MCDA (2 ^{ème} approche).	53

Liste des figures

Figure 1 : Représentation du raisonnement suivi pour identifier et définir la question posée.....	16
Figure 2 : Diagramme général d'opérations unitaires (OU) au sein d'un procédé de fabrication conduisant à l'élaboration des caractéristiques d'un produit fini	18

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

La « problématique des substances néoformées » a été définie comme d'intérêt par l'Anses dans ses orientations 2015-2018 dans le domaine de la Santé-Alimentation. Ainsi, le lancement de nouveaux travaux d'évaluation sur la thématique des substances néoformées dans l'aliment avait été identifiée comme importante dans le programme de travail associé à l'Unité Evaluation des risques liés aux aliments (UERALIM) », au sein de la Direction de l'Evaluation des risques (DER) ».

Afin de poursuivre cette réflexion, l'Anses a décidé d'organiser, le 30 juin 2014, une réunion « De Réflexion (*brainstorming*) » sur la thématique « néoformées » afin d'identifier les principales voies d'étude qu'un groupe de rapporteurs *ad hoc* pourrait aborder et développer d'une manière cohérente et efficace. Deux rapports préliminaires d'expertise interne sur la thématique « néoformées » (rapports non publiés), rédigés par les anciens comités d'experts spécialisés (CES) « Additifs, arômes et auxiliaires technologiques (AAAT) » et « Matériaux au contact des aliments (MCDA) », ont servi de base pour la discussion lors de cette réunion.

A l'issue de cette réunion, un besoin général de hiérarchisation des substances néoformées a été identifié comme un axe majeur et commun de travail pour les domaines d'activité concernés au sein de l'UERALIM. Un deuxième axe aussi important identifié à l'issue de cette réunion a été « *le besoin d'harmoniser des approches permettant de hiérarchiser les substances néoformées indésirables* ». Les experts de ce groupe ont considéré que l'identification et l'application d'un procédé de hiérarchisation était une étape indispensable pour aborder d'une manière cohérente et pratique « l'univers des substances néoformées ».

1.2 Objet de la saisine

A l'issue des conclusions de la réunion « De Réflexion » mentionnée plus haut, le 19 mai 2015, l'Anses s'est autosaisie sur la thématique : « Développement d'une (ou des) stratégie(s) de priorisation des substances néoformées indésirables issues de l'emploi des auxiliaires technologiques dans la fabrication des denrées, de l'emploi des matériaux au contact des denrées et des procédés de préparation des aliments ».

Il a été considéré que, dans un premier temps, ce travail d'expertise pouvait servir de point de départ pour l'élaboration future d'une stratégie d'évaluation de risque spécifique des substances néoformées ou des marqueurs d'une activité produisant des substances néoformées qui auraient été identifiées.

Les questions initiales sur lesquelles devait porter le travail étaient les suivantes :

- Est-il possible de développer une (ou des) stratégie(s) de priorisation des substances néoformées indésirables issues de l'emploi d'auxiliaires technologiques dans les domaines identifiés ?
- Est-il possible d'adapter cette stratégie eu égard aux données disponibles dans les domaines identifiés ?
- Est-il possible de hiérarchiser les substances néoformées en appliquant la (les) stratégie(s) définie(s) dans ces conditions ?

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « Evaluation des substances et procédés soumis à autorisation (ESPA) » l'instruction de cette saisine.

La durée prévisionnelle des travaux avait été fixée à dix-huit (18) mois, à partir de la date de constitution du groupe de rapporteurs. Le groupe de rapporteurs a été constitué officiellement le 26 février 2016.

Comme préalable à l'initiation des travaux du groupe de rapporteurs, il a été défini que ce groupe considérerait la formation de substances néoformées, indépendamment du fait qu'elles soient souhaitées ou indésirables, uniquement **en fonction de leur propension à être formées** lors des procédés de fabrication, de transformation et de préparation des aliments les plus courants. C'est la raison pour laquelle la toxicité connue de certaines substances néoformées largement étudiées (ex. semicarbazide, acrylamide, HAP, furane) n'a pas été prise en compte spécifiquement dans ce rapport (Kwon J-W, 2016 ; Hoenicke et al., 2004 ; Anses, 2011 ; Krishnakumar and Visvanathan, 2014 ; Yuan et al., 2007 ; Seok et al., 2015 ; Zelinkova and Wenzl, 2015).

Les travaux d'expertise du GT ESPA ont été présentés au CES « ERCA » pour observations. Le rapport produit par le GT ESPA tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres de ces deux collectifs..

Ces travaux sont issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Un groupe de six rapporteurs avec des expertises en toxicologie, en analyse, en procédés de fabrication des aliments et des matériaux au contact des denrées alimentaires (MCDA) a été constitué pour répondre à ces questions. Les rapporteurs étaient membres des collectifs de l'Anses, GT ESPA et CES ERCA.

Par ailleurs, l'UERALIM a fait appel à deux agents de l'Anses au sein des Unités Méthodologie et Etudes (UME) et Phytopharmacovigilance et Observatoire des résidus de pesticides (UPO), pour appuyer les travaux du groupe de rapporteurs sur les méthodes disponibles de hiérarchisation. Ces deux scientifiques ont acquis une expérience dans l'application de l'une des méthodes multicritères dans le cadre d'un projet européen de hiérarchisation des substances chimiques à inclure dans une étude de l'alimentation totale (Papadopoulos et al., 2015).

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

Pour mener à bien ses travaux, le groupe de rapporteurs s'est réuni à plusieurs reprises entre le 23 mars 2016 et le 2 mai 2018. Le rapport final a été présenté au GT ESPA le 17 mai 2018, et pour commentaires au CES ERCA le 23 mai 2018. Le rapport final a été validé par le GT ESPA le 14 juin 2018.

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

2 Introduction

L'origine des substances néoformées dans les aliments est encore difficile à établir en raison de leur immense diversité chimique. Les substances chimiquement réactives présentes dans les matrices et les procédés utilisés dans la fabrication des denrées alimentaires peuvent induire la formation d'un nombre important de substances néoformées, notamment, à partir des composants lipidiques, protéiques ou glucidiques des aliments (Skog, 2003 ; Choe and Min, 2005 ; Cotterill et al., 2008 ; Stadler and Lineback, 2009). Les substances néoformées peuvent être recherchées pour donner une particularité désirée aux aliments (ex. certains produits de réaction de Maillard), ou elles peuvent être indésirables car pouvant avoir un potentiel toxique sur l'Homme.

Compte tenu de la diversité des réactions chimiques qui peuvent avoir lieu lors de la préparation des aliments et/ou à la suite des divers procédés utilisés pendant leur fabrication industrielle (Cotterill et al., 2008 ; Stadler and Lineback, 2009), il est très difficile de définir *a priori* qu'elles seront les substances néoformées à retenir pour une évaluation de risques.

Les matériaux au contact de denrées alimentaires (MCDA) répondent aux besoins des utilisateurs en permettant, par exemple, de protéger les aliments tout au long de leur cycle de vie. Pour ce faire, il est nécessaire de donner aux emballages et MCDA de multiples propriétés technologiques qui sont associées à l'application des technologies de fabrication très variées propres aux différentes familles de matériaux de départ. Par ailleurs, les chaînes d'approvisionnement destinées à l'industrie alimentaire sont très diverses de par leur nature et leurs cœurs de métier associés. Elles combinent chimie des matériaux (plastique, papier, verre, métaux, vernis etc..), technologies de fabrication mises en œuvre (extrusion, injection, cuisson/ réticulation, séchage/calandrage, etc) ainsi que des matières premières issues de différents secteurs industriels (pétrochimie, industrie papetière, industrie du verre, etc). Des post traitements tels que l'impression, la réticulation de films plastiques, la désinfection de surface sont également appliqués dans ce domaine. Face à cette diversité, et à la complexité des interactions chimiques possibles, la genèse potentielle de substances néoformées au sein des matériaux est importante.

Certains cas de substances néoformées issues de MCDA ont par le passé été identifiés ainsi que les voies réactionnelles de leurs apparitions, par exemple, les chlorohydrines et la semicarbazide (EFSA, 2003 ; 2004). L'origine de ces substances néoformées a pu être expliqué au cas par cas et des mesures de gestion de risque ont pu être mises en application afin de protéger les consommateurs (CE, 2004 ; CE, 2005)

A ce jour, la complexité des substances qui peuvent potentiellement être formées dans les diverses situations imaginables lors de la préparation des aliments ou la fabrication des MCDA a empêché d'aborder la génération de substances néoformées d'une manière globale. La plupart des réflexions menées jusqu'à présent sur la génération des substances néoformées a d'abord permis d'identifier, au cas par cas, la ou les substance(s) d'intérêt, notamment en fonction de leur toxicité potentielle ou démontrée pour l'Homme, pour ensuite s'intéresser aux conditions pratiques prévalant à la formation de ces substances. Ces approches ont consisté en général à faire un inventaire des éventuelles substances néoformées produites. Or, les rapports internes préparés par les CES AAAT et MCDA sur les substances néoformées¹ ont montré que certaines matrices alimentaires et matières premières, ainsi que certains procédés de fabrication, peuvent être considérés comme étant particulièrement susceptibles de générer des substances néoformées.

Etant donné que, dans beaucoup de situations, il s'avère très difficile voire impossible de définir *a priori* les dizaines de substances potentiellement néoformées, dans ce rapport il est apparu plus

¹ Non-publiés.

raisonnable et innovant d'essayer une hiérarchisation des **procédés associés aux matrices ou matières premières les plus susceptibles d'induire la formation de substances néoformées.**

Pour ce faire, une approche par étapes issue des méthodes multicritères d'aide à la décision a été appliquée.

Le recours aux méthodes multicritères d'aide à la décision, « multi-criteria decision analysis », se répand de plus en plus. Ces méthodes, utilisées aujourd'hui dans de nombreux domaines d'application, permettent de classer de façon objective différents éléments ou alternatives de choix sur la base de critères prédéfinis. L'un des avantages de ces méthodes est de pouvoir prendre en compte conjointement plusieurs critères, qui peuvent être à la fois qualitatifs et quantitatifs, qu'il est parfois difficile de considérer de façon simultanée, tels que les coûts et les bénéfices liés à différentes options. Un problème complexe peut ainsi être simplifié en composantes unitaires, qui seront ensuite ré-agrégées de façon à obtenir une solution unique et optimale.

De nombreuses méthodes multicritères existent pour hiérarchiser des éléments, comme les substances chimiques, ou pour sélectionner une solution optimale parmi plusieurs alternatives : ELECTRE(ELimination Et Choix Traduisant la REalité) (Martin et Legret, 2005), PROMETHEE (Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations)², SMAA ([Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis](#)) (Tervonen and Figueira, 2008), AHP (Analytical Hierarchy Process) (Saaty, 1980).

Les méthodes d'aide à la décision multicritères reposent sur des étapes générales telles que :

- L'identification et la définition de la question ;
- L'élaboration d'une liste des couples à hiérarchiser ;
- L'identification et la définition des critères qui seront utilisés pour comparer les différents couples ;
- La définition des poids relatifs propres à chaque critère ;
- L'évaluation de l'importance de chaque couple au regard de chaque critère ;
- L'agrégation de l'ensemble des jugements.

Il est important de noter que les trois premières étapes sont communes à l'ensemble des méthodes multicritères. Ces méthodes diffèrent donc principalement sur les trois dernières étapes, à savoir : la façon de pondérer les critères les uns par rapport aux autres, la façon d'évaluer ou de noter les alternatives au regard de chaque critère, et la façon d'agréger l'ensemble de ces jugements.

Dans ce rapport, l'approche multicritères permettrait de hiérarchiser les couples procédés/matrices et procédés/matériaux en termes de susceptibilité d'apparition de néoformés sur la base des « critères » *ad hoc* définis, en excluant à ce stade une éventuelle dangerosité de(s) la substance(s). En effet, il a été estimé que la prise en compte d'une éventuelle dangerosité parmi les critères *ad hoc* nécessiterait de connaître *a priori* la(les) substance(s) néoformée(s), ce qui était impossible pour les raisons évoquées plus haut (énorme complexité des substances potentiellement formées et diversité des situations de production imaginables).

Seules les trois premières étapes ont pu être appliquées dans ce rapport. En effet, il n'a pas été possible d'allouer suffisamment de temps au choix d'une méthode multicritères adéquate au cas particulier de la hiérarchisation des couples procédés/matrices et procédés/matériaux. Néanmoins, quelle que soit la méthode multicritères qui sera utilisée par la suite, les critères identifiés et définis à l'issue de ce travail pourront être appliqués en vue d'une hiérarchisation des couples recensés.

Les étapes abordées dans ce rapport sont :

² <http://www.promethee-gaia.net/methodsF.html>

1 - première étape : redéfinition de l'objectif général des travaux du groupe afin de centrer le travail à réaliser sur un objectif commun, compris de tous et réalisable dans des délais raisonnables.

2 - deuxième étape : établissement d'un catalogue aussi exhaustif que possible des couples « procédés/matrices » et « procédés/matériaux » employés, respectivement, dans la préparation de denrées alimentaires et dans la fabrication de matériaux au contact des aliments.

3 - troisième étape : identification et définition des critères qui permettront, dans un objectif de hiérarchisation, de comparer les différents couples recensés.

Le développement des trois étapes mentionnées plus haut s'est fondé pour beaucoup sur l'expérience et les connaissances des experts qui composaient le groupe de réflexion. Aussi, l'Anses a constitué ce groupe sur les expertises disponibles au sein des collectifs GT ESPA et CES ERCA dans les domaines de la fabrication industrielle de denrées alimentaires, de la fabrication de MCDA, des tests de migration et des méthodologies analytiques.

Malgré le fait qu'une hiérarchisation formelle des procédés n'a pas pu finalisée, dans un souci de clarté et compréhension, le terme « hiérarchisation » continuera à être utilisé dans ce rapport pour décrire le travail accompli par le groupe d'experts de l'Anses.

Ce rapport détaille le raisonnement et la démarche intellectuelle suivis pour sélectionner des critères adéquats à la hiérarchisation des couples « procédés/matrices » et « procédés/matériaux » dans la fabrication de denrées alimentaires et de matériaux au contact de denrées alimentaires. Il a en effet été considéré que cette démarche intellectuelle pourrait être appliquée dans d'autres situations industrielles spécifiques (par exemple, pour étudier l'impact des procédés de fabrication sur les qualités nutritionnelles des aliments).

