



AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à une demande d'appui scientifique et technique sur un dossier sur le traitement de carcasses de bovins par rayonnement ultra-violet C

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont rendus publics.

L'Anses a été saisie le 10 février 2011 par la Direction Générale de l'Alimentation d'une demande d'appui scientifique et technique relatif à l'évaluation d'un dossier sur le traitement de carcasses d'animaux de boucherie par rayonnement ultra-violet C (UV-C).

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Un procédé de traitement des carcasses d'animaux de boucherie par rayons ultra-violets (UV) a été expérimenté au cours de l'année 2010 sur un petit nombre (12) de carcasses de bovins. L'efficacité et l'innocuité de ce nouveau procédé ont été étudiées.

Il est demandé à l'Anses d'examiner le dossier de cette étude et de répondre notamment aux questions suivantes :

- La méthodologie suivie est-elle pertinente ?
- Le choix des molécules recherchées est-il adapté pour estimer l'innocuité ?
- Le protocole doit-il concerner des carcasses entières ou des morceaux de découpe ?
- Cette étude doit-elle être complétée par une expérimentation portant sur un plus grand échantillon ?
- Le choix des analyses bactériologiques réalisées pour évaluer l'efficacité est-il judicieux ?
- Le traitement de carcasses d'animaux de boucherie par rayonnement UV-C entraîne-t-il des modifications significatives de la valeur nutritive, du métabolisme et de la teneur en substances indésirables de ces produits ?

L'Anses estime que les réponses fournies aux précédentes questions suffisent pour déterminer si les carcasses utilisées dans le cadre de cette étude pouvaient intégrer le circuit de l'alimentation humaine ou animale et selon quels critères et quelles restrictions.

De la même manière et à la lumière du contenu actuel du dossier il n'est pas apparu possible à l'Anses d'aborder la question suivante :

- l'opérateur doit-il définir un seuil critique à partir duquel une modification de la surface des carcasses (changement de couleur, altération des graisses de couverture) apparaît ? selon quel protocole ?

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

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) ».

Les comités d'experts spécialisés (CES) « Résidus et Contaminants Chimiques et Physiques » (RCCP), « Microbiologie » (MIC), « Additifs, Arômes et Auxiliaires Technologiques » (AAAT) ont été consultés respectivement le 23 mai, le 7 juin et le 19 mai 2011.

Cette expertise a été menée à partir d'un dossier établi par le pétitionnaire et contenant des données et argumentaires technologiques et analytiques.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DES CES

3.1. Descriptif des traitements appliqués

En fin de chaîne d'abattage, les quartiers sont exposés par leur face externe à une source émettant des rayons UV-C d'une longueur d'onde de 254 nm. L'intensité lumineuse, la distance moyenne entre le quartier exposé et la source lumineuse, ainsi que le temps d'exposition permettent de délivrer des doses en moyenne de 0,55 kJ/m².

Seuls des quartiers avant de bovin de conformation P, état d'engraissement 3¹ ont été irradiés dans le cadre de cette étude.

3.2. Analyses et conclusions du CES « Microbiologie »

3.2.1. Commentaires sur le principe et intérêt du procédé

Objectifs industriels

Les objectifs industriels sont clairs, ce traitement en fin de chaîne d'abattage et en complément de leur démarche HACCP doit permettre d'améliorer à la fois la sécurité (Salmonelles, Listeria, STEC) et la salubrité microbiologique des carcasses.

Mode d'action des UV-C

L'ADN bactérien peut représenter une cible importante pour plusieurs traitements de préservation des aliments. C'est prioritairement le cas avec la lumière et les rayonnements UV qu'ils soient pulsés ou continus. Un effet dit photochimique est classiquement décrit en particulier pour la partie UV-C du spectre, une inactivation maximale intervenant entre 250 et 270 nm (Wang et al. 2005). Les

¹ Ces notions sont définies dans le règlement (CE) n° 1183/2006 du Conseil du 24 juillet 2006 relatif à la grille communautaire de classement des carcasses de gros bovins. La conformation signifie le niveau de développement musculaire des profils des carcasses et notamment des parties essentielles de celle-ci (cuisse, dos, épaule). Elle est notée par une des lettres S, E, U, R, O, P. Une carcasse de conformation « S » est qualifiée de « supérieure » et « P » de « médiocre » (développement musculaire réduit). L'état d'engraissement signifie l'importance de la graisse à l'extérieur de la carcasse et sur la face interne de la cage thoracique. Il est noté de 1 à 5 avec 1 pour une carcasse maigre et 5 pour une carcasse grasse. Un état d'engraissement 3 signifie une carcasse recouverte d'une légère pellicule de gras.

bases nucléotidiques de l'ADN absorbent à un maximum de 260 nm, les UV-C provoquent des modifications photochimiques comme la production de dimères de thymine par exemple. Le traitement conventionnel par UV en continu affecte l'ADN par des mécanismes qui peuvent être réversibles dans certaines conditions expérimentales, lorsque les « dégâts » ne sont pas trop importants et lorsque les systèmes de réparation de la bactérie sont fonctionnels. Sans aucun système fonctionnel de réparation, les modifications de l'ADN conduisent à la mort du micro-organisme (McDonald et al. 2000).

