PROJET INTERBEV « ENERG 17-04 »

Cartographie exploratoire et analyse stratégique des opportunités de marchés à plus forte valeur ajoutée sous forme de protéines et/ou dérivés pour le Vème quartier, les coproduits animaux et les abats déclassés

Avril 2019

Rapporteurs
C. LAPASIN - CELENE
T. TURINI - INTERBEV
C. GUINOT - INTERBEV

Florent MASSOULIER
Email : florent.massoulier@adiv.fr
ADIV
ZAC Parc Industriel des Gravanches
10 rue Jacqueline AURIOL
63039 CLERMONT-FERRAND cedex 2
Tél : 04 73 98 53 80 – Fax : 04 73 98 53 85

Table des matières

1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS 2

2 - REVUE DU MARCHE ACTUEL DES SOUS-PRODUITS ANIMAUX DE CATEGORIE 3 ET COPRODUITS ALIMENTAIRES 6

2.1 - ENQUETE AUPRES D'OUTILS D'ABATTAGE REPRESENTATIFS DE LA FILIERE 6

2.2 - DEFINITION DU MARCHE ACTUEL DES SPA C3 ET COPRODUITS ALIMENTAIRES 7

3 - VEILLE SCIENTIFIQUE PROSPECTIVE ET CARACTERISATION DES VOIES DE VALORISATION EMERGENTES OU INNOVANTES 9

3.1 - INTRODUCTION 9

3.2 - DEFINITION ET NOTIONS REGLEMENTAIRES 11

3.3 - VALORISATION DES SPA C3 POUR DES APPLICATIONS FONCTIONNELLES ALIMENTAIRES 14

3.4 - VALORISATION DES SPA C3 POUR DES APPLICATIONS NUTRITIONNELLES 18

3.5 - VALORISATION DES SPA C3 EN COMPOSES BIOACTIFS POUR LES DOMAINES DE LA SANTE ET DES NUTRACEUTIQUES 20

3.6 - TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DE PROTEINES ET HYDROLYSATS DE PROTEINES A PARTIR DE SPA 24

3.7 - CONCLUSION 29

4 - CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES VOIES DE VALORISATION ALIMENTAIRE 31

4.1 - POSITIONS DES EXPERTS SCIENTIFIQUES/MARCHES 31

4.2 - TRANSFORMATEURS/UTILISATEURS DE SPA 40

4.3 - INTERROGATIONS D'ACTEURS INDEPENDANTS DES FILIERES MAIS AVEC DES APPLICATIONS ALIMENTAIRES 44

5 - SYNTHESE ET ANALYSE STRATEGIQUE 45

5.1 - OBSTACLES A LA VALORISATION DES COPRODUITS ANIMAUX 45

5.2 - OPPORTUNITES ET PERSPECTIVES D'UTILISATION DES COPRODUITS 46

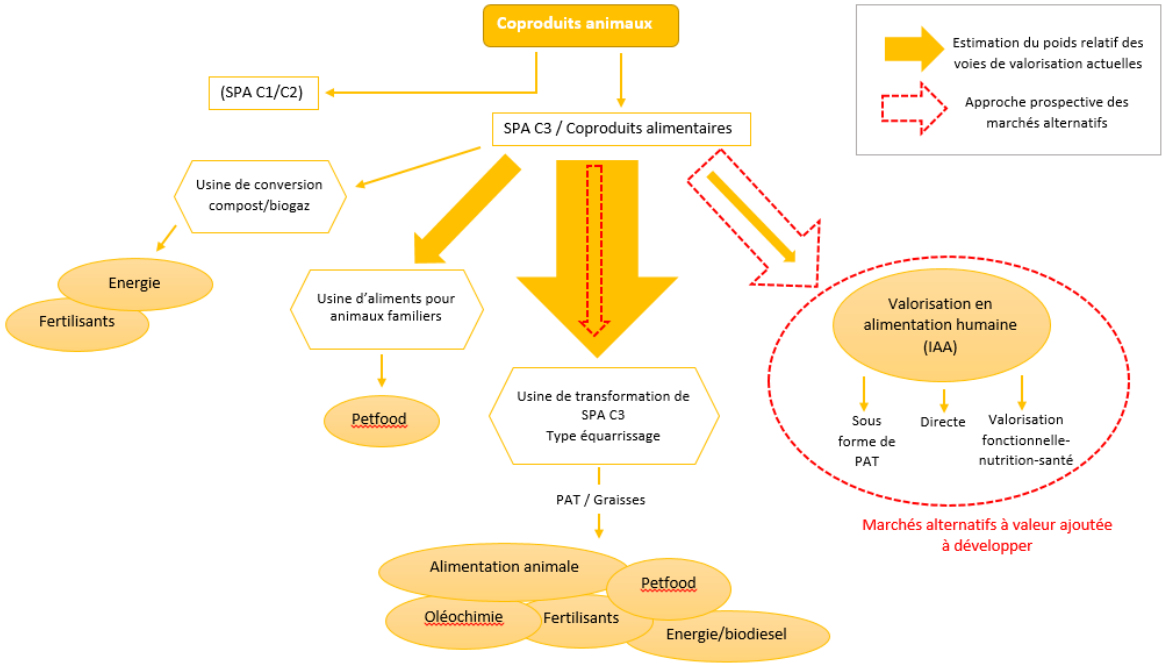
5.3 - ARTICLE MEAT SCIENCE – JUIN 2018 47

6 - ANNEXES 48

1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'évolution de la réglementation (réduction des volumes de SPA C1) et le contexte économique entraînent une augmentation du coût d'enlèvement des SPA C3. Certains d'entre eux qui étaient jusqu'à présent bien valorisés (graisses) le sont de moins en moins et ceux dont l'enlèvement représentaient déjà un coût non négligeable pour les outils d'abattage représentent une charge de plus en plus importante.

Des pistes de marchés alternatifs à plus forte valeur ajoutée pour les coproduits animaux et/ou abats avant leur déclassement en SPA C3 peuvent donc s'avérer intéressantes pour les industriels de la filière d'autant que, dans un contexte de forte croissance démographique mondiale, la demande en protéines ne cesse d'augmenter.



L'objectif de l'étude est de proposer aux professionnels de la filière des pistes de marchés alternatifs pour les coproduits animaux sous forme de protéines à plus forte valeur ajoutée.

Les professionnels des filières viande et notamment de l'abattage pourront ainsi se positionner sur la ou les voies les plus appropriée(s) à mettre en place en substitution de l'enlèvement par les transformateurs de coproduits. Les résultats pourront également servir de base à des études de mise en œuvre opérationnelle de ces nouvelles voies de valorisation

(étude technico-économique d'unités de transformation et/ou études de marché ciblées sur les nouveaux segments détectés et jugés les plus porteurs)

Le programme d'étude envisagé se décompose en 4 étapes :

1. **Etape 0 : Revue du marché actuel des sous-produits animaux de catégorie 3 et coproduits alimentaires**

   Cette étape est une phase préliminaire à l'étude proposée. Il s'agit de définir le marché actuel des sous-produits animaux et coproduits alimentaires.

   Cette étape a été réalisée sur la base :

   - d'une enquête auprès d'outils d'abattage représentatifs de la filière (5 à 10 outils/cas type),
   - d'une revue bibliographique des études menées sur le sujet.