3 Etape 1 : Identification et définition de la question posée

L'identification et la définition de la question constitue un élément crucial de la méthodologie multicritères de hiérarchisation. De l'objectif du travail dépendront les critères de hiérarchisation, mais également la liste des éléments à hiérarchiser.

La diversité chimique des substances néoformées dépend de nombreux facteurs pouvant influencer leur apparition. De plus, comme beaucoup de substances néoformées ne sont pas chimiquement connues et que les données relatives à leur formation sont rares, dans le cadre de ce travail il s'est avéré que l'objectif initial fixé devait être redéfini.

Sur le fondement des rapports des CES AAAT et MCDA concluant que certaines matrices alimentaires et matières premières ainsi que certains procédés de fabrication peuvent être considérés comme étant particulièrement susceptibles de générer des substances néoformées, l'objectif du travail s'est rapidement porté sur la hiérarchisation des procédés, et non des substances néoformées elles-mêmes. Il s'est avéré cependant difficile de faire totalement abstraction de la quantité de néoformés produite, qui est bien différente de la susceptibilité d'apparition de ces substances.

Hiérarchiser les procédés en fonction de leur potentialité à générer des substances néoformées signifiait être capable de quantifier, ou du moins d'identifier les substances néoformées produites lors de l'application d'un procédé. Or, il a été rapidement constaté qu'il était impossible, pour la plupart des procédés appliqués à la fabrication industrielle des aliments ou de MCDA, de quantifier ou même d'identifier avec certitude, la plupart des substances néoformées générées dans l'aliment fini ou dans les matériaux fabriqués.

L'objectif de la hiérarchisation a donc été redirigé vers la hiérarchisation des procédés en fonction de leur susceptibilité estimée ou soupçonnée à générer des substances néoformées (voir Figure 1). La susceptibilité étant définie comme la disposition intrinsèque d'un procédé (ou d'un couple) à former des substances néoformées, quelles qu'elles soient, indépendamment de la quantité.

L'objectif a ainsi été redéfini comme la mise en place d'une : Approche méthodologique inventoriant des couples procédés/matrices alimentaires et procédés/matériaux au contact des denrées alimentaires en vue d'une hiérarchisation sur leur susceptibilité à générer de substances néoformées.

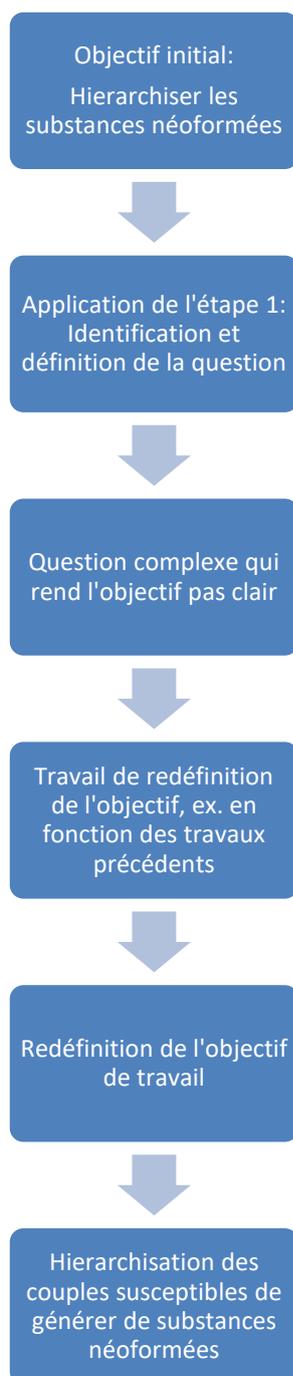
Pour les besoins du présent rapport, les aliments ou denrées alimentaires ont été définis comme les produits finis (destinés à l'utilisateur ou aux consommateurs) obtenus par l'application des « procédés » sur les « matrices ».

Il a été choisi de traiter deux étapes de la méthodologie de hiérarchisation en parallèle : (i) l'élaboration d'une liste des couples à hiérarchiser, et (ii) l'identification et la définition des critères qui seront utilisés pour comparer les différentes alternatives. Le but était d'élaborer la liste des procédés à hiérarchiser, tout en s'appuyant sur des exemples issus de cette liste afin d'identifier les critères de hiérarchisation.

Dans un premier temps, une liste commune de procédés de fabrication d'aliments ou de MCDA a été générée. Il a été considéré qu'une liste commune aux deux domaines précédents n'était pas réalisable en raison de procédés spécifiques appliqués sur les matières selon qu'elles soient alimentaires ou non, et de critères distinctifs des deux types de matières. Par exemple, dans le domaine de la fabrication des aliments, il pouvait s'avérer utile de prendre en compte la composition en constituants de type lipidique ou glucidique de l'aliment, pouvant jouer sur la

probabilité d'apparition de substances néoformées, ce qui pour un matériau d'emballage n'a pas de sens. Dans le domaine des MCDA, la fabrication d'un matériau combine la chimie des matériaux, avec des technologies de fabrication spécifiques ainsi que des matières premières issues de différents secteurs industriels (pétrochimie, industrie papetière, industrie du verre, etc.) et des post-traitements qui n'ont pas d'équivalence dans la production de denrées alimentaires. Aussi, il a été décidé de séparer le travail de hiérarchisation en deux volets, l'un identifiant les critères applicables aux couples matrices/procédés impliqués dans la fabrication d'aliments, et l'autre identifiant les critères relatifs applicables aux procédés de fabrication des MCDA.

Figure 1 : Représentation du raisonnement suivi pour identifier et définir la question posée.



4 Etape 2 : Elaboration des listes des procédés à hiérarchiser

4.1 Approche méthodologique

Il a été décidé que seuls les procédés industriels de fabrication seraient considérés dans ce rapport. En effet, les procédures de fabrication industrielle des denrées alimentaires et des MCDA (ex. température, durée, traitement physique) sont maîtrisées, contrôlées et suivies en détail. Les procédés domestiques, les pratiques rencontrées en restauration collective ou commerciale, ou les étapes de R&D industrielles ont été exclus de ce rapport.

Pour la construction des listes des couples, dans un premier temps, l'objectif était de lister un premier ensemble de couples, qu'ils génèrent ou non des substances néoformées, dans les domaines des compétences des experts (aliments ou MCDA), sans aucune censure et aussi exhaustivement que possible. Cette première étape a soulevé un certain nombre de questions qui ont permis à la fois de préciser le périmètre du travail, de définir clairement certains termes, mais aussi d'écarter du champ de travail plusieurs procédés listés.

Dans un deuxième temps, sur le fondement de connaissances des experts, la liste précédente a été analysée et raffinée en termes de susceptibilité des couples listés à générer des substances néoformées. Pour rappel, la susceptibilité a été définie comme la disposition intrinsèque d'un procédé (ou d'un couple) à former des substances néoformées indépendamment de la quantité.

Concernant les denrées alimentaires, il est important de préciser que l'approche méthodologique dans ce rapport a été appliquée aux matrices de départ sur lesquelles s'appliquent les procédés de fabrication et non pas aux produits finis. A titre d'exemple, l'hydrolyse enzymatique ou l'hydrolyse chimique s'appliquent sur les protéines végétales et non sur la sauce soja, qui constitue le produit fini. A des fins de clarté, dans ce rapport les denrées alimentaires sont définies comme des « matrices ». Néanmoins, il s'est avéré important d'afficher dans ces listes des exemples de produits finis concernés par les couples choisis. Ce travail collectif d'établissement de listes a conduit aussi à l'exclusion de certains procédés, notamment (mais pas seulement) en raison du fait qu'à la connaissance des experts certains couples n'étaient pas susceptibles de générer de substances néoformées.

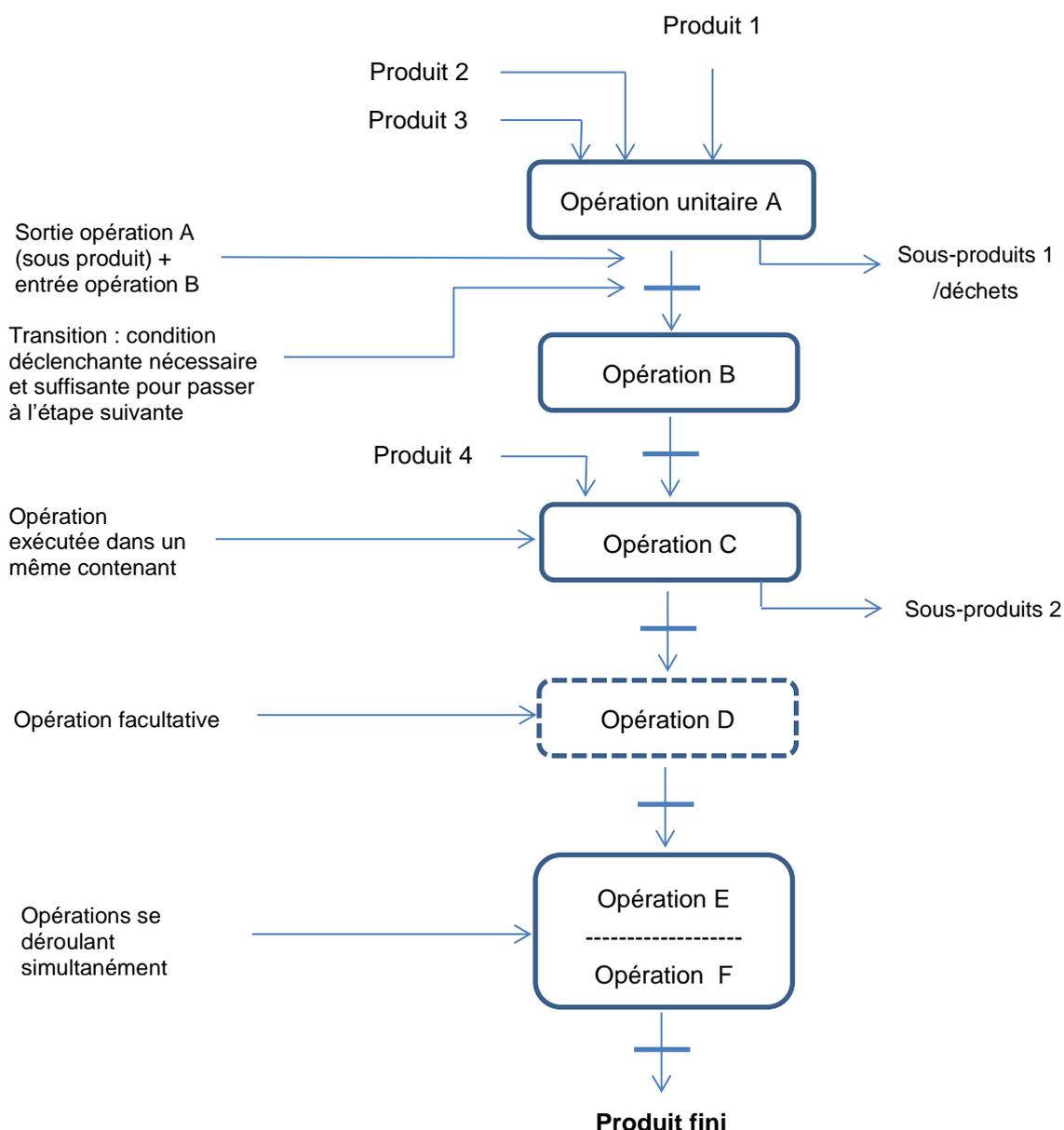
Un point important de discussion a été la prise en compte de la succession éventuelle de procédés qui pouvaient être appliqués lors de la fabrication de denrées alimentaires ou de MCDA. Par exemple, lorsque des pommes de terre crues sont réfrigérées, il peut y avoir une génération de sucres qui entraîneront, lors de l'application d'une température élevée, une apparition d'acrylamide qui est une substance néoformée. Ainsi, il est apparu pertinent de considérer la succession de procédés sur des matrices différentes : par exemple, un procédé appliqué sur des « pommes de terre qui ont été réfrigérées » et un procédé appliqué sur des « pommes de terre qui n'ont pas été réfrigérées ».

De même, lorsque l'on considère une ligne de production ou un procédé comme une suite d'opérations constituée de « blocs » (ex. filtres, évaporateurs, séchoirs), ces blocs peuvent se retrouver également dans d'autres lignes de production (Figure 2). Ainsi, il a été considéré possible de définir des principes communs à toutes sortes d'opérations impliquant des filtres (séparation fluide/particules par passage du fluide à travers une couche poreuse), des évaporateurs (chauffage et mise en ébullition d'un liquide) ou des séchoirs (échanges simultanés de chaleur et de matière entre le produit et le milieu extérieur) quelles que soient les conceptions particulières, dimensions, formes, dénominations, que prennent ces blocs dans les différentes

industries. Ces « blocs » sont mieux connus dans les procédés de fabrication industrielle comme des Opérations Unitaires (OU) ³.

La fragmentation des procédés en termes d'OU a eu un impact sur la représentativité industrielle des couples procédés/matrices et procédés/matières recensés dans ce rapport. La prise en compte des OU permet de rendre ces listes représentatives des milieux industriels, quelles que soient les conceptions particulières ou les dimensions des différentes industries concernées.

Figure 2 : Diagramme général d'opérations unitaires (OU) au sein d'un procédé de fabrication conduisant à l'élaboration des caractéristiques d'un produit fini⁴.



³ <http://genie-alimentaire.com/spip.php?article163#AHsO5ttMaRIKEIm2.99>

⁴ Adapté de Guide pour conserver et transformer ses légumes. Agrobio 47, Edition Décembre 2014. <http://docplayer.fr/9266914-Guide-pour-conserver-et-transformer-ses-legumes.html>

4.2 Synthèse des discussions techniques

4.2.1 Elaboration des listes dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires

En préalable au recensement de couples procédés/matrices dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires, il a été considéré que la formation de substances néoformées nécessitait la création ou la rupture de liaisons covalentes au sein des molécules constituant la matrice alimentaire, ces réactions ne pouvant donc pas être induites si l'on n'applique pas suffisamment d'énergie.