La notion de dose reçue est importante puisque l'efficacité du traitement est fonction de cette dose reçue. La dose est elle-même fonction de la durée d'exposition (fixe dans le cas de ce dossier) et du débit de dose qui va dépendre de la lampe. Enfin, la distance aux lampes est un facteur important de variation de dose reçue qui, toutes choses égales par ailleurs, diminue au fur et à mesure que la distance aux lampes augmente. Tout ceci s'entend après quelques minutes de fonctionnement des lampes leur permettant d'atteindre leur température optimale de fonctionnement. Il est vraisemblable que le fabricant doit fournir des indications sur la durée de vie des lampes et les éventuelles modifications d'intensité du spectre en fonction du vieillissement des lampes. Ces informations sont nécessaires pour conserver une certaine régularité du traitement et éventuellement anticiper des changements (notion de maintenance préventive).

Une installation « en-ligne » est possible, quelques précautions élémentaires pour protéger les opérateurs contre les rayonnements UV (espace réservé, capots, EPI (équipements de Protection Individuels), etc.) et de communications envers le personnel sont nécessaires.

3.2.2. Evaluation de l'efficacité antimicrobienne

L'efficacité antimicrobienne a été évaluée de manière assez classique sur des flores qualifiées d'hygiène des procédés (flore aérobie mésophile (FAM) et entérobactéries) en contamination « naturelle » et sur des flores pathogènes (*Salmonelle*, *L. monocytogenes* et *E. coli* O157:H7) après contamination artificielle. Le choix des flores est pertinent. Les analyses microbiologiques (dénombrement, recherche) sont réalisées par deux laboratoires selon des méthodes normalisées.

Les résultats des dénombrements microbiens et/ou de la recherche des micro-organismes sont présentés dans le corps du texte essentiellement sous forme de tableaux. L'efficacité bactéricide est souvent présentée sous la forme d'un pourcentage d'élimination de la flore ce qui est relativement inhabituel en microbiologie. Il n'y a pas de traitement statistique des résultats.

Un suivi des flores d'altération n'a pas été effectué au cours du stockage (résultats sur FAM) en chambre froide. Les essais 1 et 2 permettent d'observer un « bénéfice » du traitement par rapport aux carcasses non traitées pendant respectivement 6 (0,75 réduction décimale de gain) et 11 jours (1,16 réduction décimale de gain).

D'une manière générale, les réductions se situent au niveau d'un logarithme voire deux dans le meilleur des cas, évidemment sans distinction entre les flores d'altération et les flores pathogènes. Bien que modestes, ces réductions satisfont le pétitionnaire qui pense avoir atteint ses objectifs (*cf. supra*). En conclusion, il est indiqué que ces résultats confortent la volonté de poursuivre les essais sur un plus grand nombre de carcasses ce qui implique économiquement pour le pétitionnaire de pouvoir commercialiser les viandes issues du traitement.

3.2.3. Impact du traitement sur l'écologie microbienne du produit

Aucun inventaire moléculaire des flores présentes sur les carcasses n'a été réalisé, la méthodologie retenue dans les essais n'apporte pas d'informations sur d'éventuelles modifications de l'écologie microbienne. Les UV-C agissent sur les bactéries sans distinction Gram+/Gram-. Il est donc légitime de penser que l'inactivation microbienne concerne toutes les flores exposées de manière équilibrée. On est en droit de penser que seules des bactéries ayant des systèmes de réparation plus performant/résistant que les autres pourraient absorber sans dommages des doses d'UV-C plus importantes, la probabilité semble faible néanmoins.

3.2.4. Conclusions du CES « Microbiologie »

- **Concernant la méthodologie suivie**

La méthodologie correspond aux standards classiques de la microbiologie et n'appelle pas de commentaires particuliers. Les flores choisies pour évaluer l'efficacité antimicrobienne sont pertinentes. Les analyses microbiologiques (dénombrement, recherche) ont été réalisées suivant des méthodes normalisées. Les prises d'essais correspondent à des lambeaux de viande de 25 cm² (5x5) des quartiers avant (face externe), classiquement utilisés pour l'analyse microbiologique des viandes à l'abattoir.

Néanmoins, des essais supplémentaires devront être effectués de façon à recueillir suffisamment de données, afin d'en réaliser une exploitation statistique.

Le choix de l'application du traitement sur des carcasses entières ou des morceaux de découpe devrait relever de l'industriel en fonction des performances hygiéniques des abattoirs et des salles de découpe. L'enlèvement de l'aponévrose (« pelage » de la viande) est une opération délicate et le traitement de « type double face » sur des pièces de viandes « pelées » mériterait d'être investigué à la condition que cela soit compatible avec le pilote de traitement utilisé.