   Le marché actuel des sous-produits animaux et coproduits alimentaires a été ainsi défini au travers :

   - d'une revue des voies de valorisation des sous et coproduits animaux
   - des volumes générés et des coûts d'enlèvement et/ou traitement des sous et coproduits
   - des pratiques et contraintes actuelles pour les outils d'abattage

2. **Etape 1 : Veille scientifique prospective et caractérisation des voies de valorisation émergentes ou innovantes**

   La conjoncture actuelle autour « du phénomène des protéines », parti en premier lieu de l'univers des protéines végétales, nous incite ici et dans le cadre d'une telle étude à caractère prospectif, à réfléchir à des sources nouvelles ou insoupçonnées de protéines animales dans des « matériaux » jusqu'ici trop souvent considérés comme des sous-produits ou « déchets ».

   En effet, alors que ces sous-produits représentent dans bien des cas une charge économique pour les acteurs des filières animales, il n'est pas inconcevable de penser que demain ils puissent devenir une source de valeur ajoutée innovante et d'avenir face à un marché mondiale en demande croissante de protéines.

   L'objectif de cette phase est donc d'appréhender les voies alternatives de valorisation alimentaire directe après transformation ou cracking des protéines animales pour un marché visé à plus forte valeur ajoutée.

Cette étape a été réalisée sur la base :

- d'entretiens avec des experts scientifiques (laboratoires de recherche, etc.) spécialisés dans le potentiel et les applications alimentaires des nouvelles sources de protéines,
- d'entretiens avec des acteurs d'autres filières animales (Lait et produits et ingrédients laitiers, Produits de la Mer, protéines d'œufs, …) engagés dans des démarches de valorisation pour des marchés à plus forte valeur ajoutée,
- d'une revue bibliographique des études menées sur le sujet.

Les atouts et l'approche innovante/différenciante de cette étape sont :

- de détecter les voies récentes et émergentes de valorisation des protéines,
- d'anticiper les opportunités scientifiques de transposition de technologies issues des environnements laitiers, piscicoles, …

3. Etape 2 : Caractérisation et cartographie des voies de valorisation alimentaire

Pour les voies de valorisation alimentaire suivantes :

- Alimentation directe notamment à l'export.
- Transformation en PAT (type gélatine, etc.) sur un panel élargi de coproduits et /ou abats déclassés.
- Hydrolyse et cracking de protéines (propriétés fonctionnelles-santé-nutritionnelles-aromatiques).

et sur la base d'une enquête qualitative auprès des principaux acteurs identifiés lors des étapes précédentes, il s'agit de qualifier ces différentes voies, de quantifier leurs poids économique et d'identifier les différents maillons les constituants.

En d'autres termes, les objectifs de cette étape de travail sont :

- d'identifier les principaux acteurs en présence (finaux/intermédiaires) ou en capacité de se positionner sur ces filières de valorisation nouvelles,
- de comprendre leurs modes d'interaction et d'influence, leurs relations commerciales (notion de contractualisation, engagement d'apport, …),
- d'appréhender les volumes et gisements circulants entre les différents acteurs,
- mesurer les enjeux financiers (à l'échelle macroéconomique) associés à ces échanges,

- de détecter les éventuels enjeux concurrentiels pouvant impacter le développement ou la régression de certaines voies de valorisation,
- de hiérarchiser les différents degrés d'accessibilité à ces nouvelles voies de valorisation (immédiate, après R&D et investissement, etc.).

4. **Etape 3 : Synthèse et analyse stratégique permettant de proposer un environnement structurel et organisationnel des filières de coproduits animaux à plus forte valeur ajoutée**

   Cette analyse stratégique repose sur différents paramètres :

   - les opportunités de marché détectées,
   - le degré d'accès des technologies permettant d'y répondre,
   - la valeur ajoutée escomptée et dans la mesure du possible le seuil d'intérêt économique (au niveau macroéconomique) envisageables associés à ces schémas de valorisation.

   Cette analyse, portant sur les 3 voies de valorisation étudiées en phase 2, sera résumée sous la forme d'une **matrice globale et prospective** répertoriant pour chaque voie les Forces/Faiblesses et les Opportunités/Menaces corrélées à des déterminants techniques, économiques, organisationnels, concurrentiels,…

   L'analyse devrait permettre de proposer un nouveau schéma de valorisation économiquement plus intéressant pour les outils d'abattage.

2 - REVUE DU MARCHE ACTUEL DES SOUS-PRODUITS ANIMAUX DE CATEGORIE 3 ET COPRODUITS ALIMENTAIRES

2.1 - Enquête auprès d'outils d'abattage représentatifs de la filière

Une enquête a été réalisée par téléphone et mail sur 5 à 10 outils par cas-types représentatifs définis lors des études INTERBEV 2016 notamment celle sur le marché des produits dérivés du sang, à savoir :

- Multi-espèces / 1500 t/an
- Multi-espèces / 6500 t/an
- Spécialisé bovin /12500 t/an
- Spécialisé bovin / 25000 t/an

et pour éviter d'interroger les outils d'abattage à de nombreuses reprises et répondre également à l'enquête prévue pour l'étude ENERG-17-05

- Spécialisé ovin / 3000 t/an

L'enquête a été réalisée à l'aide d'un guide d'entretien afin de recueillir des informations sur:

- Tonnage abattu
    - Tonnage et nombre de têtes abattu par espèces
    - Tonnage découpe
- Valorisation des coproduits (hors SPA C1 et 2)
    - Type de coproduits
    - Volume annuel/coproduits
    - Devenir/coproduits: Alimentation humaine, Petfood, opothérapie, SPA C3, etc
    - Coût enlèvement (-) ou de valorisation (+) - en €/tonne

Type	**Volume** **En T/an** Si possible	**Destination :** Alimentation humaine ; Petfood ; opothérapie ; SPA C3 ; etc.	**Coût enlèvement (-)** **ou de valorisation (+)** **En €/tonne**
Sang			
Cornes			
Onglons			
Pieds			
Joues			
Masque			
Etc.			

2.2 - Définition du marché actuel des SPA C3 et coproduits alimentaires

Les résultats de la phase d'enquêtes indiquent les caractéristiques suivantes selon les cas-types :

- **Outils d'abattage multi-espèces de faible tonnage (1500 t/an)**
    - Abats « classiques » valorisés au maximum selon demande
    - Pas de « nouvelles voies » de valorisation des coproduits
        - Abats rouges et blancs valorisés au maximum
        - Cuirs et peaux en tanneries/mégisseries sinon déclassés en SPA C1
        - Valorisation SPA C3 via société d'enlèvement et de traitement
        - Prix de vente ou coût d'enlèvement:
            - -125 €/tonne pour le sang
            - -80€/tonne pour SPA C3
            - +200 pour graisses
            - pas de prix pour valorisation alimentaire des abats
- **Outils d'abattage multi-espèces – 6500 t/an**
    - D'une manière générale, même schéma de valorisation que précédemment
    - A noter, la valorisation de coproduits comme trachée, poumons, rate, herbière en petfood humide (+30€/tonne)
    - Prix de vente ou coût d'enlèvement:
        - de -100 à -150 €/tonne pour le sang
        - -40€/tonne pour SPA C3
        - +30€/tonne pour coproduits en petfood humide
        - +200 pour graisses
        - pas de prix pour valorisation alimentaire des abats
- **Outils d'abattage spécialisé bovins – 12500 t/an**
    - Même schéma de valorisation que précédemment
    - Mais des coûts d'enlèvement et des prix de vente plus intéressants:
        - de -40 à +40 €/tonne pour le sang selon le prestataire en charge de l'enlèvement et la destination final (amendement ou valorisation globine/plasma)
        - +30€/tonne pour SPA C3

        - de +30 à +50€/tonne pour coproduits en petfood humide
        - +300 €/tonne pour graisses
        - quelques prix pour des abats en valorisation alimentaire (par exemple : 0,1 €/kg pour museau et babines, 3,55 €/kg pour la langue, 0.66 €/kg pour les estomacs, etc.)