L'énergie appliquée au système réactionnel (la matrice alimentaire) est fonction du « type » d'énergie employée dans le procédé (thermique, radiative, physique autre que thermique – pression par exemple), ou de l'énergie chimique appliquée, qui est fonction en général du potentiel redox d'une substance chimique très réactive (exemple : oxydant fort), de la durée d'application et des conditions physicochimiques existantes (notamment : pH, aw). En effet, ces paramètres physicochimiques peuvent favoriser ou diminuer la survenue de réactions chimiques susceptibles de générer des substances néoformées. L'écart de pH (ΔpH) par rapport au pH neutre et l'activité de l'eau (aw) basse (qui rend la matrice alimentaire plus concentrée en matière sèche) peuvent favoriser la survenue de réactions chimiques susceptibles de générer des substances néoformées. Aussi, le statut redox (oxydo-réduction) d'un couple matrice/procédé est un critère important à considérer dans la formation de substances néoformées. De nombreuses réactions d'oxydation, favorisées par la présence d'oxygène, peuvent générer des substances néoformées. *A contrario*, la présence d'antioxydants peut, selon les cas, limiter ou au contraire favoriser les réactions redox (ex : la présence d'acide ascorbique favorise dans certaines conditions la formation de furane) (Fan, 2005).

La combinaison de ces facteurs, qui ont en général un effet synergique, détermine la susceptibilité des opérations unitaires (OU) à générer des substances néoformées. Ainsi un traitement thermique court à température moyenne, mais pratiqué en milieu acide ($\text{pH} < 4$), pourra être qualifié de plus susceptible de générer ces substances que le même traitement thermique appliqué pendant plus longtemps à pH neutre.

L'intensité cumulée des traitements thermiques peut s'exprimer en termes de « valeur cuisatrice », grandeur utilisée en industrie agroalimentaire pour quantifier l'impact d'un procédé thermique sur une matrice alimentaire donnée. Cette grandeur peut être calculée, par exemple par rapport à la destruction thermique induite sur certaines vitamines, ou encore par rapport à la perte de texture de la matrice sous l'effet combiné de la température et de la durée. Un procédé thermique à haute température appliqué durant un temps court aura ainsi très généralement un impact énergétique cumulé sur la matrice plus faible qu'un traitement à moindre température mais appliqué pour une durée longue. C'est le principe des traitements de décontamination microbiologiques dits HTST (« *High Temperature – Short Time* »), très utilisés en industrie alimentaire car ils induisent peu de transformations biochimiques dans les matrices traitées. Ainsi, le lait stérilisé UHT traité à 140°C pendant quelques secondes, puis conditionné aseptiquement, conserve mieux les vitamines et subit moins de réaction de Maillard donnant lieu à une caramélisation (goût de cuit), que le lait stérilisé en autoclave.

Il en est de même pour la plupart des réactions chimiques aboutissant à la formation de substances néoformées. Toutefois, certaines réactions enzymatiques (en particulier biocatalysées lors de fermentations) constituent des cas à part et peuvent contourner ces phénomènes physicochimiques pour aboutir à la formation de substances néoformées, comme par exemple les chloropropanols (3-MCPD) présents dans les produits de soja fermentés ; le carbamate d'éthyle (produit par fermentation alcoolique) ; les amines biogènes formées par décarboxylation d'acides aminés ou par amination et transamination d'aldéhydes et de cétones, par l'activité enzymatique dans la denrée alimentaire ou celle de la flore microbienne (Stadler and Lineback, 2009).

4.2.2 L'analyse sur les procédés et les opérations unitaires (OU)

La première étape a consisté à réaliser un inventaire, le plus exhaustif possible, des différents procédés connus de transformation et de conservation des matrices alimentaires. Par exemple, les procédés thermiques, subdivisés par rapport aux « niveaux » des conditions d'application des procédés ; les procédés non thermiques divers (ex. physiques, biologiques, etc.) ; et les procédés faisant intervenir des traitements chimiques (ex. emploi d'auxiliaires technologiques réactifs). Pour chaque famille et sous-famille de procédés identifiées, des matrices et/ou types génériques de matrices et des aliments types ou des exemples illustratifs ont été définis pour une meilleure compréhension de la démarche.

Il convient de préciser, à ce stade du rapport, que les listes proposées n'ont pas la prétention de représenter exhaustivement tous les procédés existants dans l'ensemble de l'industrie agroalimentaire. Les éléments proposés dans ces listes l'ont été sur la base de connaissances et de l'expérience propres aux rapporteurs faisant partie du groupe.

Ce recensement a abouti à identifier 10 familles de procédés industriels généraux, susceptibles de générer des substances néoformées, représentatifs de l'ensemble des filières dans les différentes industries de fabrication de denrées alimentaires. Ces procédés généraux sont les suivants : les traitements thermiques, les procédés chimiques et biologiques, les procédés par hautes pressions, les traitements mécaniques/cisaillement, les traitements radiatifs en surface, les traitements radiatifs dans la masse, les procédés d'extraction et de raffinage, les traitements de déshydratation (y compris la lyophilisation) et l'utilisation d'auxiliaires technologiques chimiquement réactifs. Les résultats complets obtenus dans cette première étape de recensement se trouvent à l'annexe A.

Pour chacun de procédés listés, les OU susceptibles de générer de substances néoformées dans ces procédés, ainsi que les matrices et les produits finis manufacturés plus typiquement concernées par le procédé de fabrication ont été identifiés. Par exemple « un traitement thermique à température réfrigérée positive ou à température négative appliqué à tous les types d'aliments humides, avec une activité de l'eau > 0,85 (aw) ». Des exemples extraits de l'annexe A sont présentés dans le Tableau 1 ci-dessous pour information.

Tableau 1 : Exemples de procédés génériques et d'opérations unitaires (OU), de matrices alimentaires et de types d'aliments recensés dans le domaine de la fabrication des denrées alimentaires

Procédés génériques	Opérations Unitaires	Matrices alimentaires génériques ou plus spécifiques typiquement concernées (conditions spécifiques)	Type d'aliments identifiés ou particulièrement concernés (exemples de produits finis)
Traitement de conservation à température réfrigérée positive, ou température négative	Surgélation (-18°C ou inférieur), Congélation (-12 à -18°C), Réfrigération (entre 0 et +12°C)	Tous types d'aliments humides (aw > 0,85)	Produits surgelés tous types ; produits frais élaborés, réfrigérés, tous types
Traitement thermique réalisés à moyenne Température : entre 50 et 100°C	Pasteurisations classiques y compris par micro-onde ; Flash pasteurisation ; Cuissons ; Blanchiment en vapeur ou par immersion ; Pelage	Tous types d'aliments humides (aw > 0,85)	Produits laitiers frais et desserts frais, fruits transformés et jus de fruits pasteurisés, légumes transformés cuits puis réfrigérés ; poissons et viandes cuites, charcuteries

Procédés génériques	Opérations Unitaires	Matrices alimentaires génériques ou plus spécifiques typiquement concernées (conditions spécifiques)	Type d'aliments identifiés ou particulièrement concernés (exemples de produits finis)
	chimique à chaud		cuites, ovoproduits ; Plats cuisinés pasteurisés puis réfrigérés ; Conserves de produits acides à pH < 4,5 (fruits, tomates, olives fermentées...)
Procédés chimiques et biologiques	Hydrolyse chimique ou enzymatique, en absence ou en présence de sel	Concentrâts et isolats de protéines végétales ; graines protéagineuses entières ou dégraissées, farines ; poissons	Hydrolysats de protéines végétales ou animales
Procédés par traitements mécaniques / Traitement avec fort cisaillement	Cuisson extrusion : Malaxage intense à chaud et sous pression, avec fort cisaillement	Céréales et assimilés, sucres, matières grasses ; protéines végétales (concentrâts et isolats)	Céréales du petit déjeuner, snack apéritifs, produits céréaliers croustillants ; confiseries
Procédé par hautes pressions à basse température jusqu'à 25°C environ	Décontamination à froid dans l'emballage	Viandes crues et cuites, produits de la mer, fruits et légumes	Produits frais crus ou cuits, réfrigérés ; plats cuisinés ; charcuteries ; jus de fruits
Traitement thermique très fort réalisé à température > 150°C	Friture dans l'huile (température > 160°C)	Produits laitiers, produits de viandes, produits poissons, légumes et fruits, ovoproduits, céréales et assimilés, pommes de terre.	Pommes de terre frites, produits panés, légumes, beignets, poissons, viandes

Source : Annexe A, exemples à des fins d'illustration uniquement pour la totalité des résultats consulter l'annexe correspondante.

Pour établir le recensement présenté dans l'annexe A, le choix de retenir ou de maintenir un procédé donné a été discuté par rapport à la susceptibilité *a priori* de formation de substances néoformées sur une matrice alimentaire donnée. Ainsi certains procédés ont été retenus sur la base des informations disponibles dans la littérature consultée, faisant état de l'apparition des substances néoformées chimiquement définies, et sur l'appréciation des experts quant à la possibilité qu'un procédé donné puisse générer des substances néoformées, quelles qu'elles soient, désirables ou indésirables (Anses, 2015 ; AFSCA, 2010 ; Stadler and Lineback, 2009).

En revanche, les procédés de simple réduction dimensionnelle (ex. broyage, hachage, découpe, découpe à jet d'eau), les procédés mécaniques à froid (ex. filtration, barattage, ultrafiltration, foisonnement, pressage à froid) et les procédés de réfrigération et surgélation, y compris par cryogénie, ont été considérés comme peu susceptibles de générer des substances néoformées *a priori*.

Concernant les matrices alimentaires, aucune n'a été exclue *a priori* de la liste des matrices susceptibles d'être le siège de réactions aboutissant à la génération de substances néoformées.

Pour l'analyse et le recensement des matrices alimentaires qui seraient retenues pour constituer les couples procédé/matrice, celles-ci ont été regroupées par rapport à la réactivité présumée des constituants des matrices :

- matrices riches en protéines dès que la teneur en protéines était > 5%, typiquement : viandes, poissons, céréales et dérivés, œufs, lait et dérivés, légumineuses.
- matrices riches en lipides insaturés, plus particulièrement les lipides polyinsaturés, dès que la teneur en lipides était > 5%, typiquement : huiles et graisses, produits carnés, poissons gras, oléagineux, pâtisseries, biscuits.

NB : Les niveaux de protéines et lipides retenus ont été choisis par consensus au sein du groupe d'experts, sur la base de leurs connaissances et de l'expérience cumulée individuellement par les experts.

- matrices riches en glucides, plus particulièrement les sucres solubles réactifs chimiquement comme les sucres réducteurs, typiquement : céréales et dérivés, légumes et fruits, produits carnés, pommes de terre et tubercules, légumineuses, produits sucrés.

Il a été considéré qu'un aliment à la fois riche en protéines, lipides insaturés et sucres réducteurs, était plus sensible aux réactions chimiques susceptibles de former des substances néoformées (voir encadré section 4.2.1).

Certaines OU dans l'annexe A ont été considérées comme non susceptibles de générer des substances néoformées *a priori* (ex. antimousses de synthèse) sur la base d'une faible réactivité chimique supposée.

De la même façon, l'emploi d'additifs ou d'arômes autorisés dans les denrées alimentaires n'a pas été retenu comme OU dans la liste. En effet, ces substances sont autorisées au niveau européen après une évaluation des risques qui couvre, entre autres aspects, leur réactivité chimique avec les matrices dans lesquelles ils seront utilisés ; en conséquence, il a été considéré que l'apparition potentielle de substances néoformées a été prise en compte lors de leur autorisation. D'autre part, l'emploi d'un additif alimentaire a comme objectif d'avoir un effet sur la denrée finale, or ce rapport ne s'intéresse pas aux produits finis mais uniquement aux matrices alimentaires sur lesquelles les OU sont appliquées.

De même, l'emploi de l'OU de fumage par dispersion d'arômes de fumée n'a pas été inclus, n'étant pas considéré comme un procédé de fabrication des aliments.

L'emploi des enzymes a aussi été exclu de la liste car celui-ci fait l'objet d'une évaluation des risques sanitaires au niveau européen intégrant l'apparition éventuelle de substances néoformées indésirables.

L'application des traitements ionisants sur les matrices alimentaires a été exclue du champ d'intérêt de ce rapport pour le recensement des couples procédés/matrices. L'ionisation des aliments peut produire de radicaux libres pouvant réagir avec les divers composants des aliments, mais l'objectif principal d'un traitement à des doses inférieures à 10 kGy est de diminuer la charge microbienne dans les denrées alimentaires traitées (Anses, 2007). Aussi, il a été pris en compte qu'au niveau européen ce type de traitement est strictement réglementé par la directive 1999/2/CE (CE, 1999), que ce règlement limite la dose maximale autorisée pour le traitement de denrées alimentaires (10 kilograys - kGy) et que ce traitement est limité à un nombre restreint des denrées alimentaires. Néanmoins, le rayonnement ionisant a été pris en compte pour le recensement des couples procédés/matériaux dans le domaine des MCDA (voir plus bas, section 4.2.3.2).

4.2.3 Elaboration des listes dans le domaine de la fabrication des MCDA

4.2.3.1 L'analyse sur les procédés

La démarche suivie pour élaborer les listes des procédés dans le domaine de la fabrication de MCDA a consisté à lister les couples « matériau/procédé » des chaînes d'approvisionnement

industrielles avec un périmètre incluant la transformation des matériaux intermédiaires jusqu'à la fabrication des matériaux et objets finis destinés à entrer au contact des denrées alimentaires.

Les quelques données publiées dans la littérature, résumées dans le rapport du CES MCDA⁵, font état de différentes situations à l'origine de la production de substances néoformées. Ainsi, la dégradation des matières plastiques à la suite de traitements thermiques est susceptible de générer des substances néoformées, de même que les réactions chimiques au sein de matériaux, tels que la vulcanisation des caoutchoucs, la réticulation de PE sous l'effet de rayonnements ionisants et de séchage des encres. Egalement, les réactions chimiques des matériaux avec des composants des denrées alimentaires sont susceptibles de générer des substances néoformées (ex : dérivés du BADGE des vernis époxydiques, amines aromatiques issues des réactions avec l'eau des isocyanates des colles polyuréthanes).

Les dégradations des constituants des matériaux liées à l'environnement ont aussi été considérées comme pouvant générer des substances néoformées. Par exemple, en présence d'air, les antioxydants présents dans les polyoléfines génèrent des produits d'oxydation.