- **Concernant l'impact du traitement sur la teneur en substances indésirables des produits**

Les UV-C agissant sur l'ADN des bactéries, il conviendrait peut être d'évaluer d'éventuels effets mutagènes non létaux. Un test comme l'éventuelle modification (avant/après) du taux de mutation spontanée sur une flore comme *Escherichia coli* est simple à mettre en œuvre en laboratoire de microbiologie. L'interprétation du résultat du test et sa signification biologique, en cas d'augmentation significative de ce taux, sont toutefois très délicates.

Compte tenu des éléments présentés dans le dossier et du mode d'action des UV sur les bactéries, le CES « Microbiologie » estime que le procédé de traitement aux UV-C est de nature pour la partie exposée à réduire la contamination superficielle des carcasses de bovins (de l'ordre de 1 réduction décimale) en complément de l'application des bonnes pratiques d'hygiène et de l'HACCP. Toutefois, la significativité de cette réduction mériterait d'être confirmée et confortée par des résultats d'essais portant sur un plus grand nombre d'échantillons. Il semble par ailleurs indispensable de bien cerner la dose qui est utilisée afin de mieux cadrer ce type de traitement. Compte-tenu du mode d'action des UV, on ne peut pas complètement ignorer d'éventuels effets mutagènes non létaux pour les bactéries. Néanmoins, l'évaluation de l'implication éventuelle de ce risque en matière de sécurité des aliments semble difficilement réalisable en l'état actuel des connaissances.

3.3. Analyses et conclusions du CES « Additifs, Arômes et Auxiliaires Technologiques » (AAAT)

3.3.1. La méthodologie suivie est-elle pertinente ?

Le CES AAAT observe que la dose reçue a été testée sur 12 demi-carcasses (quartiers avants) d'animaux de classe P3 exposées sur leur face externe aux UV-C, à une dose moyenne de 0,55 kJ/m² et il a été estimé que cette dose varie entre 0,50 et 0,58 kJ/m² lors du traitement. Le taux de pénétration des UV-C dans le tissu musculaire en général est faible (< 1 mm) car l'énergie envoyée est rapidement absorbée par les constituants de la viande.

Le CES AAAT estime que cette dose est adéquate pour tester l'effet recherché, étant de l'ordre de grandeur de celles utilisées pour le traitement des eaux contaminées.

Il est mentionné dans le dossier que selon la bibliographie, la température locale dans la viande peut atteindre 150 °C sur quelques micromètres sans augmenter la température globale du produit. De l'avis du CES AAAT les effets des rayonnements ultraviolets sur les constituants biologiques ne

se limitent pas à des effets liés à une augmentation locale de la température mais concernent plus particulièrement les réactions photo-induites et le CES AAAT regrette que le dossier présenté ne comporte pas d'étude bibliographique à ce sujet.

3.3.2. Le choix des molécules recherchées pour estimer l'innocuité est-il adapté ?

Le CES AAAT remarque que : a) de nombreux contaminants ont été recherchés (dioxines, furanes, polychlorobiphényles (PCB), hydrocarbures aromatiques polycycliques, nitrosamines volatiles, amines biogènes; b) les informations concernant les méthodes d'analyses utilisées se limitent au principe des méthodes décrit succinctement, plus parfois le code de la fiche technique, et c) les méthodes concernées sont accréditées mais il n'est pas fait mention dans le dossier des limites de quantification ou de détection qui dépendront de la matrice testée.

Le CES AAAT remarque que les nitrosamines volatiles et amines biogènes peuvent être détruites par les UVC par le biais de la production de radicaux libres et qu'il est donc peu probable de les identifier dans les carcasses traitées (Sonntag 2006; Lijinsky 1992; National Research Council 1981). Par ailleurs, le choix des autres composés recherchés devrait prendre en compte les dégradations potentiellement induites par le traitement aux UV-C (dégradations photochimiques et non thermiques) et la nature de la matrice. En particulier concernant, la formation d'acrylamide, le CES AAAT observe également qu'il est peu probable qu'il puisse se former, même si la température est élevée, dans la mesure où la viande est pauvre en asparagine libre.

Le CES AAAT remarque qu'en général les résultats ont été exprimés par rapport à la matière grasse, or, il n'est fait mention nulle part dans le protocole de la teneur en matière grasse des échantillons prélevés.

Concernant le choix des molécules néoformées recherchées dans le domaine d'expertise du CES AAAT, seul l'effet d'oxydation lipidique a été apprécié par le test à l'acide thiobarbiturique (TBA), et par une mesure de l'hexanal formé (CPG-SM avec prélèvement en « headspace » statique). Le CES AAAT observe que ces mesures ne font pas apparaître de différence entre les témoins et les échantillons traités.