- **Outils d'abattage spécialisé bovins >25000 t/an**
    - D'une manière générale, même schéma de valorisation que précédemment, mais:
        - des coûts d'enlèvement des prix de vente plus intéressants
            - de -40 à +40 €/tonne pour le sang selon le prestataire en charge de l'enlèvement et la destination finale (amendement ou valorisation globine/plasma)
            - +60€/tonne pour SPA C3
            - +350 €/tonne pour les graisses
            - De +30 à +50€/tonne pour coproduits en petfood humide
        - Des voies de valorisation différentes pour la bile (pharmacologie) ou les os (gélatine)
    - Les abats peuvent être déclassés en petfood

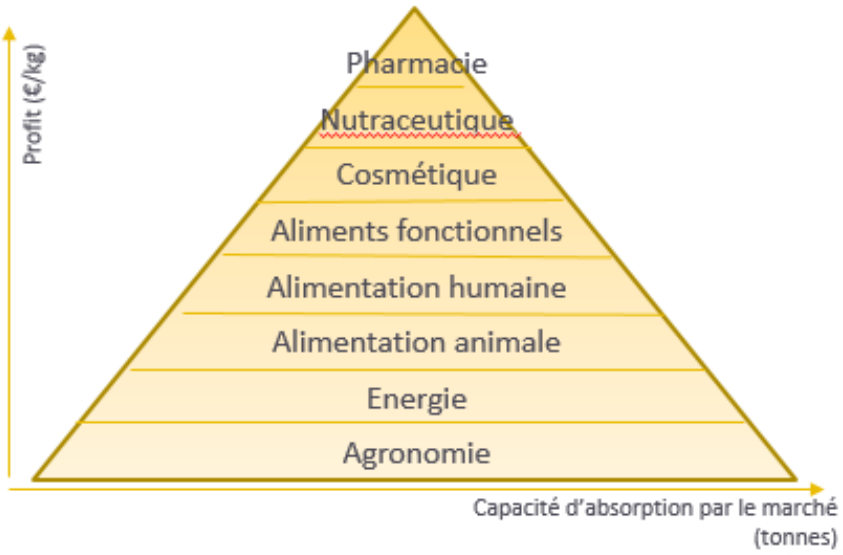
3 - VEILLE SCIENTIFIQUE PROSPECTIVE ET CARACTERISATION DES VOIES DE VALORISATION EMERGENTES OU INNOVANTES

3.1 - Introduction

Les abattoirs génèrent beaucoup de sous-produits animaux. Beaucoup de ces sous-produits sont en fait des produits potentiellement comestibles mais qui, faute de marché, sont évacués avec les sous-produits de catégorie 3. Une meilleure utilisation de ces sous-produits est primordiale non seulement du point de vue de la durabilité mais aussi d'un point de vue économique puisqu'elle offre à l'industrie l'opportunité d'augmenter leur valeur ajoutée.

Les sous-produits issus de la filière viandes présentent pour la plupart une qualité nutritionnelle intéressante et **l'extraction de composés à haute valeur ajoutée** peut être une voie de valorisation rentable dans la mesure où l'évolution de la réglementation et le contexte économique actuel entrainent une augmentation du coût d'enlèvement des SPA C3.

La valeur ajoutée des ingrédients obtenus est souvent fonction du marché visé.
Un tri des coproduits est souvent nécessaire avant la fabrication d'un ingrédient à haute valeur ajoutée *(d'après Guillotin et Pirot, 2016).*



D'un point de vue réglementaire (règlement 1139/2009), la catégorie 3 des sous-produits animaux regroupe les matières premières provenant d'animaux dont la carcasse a été déclarée propre à la consommation humaine par l'inspection sanitaire ainsi que graisses, phanères, cornes, poils, soies, plumes, sang, déchets de découpe et protéiques divers, os crus et cuits, ovoproduits, coquilles d'œuf, tous les poissons sans signes de maladies, carapaces de crustacés et coquillages, avec chair, déchets de cuisine et table. Cette catégorie comprend ainsi des parties d'animaux abattus et jugés propres à la consommation humaine mais que la chaîne alimentaire humaine ne valorise pas (ex : poumons), ainsi que les denrées alimentaires d'origine animale non destinées à l'alimentation humaine pour des raisons commerciales (« saisies techniques (ex cachexie) »). Par ailleurs, au sein de cette catégorie de nombreux produits peuvent être ou sont valorisés après des traitements spécifiques pour des usages divers (cosmétologie, pharmacie, produits manufacturés, artisanaux, voire artistiques, agronomie, énergie).

Le travail bibliographique qui a été mené avait pour objectif d'appréhender les voies alternatives de valorisation alimentaire, directe après transformation ou cracking des protéines animales de sous-produits pour un marché visé à plus forte valeur ajoutée. Ce travail a porté uniquement sur la valorisation des sous-produits de catégorie 3 ainsi que sur le Vème quartier et les abats déclassés qui pourraient entrer dans l'alimentation humaine. Le sang ne rentrait pas dans le champ d'étude.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'extraction et à la caractérisation des protéines issues des sous-produits animaux. Récemment, Mullen et ses collaborateurs (2017) ont publié un article qui passe en revue l'ensemble des alternatives envisageables pour l'exploitation des composés contenus dans les coproduits de la filière viande.

En considérant uniquement la valorisation des sous-produits en alimentation humaine, plusieurs marchés de valorisation ont été identifiés dans la littérature, il s'agit principalement des marchés suivants:

- **Secteur de la nutrition**
- **Secteur agroalimentaire pour des applications en alimentation humaine**
- **Secteur de la santé et de la nutraceutique avec des composés bioactifs**

3.2 - Définition et notions réglementaires

En fonction des techniques d'extraction et de purification utilisées et de leur niveau d'intensité, différents types de produits ou ingrédients peuvent être générés à partir des coproduits d'origine animale.

32.1 - *Définitions produit/co-produit/sous-produit animaux/déchet*

Co-produits : L'un quelconque des deux produits ou plus issus d'un processus élémentaire ou d'un système de produits (ISO 14044)

Déchet : Selon la Directive (CE) 98/2008, toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'obligation de se défaire. Cependant, et en accord avec le règlement (CE) N° 1069/2009, les sous-produits animaux ne sont pas concernés par cette règlementation, sauf, lorsqu'ils sont destinés à l'incinération, la méthanisation ou le compostage.

Produits animaux : Parties de l'animal qui a l'issu du processus d'abattage de l'animal et de transformation des viandes ont un usage sur le marché/ne sont pas un déchet.

Sous-produits animaux : Selon le règlement (CE) N°1069/2009, cadavres entiers ou parties d'animaux, produits d'origine animale ou d'autres produits obtenus à partir d'animaux. Ces matières n'étant pas destinées à la consommation humaine.

Viande : Règlement (CE) N°853/2004. La part comestible de l'animal incluant les viandes fraiches définies comme n'ayant subi aucun processus de conservation autre que la réfrigération, la congélation ou la surgélation incluant ce qui est conditionnée sous-vide ou sous atmosphère modifiée, ainsi que les abats (y compris les viscères et le sang).

Schéma de l'articulation des différentes parties animales à l'issue des processus d'abattage et de transformation des viandes.