Ces situations ont été prises en compte pour élaborer les listes dans le domaine de la fabrication des MCDA. Il a été décidé de ne pas s'appuyer sur la notion de limitation potentielle de migration des néoformés de l'emballage vers l'aliment, en conséquence de sa structure (effet barrière) pour écarter certains domaines d'investigations. Pour garantir l'exhaustivité autant que possible des inventaires faits, il a été considéré que toute substance susceptible d'être générée dans les MCDA lors de leur fabrication pouvait migrer dans l'aliment. Si certains procédés ont été exclus de l'élaboration des listes, les raisons associées sont expliquées ci-après.

Dans une première approche, les experts ont recensé « quatre procédés généraux » communs applicables aux MCDA et pouvant affecter leur potentialité à générer des substances néoformées (voir Annexe B) : (i) la mise en forme du matériau, (ii) le vieillissement du matériau, (iii) les usages du matériau et (iv) les traitements que le matériau pouvait subir (par exemple désinfection ou décontamination).

Comme indiqué précédemment, un exercice initial d'identification des OU qui pourraient être impliquées dans la genèse des substances néoformées, dans chaque procédé général, a été conduit en parallèle. Ces listes ont été établies par consensus au sein du groupe d'experts, sur la base des connaissances et de l'expérience cumulée individuellement par chaque expert. Des exemples extraits de l'annexe B sont présentés dans le Tableau 2 pour information.

Les résultats de ce premier recensement ont montré qu'une classification par « procédés majeurs » ne permettait pas de recenser avec suffisamment de précision les procédés qui peuvent être appliqués dans la fabrication des MCDA. Il a ainsi été décidé par les experts de plutôt préparer un recensement sur les matières de départ, les procédés de transformation, les catégories de procédés.

Tableau 2 : Exemples de couples procédé/matière recensés pour les MCDA en première approche

Matières	PP	PE	PS	PET	Autres polyesters
Procédés					
Mise en forme du matériau					
• Non-formulé	x	x	x	x	x
• Formulé	x	x	x	x	x
• Extrusion	x	x	x	x	x

⁵ Non-publié

Matières	PP	PE	PS	PET	Autres polyesters
Procédés					
<ul style="list-style-type: none"> • Injection • Thermoformage • Traitement plasma pour modification de surface • Réticulation (<i>electron beam</i>) • Lumière pulsée • Cuisson/corona/réticulation/séchage 	x	x	x	x	x
<ul style="list-style-type: none"> • Thermoformage 	x	x	x	x	x
<ul style="list-style-type: none"> • Traitement plasma pour modification de surface 	x	x			
<ul style="list-style-type: none"> • Réticulation (<i>electron beam</i>) 	x	x			
<ul style="list-style-type: none"> • Lumière pulsée 					
<ul style="list-style-type: none"> • Cuisson/corona/réticulation/séchage 					
Vieillessement					
<ul style="list-style-type: none"> • Climatique (température/lumière/présence d'oxygène) 					
<ul style="list-style-type: none"> • Recyclage (multiloop) 				x	
<ul style="list-style-type: none"> • Désinfection (usine) 	x	x			
Usages					
<ul style="list-style-type: none"> • Thermique multiusages (ustensils) 					
<ul style="list-style-type: none"> • Microonde sans sucepteur 	x	x	x	x	x
<ul style="list-style-type: none"> • Microonde avec sucepteur 					x
Désinfection/décontamination					
<ul style="list-style-type: none"> • Lumière pulsée 	x	x	x	x	x
<ul style="list-style-type: none"> • Décontamination chimique de surface 	x	x			

Source : Annexe B, exemples à des fins d'illustration uniquement pour la totalité des résultats consulter l'annexe correspondante.

4.2.3.2 L'analyse sur les opérations unitaires (OU)

Comme dans le cas des procédés de fabrication des denrées alimentaires, la deuxième étape de l'analyse a consisté à identifier les OU, dans les procédés listés, qui pouvaient être le plus impliquées dans la génération de substances néoformées. Un exercice a été conduit afin de sélectionner les critères retenus par couple procédé/matière susceptibles d'impacter la génération de substances néoformées. Les résultats obtenus au cours de cette deuxième approche se trouvent à l'annexe C. Des exemples extraits de cette annexe sont présentés dans le Tableau 3 pour information.

La réactivité chimique avec les composants des denrées alimentaires, des substances pouvant migrer à partir des MCDA, n'a pas été considérée. Il a été estimé que, pour recenser les multiples réactions chimiques qui pourraient avoir lieu entre un matériau et un aliment, il était nécessaire d'identifier chimiquement les substances impliquées, ce qui était incompatible avec l'approche retenue dans cette analyse.

Comme mentionné précédemment, certaines OU ont été considérées *a priori* comme non susceptibles de générer des substances néoformées. Des OU appliquées à l'aliment déjà emballé (ex : pasteurisation), bien que susceptibles de générer des substances néoformées dans l'aliment,

ont été considérées comme hors domaine dans ce rapport qui s'intéresse aux étapes de fabrication des matériaux.

L'emploi des produits finis par les consommateurs ou dans le cadre de la restauration collective n'a pas non plus été considéré. Il a été estimé que ces emplois pouvaient être très variés d'un consommateur à l'autre ou d'un lieu de restauration à l'autre et donc très difficiles à prévoir.

Les étapes de stockage des matériaux n'ont pas été considérées estimant qu'une fois fabriqués, les MCDA sont peu enclins à générer de substances néoformées. Par ailleurs, le stockage de ces matériaux pouvait être très variable d'une usine de fabrication à une autre et donc difficile à prévoir pour ce travail de recensement.

Les métaux et alliages non revêtus d'une couche de matériau organique, les verres non revêtus d'une couche de matériau organique et les céramiques, vitrocéramiques et émaux n'ont pas été retenus dans cette analyse. Il a été considéré que ces matériaux sont de nature inorganique et leurs procédés de fabrication impliquent des traitements à très hautes températures (de 660°C pour l'aluminium à 1500°C pour le fer, de 1000 °C pour la céramique à 1400°C pour l'émail, et jusqu'à 1500 °C pour le verre). Ces traitements thermiques réduisent considérablement ou éliminent tout composé organique susceptible d'être considéré comme une substance néoformée.

Contrairement au cas des couples matrices/procédés (aliments), le traitement par rayonnements ionisants n'a pas été exclu de couples matière/procédé (MCDA) (voir section 4.2.2). Comme mentionné dans ce rapport, le traitement par rayonnements ionisants est un exemple d'OU générant des substances néoformées et il a été choisi pour illustrer le critère « Energie globale » pour le cas des MCDA. Ce traitement peut être assimilé soit à un procédé de nettoyage (décontamination microbienne de surface), soit à un procédé de modification de la structure des matières plastiques (par réticulation). C'est donc bien un procédé de transformation des matériaux, et par conséquent, les critères d'exclusion choisis pour les MCDA ne s'appliquent pas à cette OU.

Tableau 3 : Critères pouvant être identifiés sur des couples procédé/matière dans la fabrication des MCDA.

Matières	Procédés de transformation	Catégories de procédé	Critères liés aux procédés							
			Température °C	Pression Bars	Durée du procédé	Oxygène	Cisaillement	Rayonnements ionisants	UV	Humidité
PE	Extrusion	Mise en forme	+ (180-260)	+	+	+	+	-	-	-
PE	Injection	Mise en forme	+ (180-300)	+	+	+	+	-	-	-
PE	Thermoformage	Mise en forme	+ (160-200)	-	-	+	-	-	-	-
PE	Traitement par électrons accélérés	Modification de structure du matériau	-	-	+	+	-	+	-	-
PE	Traitement par électrons accélérés	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-
PE	Traitement par rayons gamma	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-
PE	Traitement Corona	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-
PE	Nettoyage chimique	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-
PE	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-

Source : Annexe C.

+ : Critère considéré comme susceptible d'impacter sur la génération de substances néoformées ; - : Critère considéré comme non susceptible d'impacter sur la génération de substances néoformées.

Le terme traitement « de surface » par rayonnement gamma dans le tableau précédent, se réfère à un traitement par photons du Cobalt⁶⁰ permettant la décontamination d'emballages et/ou l'amorçage de réactions chimiques à l'intérieur ou sur la surface des certains matériaux (la réticulation, le greffage, la nucléation pour moulage, le thermoformage, etc.).

Afin de cibler les situations susceptibles de produire des néoformés dans le périmètre fixé préalablement, des paramètres d'influence ont été sélectionnés basés sur les cas déjà traités dans la littérature ainsi que sur les connaissances des experts. Des données chiffrées, quand disponibles, ont été recherchées à partir des spécifications chimiques des MCDA et du rapport interne non-publié préparé par le CES MCDA mentionné auparavant.

Le Tableau 4 résume les OU exclues du champ de ce rapport dans les deux domaines d'intérêt considérés (aliments et MCDA).

Tableau 4 : Opérations unitaires (OU) exclues de ce rapport avec les justifications avancées.

OU exclues du rapport	Justificatifs
Denrées alimentaires	
<ul style="list-style-type: none"> • Procédés de simple réduction dimensionnelle (ex. broyage, hachage, découpe, découpe à jet d'eau), • Procédés mécaniques à froid (ex. filtration, barattage, ultrafiltration, foisonnement, pressage à froid) • Procédés de réfrigération et surgélation y compris par cryogénie 	Peu susceptibles de générer des substances néoformées <i>a priori</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'antimousses de synthèse 	Faible réactivité chimique
<ul style="list-style-type: none"> • Emploi d'additifs ou d'arômes ou d'enzymes autorisés 	Autorisation au niveau européen couvrant leur réactivité chimique avec les matrices dans lesquelles ils seront utilisés. L'apparition potentielle de substances néoformées a été prise en compte lors de leur évaluation des risques.
<ul style="list-style-type: none"> • Fumage par dispersion d'arômes de fumée 	N'a pas été considéré comme OU
<ul style="list-style-type: none"> • Traitements ionisants sur les matrices alimentaires 	Autorisation au niveau européen limitant la dose de traitement et les denrées alimentaires sur lesquelles il est autorisé. Les autorisations accordées ont pris en compte l'apparition potentielle de

OU exclues du rapport	Justificatifs
	substances néoformées lors de leur évaluation des risques.
MCDA	
<ul style="list-style-type: none">• OU appliquées à l'aliment déjà emballé (ex : pasteurisation)• Emploi des produits finis par les consommateurs ou dans le cadre de la restauration collective• Etapes de stockage des matériaux• Métaux et alliages non revêtus d'une couche de matériau organique, les verres non revêtus d'une couche de matériau organique et les céramiques, vitrocéramiques et émaux	<p>Hors domaine du rapport qui se focalise sur les étapes de fabrication des matériaux</p> <p>Emplois difficiles à cerner, très variés d'un consommateur à l'autre ou d'un lieu de restauration à l'autre</p> <p>Une fois fabriqués les MCDA sont peu enclins à générer de substances néoformées</p> <p>Matériaux de nature inorganique. Leurs procédés de fabrication impliquent des traitements à très hautes températures (660 jusqu'à 1500 °C) qui réduisent considérablement ou éliminent tout composé organique susceptible d'être considéré comme une substance néoformée</p>

5 Etape 3 : Identification et définition des critères pour comparer les différents couples

Les critères de hiérarchisation peuvent être classés en différentes familles de critères et sous-critères, afin de couvrir différents domaines d'intérêt, comme les critères sanitaires, les critères économiques, les critères sociétaux, etc. Les critères définis peuvent également être pondérés les uns par rapport aux autres, afin de donner plus d'importance à certains critères. A titre d'exemple, lors du classement des substances chimiques à inclure dans une étude de l'alimentation totale, le critère lié à l'impact sanitaire des substances avait été jugé primordial par les experts et s'était vu attribuer le poids le plus élevé. *In fine*, les résultats fournis par ces méthodes multicritères n'en demeurent pas moins des éléments d'aide à la décision ; l'interprétation et le jugement d'experts restent impératifs avant et afin de conclure (Papadopoulus et al., 2015).

Le choix des critères de hiérarchisation a été fait de façon minutieuse. Ces choix ont été faits au sein du groupe d'experts, sur la base de la littérature, des connaissances et de l'expérience cumulée individuellement par chaque expert. De façon générale, les critères devaient être indépendants les uns des autres, c'est-à-dire non corrélés et non redondants. Ils devaient être exhaustifs, de façon à tenir compte de l'ensemble de l'information jugée pertinente pour établir une hiérarchisation entre les alternatives. Cependant, les critères devaient être parcimonieux, se limitant aux informations essentielles pour les hiérarchiser. De façon générale, il n'est en effet pas recommandé de multiplier les critères car un nombre trop élevé rendrait le travail complexe et demanderait de collecter beaucoup d'informations, alors que dans beaucoup de domaines, notamment dans celui de la génération des substances néoformées, l'information n'est pas toujours disponible pour l'ensemble des critères retenus. Par ailleurs, multiplier les critères aurait pour conséquence de « diluer » les informations jugées les plus importantes.

Enfin, les critères devaient être opérationnels, c'est à dire être utilisables par les experts et applicables à l'ensemble des procédés. Il est généralement plus simple d'opter pour des critères quantifiables. Ainsi, il est nécessaire de sélectionner les critères pour lesquels on pourrait obtenir suffisamment de données, sur la base des connaissances des experts. En effet, s'il est possible dans la procédure de hiérarchisation de tenir compte de l'absence d'information, ou du fait que l'information est limitée, si ceci est le cas pour l'ensemble ou la majorité des couples à hiérarchiser, alors le critère en question ne sera pas discriminant et présentera un intérêt limité.

A ce stade du rapport, il convient de rappeler que la hiérarchisation porte sur les couples procédés/matrices ou procédés/matières et non pas sur les substances néoformées elles-mêmes. Aussi les critères relatifs à la dangerosité de la substance (ou l'impact sur la santé publique) ont d'emblée été écartés de la réflexion, de même que la concentration de substances néoformées dans le produit final (si tant est qu'elle soit connue). Toutefois, la notion de susceptibilité à générer des substances néoformées, sur la base des connaissances des experts membres du groupe de rapporteurs, a été fondamentale pour retenir ou écarter des procédés ou des OU dans les deux domaines d'intérêt de ce rapport (aliments et MCDA).