Le CES AAAT remarque que le test TBA utilisé (AOCS Cd 19-90) correspond à une mesure faite sur extraits lipidiques, or, sur la viande cette méthode n'est pas habituellement recommandée. Le CES AAAT recommande que si le test doit être réalisé sur des lipides extraits, la méthode d'extraction des lipides doit être précisée. Il devrait alors s'agir d'une méthode par extraction à froid, une méthode utilisant un mélange chloroforme/méthanol ou un mélange hexane/isopropanol, généralement recommandée pour la viande et les produits carnés. De même, pour la mesure de l'hexanal, le CES AAAT suggère qu'une mesure par « headspace » dynamique ou par SPME (*solid phase micro extraction*) soit réalisée plutôt qu'une mesure par « headspace » statique, moins sensible. Quelle que soit la méthode choisie, la température d'extraction et de prélèvement des composés volatils devra être précisée.

Concernant l'évaluation de l'oxydation lipidique, le CES AAAT conseille de réaliser des mesures des produits primaires de l'oxydation lipidique, tels que les hydroperoxydes, les oxydes de cholestérol (Uemi et al. 2009), ou éventuellement de la vitamine E (tocophérols).

Concernant les autres effets possibles du traitement par UV-C sur les constituants du produit traité, le CES AAAT observe que la dégradation des protéines de surface n'a pas été considérée dans le protocole soumis (excepté la formation d'amines biogènes, qui ne sont pas connues pour être des produits de photolyse UV). Or, par exemple, le tryptophane est connu pour sa photosensibilité (Gracanic et al. 2009; Igarashi et al. 2007). De l'avis du CES AAAT, il conviendrait de vérifier si la teneur en tryptophane de surface a varié après irradiation UV. Le CES AAAT estime que des dosages des protéines carbonylées (méthode à la di-nitro-phényl hydrazine, DNPH) pourraient également être envisagés.

3.3.3. Le protocole expérimental doit-il concerner des carcasses entières ou des morceaux de découpe ?

Le CES AAAT observe que la recherche des produits néoformés a été conduite sur des prélèvements réalisés sur 5 quartiers avants d'animaux de classe P3, les quartiers étant traités par les UV-C sur leur face externe. Pour le CES AAAT il semble cohérent que les essais aient porté sur des quartiers avants et non sur des morceaux de découpe. D'après le dossier présenté, si l'innocuité du traitement est reconnue, le pétitionnaire testera le procédé (effets bactéricides) à plus grande échelle en variant la conformation des bovins et des quartiers arrières, ceux-ci pouvant alors être commercialisés après essais.

3.3.4. Cette étude doit-elle être complétée par une expérimentation portant sur un plus grand échantillon ?

Le CES AAAT considère que les études de résidus effectuées sur 5 carcasses sont acceptables pour ce type d'analyses. Le CES AAAT suggère de réaliser plusieurs prélèvements par pièce traitée, dans des endroits éloignés les uns des autres et bien identifiés, afin d'augmenter la valeur statistique des données sans augmenter le nombre des carcasses traitées.

Le CES AAAT considère important de préciser non seulement les masses totales des échantillons sur lesquels les prélèvements et les analyses ont été réalisés, mais aussi leur géométrie car le traitement étant réalisé en surface, plus un prélèvement est épais, plus l'effet de dilution des contaminants sera fort. Les résultats ainsi obtenus devraient ensuite être mis en regard de la géométrie des pièces traitées en précisant, par exemple, le rapport volume/surface, ou la surface exposée aux UV-C par volume ou masse destiné à être consommée (hors os).

Le CES AAAT observe que les essais présentés portent uniquement sur une irradiation de la surface externe des quartiers, ces faces étant recouvertes de tissu adipeux. Le CES AAAT considérant que la composition et la structure des faces externes et internes étant différentes (exposition directe du tissu musculaire dans les zones de découpe), estime que l'effet de l'irradiation de la surface interne des quartiers devrait également être testé.

Par ailleurs, le CES AAAT estime que si le procédé est destiné à être appliqué à terme à des morceaux de découpe, il conviendrait de faire des essais sur des morceaux ayant une géométrie similaire (surface exposée ; rapport volume/surface).

3.3.5. Le traitement de carcasses d'animaux de boucherie par rayonnement ultraviolet C entraîne-t-il des modifications significatives de la valeur nutritive, du métabolisme et de la teneur en substances indésirables de ces produits ?

De l'avis du CES AAAT, les résultats présentés ne mettent pas en évidence la formation de composés néoformés. Dans l'état actuel du dossier et concernant les produits néoformés, les données fournies suggèrent que le traitement par les UV-C influence peu la teneur en substances indésirables des carcasses. Cependant, de l'avis du CES AAAT il serait souhaitable de procéder à des compléments analytiques, portant en particulier sur l'évaluation de la stabilité au traitement des protéines, notamment des acides aminés aromatiques (tryptophane en particulier), voire de la vitamine E, ainsi qu'à la mesure de l'éventuelle formation de produits tels que les oxydes de cholestérol, les hydroperoxydes lipidiques et les protéines carbonylées, afin de se prononcer définitivement sur des modifications potentielles de la valeur nutritive.