<table>
<tr><th colspan="4">Au stade de l'abattoir</th></tr>
<tr><th>Déchets</th><th colspan="3">Produits animaux</th></tr>
<tr><td rowspan="5">Selon la Directive (CE) N°98/2008, un déchet correspond à toute substance ou objet dont le détenteur se défait. Les sous-produits animuax ne sont pas concernés par cette règlementation sauf ceux, destinés à l'incinération, la méthanisation et le compostage</td><td colspan="2">Co-produits animaux</td><td>Viande
Règlement (CE) N°853/2004</td></tr>
<tr><td>Matières animales non destinés à la consommation humaines appelées "sous-produits animaux"
Règlement (CE) 1069/2009</td><td>Matières animales de qualité alimentaire hors viande</td><td rowspan="4">Selon le règlement (CE° N°853/2004, la part comestible de l'animal qui n'a subi aucun processus de conservation autre que la réfrigération, la congélation ou la surgélation incluant ce qui est conditionné sous-vide ou sous atmosphère modifée, incluant les abats (y compris les viscères et le sang)</td></tr>
<tr><td>Catégorie 1
SPA présentant un risque lié à l'ESB</td><td rowspan="3">Coproduits destinés à l'alimentation humaine après transformation. Par exemple les peaux et les os pour la fabrication de gélatine</td></tr>
<tr><td>Catégorie 2
SPA présentant un risque sanitaire hors ESB</td></tr>
<tr><td>Catégorie 3
SPA ne présentant pas de risque sanitaire</td></tr>
</table>

32.2 - ***Définition et réglementation relatives aux viandes séparées mécaniquement :***

Les VSM ou viandes séparées mécaniquement sont définies par le règlement (CE) n°853/2004 comme étant « le produit obtenu par l'enlèvement de la viande des os couverts de chair après le désossage ou des carcasses de volaille, à l'aide de moyens mécaniques entraînant la destruction ou la modification de la structure fibreuse des muscles ». Leur production est réglementée par l'instruction technique DGAL/SDASSA/2016-352.

La réglementation européenne (règlement européen CE n°999/2001) interdit au sein de l'Union Européenne la production de viandes séparées mécaniquement (VSM) à partir d'os de ruminants, **sauf pour certains os issus d'animaux provenant de pays à risque négligeable** au regard des encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST). Dans ce dernier cas, les os couverts de chair (autres que ceux de la tête, des membres et de la queue) issus de la découpe des carcasses peuvent être utilisés en VSM.

32.3 - ***Définition et réglementation relatives au collagène et à la gélatine***

323.1 - Le collagène

Le collagène est une protéine fibreuse de structure insoluble dans l'eau. Elle représente l'une des protéines les plus abondantes dans les produits d'origine animales (cartilages, os, tendons, peau…. Elle contient environ 30% de glycine et 25% de proline et hydroxyproline. C'est la teneur en ces deux derniers acides aminés qui confère au collagène sa rigidité et sa résistance. L'unité de base du collagène est la molécule de tropocollagène : c'est une hélice, d'environ 280nm de long, de 1,5 nm de diamètre et de poids moléculaire de 300 000, formée de trois chaînes polypeptidiques. Bien qu'à ce jour, jusqu'à 27 types différents de collagène aient été identifiés, le collagène de type I est le collagène le plus répandu dans le tissu conjonctif.
D'un point de vue réglementaire, le règlement N°853/2004 fixe les exigences et conditions de production du collagène. Il a récemment été modifié par le règlement 2016/355.
Le processus de fabrication du collagène doit garantir (entre autres), que les matières premières soient soumises à un traitement comportant :

- Un lavage
- Un ajustement de pH au moyen d'un acide ou d'un alcali
- Un ou plusieurs rinçages
- Au moins un des procédés suivants : filtration, broyage ou extrusion ou procédé équivalent agrée.

Le collagène doit ensuite subir un processus de séchage.

323.2 - La gélatine

Après extraction et hydrolyse, le collagène peut être transformé en gélatine dont les propriétés de gélification sont importantes. La production de gélatine est encadrée par le règlement 853/2004 modifié par le règlement 2016/355.

32.4 - ***Définition et réglementation relatives aux produits hautement raffinés***

Le règlement 2016/355 a modifié le règlement 853/2004 en ajoutant une section XVI destinée aux exploitants du secteur alimentaire fabriquant des produits hautement raffinés d'origine animale suivants :

- sulfate de chondroïtine,

- acide hyaluronique,
- autres produits à base de cartilage hydrolysé,
- chitosane,
- glucosamine,
- présure,
- ichtyocolle
- acides aminés autorisés en tant qu'additif alimentaire.

Ce règlement a été complété par l'instruction technique DGAL/SDASSA/2017-628. Les matières premières utilisées pour la fabrication des produits hautement raffinés doivent être tirées d'animaux qui ont été abattus dans un abattoir et dont les carcasses ont été jugées propres à la consommation humaine. Les exploitants des établissements produisant des PHR « doivent veiller à ce que le traitement des matières premières utilisées élimine tout risque pour la santé humaine ou animale ».

3.3 - Valorisation des SPA C3 pour des applications fonctionnelles alimentaires

La transformation des co-produits animaux en ingrédients alimentaires permet de générer une valeur ajoutée plus forte que dans le cas d'une utilisation en enfouissement, alimentation animale, épandage, compostage, valorisation énergétique, etc. (Guillotin et Pirot, 2016). De plus, cette voie de valorisation permet généralement l'utilisation de volumes plus importants que dans d'autres secteurs comme la pharmacie ou la cosmétique.

Les co-produits animaux représentent des sources d'ingrédients dont l'utilisation dans un aliment pourrait :

- Augmenter la teneur en protéines
- Améliorer l'appétence et l'aromatique
- Augmenter la capacité de rétention d'eau de l'aliment,
- Apporter une propriété technologique de surface au produit (pouvoir émulsifiant, moussant, stabilisant, …),
- Modifier les propriétés technologiques de structure et de texture de l'aliment (viscosité, élasticité, cohésion, caractère liant, épaississant ou gélifiant).

33.1 - ***Production de VSM à partir de coproduits pour des applications alimentaires***

La VSM peut être utilisée dans les produits à base de viande et sous certaines conditions dans les préparations de viande (DGAL/SDASSA/2016-352). Son utilisation permet d'enrichir le produit en protéines, d'améliorer la liaison des produits et d'augmenter la rétention d'eau. Aujourd'hui, le marché des VSM est essentiellement constituée par de la VSM de volaille (Valmeat, Favid…).

La réglementation européenne (règlement européen CE n°999/2001) interdit au sein de l'Union Européenne la production de viandes séparées mécaniquement (VSM) à partir d'os de ruminants, **sauf pour certains os issus d'animaux provenant de pays à risque négligeable** au regard des encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST). Dans ce dernier cas, les os couverts de chair (autres que ceux de la tête, des membres et de la queue) issus de la découpe des carcasses peuvent être utilisés en VSM.

L'utilisation de coproduits animaux de ruminants comme nouvelles sources de VSM n'est donc pas envisageable en France au vu de son classement en pays à risque non négligeable au regard des EST.

33.2 - ***Production de protéines spécifiques***

332.1 - Collagène et protéines :

Le collagène et la gélatine peuvent avoir de multiples applications alimentaires :

- Fabrication de boyaux et films collagéniques (Gomez et al, 2011) : boyaux Natureen® de Soussana,
- Gélatine comme texturants alimentaires : propriétés gélifiantes, moussantes, émulsifiantes : Rousselot® gélatine, Collapro, Weishardt, …
- Etc,…

La gélatine et le collagène sont principalement extraits des peaux et des os, cependant, d'autres abats tels que **le poumon, la langue, la trachée (cf. tableaux ci-après), les gros vaisseaux sanguins** ou les **tendons** sont également des sources de collagène (Mullen et al, 2017). Santos, en 2013, a mis également en évidence la possibilité d'utiliser des tissus du péricarde bovin comme source de collagène.