En conclusion, il a été décidé que le point de départ de l'identification des critères de hiérarchisation se ferait sur la base des couples procédés/matières alimentaires et procédés/MCDA.

Il a été reconnu par les experts du groupe de rapporteurs que différents procédés peuvent inclure des OU semblables et que les OU sont ainsi les dénominateurs communs aux divers procédés qui peuvent être recensés dans le domaine de la préparation des aliments ou la fabrication des MCDA. Ces OU deviendront donc les éléments sur lesquels s'appuiera le groupe de rapporteurs pour identifier quelques exemples de couples procédés/matrices.

Tant dans le domaine de la fabrication des denrées alimentaires que dans celui de la fabrication de MCDA, les facteurs ou paramètres, dans les OU retenues, susceptibles d'influencer la susceptibilité d'apparition de substances néoformées ont été déterminés.

Les divers facteurs et/ou paramètres ont été déterminés à partir d'un exercice initial mené sur le domaine de la fabrication des denrées alimentaires et des MCDA :

- Un premier procédé a été sélectionné et les matrices alimentaires sur lesquelles ce procédé était susceptible d'être appliqué ont été identifiées.
- Puis une matrice alimentaire a été sélectionnée dans l'exemple, la viande et le jus de fruits.
- Deux OU distinctes pouvant s'appliquer pour la fabrication de l'aliment ont ensuite été identifiées.

A titre d'exemple, pour illustrer la démarche, le traitement au four a été utilisé comme procédé type pouvant être appliqué à une matrice carnée humide et à une matrice végétale sèche. Le jus de fruits a été retenu comme matrice alimentaire et les traitements suivants ont été considérés en tant qu'OU :

- décontamination par ultrasons de puissance +
- séchage par atomisation.

Après cette première étape, les experts ont listé de façon individuelle, chacun dans son domaine de compétence, l'ensemble des facteurs et/ou paramètres pouvant influencer la susceptibilité d'apparition de substances néoformées, pour chacun des exemples choisis.

Aucune limite dans le nombre de traitements et/ou de critères n'était fixée, et leur dépendance les uns par rapport aux autres n'a pas été étudiée à ce stade. L'objectif de cet exercice était de favoriser l'expression de tous les experts lors de la recherche des informations, afin de produire un corpus de données le plus exhaustif possible. A partir de ces premières listes, les critères jugés redondants ont été supprimés. L'intégralité des critères identifiés dans l'exercice mentionné plus haut a été recensée dans un tableau, et les critères cités plusieurs fois ont été regroupés. Les critères ont ensuite été croisés entre eux (Tableau 5).

Tableau 5 : Exercice sur les traitements et/ou critères pouvant être identifiés dans la fabrication des trois denrées alimentaires prises en exemples

Critères applicables pour caractériser le couple Matrice/Procédé	Traitement au four d'une matrice carnée humide	Traitement au four d'une matrice sèche végétale (fabrication de biscuits)	Application d'ultrasons de puissance avec forte cavitation sur le jus de fruits	Application de séchage par atomisation (air chaud) sur le jus de fruits
Température	+	+	+	+
Temps	+	+	+	+
Humidité relative de l'air au contact	+	+	-	+
Présence d'oxygène	+	+	+	+
Intensité de traitement (puissance par kg)	-	-	+	-

pH	+	-	+	+
aw (représentant % de matière sèche)	+	+	-	-
% de lipides	+	+	-	-
% de protéines	+	+	-	-
% de glucides	+	+	+	+
% de sucres	+	+	+	+
% d'acides aminés	+	-	-	-
% NaCl	-	+	-	-
Acides gras polyinsaturés	-	+	-	-
% de vitamine C	-	-	+	+
% d'antioxydants totaux	-	-	+	+
% d'éléments métalliques traces	+	-	-	+

+ : Critère considéré comme susceptible d'impacter sur la génération de substances néoformées ; **-** : Critère considéré comme non susceptible d'impacter sur la génération de substances néoformées

Certains critères se sont avérés communs aux quatre exemples analysés, à savoir la température, le facteur temps (ou durée d'application du procédé sur la matrice), la présence d'oxygène, le pourcentage de glucides ou sucres réducteurs dans la matrice. En revanche, d'autres facteurs, comme le pH, l'humidité relative de l'air, la teneur en sel, la teneur en vitamines antioxydantes (ex. vitamine C), ou encore l'intensité du traitement appliqué, ne concernaient *a priori* que certaines OU et n'étaient donc pas communs aux quatre couples matrices alimentaires et procédés examinés comme exemples (Tableau 1).

Lors de la définition des critères, l'une des difficultés était de définir un critère pour le lequel le sens d'utilisation ou d'impact (ou l'échelle du critère) serait le même quel que soit le couple procédé/matrice considéré. Par exemple, un critère quantifié relatif à la température sous-entend que « plus la température est élevée (ou basse), plus la potentialité de générer des substances néoformées est élevée (ou faible) ». Cette potentialité ne doit pas être plus élevée pour certains couples et plus faible pour d'autres.

Dans le cas contraire, il a été nécessaire de réviser le critère. A titre d'exemple, le critère relatif au pH a été retravaillé. La réactivité et la genèse de néoformés augmentent avec l'acidité, mais également lorsque le pH est basique. Aussi, le critère a été finalement redéfini par rapport à l'écart au pH neutre (Δ pH 7). Ainsi, plus l'écart au pH 7 est grand, qu'il soit positif ou négatif, plus la probabilité d'apparition de substances néoformées sera élevée.

Tout au long de la définition et du choix des critères, il a été considéré que ceux-ci devaient remplir les quatre conditions essentielles évoquées plus haut, à savoir être : parcimonieux, exhaustifs, opérationnels et indépendants les uns par rapport aux autres.

5.1 Identification et définition de critères sélectionnés dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires

A l'issue du travail préliminaire sur les quatre exemples cités plus haut, il a été demandé aux experts de faire un « screening » complet de la liste des couples procédés/matrices alimentaires à hiérarchiser, afin d'identifier les critères qui n'auraient pas été cités dans l'exemple précédent et qui pourraient apparaître importants pour les autres couples procédés/matrices listés. L'objectif était ainsi, en s'appuyant sur le domaine des possibles, de lister les critères communs à l'ensemble des couples listés pouvant influencer sur la susceptibilité d'apparition de substances néoformées. Pour établir cette liste, il a fallu examiner aussi exhaustivement que possible tous les procédés, couples et OU qui pouvaient être appliqués à une même matrice.

Dans tous les procédés examinés des critères récurrents ont été identifiés :

- La température à laquelle le procédé est appliqué. Plus la température est élevée, plus l'énergie thermique introduite dans le système est élevée, ce qui accélère les réactions chimiques ;
- La durée d'application du procédé. En combinant la durée d'application avec une grandeur d'intensité du traitement (par exemple la température, la pression, le flux de rayonnement), on peut ainsi estimer une *intensité cumulée* qui traduit la *quantité d'énergie thermodynamique* que reçoit la matrice ;
- La composition en constituants biochimiques de la matière alimentaire, tels que les protéines, les lipides et les glucides pouvant conditionner l'étendue des réactions chimiques aboutissant à la formation de substances néoformées. Les experts du groupe de travail ont décidé de mieux définir le critère « % lipides », en précisant que ce sont les « % lipides insaturés » qui sont plus particulièrement réactifs et donc susceptibles de générer des substances néoformées. De même, le groupe a décidé de mieux définir le critère « % glucides », en précisant qu'il s'applique aux « % sucres réducteurs » susceptibles de contribuer à la formation de produits issus de la réaction de Maillard ;
- Les paramètres physicochimiques dont la valeur favorise ou au contraire protège contre la survenue de réactions chimiques susceptibles de générer des substances néoformées. Par exemple, l'écart de pH par rapport au pH 7 (ΔpH 7) et l'activité de l'eau (a_w). En effet, plus la matière est concentrée en matière sèche (ce qui se traduit par un a_w faible) et plus la probabilité est élevée que des réactions chimiques puissent survenir. Avec des exceptions, comme par exemple les réactions d'hydrolyse qui sont favorisées en présence d'eau disponible (a_w élevée) ;
- Le potentiel redox⁶ du couple procédé/matrice. Les réactions d'oxydation sont à l'origine d'un nombre important de substances néoformées (Choe and Min, 2005). Ces réactions sont favorisées par la présence d'oxygène et, pour cette raison, la présence d'antioxydants influe sur leur étendue.

Une liste de critères généraux sélectionnés à partir de l'Annexe B a été produite à l'issue de cet exercice de regroupement (Tableau 6).

⁶ Le potentiel d'oxydoréduction (redox) est une grandeur thermodynamique qui mesure le pouvoir oxydant ou réducteur d'un système. Plus un système est oxydant, plus il est capable de réduire en captant des électrons, et plus son potentiel redox est élevé. A l'inverse, plus un système est réducteur, plus il a tendance à se réduire en cédant les électrons et plus son potentiel redox est bas.

Tableau 6: Critères identifiés communs aux divers procédés de fabrication de denrées alimentaires, recensés dans un premier temps.

Température
Durée du traitement
Humidité relative de l'air au contact
Présence d'oxygène
% lipides
% acides gras
% protéines
% glucides
% sucres réducteurs
aw
pH
% NaCl
Energie mécanique appliquée sur la matière
Energie radiative
Réactivité des auxiliaires technologiques
Réactivité des composants de la matrice alimentaire (lipides, protéines, oligosaccharides)

Ce recensement a permis d'observer que tous les procédés listés dans ce rapport pouvaient être caractérisés, *a minima*, par un nombre restreint de critères, sélectionnés pour refléter des conditions les plus susceptibles de générer des substances néoformées parmi d'autres critères possibles. Les experts du groupe de rapporteurs se sont aussi accordés sur le fait que ces critères pourraient être quantifiés, sous forme de niveaux ou plages définies par l'expérience et l'appréciation des industries qui utilisent ces procédés, pour un travail futur de pondération (cotation) des critères sélectionnés.

Après considération de la signification des critères sélectionnés à cette étape et de ce qu'ils pouvaient représenter comme conditions de traitement, le groupe de rapporteurs a décidé de mieux définir (affiner) certains critères. Par exemple, le critère « flux d'énergie » a été considéré comme pouvant représenter les critères « température », « rayonnement ionisant » et « rayonnement UV ». Aussi, le critère « durée » a été redéfini en un critère « temps » qui s'adapte à des mesures précises.

Le Tableau 7 liste les critères finaux retenus par le groupe de rapporteurs à partir du premier recensement.

Tableau 7 : Critères finaux retenus pour les procédés de fabrication de denrées alimentaires

Température
Temps du traitement
Pression
Potentiel redox
% lipides insaturés
% protéines
% sucres réducteurs
Présence d'antioxydants
aw
ΔpH 7
Rayonnement UV

Ces critères ont été classés par famille afin de faciliter une hiérarchisation future. L'objectif était d'avoir des familles de critères de même nature, en les subdivisant par la suite en deux groupes, afin de simplifier un futur travail de pondération qui permettrait de les hiérarchiser (Tableau 8).

A l'issue de ce recensement, deux « niveaux » de critères ont été définis, l'un général et l'autre spécifique, illustrant les deux grands types de critères susceptibles d'influer sur la probabilité d'apparition de substances néoformées :

- Les conditions de mise en œuvre du procédé (durée d'application, présence d'oxygène, énergie thermodynamique appliquée, etc.) ;
- La composition et les caractéristiques de la matrice alimentaire (pourcentage de lipides insaturés, Δ pH 7, etc).

Tableau 8: Subdivision des critères finaux retenus pour les procédés de fabrication de denrées alimentaires.

Conditions du procédé	Température Temps du traitement Pression Potentiel Redox Réactivité chimique des auxiliaires technologiques Rayonnements ionisants Rayonnements UV
Composition et caractéristiques de la matrice	% lipides insaturés % protéines % sucres réactifs Présence d'antioxydants aw Δ pH par rapport à pH 7

5.2 Identification et définition de critères sélectionnés dans le domaine des MCDA

De la même façon que précédemment pour la partie préparation des aliments, il a été demandé aux experts du groupe de faire un screening complet de la liste des couples procédés/matières à hiérarchiser, afin d'identifier les facteurs qui n'auraient pas encore été cités, et qui pourraient apparaître importants pour les autres couples procédés/matières.

La sélection des critères a été effectuée de la même façon que précédemment pour la partie préparation des aliments (section 5.1).

Une première liste de critères généraux sélectionnés à partir de l'annexe C a été produite à l'issue de cet exercice de regroupement (Tableau 9).

A titre d'exemple, pour les couples procédés/matières, il a été conclu que le critère « chimie réactive » était en fait déjà couvert par le critère « réactivité des auxiliaires technologiques » et par le critère « réactivité des oligomères ».

Tableau 9 : Critères identifiés communs aux procédés dans la fabrication de MCDA recensés dans un premier temps

<p>Critères liés aux conditions du procédé :</p> <ul style="list-style-type: none">TempératureTemps de traitementPressionCisaillementPrésence d'oxygèneHumiditéRayonnements (ionisants, UV) <p>Critères liés à la composition des matériaux :</p> <ul style="list-style-type: none">Additifs direct et indirects dans la formulation (nombre, réactivité)Matières recyclées (matière rebroyée* et matière recyclée post-consommation**)

**chutes de production, ** déchets de consommation*

Le nombre de critères généraux a été réduit en exprimant plusieurs des critères choisis en termes d'énergie appliquée pour les couples température/durée, pression/durée, cisaillement/durée et rayonnement/durée. Ces choix ont été justifiés par la prise en compte du fait que la potentialité de générer des substances néoformées nécessite l'incorporation d'énergie pour rompre des liaisons covalentes ou pour enclencher des réactions chimiques pouvant générer des substances néoformées. Le critère « additifs directs et indirects dans la formulation » a été renommé « réactivité d'additifs dans la formulation ». En effet, ce critère est rendu opérationnel (mesurable) en le exprimant par une « variation en concentration » des additifs mis au départ versus leur concentration dans le produit fini.

Le Tableau 10 montre la subdivision finale réalisée pour les critères retenus.