3.4. Analyse et conclusions du CES « Résidus et Contaminants Chimiques et Physiques » (RCCP)

3.4.1. Description du protocole de l'étude

a- Commentaires généraux

Dans cette expérimentation, seule la face externe de quartiers avants de bovins de conformation P, état d'engraissement 3 a été exposée aux UV-C (en raison de considérations financières les quartiers arrières n'ont pas été traités, ni d'autres conformations d'animaux).

Des analyses ont été effectuées pour 5 des 12 quartiers sur des prélèvements réalisés avant (témoin) et après traitement UV-C. Pour chaque analyse, un seul échantillon a été prélevé par quartier. Cette limitation des investigations sur une fraction des quartiers exposés n'a pas été justifiée.

Les teneurs en dioxines, furanes, polychlorobiphényles (PCB), acrylamide, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), nitrosamines volatiles et amines biogènes ont été déterminées par un seul laboratoire.

A titre d'indication, l'attention est attirée sur la nécessité de protéger les opérateurs vis-à-vis de la production d'ozone formée dans l'air ambiant sous l'action des UV-C (Soo 2002), point non mentionné dans le dossier. L'ozone est en effet un oxydant puissant, irritant pour les voies respiratoires.

3.4.2. Discussions des résultats d'analyse des contaminants

b- Qualité des résultats d'analyse

Les méthodes mises en œuvre pour le dosage des différents analytes sont adaptées. Cependant, le dossier comporte de multiples imprécisions concernant notamment la limite de quantification analytique versus la notion de non détection, ou encore l'incertitude des méthodes, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats. De plus, l'absence d'information sur la méthode de traitement de l'échantillon mise en œuvre lors de l'analyse des dioxines/furanes/PCB n'a pas permis de juger de la pertinence de cette méthode ; il en va de même pour l'analyse des amines biogènes.

c- Echantillonnage

La formation de composés indésirables ne devrait survenir qu'au niveau des premiers micromètres de la surface des carcasses (Campbell et al. 1993). Cependant, les prélèvements d'échantillons apparaissent constitués de plusieurs dizaines à quelques centaines de grammes de matière, de sorte que la matrice superficielle potentiellement affectée par le traitement aux UV-C a pu être plus ou moins diluée en fonction de la profondeur du prélèvement, ce qui peut compromettre la détection des composés néoformés (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Prises d'essai pour l'analyse des contaminants.

Indicateurs mesurés	Echantillons prélevés
Dioxines, furanes, PCB	500 g
Acrylamide	50 g
HAP (15 composés)	20 g
Nitrosamines volatiles (8 composés)	20 g
Amines biogènes (8 composés)	100 g

L'impact du traitement aux UV-C peut être variable selon la composition des zones irradiées (chair, graisse, collagène, etc.) dont l'échauffement au cours de l'irradiation peut être hétérogène. Cette variabilité n'a pas été prise en compte dans l'étude. De même les dates de traitement des quartiers prélevés ne sont pas spécifiées, ce qui ne permet pas de rendre compte de la variabilité de mise en œuvre du traitement aux UV-C dans le temps.

Le nombre d'échantillons prélevés dans cette étude (5 sur 12 carcasses disponibles) est insuffisant pour permettre de caractériser trois paramètres critiques (hétérogénéité intra-carcasse, variabilité inter-carcasses et effet de dilution lié à la profondeur des prélèvements)

d- Choix des analyses

Substances indésirables recherchées :

La recherche de composés néoformés indésirables a été établie sur la base de l'influence potentielle de l'augmentation superficielle de température de la carcasse sachant que, selon le pétitionnaire, la température des surfaces traitées par UV-C peut atteindre localement 150°C sur quelques micromètres d'épaisseur ; cependant aucune mesure de température, ni référence bibliographique n'ont été fournies.

Aucun des composés retenus pour représenter la famille des HAP n'a été détecté. Cette recherche d'HAP se justifie même s'il est peu probable que ceux-ci se forment à des températures sensées ne pas dépasser 150°C environ. On ne peut toutefois exclure que la température soit localement plus élevée, et de fait induise la formation de certains de ces composés.

Les résultats des analyses indiquent qu'il n'y a pas d'influence significative de l'irradiation UV-C sur les teneurs en TCDD/TCDF² dans les quartiers étudiés. Ces résultats sont cohérents compte tenu du fait que les conditions thermiques de formation de ces composés sont nettement plus élevées (>250°C). Bien que les PCB coplanaires (PCB *dioxin-like*) soient analysés avec les dioxines, il n'y a aucun intérêt dans le cas présent à suivre ces molécules, leur présence dans l'alimentation relevant uniquement d'une contamination environnementale.