TABLE 1
PROTEIN AND CONNECTIVE TISSUE CONTENTS OF OFFAL TISSUES (% WET WEIGHT BASIS)

Species	Tissue	% Protein[a]	% Collagen[c]	% Elastin[c]	Total conn. tissue as % protein in tissue
Bovine	Lung	17·9 ± 1·2(12)[b]	2·3	2·5	26·0
	Trachea	19·3 ± 0·3(4)	11·8	ND	61·0
	Rumen	14·3 ± 1·1(10)	2·7	ND	18·0
	Reticulum	14·5 ± 0·8(4)	2·6	ND	18·0
	Omasum	11·2 ± 0·7(4)	2·5	ND	22·0
	Abomasum	10·7 ± 0·7(4)	1·6	ND	15·0
	Large intestine	12·3 ± 0·6(6)	2·8	ND	23·0
	Small intestine	11·8 ± 0·6(10)	2·7	ND	22·0
Ovine	Lung	17·4 ± 1·3(10)	2·4	2·4	26·0
	Stomach	14·5 ± 0·5(8)	2·7	ND	18·0
	Large intestine	12·6 ± 0·3(4)	2·8	ND	22·0
	Small intestine	12·7 ± 0·2(8)	2·7	ND	21·0
Porcine	Lung	15·1 ± 0·5(8)	1·5	1·7	20·0
	Stomach	14·2 ± 0·6(8)	2·8	ND	20·0
	Large intestine	12·6 ± 0·9(4)	3·0	ND	23·0
	Small intestine	13·7 ± 0·2(4)	2·9	ND	21·0

[a] Means ± SD.
[b] Number of determinations.
[c] Means of duplicate analyses.
ND = not determined.

D'après Gault et Lawrie, 1980

Table 3
Collagen composition of meat by-products and MSC[a]

Sample	Total collagen (mg/g meat)	Soluble collagen (mg/g meat)	Insoluble collagen (mg/g meat)	Elastin (% WTB)[a]	IMC[a] (mg/g meat)
Pork lungs	25.79a[b]	1.91b	23.88a	1.77a	79.90a
Pork kidneys	17.54ab	2.27b	15.27b	1.19a	36.93b
Chicken viscera	25.16a	18.27a	6.89c	1.44a	41.03b
MSC	14.90b	3.27b	11.62b	0.58a	18.77c
SEM	1.98	1.34	0.79	0.21	3.81

La production de collagène et de gélatine à partir de certains sous- produits de catégorie 3 autres que ceux déjà utilisés actuellement pourrait constituer une voie de valorisation potentielle supplémentaire.

332.2 - Production de protéines fonctionnelles pour des applications alimentaires

L'utilisation de coproduits comme sources d'ingrédients fonctionnels alimentaires reste peu développée pourtant il existe dans la littérature, des travaux intéressants décrivant l'extraction et la caractérisation de protéines fonctionnelles à partir de divers abats (cf. tableau suivant) :

Abats étudiés	Propriétés mises en évidence	Auteurs
Foie (porc)	Emulsifiante et moussante	Steen et al, 2016
Foie (dinde)	émulsifiante	Zouari et al, 2011
Poumon (porc et bœuf)	Moussante, émulsifiante	Selmane, 2008

Selmane (2008) a montré les capacités moussantes et émulsifiantes de protéines extraites de poumons de bœuf et de porc comparativement à des ingrédients utilisés classiquement en charcuterie.

Table 3
Foaming ability (FA), foaming stability (FS), emulsifying activity (EA), turbidity (A_{10}) and emulsion stabilizing (ES) of commercial ingredients and meat protein concentrates

Protein types	Whey proteins	Egg white proteins	Soy Protein isolate	Na-caseinates	Beef plasma	Pork lungs	Beef lungs	MDCM before lipid extraction	MDCM after lipid extraction
FA (%)	74.2 ± 2[a]	42 ± 3	18 ± 3	45 ± 3	–	62 ± 3	47 ± 3	65 ± 2	35 ± 3
FS (min)	61 ± 3	237 ± 4	60 ± 2	19 ± 4	–	15 ± 3	60 ± 4	180 ± 3	30 ± 5
EA	0.42 ± 0.02	0.51 ± 0.06	–	0.56 ± 0.04	0.15 ± 0.05	0.85 ± 0.06	0.9 ± 0.1	0.40 ± 0.08	0.75 ± 0.06
A_{10}	0.29	0.23	–	0.19	0.12	0.40	0.37	0.16	0.25
ES (min)	33 ± 2	18 ± 3	–	15 ± 2	44 ± 3	19 ± 2	17 ± 2	17 ± 2	1 5 ± 4

[a] Mean ± SD.

D'après Selmane, 2008

Ainsi les coproduits animaux représentent un potentiel de protéines techno-fonctionnelles très intéressant. Leurs propriétés moussantes, émulsifiantes, stabilisantes permettent d'envisager leur utilisation en remplacement des caséinates de sodium, protéines de blé ou d'œuf, protéines de soja souvent utilisés en charcuterie ou dans différentes préparations de viandes.

332.3 - Production de protéines texturées pour des applications alimentaires

L'étude des brevets n'a pas montré d'inventions mettant en œuvre des protéines issues de co-produits animaux et utilisés pour des applications alimentaires. Cependant, il existe un brevet sur un procédé de fabrication de succédané de caviar à partir entre autres, de protéines animales. Le procédé de production consiste à préparer une solution aqueuse contenant 45 à 57 % de protéines animales puis à la filtrer. Le procédé permet d'obtenir des granulés sphériques dont le traitement permet l'obtention d'un produit dont l'aspect est similaire au caviar.

Il pourrait donc être envisageable de réaliser des préparations de protéines texturées à partir de co-produits animaux pour des applications alimentaires diverses.

33.3 - *Production d'hydrolysats de protéines*

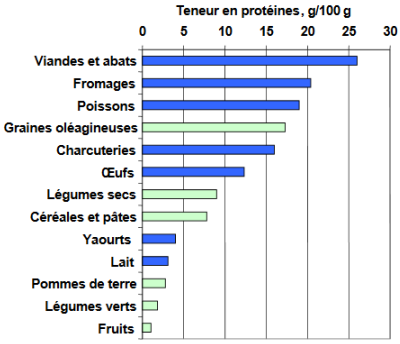
Certains hydrolysats de protéines (obtenus par voie chimique ou enzymatique) peuvent être utilisés comme ingrédients aromatiques car ils contiennent de petits peptides et des acides aminés libres avec des propriétés aromatisantes. Ces hydrolysats peuvent également réagir avec des sucres réducteurs pour générer des arômes pertinents. Certains dipeptides et

tripeptides présentant un goût d'umami, ont été obtenus après hydrolyse d'extraits de protéines de poulet avec de la bromélaïne (Maehashi, Matsuzaki, Yamamoto et Udaka, 1999).

Il serait envisageable de produire des peptides aromatisants à partir de coproduits animaux pour des applications alimentaires diverses.

3.4 - Valorisation des SPA C3 pour des applications nutritionnelles

Beaucoup de sous-produits animaux représentent une source importante de protéines et autres substances d'intérêt (minéraux, vitamines…) (Mullen et Alvarez, 2016).



Sources : Ciqual, USDA, Souci et al., 2000

De plus, les protéines animales, de par leur profil complet en acides aminés (présence des acides aminés indispensables), possèdent une valeur élevée comparativement à d'autres protéines (cf. tableaux suivants, Lawrie, 1978).