Tableau 10 : Subdivision des critères finaux retenus pour les procédés de fabrication de MCDA

Conditions du procédé	Température Temps du traitement Pression Potentiel redox Cisaillement Rayonnement ionisant Rayonnement UV Humidité
Composition des matériaux	Variation (Δ) de concentration des additifs dans la formulation en fonction de leur réactivité % utilisation de matières recyclées

6 Projet d'analyse d'incertitude dans la hiérarchisation des couples procédés/matrices en termes de susceptibilité de générer de substances néoformées

Pour l'analyse des incertitudes en relation avec ce rapport, le groupe de rapporteurs a fait le choix de rédiger ce chapitre conformément aux suggestions formulées à ce sujet dans deux documents publiés par l'ANSES (ANSES, 2016) et l'EFSA (EFSA, 2018).

Ce chapitre du rapport s'attachera dans un premier temps, après un rappel des quelques définitions importantes pour le cadre du travail, à présenter les différentes étapes de la procédure pour l'analyse des incertitudes liées à un travail d'évaluation.

Dans son rapport l'Anses définit l'incertitude comme « un manque ou une limite dans les connaissances disponibles pour évaluer une situation en vue d'une prise de décision ». Ce même rapport définit la variabilité d'une caractéristique dans un référentiel prédéfini (individu, groupe ou population) comme reflétant la différence observée entre les valeurs de cette caractéristique par rapport au référentiel choisi. Dans ce contexte, une analyse d'incertitude est définie comme un processus ayant pour objectif « d'identifier, décrire, quantifier et communiquer les incertitudes associées aux résultats ».

Les définitions de ces termes sont très proches entre les documents Anses et EFSA, mais le champ de leur définition est plus large considérant le fait qu'elles s'appliquent pour un ou des processus plus généraux d'évaluation.

Il est cependant bien soulevé dans les deux documents que l'analyse des incertitudes dans un processus d'évaluation ne pourra être menée à bien, et surtout efficace pour appuyer ou pondérer le point de la décision finale de l'évaluation, que si un cadrage initial de la saisine est correctement réalisé conformément aux méthodologies d'expertise retenues par les différentes agences.

6.1 Déroulement de l'analyse d'incertitude

Dans la planification d'une évaluation, l'analyse des incertitudes doit s'effectuer de manière ordonnée afin que les résultats puissent conduire à une détermination du poids de ces incertitudes sur la décision finale de l'évaluation. Une stratégie de conduite d'une analyse d'incertitude qui se décompose en 5 étapes a été proposée dans le rapport de l'Anses (ANSES, 2016).

Dans le cadre de la première étape du déroulement du processus d'analyse des incertitudes (identification et description de l'ensemble des incertitudes rencontrées dans ce travail de hiérarchisation), il apparaît nécessaire de résumer la démarche pour la hiérarchisation dans le cadre de la saisine. Pour rappel, pour le travail de hiérarchisation conduit dans ce rapport et reposant sur les trois premières étapes des méthodes multicritères, il a été décidé de définir pour chaque situation une liste la plus exhaustive possible des couples procédés/matrices et procédés/matériaux. Dans une deuxième étape, il a été choisi d'identifier des critères communs aux différents procédés identifiés et dans un troisième temps, les critères identifiés ont été simplifiés afin de préparer un travail futur de pondération (cotation) des critères sélectionnés.

Dans le cadre du traitement de la saisine dont fait l'objet ce rapport, une synthèse des données de chaque étape pourra faire l'objet d'un tableau à l'image de celui suggéré dans le rapport publié par l'Anses. L'intégration de ces concepts a donné lieu à deux tableaux globaux correspondant chacun aux deux champs d'analyse de ce rapport (procédés de fabrication de denrées alimentaires et procédés de fabrication de MCDA).

Une analyse du bilan des différents tableaux permettra de mener à bien la première étape de l'analyse d'incertitude. L'identification et la description des incertitudes à partir de ces deux tableaux pourraient faire l'objet d'un troisième tableau comme proposé dans le rapport de l'Anses. Ce dernier tableau tiendra compte des différentes étapes dans l'élaboration du présent rapport de la manière suivante :

- Contexte et formulation de la question
- Choix de la méthode de hiérarchisation
- Définition des champs d'application pour la méthode retenue
- Définition des couples procédés/matrice et procédés/matériaux
- Détermination des critères

Le Tableau 11 ci-dessous permet une analyse rapide des incertitudes identifiées liées à la méthodologie retenue par le groupe de travail pour répondre à la question posée.

Il paraît difficile à ce stade du travail de pouvoir apprécier à un juste niveau l'impact de ces incertitudes sur la hiérarchisation finale qui sera obtenue dans le cadre de la priorisation.

Tableau 11 : Analyse des incertitudes

Source de l'incertitude (description de l'incertitude)	Origine	Prise en compte dans la hiérarchisation	Estimation de l'impact
Contexte et formulation de la question			
Substances néoformées (limites retenues)	La définition même de la notion de substances néoformées (distinction difficile avec la notion de produits de dégradation). La notion d'effet nécessaire à l'impact sur une molécule (rupture de liaison covalente) pour une susceptibilité d'apparition de substances néoformées	Les limites sont bien prises en compte pour l'appréciation de l'apparition possible de ces substances néoformées	+
Champs d'application retenus (caractère exhaustif des procédés et des matrices)	Il est totalement incertain que tous les procédés, les OU, leur éventuel regroupement et la description de matrices alimentaires ou de matières soient pris en considération de manière exhaustive	La sélection écarte volontairement des procédés dits <i>a priori</i> peu impactants sur la susceptibilité d'apparition de substances néoformées	++
Choix de la méthode de hiérarchisation			
Adaptation et exigence de la méthode multicritères	Aucune méthode ne s'adapte précisément à l'objectif de la saisine.	Non pris en compte.	+
	Contrainte de la méthode	Pris en compte.	++

(existence de plusieurs méthodes)	nécessitant une harmonisation des critères retenus applicables à l'ensemble des couples (procédés/matrices – procédés/MCDA)	Génère des difficultés dans la justification de la hiérarchisation	
Définition des champs d'application pour la méthode retenue			
Choix du champ d'application	Les couples aliments/procédés et MCDA/procédés ont été jugés trop différents pour pouvoir être traités d'une manière commune (les préparations ou transformations des aliments (prenant en considération l'utilisation des auxiliaires technologiques) d'une part et la fabrication des matériaux d'autre part	L'incertitude liée au traitement global de la question posée a été limitée en séparant dans deux domaines distincts Les champs d'application ont été volontairement restreints à deux champs distincts.	-
Détermination des critères			
Adaptation et exigence de la définition des critères	L'incertitude réside dans l'impossibilité de considérer des critères qui pourraient être spécifiques à un couple donné et fort impactants	Cette incertitude sera prise en considération par un ajustement le plus large possible des gammes de variation des critères	+

7 Conclusions du groupe de travail

Initialement la question posée était de développer une (ou des) stratégie(s) de priorisation des substances néoformées indésirables issues de l'emploi des auxiliaires technologiques dans la fabrication des denrées, de l'emploi des matériaux au contact des denrées et des procédés de préparation des aliments. Le groupe des rapporteurs a reformulé la question initiale de la manière suivante : identifier les procédés associés aux matrices ou matières premières les plus susceptibles d'induire la formation de substances néoformées.

Afin de répondre à cette question, l'approche proposée par le groupe a été volontairement séparée en deux volets couvrant la fabrication des denrées alimentaires d'une part et la fabrication des MCDA d'autre part. La susceptibilité d'apparition de substances néoformées est basée sur l'expérience des experts et sur la littérature consultée.

Les procédés utilisés en technologie alimentaire ont été détaillés sous forme d'Opérations Unitaires (OU) appliquées sur les différentes matrices alimentaires. Des exemples de produits alimentaires finis ont été associés aux différents couples procédés/matrices. Ce travail a abouti au tableau détaillé figurant en Annexe A.

Les procédés utilisés pour la fabrication des MCDA ont été détaillés sous forme d'OU appliquées sur différentes matières premières. Des exemples de MCDA ont été associés à différents couples procédés/matières. La migration potentielle de substances néoformées des MCDA vers l'aliment n'a pas été abordée dans cette démarche. Ce travail a abouti au tableau détaillé figurant en annexe C.

Dans le but de hiérarchiser les couples susceptibles de générer de substances néoformées, des critères ont été proposés en nombre volontairement restreint, conformément aux exigences des méthodes multicritères existantes.

Compte tenu du grand nombre de situations à analyser, aucune cotation (ou poids) des différents critères les uns par rapport aux autres n'a pu être établie au terme de cette première phase de réflexion.

En conclusion, ce travail a permis d'observer que les procédés recensés peuvent être caractérisés, *a minima*, par un nombre restreint de critères, sélectionnés pour refléter des conditions les plus susceptibles de générer des substances néoformées parmi d'autres critères possibles. Ces critères pourraient être quantifiés, sous forme de niveaux ou plages définies par l'expérience et par l'appréciation des industries qui utilisent ces procédés, pour un travail futur de pondération (cotation) des critères sélectionnés.

Ce travail a fait ressortir quatre critères communs à la fabrication des aliments et des MCDA : la température, la durée de traitement, la pression et le rayonnement. En revanche, les cotations qui pourraient être allouées à ces critères seraient différentes d'un domaine (aliments) à l'autre (MCDA).

D'une manière générale, une partie des critères qui ont été définis est liée à des paramètres des procédés qui caractérisent l'énergie globale appliquée favorisant la rupture des liaisons covalentes ou les vitesses des réactions chimiques. Ainsi, dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires, l'énergie globale appliquée est plus faible lors d'un traitement thermique court à haute température, que lors d'un traitement long à plus basse température, avec la même finalité (ainsi les traitements HTST sont connus pour être globalement moins impactant pour l'apparition de substances néoformées). Dans le domaine des MCDA, la dose (énergie totale cumulée exprimée en kGy) et le débit de dose du rayonnement ionisant appliquée à une matière plastique a un impact direct sur l'apparition des substances néoformées.

Il est indispensable d'évaluer l'intensité cumulée des OU sous la forme d'une « énergie globale appliquée » au cours de toute la durée du procédé. Les procédés étant de natures différentes (thermique, physique, mécanique, chimique), l'estimation des énergies globales appliquées

nécessitera d'harmoniser les données. En effet, celles-ci sont exprimées dans des unités très différentes selon leur nature et il conviendrait de combiner les intensités énergétiques avec les durées effectives des OU. Il n'est toutefois pas possible de proposer une unité commune caractérisant cette intensité cumulée.

Les autres critères sont liés à la composition chimique de la matrice alimentaire ou de la matière des MCDA, et à la présence de composants plus ou moins réactifs.

Recommandations issues de ce travail :

Il est recommandé de poursuivre la démarche pour aboutir à une hiérarchisation basée sur les critères retenus pour les couples procédé/matrice et procédé/matière.

La poursuite de cette démarche nécessitera de collecter :

- i) des données relatives aux paramètres de réglage des procédés listés afin d'évaluer l'énergie globale cumulée,
- ii) des données relatives à la composition initiale des matrices et des matières.

A partir de ces données, la cotation affectée aux différents critères retenus devrait permettre d'estimer la susceptibilité d'apparition de substances néoformées. Une première classification, sous forme de plages chiffrées de température, a été proposée dans l'annexe A pour les procédés thermiques. Cette classification a été établie sur la base de l'expérience des experts et de la bibliographie consultée, dans le cas de la formation de substances néoformées déjà identifiées.

Les critères s'appliquant aux caractéristiques physicochimiques des matrices pourraient faire l'objet de cotation sur la base d'échelles chiffrées de « réactivité chimique » prenant en compte chacun des six critères communs retenus : % lipides insaturés ; % protéines ; % sucres réactifs ; présence d'antioxydants ; aw ; Δ pH par rapport à 7. Il pourrait être pertinent d'attribuer une cotation additionnelle à un ou plusieurs critères lorsque la composition biochimique de la matrice présente une singularité connue, par exemple, une concentration élevée d'asparagine (critère = % protéines) et de sucres réducteurs (critère = % sucres réducteurs), combinaison connue pour générer de l'acrylamide à haute température ; concernant les MCDA, la présence résiduelle d'isocyanate (critère = différence de concentration des additifs) en présence d'eau (critère = humidité) conduit à la génération connue d'amines aromatiques dans les polyuréthanes.

8 Bibliographie

- AFSCA 2010. Risques concérogènes et/ou génotoxiques dans les denrées alimentaires : contaminants liés aux processus.
- Anses, 2016. Prise en compte de l'incertitude en évaluation des risques : revue de la littérature et recommandations pour l'Anses. Rapport d'étape. Novembre 2016.
- Anses, 2015. Dangers chimiques liés à la présence de substances néoformées dans les aliments au cours des procédés de fabrication, de transformation et de préparation des aliments. Novembre.
- Anses. 2011. Etude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2). Rapport d'expertise.
- Anses, 2007. Revue des données récentes relatives à l'ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine. Avril, 2007.
- CE, 1999. Directive 1999/2/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 février 1999 relative au rapprochement des législations des Etats membres sur les denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation. JO L 066 du 13/03/1999 p. 0016-0023.
- CE, 2004. Directive 2004/1/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 janvier 2004 portant modification de la directive 2002/72/CE en ce qui concerne la suspension de l'usage de l'azocarbonamide comme agent gonflant. JO L 007 du 13.1.2004 p. 0045-0046.
- CE, 2005. Règlement (CE) N° 1895/2005 de la Commission du 18 novembre 2005 concernant la limitation de l'utilisation de certains dérivés époxydiques dans les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. JO L 302/28 du 19.11.2005.
- Choe E, Min DB. 2005. Chemistry and reactions of reaction oxygen species in foods. J Food Sci 70, 142-143.
- Cotterill JV, Chaudhry MQ, Matthews W, Watkins RW. 2008. *In silico* assessment of toxicity of heat-generated food contaminants. Food Chem Toxicol 46, 1905-1918.
- EFSA, 2003. Statement of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC) updating the advice available on semicarbazide in packaged foods. Adopted on 1 October 2003.
- EFSA, 2004. Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC) on a request from the Commission related to the use of epoxidised soybean oil in food contact materials. The EFSA Journal 64, 1-17.
- EFSA, 2018. Guidance on uncertainty analysis in scientific assessments. EFSA Journal 2018; 16(1):5123
- Fan X. 2005. Formation of furan from carbohydrates and ascorbic acid following exposure to ionizing radiation and thermal processing. J Agric Food Chem 53 (20), 7826-7831.
- Hoenicke K, Gatermann R, Hartig L, Mandix M, Otte S. 2004. Formation of semicarbazide (SEM) in food by hypochlorite treatment: is SEM a specific marker for nitrofurazone abuse? Food Addit Contam 21, 526-537.
- Krishnakumar T, Visvanathan R. 2014. Acrylamide in food products: A review. J Food Process Technol 5, 344. Doi:10.4172/2157-7110.1000344.
- Kwon J-W. Semicarbazide (SEM): Natural occurrence and uncertain evidence for its formation from food processing. Food Control (in press), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.02.022>.
- Martin C, Legret M. 2005. La méthode multicritère ELECTRE III. Définitions, principe et exemple d'application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées. Réf. 4568, PP, 29-46. Octobre-Novembre-Décembre 2005.