Aucun impact de l'irradiation UV sur les teneurs en amines biogènes n'a été mis en évidence. Les teneurs des deux amines potentiellement toxiques, l'histamine et la tyramine, étaient respectivement de 6 mg/kg et non détecté (< 1 mg/kg), avant et après traitement. Aucun effet notable du traitement sur les teneurs des autres amines biogènes n'a été détecté.

L'acrylamide peut se former à partir de sucres réducteurs et d'asparagine et donc préférentiellement dans des aliments végétaux riches en ces précurseurs, souvent à base de pomme de terre ou de céréales. Cependant des observations ont rapporté des contaminations par l'acrylamide de viandes (Olmez et al. 2008), de produits carnés transformés comme les boulettes de viande (203 µg/kg), ou d'autres types de viande de bœuf (56–250 µg/kg) (Konings et al. 2003) ou encore d'escalopes de poulet (28-34 µg/kg) (Kaplan et al. 2009 ; Olmez et al. 2008). Certaines de ces contaminations ont été attribuées au mode de cuisson dans l'huile (Kaplan et al. 2009 ; Özkaynak & Ova 2009). La formation d'acrylamide est conditionnée par la nature des précurseurs présents dans la matrice alimentaire chauffée, ainsi que par la température du procédé industriel (à partir de 120°C) et la durée du chauffage qui doit dépasser 5 minutes (Kaplan et al. 2009 ; Yaylayan & Stadler 2005). La présente étude ne met pas en évidence de formation d'acrylamide sur les carcasses (teneurs inférieures à 30 µg/kg, limite de détection de la méthode).

Les nitrosamines, qui se forment préférentiellement dans les produits de charcuterie du fait de l'ajout de nitrites comme conservateur ou lors de procédés de transformation thermique (< 100°C) (Yurchenko & Molder 2007), n'ont pas été détectées sur les quartiers traités par UV-C.

² Tétrachlorodibenzo-*p*-dioxines / Tétrachlorodibenzo-*p*-furanes

Substances indésirables non recherchées :

Les amines aromatiques hétérocycliques constituent une famille de composés toxiques pouvant se former dans la viande soumise à des températures élevées suite à la réaction entre un sucre réducteur et un acide aminé en présence de créatine. S'il est généralement reconnu que ces composés se forment à partir de 175-180°C (Borgen et al. 2001 ; Liao et al. 2010 ; Sinha et al. 1998), plusieurs études font état de leur formation à des températures inférieures, notamment en dessous de 100°C, (Skog et al. 1998). Il est donc possible que ces composés se forment durant l'irradiation UV-C des quartiers de viande, d'autant qu'il s'agit de viande de bœuf dans laquelle se forment préférentiellement les amines aromatiques hétérocycliques (par comparaison avec la viande de volaille). Ces composés n'ont pas été recherchés dans l'étude et il est indispensable de les analyser pour évaluer l'innocuité du procédé.

Le furane est un composé toxique qui peut se former lors de traitements thermiques de divers aliments, dont la viande même si les teneurs relevées sont inférieures à celles rapportées dans d'autres aliments (Crews & Castle 2007 ; EFSA 2010). Une étude récente fait état de la génération de furane lors de l'irradiation par UV-C de jus de fruits (Bule et al. 2010), de solutions sucrées et de cidre de pomme (Fan & Geveke 2007). Les précurseurs potentiels du furane comprennent des acides aminés, des sucres, des acides gras polyinsaturés, l'acide ascorbique, et les caroténoïdes. Aussi, bien que ce composé présente une forte volatilité (susceptible de favoriser son élimination de la viande après traitement), sa présence dans la viande traitée aux UV-C est possible ; il convient donc de l'inclure dans l'étude d'innocuité en adaptant le protocole d'analyse pour prendre en compte sa volatilité.

3.4.3. Conclusions du CES « RCCP »

Le CES « RCCP » :

- estime que l'approche méthodologique décrite par le pétitionnaire ne permet pas de démontrer l'innocuité des carcasses traitées par les UV-C car l'analyse des contaminants et la stratégie d'échantillonnage ne sont pas satisfaisantes.
- recommande au pétitionnaire :
 - qu'une argumentation plus complète sur le choix des substances à considérer soit proposée. Parmi ces composés, les amines aromatiques hétérocycliques et le furane devront être recherchés.
 - de revoir la stratégie d'échantillonnage afin de prendre en compte l'hétérogénéité intra-carcasse et la variabilité inter-carcasses. Les modalités de prélèvements et de conservation des échantillons (contenant, température, dates, etc.) devront être clairement explicitées. Le caractère superficiel du traitement aux UV-C devra également être pris en compte de manière à éviter le phénomène de dilution lié au prélèvement.
 - de compléter cette étude par des mesures de température à la surface des carcasses traitées (à l'aide de sondes de température, mesurant en temps réel la température au cours du traitement UV-C), afin d'évaluer précisément les conditions thermiques auxquelles la carcasse est soumise.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

A la lumière des analyses et conclusions des CES « Microbiologie », « Additifs, Arômes et Auxiliaires Technologiques » et « Résidus et Contaminants Chimiques et Physiques », l'Anses émet les conclusions suivantes. Ces éléments de réponse ne sont valables que dans le cadre d'un traitement aux UV-C sur des carcasses de bovins. L'application de ce procédé à des carcasses ou quartiers d'animaux de boucherie autre que d'origine bovine devra faire l'objet d'une étude spécifique.