TABLE 2

AMINO ACID ANALYSES OF ISOLATED AND TEXTURED LUNG, RUMEN AND PLASMA PROTEINS (g amino acid/16 g N)

Amino acid	*Protein isolate*			*Protein fibre*			*'FAO/WHO recommended chemical score*
	Lung	*Rumen*	*Plasma*	*Lung*	*Rumen*	*Plasma*	
Alanine	6·4	5·70	5·6	5·4	6·02	5·3	
Arginine[b]	7·9	9·72	6·8	8·0	7·36	6·4	
Asparatic acid	10·2	10·5	11·0	11·0	9·32	11·4	
Glutamic acid	13·4	16·4	11·0	16·6	25·5	15·2	
Glycine	4·8	3·92	4·0	4·2	4·82	3·5	
Histidine[b]	3·1	2·96	4·7	2·1	1·78	2·8	
Isoleucine[a]	4·4	5·58	3·3	5·3	5·18	3·6	4·00
Lysine[a]	10·2	9·52	11·0	8·4	8·48	11·2	5·50
Leucine[a]	11·6	9·58	9·8	10·8	8·54	11·2	7·00
Methionine[a]	1·71	3·28	1·24	2·32	2·69	1·3	3·50
Cystеic acid	0·36 } 2·07	0·29 } 3·57	0·79 } 2·03	0·41 } 2·73	0·29 } 2·98	0·92 } 2·22	
Phenylalanine[a]	6·0	4·72	6·2	5·1	3·99	5·4	6·00
Tyrosine[b]	4·5 } 10·5	5·30 } 10·02	6·1 } 12·3	3·4 } 8·5	3·69 } 7·68	5·0 } 10·4	
Threonine[a]	4·9	5·22	6·7	5·1	4·71	7·32	4·00
Tryptophan[a]	2·38	1·83	2·36	2·89	1·60	1·83	1·00
Valine[a]	5·9	5·47	8·0	4·7	3·49	6·6	5·00

[a] Essential for adults and children.
[b] Essential for children only.
[c] FAO/WHO (1973).

NUTRITIVE VALUE OF PROTEIN ISOLATES AND FIBRES

D'après Lawrie, 1978.

TABLE 3

NET PROTEIN UTILISATION (NPU) DIGESTIBILITY, BIOLOGICAL VALUE, MEAN DAILY LIVE WEIGHT GAIN AND CHEMICAL SCORE OF ISOLATED AND TEXTURED OFFAL PROTEINS AND EGG

Protein source	*NPU* (%)	*SE*	*No. of replicates*[a]	*Digestibility* (%)	*Biological value*	*Mean live-weight gain (g/rat/day)*	*Chemical score* (%)	*First limiting amino acid*
Lung isolate	58·9	3·8	3	95·2	61·9	2·84	59·2	Methionine + cystine
Rumen isolate	64·7	3·5	4	97·1	66·6	3·35	100·0	Methionine + cystine
Blood plasma	51·0	6·0	4	97·9	52·1	1·8	58·0	Methionine + cystine
Lung fibres	62·3	7·9	4	93·9	66·3	3·1	78·0	Methionine + cystine
Rumen fibres	76·9	7·7	4	96·5	79·7	3·29	69·8	Valine
Plasma fibres	53·0	5·29	3	97·5	54·4	1·8	63·4	Methionine + cystine
Egg	90·0	7·0	2	94·9	94·7	3·97		

[a] Each replicate consisted of two rats treated as a single group.

D'après Lawrie, 1978.

Cependant, une définition plus récente décrit la qualité nutritionnelle des protéines comme la capacité de la protéine à atteindre des activités métaboliques spécifiques. La méthode mise à jour approuvée pour la détermination de la qualité des protéines est le score d'acides aminés corrigé de la digestion des protéines (PDCAAS). Dans cette méthode, l'acide aminé unique le plus limitant est identifié, comparé à un modèle de référence approprié, qui définit le score d'aminoacide. Selon la FAO, **la lysine, la méthionine et le tryptophane** sont les acides aminés les plus limitants dans les sources de protéines. Les abats en général, sont une bonne source en éléments essentiels (Ile, Leu, Lys, Met, Phe, 166Thr, Trp, Vali) et en acides aminés limitants. Cependant les abats riches en tissu conjonctif comme les oreilles, les pieds et le museau, présentent une plus faible qualité protéique, puisque le tissu conjonctif est principalement composé de glycine, proline et alanine qui ne sont pas des acides aminés essentiels (Mullen et al., 2017 ; Mullen &Alvarez, 2016).

Tables

Table 1: Total protein content (% wet basis), individual essential amino acids (g/100 g protein) and total essential amino acids (%EAA) in selected offal across a number of species.

Product	Specie	Prot. (%)	Lys	Met	Trp	% EAA
Blood	Cattle	17-18	9.7	2.4	-	60.6
	Porcine	18.5	9.0	2.3	1.5	58
Brain	Cattle	10.5	6.0	2.1	4.7	42.8
	Porcine	10.3	7.8	2.0	4.2	46.8
	Sheep	12.3	6.4	2.0	1.1	42.8
Heart	Cattle	17	8.2	2.6	1.1	47.1
	Porcine	17	8.3	2.6	1.2	47.7
	Sheep	18	7.5	2.2	1.1	43.8
Kidney	Cattle	15.3	6.6	2.1	1.4	45.2
	Porcine	15.4	7.2	2.1	1.3	48.0
	Sheep	18.0	6.5	2.0	1.4	43.9
Liver	Cattle	21	6.9	2.5	1.4	49.1
	Porcine	19	7.7	2.5	1.4	48.9
	Sheep	20.3	5.4	2.1	1.2	42.7
Lung	Cattle	17	7.1	2.0	0.9	41.5
	Porcine	15	7.3	1.6	0.9	37.8
	Sheep	12.5	6.5	1.8	0.9	40.6
Spleen	Cattle	19	7.2	1.8	1.0	48.0
	Porcine	17.9	7.5	1.8	1.0	41.9
	Sheep	17.2	7.7	1.9	1.1	48.5
Tongue	Cattle	17.1	7.7	2.1	0.8	45.8
	Porcine	16.3	8.2	2.2	1.2	40.2
	Sheep	15.3	7.1	2.1	1.0	40.4
Connective tissue collagen		85%	3.5	0.7	0.0	11.97

Data from Venegas, 1996.

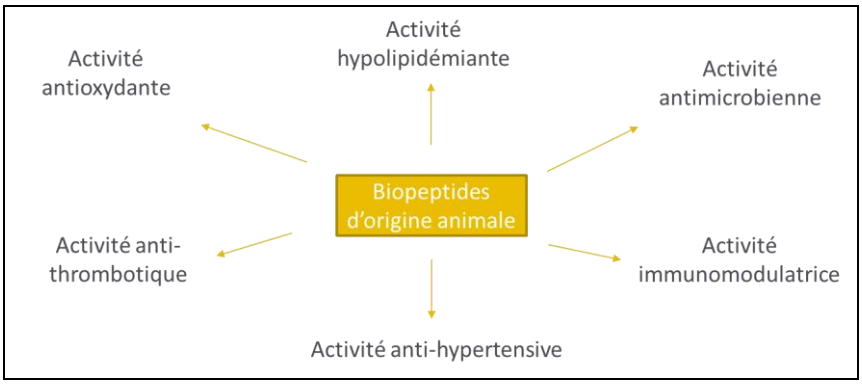
Repris par Mullen et al, 2017

Dans un contexte actuel de forte croissance démographique mondiale, la demande en protéines ne cesse d'augmenter. La valorisation des protéines issues de sous-produits de catégories 3, Vème quartier ou abats déclassés pour des applications nutritionnelles peut donc répondre à la fois à un enjeu de sécurité alimentaire dans les années à venir et à un enjeu économique pour la filière viande. Leur qualité nutritionnelle offre la possibilité de représenter un bon moyen de compléter des apports protéiques insuffisants.