- Papadopoulos A, Sioen I, Cubadda F, Ozer H, Oktay Basegmez HI, Turrini A, Lopez Esteban MT, Fernandez San Juan PM, Sokolić-Mihalak D, Jurkovic M, De Henauw S, Aureli F, Vin K, Sirot V. 2015. TDS exposure project: Application of the analytic hierarchy process for the prioritization of substances to be analyzed in a total diet study. *Food Chem Tox* 76: 46-53.
- Saaty TL. 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, NY.
- Saaty TL. 2008. Decision making with the analytical hierarchy process. *Int J Services Sciences*, 1 (1): 83-98.
- Seok Y-J, Her J-Y, Kim Y-G, Kim MY, Jeong SY, Kim MK, Lee J-Y, Kim C-I, Yoon H-J, Lee K-G. 2015. Furan in thermally processed foods – A review. *Toxicol Res* 31, 241-253.
- Skog K, 2003. The Heatox project. Project no. 506820. Final report. Project coordinator: Kertin Skog. Lund University. Lund Sweden. 1 November 2003. http://cordis.europa.eu/result/rcn/51664_en.html
- Stadler RH, Lineback DR. Eds. 2009. *Process-induced food toxicants: occurrence, formation, mitigation, and health risks*. John Wiley & Sons, Inc.
- Statement of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC) updating the advice available on semicarbazide in packaged foods. Adopted on 1 October 2003.
- Tervonen, T.; Figueira, J. (2008). "A survey on stochastic multicriteria acceptability analysis methods". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 15 (1-2): 1–14. doi:10.1002/mcda.407
- Yuan Y, Chen F, Zhao G-H, Liu J, Zhang H-X, Hu X-S. 2007. A comparative study of acrylamide formation induced by microwave and conventional heating methods. *J Food Sci* 72, C212-216.
- Zelinkova Z, Wenzl T. 2015. The occurrence of 16 EPA PAHs in food – A review. *Polycyclic aromatic compounds* 35, 248-284.

9 Annexes techniques

Annexe A: Familles de procédés, d'opérations unitaires (OU) et de matrices sur lesquelles ces OU sont généralement appliquées en industrie agro-alimentaire.

FAMILLES DE PROCEDES	EXEMPLES D' OU	Matrices alimentaires typiquement concernées ⁷ (composition biochimique, caractéristiques physico-chimiques) ; matrices génériques ou plus spécifiques	TYPE D'ALIMENTS IDENTIFIES / PARTICULIEREMENT CONCERNES (exemples de produits finis)
Traitements thermiques			
Traitement thermique à température réfrigérée positive, ou température négative	surgélation (-18°C ou inférieur) ; congélation (-5 à -18°C), cryogénie (-90 à -150 °C)); réfrigération (entre 0 et +12°C)	Tous types d'aliments humides (aw > 0,85)	Produits surgelés tous types ; crèmes glacées et sorbets produits frais élaborés, réfrigérés, tous types
Traitement thermique très faible ou négligeable, Traitements réalisés à une température ne dépassant pas 50°	Traitement à température ambiante : 4 à 30° C ; Pasteurisation à basse température/cuisson sous vide, jusqu'à 50°C Décongélation par microondes ou radiofréquences	Tous types d'aliments humides (aw > 0,85)	Produits frais élaborés, crus ou cuits, réfrigérés, tous types. végétaux crus prêt à l'emploi

⁷ Les matrices citées regroupent notamment les types d'aliments suivants (aussi exhaustif que possible) : a) Produits viandes = tous produits carnés bruts ou transformés à base de muscles et d'abats, crus ou cuits : Viandes, préparations de viandes, produits à base de viandes ; b) Produits poissons = tous produits crus ou cuits à base d'organismes animaux aquatique : produits de la pêche et de l'aquaculture ; c) Céréales et assimilées = pains, panification sèche, produits de biscuiterie, pâtisseries, pâtes alimentaires, riz, maïs et autres céréales consommées en l'état, céréales pour petit déjeuner. Tout produit dans lesquels les céréales sont un ingrédient majoritaire ou significatif.

Traitement thermique réalisés à moyenne Température : entre 50°C et 100°C	Pasteurisations classiques y compris par micro-onde ; Flash pasteurisation ; Cuissons ; Blanchiment en vapeur ou par immersion ; Pelage chimique à chaud	Tous types d'aliments humides ($a_w > 0,85$)	Produits laitiers frais et desserts frais, fruits transformés et jus de fruits pasteurisés, légumes transformés cuits puis réfrigérés ; poissons et viandes cuites, charcuteries cuites, ovoproduits ; plats cuisinés pasteurisés puis réfrigérés ; conserves de produits acides à pH < 4,5 (fruits, tomates, olives fermentées...)
Traitement thermique réalisés à haute température : entre 100° et 150°C en conditions humides	Appertisation (stérilisation d'aliments humides) Chauffage ohmique HTST de produits « pompables » ; Chauffage fort par microondes, radiofréquence Pelage flash vapeur (pommes de terre, légumes racines) Traitement des liquides HTST (procédé UHT)	Tous types d'aliments humides ($a_w > 0,85$)	Conserves de produits non acides pH > 4,5 ; aliments pour bébés ; viandes, légumes et produits laitiers cuits ; pâtisseries cuites
Traitement thermique à haute température : entre 100° et 150°C en conditions sèches	Cuisson extrusion ; cuisson des masses sucrées Séchage à l'air chaud ; séchage avec gaz de combustion	Toutes matrices humides et sèches (a_w initial ou final < 0,85) dont : céréales ; sucres ; légumes, lait, etc.	Céréales de petit déjeuner ; produits céréaliers semi -humide et secs ; pain, viennoiseries confiseries ; fruits, légumes et pommes de terre déshydratés ; lait en poudre ; amidons et ingrédients secs, épices

Traitement thermique très fort réalisé à température > 150°C	Cuisson et/ou séchage en four sec ou avec vapeur, à 150 - 250° (panification, biscuiterie, pâtisserie au four, séchage) Cuisson du sucre avec ou sans caramélisation Friture (à 160°C et plus) Cuisson au-dessus de 150°C Traitement de surface par Infra-Rouge : grill, séchage, « toastage », Barbecue / Grill / Braise et/ou Flamme, avec pyrolyse partielle ; Contact direct avec surface très chaude : plaque grill ; « snackage » ; Torréfaction	Matrices semi humides et sèches: (aw initial ou final < 0,85, dans la masse ou localement avec croutage) - produits céréaliers ; - masses sucrées, caramels - café vert et fèves de cacao, fruits secs - noisettes, amandes, graines oléagineuses, etc. - huiles et matières grasses animales ou végétales Matrices humides : - viandes et poissons - fromages - légumes et pommes de terre	Sucres cuits et caramels ; croute du pain ; biscuits secs, biscottes, pop-corn tous les aliments frits / panés ; beignets tous les aliments gratinés viandes, poisson, légumes grillés à la braise ou à la flamme ou sur plaques café, cacao, chocolat ; fruits secs confiseries
Procédés chimiques et biologiques (hors emploi d'auxiliaires technologiques)			
Hydrolyses dirigées	Hydrolyse chimique ou enzymatique, en absence ou en présence de sel	Concentrat et isolats de protéines végétales ; graines protéagineuses entières ou dégraissées, farines ; poissons	Protéines végétales hydrolysées ; sauces de poissons
Fumage	Exposition directe à la fumée obtenue par combustion dirigée de bois ou de tourbe.	Viandes, poissons, fromages, matrices végétales ; céréales de brasserie (orges, malt, etc.)	Produits carnés et poissons fumés, fromages fumés ; produits végétaux fumés, épices ; bières, alcools distillés
Salaison	Traitement avec NaCl avec ou sans nitrites et/ou nitrate, sous forme sèche ou de saumures liquides	Viandes, poissons	Produits carnés, poissons,
Fermentations dirigées	Action d'agents microbiologiques sélectionnés (bactéries, levures, moisissures)	Fruits, légumes, graines oléoprotéagineuses dont soja ; lait ; viandes ; céréales	Sauce soja, miso, et similaires fromages, produits laitiers, charcuteries sèches, choucroute et pickles végétaux fermentés ; vin, bière, boissons alcoolisées
Procédés par haute pression (> 50 MPa)			
Haute Pression appliquée à basse température jusqu'à 25°C environ	Décontamination à froid dans l'emballage ; Texturation des protéines Décorticage des crustacés	Viandes crues et cuites, produits de la mer, fruits et légumes, ovoproduits	Produits frais crus, produit cuits, réfrigérés ; plats cuisinés ; charcuteries ; ovoproduits, jus de fruits, produits de la mer élaborés
Haute Pression appliquée à moyenne température entre 25 à 100°C environ	Pasteurisation assistée par HP	Produits carnés, plats cuisinés	Foies gras

Traitements mécaniques - Traitement avec fort cisaillement			
Homogénéisation par impact		Lait, produits laitiers ; fruits et légumes, sauces émulsionnées	Lait, crème, desserts lactés ; jus de fruits et légumes, sauces émulsionnées type mayonnaises, potages
Ultrasons de puissance avec forte cavitation	Assistance au lavage ; décontamination des liquides	Fruits et légumes frais lait ; jus de fruits	Végétaux crus prêt à l'emploi jus de fruits et légumes ; boissons lactées
Cuisson extrusion	Malaxage intense à chaud et sous pression, avec fort cisaillement	Céréales, sucres, matières grasses	Céréales du petit déjeuner, snack apéritifs, produits céréaliers croustillants ; confiseries
Détente Instantanée Contrôlée	Chauffage sous pression de vapeur, suivi d'une détente brutale avec évaporation instantanée	Fruits, légumes	Légumes et fruits déshydratés
Traitements électriques (non thermiques)			
Champs électriques pulsés pour l'extraction	Extraction à froid ; prétraitement avant pressage	Fruits et légumes, plantes aromatiques	Fruits et légumes transformés ; ingrédients bioactifs à forte valeur ajoutée (aromes, colorants, antioxydants, etc..)
Champs électriques pulsés pour la décontamination	Produits liquides « pompables » sans particules	Fruits, légumes, lait	Jus de fruits, de légumes, boissons lactées
Traitements radiatifs en surface			
Lumière Pulsée (Impulsions Lumineuses à Haute Densité Energétique – ILHDE)	Décontamination microbiologique de surface - fluence 0,5 à 5 J/cm2	Tous types des matrices	Potentiellement tous produits alimentaires ; dont : pain, viennoiseries, pâtisseries
UV continu basse pression	Décontamination microbiologique Enrichissement en vitamine D	Eaux du procédé chargées ou non ; eaux potables	Pas d'applications à des aliments, sauf eau potable
Traitements radiatifs dans la masse			
Lumière Pulsée sur produits liquides	traitement par lumière Pulsée ou UV du lait (Nouvel Aliment)	Lait entier	Lait entier enrichi en Vit D
Procédés extractifs et raffinages			
Extraction de protéines (concentrâts, isolats protéiques)	Extraction par solubilisation / précipitation différentielles, généralement en solution aqueuse avec pH dirigé	Graines protéagineuses, matières premières végétales riches en protéines ; légumineuses matières premières d'origine animales, farines de viande ou de poisson	Concentrât protéique ; isolat de protéines ; produits alimentaires Intermédiaires destinés aux professionnels

Extraction et raffinage primaire des matières grasses	Pressage à froid, pressage à chaud, extraction par solvants, raffinage physique (par cristallisation différentielle)	Graines oléagineuses, viandes, poissons	Huiles brutes, graisses brutes
Raffinage secondaire des matières grasses	Raffinage chimique	Huiles brutes	Huiles, graisses raffinées
hydrogénation et transestérification des matières grasses	<i>voir ci-dessous : utilisation des Auxiliaires Technologiques</i>	Huiles raffinées	Margarines, « shortenings » industriels, graisses hydrogénées
Extraction, raffinage et modifications chimiques de fractions glucidiques ou assimilées (hors préparation des additifs alimentaires autorisés)	Sucrierie, amidonnerie, etc..	Betteraves sucrières ; canne à sucre ; pommes de terres et tubercules, céréales	Sucre ; mélasses ; amidons ; fibres alimentaires ; gluten ; corn feed ; inuline ; éthanol
Extraction par CO ₂ supercritique.	Température voisine de 90°C et 40 bars Extraction de la caféine, désaromatation	Café vert ; feuilles de thé ; plantes aromatiques ; matrices végétales à fortes valeurs ajoutées	Café décaféiné, thé déthéiné, arômes, huiles essentielles, caféine utilisée comme ingrédient de boissons
Traitements divers			
Lyophilisation	Séchage sous vide à l'état congelé	Café liquide ; fruits et légumes dont fruits rouges, champignons	Café soluble instantané ; ingrédients déshydratés
Déshydratation osmotique et confisage	Déshydratation par contact avec une solution hypertonique de sucre et/ou sels et/ou polyols	Fruits et légumes ; viandes ; produit de la mer	Fruits confits ; fruits et légumes déshydratés ; salaisons et charcuteries ; produits de la mer transformés (exemple : morue salée)
Utilisation d'auxiliaires technologiques réactifs			
Catalyseurs métalliques	Raffinage des huiles, hydrogénation, transestérification	Huiles et matières grasses brutes ou raffinées	Graisses hydrogénées, margarines, huile de palme et palmiste raffinée, autres huiles végétales et animales raffinées
Oxydants non halogénés - H ₂ O ₂ utilisé seul en solution aqueuse	Décontamination de surface par lavage ou décontamination dans la masse par mélange Protection des circuits de transport hydraulique des denrées alimentaires	Fruits, légumes, viandes, poissons (crus ou cuits) ; eaux de procédé chargées ou non ; lait et lactosérum	Végétaux crus prêts à l'emploi ; végétaux transformés (conserves, déshydratés, etc..) ; aliments non transformés surgelés ; lactosérum transformé
Oxydants non halogénés - mélange (H ₂ O ₂ + acide peracétique + acide acétique) utilisé en solution aqueuse	Décontamination de surface par lavage ; Protection des circuits de transport hydraulique des denrées alimentaires	Fruits, légumes, viandes, poissons (crus ou cuits) ; eaux de procédé chargées ou non	Végétaux crus prêts à l'emploi ; végétaux transformés (conserves, déshydratés, etc..) ; aliments non transformés surgelés