- **La méthodologie suivie est-elle pertinente ?**

La méthodologie correspond aux standards classiques de la microbiologie et n'appelle pas de commentaires particuliers. Par ailleurs, la dose utilisée est considérée adéquate pour tester l'effet recherché, étant de l'ordre de grandeur de celles utilisées pour le traitement des eaux contaminées.

Globalement, les méthodes mises en œuvre pour le dosage des différents analytes sont adaptées. Toutefois, les imprécisions concernant la limite de quantification analytique versus la notion de « non détection », l'incertitude des méthodes, la teneur en matières grasses des échantillons, ou l'absence d'information sur les méthodes utilisées ont limité l'interprétation qui pouvait être faite de ces résultats.

La stratégie d'échantillonnage, telle que présentée dans le dossier, ne permet pas de démontrer l'innocuité des carcasses traitées par UV-C. Celle-ci devra être revue afin de mieux prendre en compte l'hétérogénéité de la matrice intra-carcasse ainsi que la variabilité inter-carcasses. Les modalités de prélèvements et de conservation des échantillons (contenant, température, dates, etc.) devront être clairement explicitées. Le caractère superficiel du traitement aux UV-C devra également être pris en compte de manière à éviter le phénomène de dilution lié à la géométrie des prélèvements.

- **Le choix des molécules recherchées est-il adapté pour estimer l'innocuité ?**

Les résultats présentés ne mettent pas en évidence la formation de composés néoformés.

La recherche de composés néoformés indésirables a été établie sur la base de l'influence potentielle de l'augmentation superficielle de température de la carcasse. Or, les effets des rayonnements UV sur les constituants biologiques ne se limitent pas à des effets liés à une augmentation locale de la température mais concernent également les réactions photo-induites, non prises en compte dans cette étude. De ce fait, le choix des composés recherchés devrait prendre en compte les dégradations photochimiques potentielles induites sur les composés investigués.

Une argumentation plus complète sur le choix des substances à considérer doit être proposée. Parmi ces composés, les amines aromatiques hétérocycliques et le furane devront être recherchés. Des mesures de température à la surface des carcasses traitées (à l'aide de sondes de température, mesurant en temps réel la température au cours du traitement UV-C) seraient également nécessaires afin d'évaluer précisément les conditions thermiques auxquelles la carcasse est soumise.

- **Le protocole doit-il concerner des carcasses entières ou des morceaux de découpe ?**

Il semble cohérent que les premiers essais aient porté sur des quartiers avants et non sur des morceaux de découpe.

Le choix de l'application du traitement sur des carcasses entières ou des morceaux de découpe devrait relever de l'industriel en fonction des performances hygiéniques des abattoirs et des salles de découpe.

- **Cette étude doit-elle être complétée par une expérimentation portant sur un plus grand échantillon ?**

Du point de vue microbiologique, des essais supplémentaires devront être effectués de façon à recueillir suffisamment de données, afin d'en réaliser une exploitation statistique.

De la même façon, concernant l'évaluation de l'innocuité de ce procédé, il est nécessaire d'augmenter le nombre d'échantillons de façon à augmenter la puissance statistique et caractériser plus précisément l'hétérogénéité intra-carcasse et la variabilité inter-carcasses.

- **Le choix des analyses bactériologiques réalisées pour évaluer l'efficacité est-il judicieux ?**

Les flores choisies pour évaluer l'efficacité antimicrobienne sont pertinentes.

- **Le traitement de carcasses d'animaux de boucherie par rayonnement UV-C entraîne-t-il des modifications significatives de la valeur nutritive, du métabolisme et de la teneur en substances indésirables de ces produits ?**

Dans l'état actuel du dossier et concernant les produits néoformés, les données fournies suggèrent que le traitement par les UV-C influence peu la teneur en substances indésirables des carcasses.

Cependant, il serait souhaitable de procéder à des compléments analytiques, portant en particulier sur l'évaluation de la stabilité au traitement des protéines, notamment des acides aminés aromatiques (tryptophane en particulier), ou éventuellement de la vitamine E (tocophérols), ainsi qu'à la mesure de l'éventuelle formation de produits tels que les oxydes de cholestérol, les hydroperoxydes lipidiques et les protéines carbonylées, afin de se prononcer définitivement sur des modifications potentielles de la valeur nutritive.