3.5 - Valorisation des SPA C3 en composés bioactifs pour les domaines de la santé et des nutraceutiques

35.1 - *Peptides à activité biologiques*

L'activité protéolytique durant la digestion de la viande et notamment des protéines animales, génère une grande quantité de peptides et d'acides aminés aux nombreuses propriétés (cf. schéma suivant) :



Peptides bioactifs dérivés de la digestion des protéines de viande (selon Udenigwe et Howard, 2012)

Ces peptides peuvent également être obtenus industriellement à partir de protéines animales par hydrolyse avec des protéases spécifiques. Des centaines de peptides sont libérés mais seulement quelques-uns sont intéressants car ils peuvent exercer un bénéfice pour la santé. Le problème principal des peptides générés naturellement est la difficulté à contrôler les conditions d'hydrolyse. En effet, de nombreuses enzymes endogènes agissent en même temps et entrainent une grande hétérogénéité dans le profil des peptides générés. L'hydrolyse des protéines dans des conditions contrôlées mettant en œuvre des enzymes spécifiquement choisies permet de contrôler la nature des peptides ainsi formés. Un certain nombre de peptides peuvent ainsi être libérés après hydrolyse ou fermentation, mais seulement quelques-uns ont de véritables bienfaits pour la santé. Il est important de souligner que les bioactivités observées in vitro ne suffisent pas à confirmer un réel bénéfice physiologique. En effet, les peptides doivent être résistants à la dégradation endogène potentielle, être absorbés puis doivent atteindre le site cible intacts afin de présenter la même bioactivité que celle obtenue in vivo.

Il existe un grand nombre de travaux dans la littérature mettant en évidence la possibilité de générer des peptides bioactifs à partir de diverses sources protéiques (lait, fromage, poisson, végétaux et viande). D'autres auteurs ont étudié la possibilité de générer des peptides bioactifs à partir de sous-produits de diverses origines. Toutefois, bien souvent, il s'agit de sous-produits d'aquaculture. Les peptides générés à partir de sous-produits d'origine animale sont souvent proposés pour des applications en alimentation animale (Martinez-Alvarez et ses collaborateurs, 2015).

Le tableau suivant présente quelques activités physiologiques observées sur des peptides d'origine animale :

Sources	Activités physiologique	Auteurs
Hydrolysat de gélatine bovine	Antihypertensive par inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine I (ACE)	Herregods et al, 2011
Hydrolysats de gélatine	Traitement de l'arthrose	(Beynen et al, 201 ; Bello et Oesser, 2006)
Protéines sarcoplasmiques	Activité antimicrobienne	Jang et al, 2008
Protéines issues de sous produits animaux	Activité antioxydante	Chalamaiah et al, 2012 Lafarga&Hayes, 2014 Najafian & Babji, 2012
Hydrolysats de foie de porc	Activité antioxydante	Bernardini, 2011

Le tableau suivant est tiré des travaux de Ferraro et al, 2016. Il donne quelques exemples de peptides bioactifs à partir de collagène, gélatine, élastine et kératine de source animale.

Sources	Activités physiologique	Auteurs
Gélatine de peau de bovin	Inhibition de la peroxydation lipidique, augmentation de la viabilité des cellules exposées au T-BHP	Gomez-Guillén et al., 2011 Liu et al., 2015
Kératine de plumes de poulet	Antioxydante, inhibition de DPP-IV et ACE	Di Bernardini et al, 2011 Fontura et al., 2014
Elastine de ligaments de boeuf	Inhibition de la peroxydation lipidique	Hattori et al., 1998 Daamen et al., 2007

Des peptides à activité opioïde ont également été générés à partir de diverses sources (poisson, hémoglobine de bœuf) mais actuellement, selon Martinez et al (2016), il n'y a aucun travaux sur la synthèse de tels peptides à partir de protéines de viandes.

Par ailleurs, la carnosine est un antioxydant naturel présent dans le muscle squelettique. Un certain nombre de brevets décrivent l'utilisation potentielle de la carnosine en tant qu'agent thérapeutique dans des applications telles que: la cicatrisation des plaies; traitement de l'hypertension et des traumatismes; traitement des cataractes et des ulcères de l'estomac et du duodénum; et également en tant qu'agent bactéricide, anti-inflammatoire et immunomodulateur. Un certain nombre d'applications cosmétiques pour la carnosine (par exemple en ce qui concerne le vieillissement de la peau) ont également été décrites (Udenigwe et Howard, 2012).

Table 2: Summary of bioactive compounds from meat sources

Compound	Concentration (mg/g)	Biological function
Conjugated linoleic acid	3-8 (beef fat)	Reduced risk of colorectal cancer and diabetes, antioxidant, immunomodulatory.
Carnosine	2.7 (pork shoulder)	Antioxidant
Anserine	nd	Antioxidant, metal chelating
L-carnitine	1.3 (beef tight)	Lowing-cholesterol, calcium absorption, prevention of muscle myopathy
Glutathione	0.12-0.26 (beef muscle)	Antioxidant, defence against toxicological and pathological processes
Taurine	0.77 (beef muscle)	Eye health, preventing heart disease, essential in some stages(lactation or immune challenge)
Coenzyme Q10	0.02 (beef muscle)	Antioxidant
Creatine	3.5 (beef muscle)	Enhancing muscle performance

*Adapted from (Arihara and Ohata (2008))

35.2 - ***Peptides utilisés comme biomatériaux pour des applications médicales***

Le collagène, l'élastine et la kératine extraits de sous-produits animaux représentent un panel de biomolécules très intéressantes pour les applications biomédicales.

Par exemple, l'industrie pharmaceutique utilise de la gélatine pour fabriquer des gélules pour enrober des vitamines et des comprimés. La gélatine hydrolysée a également des applications dans le traitement de la parodontie et est utilisée sous la forme d'une matrice biodégradable pour administrer de la chlorhexidine sous-gingivale à libération prolongée (Frost & Sullivan, 2000). Il existe aussi un brevet pour la fabrication d'un tissu antibactérien de réparation de la cornée à partir de collagène extrait de tendons de bœuf.