Oxydants non halogénés - H ₂ O ₂ utilisé seul à l'état gazeux (vapeur sèche de peroxyde d'hydrogène)	Décontamination et traitement chimique oxydant par fumigation	Aliments déshydratés (fruits et légumes, poudres diverses, épices, céréales entières, en flocons et farines, etc.	Aliments secs, granulaires ou pulvérulents, de toutes natures
Oxydants non halogénés - Ozone utilisé seul à l'état gazeux	Décontamination et traitement chimique oxydant par fumigation	Céréales	Céréales transformées, farines et produits de panifications
Autres biocides oxydants ou non oxydants (par exemple : bromure d'alkyl diméthyle benzyle ammonium ; chlorure n-benzyle nhydroxyéthyl-alkylimidazolium, etc.)	Décontamination de surface par lavage	Produits végétaux	
Oxydants halogénés (dont : hypochlorite de sodium (eau de javel), acide hypochloreux et chlore gazeux ; dioxyde de chlore ; autres halogènes	Décontamination de surface par lavage ; Protection des circuits de transport hydraulique des denrées alimentaires ; décoloration	Fruits, légumes, viandes, poissons (crus ou cuits) ;	Végétaux crus prêts à l'emploi ; végétaux transformés (conserves, déshydratés, etc.) ; aliments non transformés surgelés
Aldéhydes (formaldéhyde, glutaraldéhyde, etc.)	Biocide ou bactériostatique en solution aqueuse	Matières premières végétales stockées en attente de transformation (algues, etc.) ; jus sucrés de betterave ou de canne à sucre	Additifs épaississant ou gélifiants à base d'algues ; sucre blanc
SO ₂ et dérivés	Bactériostatique, inhibiteur de réaction de Maillard ; inhibiteur du brunissement enzymatique ; réducteur	Principalement matrices d'origine végétale ; produits de la mer	Tous produits alimentaires
Substances caustiques et réactives chimiquement (autres que les additifs alimentaires autorisés) Par exemple : Urée ; alkylelauryl sulphonate de sodium ; ester (sel de sodium) de l'éther alkyl triglycolique.	Agents de pelage chimique ; Agents d'épilation chimique ; Agents de plumaison chimique	Fruits et légumes, pommes de terre et tubercules ; viandes, volailles	Fruits et légumes transformés ; viandes fraîches et transformées

Annexe B : Couples procédé/matière recensés pour les MCDA (1^{ère} approche)

Matières	PP	PE	PS	PET	Autres polyesters	PVC	PA	Autres polymères	Multi-matériau x	Coatings	Encres (solvant)	Encres (huiles)	Couches scellantes	Elastomères capsules	Elastomères usine	Matériaux usine
Procédés																
Mise en forme du matériau																
• Non-formulé	X	X	X	X	X	X	X						X	X	X	X
• Formulé	X	X	X	X	X	X	X						X	X	X	X
• Extrusion	X	X	X	X	X	X	X						X			
• Injection	X	X	X	X	X	X	X									
• Thermoformage	X	X	X	X	X	X	X						X			
• Traitement plasma pour modification de surface	X	X														
• Réticulation (électron beam)	X	X														
• Lumière pulsée								X	X		X	X	X	X		
• Cuisson/corona/réticulation/séchage										X	X	X		X	X	
Viellissement																
• Climatique (température/lumière/présence d'oxygène)															X	
• Recyclage (multiloop)				X												
• Désinfection (usine)	X	X														
Usages																
• Thermique multiusages (ustensils)																
• Microonde sans sucepteur	X	X	X	X	X											
• Microonde avec sucepteur						X			X							
Désinfection/décontamination																
• Lumière pulsée	X	X	X	X	X											
• Décontamination chimique de																

surface

Annexe C : Matières et procédés (Opérations Unitaires) classés par catégorie pour les MCDA (2^{ème} approche).

Matières	Procédés de transformation	Catégories de procédé	Critères liés aux procédés							Critères liés aux matériaux		
			Température °C	Pression Bars	Durée du procédé	Oxygène	Cisaillement	Rayonnements Ionisants UV		Humidité	Additifs directs ou indirects dans la formulation (Nombre/réactivité)	Utilisation de matières recyclées
PE	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+
PE	Injection	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+
PE	Thermoformage	Mise en forme	160-200	-	-	+	--	-	-	-	+	+
PE	Traitement par électrons accélérés	Modification de structure du matériau	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PE	Traitement par électrons accélérés	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PE	Traitement par rayons gamma	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PE	Traitement Corona	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PE	Nettoyage chimique	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PE	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+
PE	Traitement plasma froid	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PE	Flammage	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PE	Traitement haute pression	Traitement de surface	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+
PP	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+

Matières	Procédés de transformation	Catégories de procédé	Critères liés aux procédés							Critères liés aux matériaux		
			Température °C	Pression Bars	Durée du procédé	Oxygène	Cisaillement	Rayonnements Ionisants UV		Humidité	Additifs directs ou indirects dans la formulation (Nombre/réactivité)	Utilisation de matières recyclées
PP	Injection	Mise en forme	+ (200-260)	+ (1000-1500)	+	+	+	-	-	-	+	+
PP	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
PP	Traitement par électrons accélérés	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PP	Traitement par rayons gamma	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PP	Traitement Corona	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PP	Nettoyage chimique	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PP	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	UV	-	+	+
PP	Traitement plasma froid	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PP	Flammage	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PP	Traitement haute pression	Traitement de surface	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+
PS	Extrusion	Mise en forme	+ (180-300)	+	+	+	+	-	-	-	+	+
PS	Injection	Mise en forme	+ (190-280)	800-1200	+	+	+	-	-	-	+	+
PS	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
PS	Traitement Corona	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PS	Traitement par électrons accélérés	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PS	Traitement par rayons gamma	Traitement de surface	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+
PS	Traitement plasma froid	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PS	Flammage	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+
PS	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+
PS	Traitement haute pression	Traitement de surface	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+

Matières	Procédés de transformation	Catégories de procédé	Critères liés aux procédés							Critères liés aux matériaux		
			Température °C	Pression Bars	Durée du procédé	Oxygène	Cisaillement	Rayonnements Ionisants	UV	Humidité	Additifs directs ou indirects dans la formulation (Nombre/réactivité)	Utilisation de matières recyclées
PET	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
PET	Injection	Mise en forme	+(230-270)	+(800-1300)	+	+	+	-	-	-	-	+
PET	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
PET	Traitement Corona	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
PET	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+
PET	Traitement plasma froid	Traitement de surface	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
PET	Flammage	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
PET	Traitement haute pression	Traitement de surface	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
Autres polyesters	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Autres polyesters	Injection	Mise en forme	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Autres polyesters	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Autres polyesters	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Autres polyesters	Traitement haute pression	Traitement de surface	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
PVC	Extrusion	Mise en forme	+(180-195)	+	+	+	-	-	-	-	+	-
PVC	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
PVC souple	Injection	Mise en forme	+(140-200)	+(800-1000)	+	+	-	-	-	-	+	-
PVC rigide	Injection	Mise en forme	+(100-120)	+(1000-1300)	-	-	-	-	-	-	-	-
PVC	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-
PVDC	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-
PVDC	Injection	Mise en forme	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-
PVDC	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-

Matières	Procédés de transformation	Catégories de procédé	Critères liés aux procédés							Critères liés aux matériaux		
			Température °C	Pression Bars	Durée du procédé	Oxygène	Cisaillement	Rayonnements Ionisants UV		Humidité	Additifs directs ou indirects dans la formulation (Nombre/réactivité)	Utilisation de matières recyclées
PVDC	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-
PA	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
PA	Injection	Mise en forme	+(200-320)	+(700-1200)	+	+	-	-	-	-	+	+
PA	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
PA	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+
PLA	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+
PLA	Injection	Mise en forme	+(170-210)	+	+	+	-	-	-	-	-	+
PLA	Thermoformage	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
Caoutchoucs	Vulcanisation	Modification de structure du matériau	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
Caoutchoucs	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-
Silicones	Enduction	Mise en forme	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Silicones	Lumière pulsée	Traitement de surface	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-
Silicones	Recuit	Cuisson non réactive	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
Encres à Solvants	Séchage	Cuisson non réactive	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
Encres UV	Polymérisation	Modification de structure du matériau	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-
Encres EB	Traitement par électrons accélérés	Modification de structure du matériau	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-
Revêtements	Cuisson/Réticulation/séchage	Modification de structure du matériau	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-
Adhésifs 100 % réactif base PU	Réticulation	Modification de structure du matériau	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-

Matières	Procédés de transformation	Catégories de procédé	Critères liés aux procédés							Critères liés aux matériaux		
			Température °C	Pression Bars	Durée du procédé	Oxygène	Cisaillement	Rayonnements Ionisants UV		Humidité	Additifs directs ou indirects dans la formulation (Nombre/réactivité)	Utilisation de matières recyclées
Adhésifs base solvant non réactif	Séchage	Cuisson non réactive	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
Adhésifs base solvant réactif base PU	Réticulation	Modification de structure du matériau	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-
Adhésifs base aqueuse non réactif	Séchage	Cuisson non réactive	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Adhésifs base aqueuse réactif base PU	Réticulation	Modification de structure du matériau	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-
PTFE	Frittage	Mise en forme	+	-		+	-	-	-	-	-	-
PTFE	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
PTFE	Injection	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
POM	Injection	Mise en forme	+(180-225)	+(1200-1500)	+	+	+	-	-	-	?	+
POM	Extrusion	Mise en forme	+	+	+	+	+	-	-	-	?	+
PU	Enduction	Mise en forme	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-

+ = Critère considéré comme susceptible d'impacter sur la génération de substances néoformées ; - = Critère considéré comme non susceptible d'impacter sur la génération de substances néoformées ; ? = inconnu

ANNEXES

Administratifs

Annexe 1 : Lettre de l'autosaisine Anses 2015-SA-0108



2015 -SA- 0 1 0 8
Décision N° 2015-05-158

AUTOSAISINE

Le directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses),

Vu le code de la santé publique, et notamment son article L. 1313-3 conférant à l'Anses la prérogative de se saisir de toute question en vue de l'accomplissement de ses missions,

Décide :

Article 1^{er}.- L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail se saisit afin de réaliser une expertise dont les caractéristiques sont listées ci-dessous.

1.1 Thématiques et objectifs de l'expertise

Développement d'une (ou des) stratégie(s) de priorisation des substances néoformées indésirables issues de l'emploi des auxiliaires technologiques dans la fabrication des denrées, de l'emploi des matériaux au contact des denrées et des procédés de préparation des aliments. L'application de cette stratégie servira à identifier des substances prioritaires afin de déterminer des marqueurs potentiels d'intérêt.

1.2 Contexte de l'autosaisine

La problématique « substances néoformées » a été définie comme d'intérêt dans le programme de travail de l'Anses et notamment parmi les activités du département « Evaluation des risques liés aux aliments » au sein de l'Unité d'évaluation des risques chimiques liés aux substances dans les aliments (Uerca).

Deux rapports préliminaires d'expertise interne produits par les anciens comités d'experts spécialisés « Additifs, arômes et auxiliaires technologiques (AAAT) » et « Matériaux au contact des aliments (MCDA) » avaient permis d'identifier des couples denrées/matériaux–procédés les plus propices pour induire la formation des substances néoformées.

Ces deux rapports ont servi de base de discussion lors d'une réunion « brainstorming » organisée le 30 juin 2014, réunissant cinq experts des collectifs Anses et un expert extérieur, au cours de laquelle neuf thématiques d'intérêt ont pu être identifiées portant sur les domaines des auxiliaires technologiques, des matériaux au contact des denrées et des contaminants alimentaires (copie CR joint). L'axe commun d'intérêt identifié à la fin de cette réunion et jugé prioritaire a été le besoin de priorisation. Un deuxième axe commun d'intérêt identifié à cette occasion était le besoin d'harmonisation des approches permettant de hiérarchiser les substances néoformées indésirables.

Pour ces raisons, il est proposé la création d'un groupe de travail *ad hoc* composé d'experts appartenant aux collectifs GT ESPA et CES ERCA au sein de l'Unité d'évaluation des risques liés aux aliments. Le travail de ce groupe servira comme base pour l'élaboration future d'une stratégie d'évaluation de risque spécifique des substances ou des marqueurs identifiés.

1.3 Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise à mener

- Est-il possible de développer une (ou des) stratégie(s) de priorisation des substances néoformées indésirables issues de l'emploi d'auxiliaires technologiques dans les domaines identifiés ?
- Est-il possible d'adapter cette stratégie eu égard aux données disponibles dans les domaines identifiés ?
- Est-il possible de hiérarchiser les substances néoformées en appliquant la (les) stratégie(s) définie(s) dans ces conditions ?

1.4 Durée prévisionnelle de l'expertise

Dix-huit (18) mois à partir de la date de constitution du GT. Il est prévu d'organiser des réunions tous les deux mois pour examiner l'avancée des travaux.

Nota bene : La sélection des membres de ce groupe de travail sera programmée après le renouvellement des groupes d'experts de l'Anses actuellement en cours.

Article 2.- Un rapport sera émis et publié par l'Agence à l'issue des travaux.

Fait à Maisons-Alfort, le **19 MAI 2015**



Marc MORTUREUX
Directeur général