Compte-tenu du mode d'action des UV, on ne peut pas complètement ignorer d'éventuels effets mutagènes non létaux pour les bactéries. Néanmoins, l'évaluation de l'implication éventuelle de ce risque en matière de sécurité des aliments semble difficilement réalisable en l'état actuel des connaissances.

Le Directeur général

Marc Mortureux

MOTS-CLES

Décontamination, rayonnement ultra-violet, néoformés, viande.

BIBLIOGRAPHIE

- Borgen, E., Solyakov, A., & Skog, K. (2001) Effects of precursor composition and water on the formation of heterocyclic amines in meat model systems. *Food chemistry* 74(1), 11-19.
- Bule, M.V., Desai, K.M., Parisi, B., Parulekar, S.J., Slade, P., Singhal, R.S., & Rodriguez, A. (2010) Furan formation during UV-treatment of fruit juices. *Food Chemistry* 122(4), 937-942.
- Campbell, C., Quinn, A.G., Angus, B., Farr, P.M., & Rees, J.L. (1993) Wavelength specific patterns of p53 induction in human skin following exposure to UV radiation. *Cancer research* 53(12), 2697.
- Crews, C., & Castle, L. (2007) A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. *Trends in Food Science & Technology* 18(7), 365-372.
- EFSA (2010) Update of results on the monitoring of furan levels in food. *EFSA Journal* 8(1702), 18.
- Fan, X., & Geveke, D.J. (2007) Furan formation in sugar solution and apple cider upon ultraviolet treatment. *J. of Agricultural and Food Chemistry* 55(19), 7816-7821.
- Gracanin, M., Hawkins, C.L., Pattison, D.I., & Davies, M.J. (2009) Singlet-oxygen-mediated amino acid and protein oxidation: Formation of tryptophan peroxides and decomposition products. *Free Radical Biology and Medicine* 47(1), 92-102.
- Igarashi, N., Onoue, S., & Tsuda, Y. (2007) Photoreactivity of amino acids: Tryptophan-induced photochemical events via reactive oxygen species generation. *Analytical Sciences* 23(8), 943-948.
- Kaplan, O., Kaya, G., Ozcan, C., Ince, M., & Yaman, M. (2009) Acrylamide concentrations in grilled foodstuffs of Turkish kitchen by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Microchemical Journal* 93(2), 173-179.
- Konings, E.J.M., Baars, A.J., Van Klaveren, J.D., Spanjer, M.C., Rensen, P.M., Hiemstra, M., Van Kooij, J.A., et al. (2003) Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food and Chemical Toxicology* 41(11), 1569-1579.
- Liao, G.Z., Wang, G.Y., Xu, X.L., & Zhou, G.H. (2010) Effect of cooking methods on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and duck breast. *Meat science* 85(1), 149-154.
- Lijinsky, W. (1992) *Chemistry and biology of N-nitroso compounds* (Cambridge Univ Pr : UK).
- National Research Council (1981) *Aromatic amines: an assessment of the biological and environmental effects* (Committee on Amines. Board on Toxicology and Environmental

Health Hazards. Assembly of Life Sciences) (National Academies Press: Washington, USA).

Olmez, H., Tuncay, F., Ozcan, N., & Demirel, S. (2008) A survey of acrylamide levels in foods from the Turkish market. *Journal of Food Composition and Analysis* 21(7), 564-568.

Özkaynak, E., & Ova, G. (2009) Effects of various cooking conditions on acrylamide formation in rolled patty. *Food Additives & Contaminants: Part A* 26(6), 793-799.

Sinha, R., Rothman, N., Salmon, C.P., Knize, M.G., Brown, E.D., Swanson, C.A., Rhodes, D., et al. (1998) Heterocyclic amine content in beef cooked by different methods to varying degrees of doneness and gravy made from meat drippings. *Food and chemical toxicology* 36(4), 279-287.

Skog, KI., Johansson, M.A.E., & Jägerstad, M.I. (1998) Carcinogenic heterocyclic amines in model systems and cooked foods: a review on formation, occurrence and intake. *Food and chemical Toxicology* 36(9-10), 879-896.

Sonntag, C. (2006) *Free-radical-induced DNA damage and its repair: a chemical perspective* (Springer Verlag).

Soo, C. (2002) *Mechanisms of ozone toxicity*. University of Cincinnati.

Uemi, M., Ronsein, G.E., Miyamoto, S., Medeiros, M.H.G., & Di Mascio, P. (2009) Generation of Cholesterol Carboxyaldehyde by the Reaction of Singlet Molecular Oxygen [O₂ (1 g)] as Well as Ozone with Cholesterol. *Chemical research in toxicology* 22(5), 875-884.

Yaylayan, V.A., & Stadler, R.H. (2005) Acrylamide formation in food: A mechanistic perspective. *Journal of AOAC International* 88(1), 262-267.

Yurchenko, S., & Molder, U. (2007) The occurrence of volatile N-nitrosamines in Estonian meat products. *Food Chemistry* 100(4), 1713-1721.