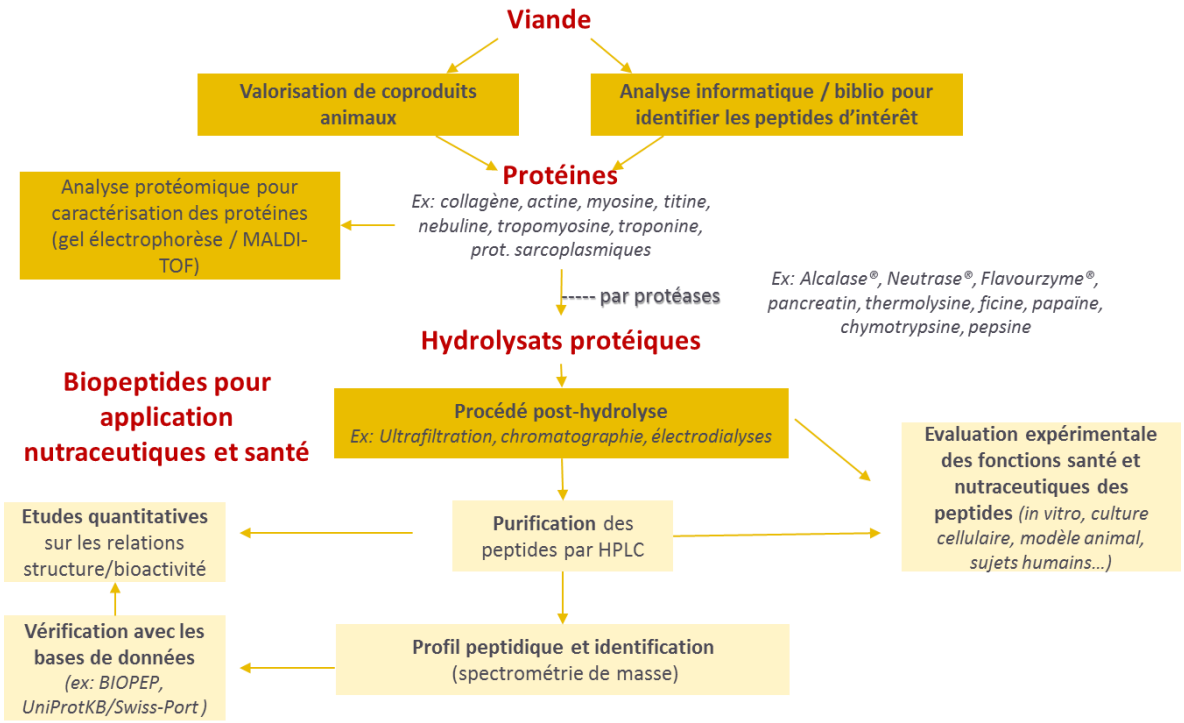
L'utilisation de sous-produits animaux comme sources de peptides bioactifs est tout à fait envisageable. Toutefois, la composition des peptides produits dépendra de la composition et de la nature des protéines qui composent le sous-produit.

3.6 - Technologies de production de protéines et hydrolysats de protéines à partir de SPA

Selon Galanakis (2012) les technologies d'extraction, de fractionnement et d'isolement de composés à forte valeur ajoutée provenant des sous-produits suivent généralement les principes de la chimie analytique. Des modifications sont toutefois apportées dans la méthodologie appliquée dans le but ultime de:

- maximiser le rendement des composés cibles,
- répondre aux exigences et contraintes du traitement industriel,
- purifier les ingrédients à forte valeur ajoutée en éliminant les impuretés et les composés toxiques,
- éviter la détérioration et la perte de fonctionnalité pendant le traitement
- assurer la qualité alimentaire du produit final.

Le schéma suivant, d'après Udenigwe et Howard (2012), résume le processus général de production et les principales technologies rencontrées pour la fabrication de protéines et peptides bioactifs issus de produits animaux.



36.1 - *Obtention des protéines issues de sous-produits*

La technologie utilisée par Selmane (2008) pour extraire des protéines fonctionnelles de poumons et de foie comporte une première phase d'extraction des protéines. Celle-ci se fait par broyage puis mise en solution des sous-produits broyés dans des solutions aqueuses à pH et température fixés sous agitation mécanique. Cette méthode fournit de bons rendements d'extraction (entre 64% et 83% (p / p)), quel que soit leur ratio de masse protéique / lipidique. La technologie membranaire, déjà utilisé dans l'industrie laitière et aussi pour la concentration plasmatique, est une méthode intéressante pour purifier les protéines et les concentrer, mais seulement quand la fraction de masse lipidique du sous-produit reste faible, comme c'est le cas par exemple pour les poumons de bœuf et de porc. Les rendements de récupération des protéines provenant des sous-produits étaient respectivement de 48% et 53% (p / p).

36.2 - *Production de peptides*

Il existe une multitude de technologies utilisées pour la production de peptides. La génération de peptides bioactifs dépend en grande partie des enzymes et du substrat utilisés pour l'hydrolyse. La longueur de la chaîne d'acides aminés et sa composition sont essentielles pour faciliter l'absorption du peptide et la résistance à la dégradation. En fait, le degré d'hydrolyse détermine l'étendue de l'hydrolyse alors que les conditions de digestion (température, pH et temps) sont très importantes pour obtenir les peptides bioactifs. D'autre part, la taille des peptides et les séquences d'acides aminés sont cruciales pour le potentiel bioactif des peptides (Yu et al., 2006). A titre d'exemple, les peptides antimicrobiens se révèlent essentiellement hydrophobes car une hydrophobicité plus élevée est nécessaire dans l'affinité avec la membrane externe des microbiens. Après hydrolyse, il est souvent nécessaire de fractionner et de purifier le mélange de peptides.

Selon, Lafarga (2014), plusieurs étapes se succèdent dans la production de peptides bioactifs (cf. schéma ci-après) :

- **Identification des peptides d'intérêt**

La première étape du développement de peptides bioactifs est l'identification des peptides d'intérêt dans la séquence protéique d'origine. L'analyse « in silico » est une technique émergente qui a été utilisée auparavant dans la sélection de protéines et d'enzymes pour la

production de peptides bioactifs. Différents logiciels comme PeptideCutter (http://web.expasy.org/peptide_cutter), EnzymePredictor, PeptideRanker ou PeptideLocator (http://bioware.ucd.ie/) peuvent être utilisés pour prédire les sites de clivage possibles en fonction du type de protéines. Il existe ensuite des bases de données telles que BIOPEP, PeptideDB, CAMP, APD2 ou PepBank qui répertorient les peptides bioactifs.

- **hydrolyse des protéines**

Les protéines de muscle et de sous-produit de viande peuvent être hydrolysées avec une large gamme d'enzymes commerciales, y compris celles dérivées de microorganismes qui comprennent l'alcalase®, la flavourzyme®, la neutrase®, la collagénase ou la protéinase K, les enzymes incluant la ficine, la bromélaïne et la papaïne ou les enzymes animales qui comprennent la pepsine ou la trypsine (Minkiewicz et al., 2011). De nombreux peptides communs ont été produits en utilisant des enzymes gastro-intestinales telles que la pepsine ou la trypsine.

Les peptides bioactifs peuvent également être générés par la fermentation microbienne.

- **Purification des peptides**

Après hydrolyse des protéines, il est nécessaire de purifier le mélange obtenu. Les méthodes les plus couramment utilisées pour la purification des peptides comprennent l'ultrafiltration, la chromatographie en phase inverse, la chromatographie par échange d'ions, la chromatographie par filtration sur gel et la chromatographie d'exclusion.

La chromatographie liquide à haute performance (HPLC) en phase inverse (RP) a été largement utilisée dans la caractérisation des peptides et de leurs métabolites.

Cependant, la spectrométrie en masse par chromatographie en phase liquide (MS) a simplifié et avancé l'identification des peptides séparés par HPLC et est maintenant l'une des méthodes de caractérisation préférées (Lew, 2004). L'utilité de la MS dans l'analyse des peptides réside dans sa capacité à calculer le poids moléculaire précis de la molécule, une étape extrêmement utile dans l'identification et la caractérisation des peptides et des protéines.

L'ionisation par Electrospray (ESI) et la désorption/ionisation par laser assistée par matrice (MALDI) MS sont parmi les méthodes les plus couramment utilisées pour l'identification des peptides et des protéines. Ces méthodes peuvent être économiquement prohibitives car les coûts de mise à l'échelle sont coûteux.

Néanmoins, la production industrielle de peptides bioactifs dérivés de l'alimentation existe déjà. C'est le cas par exemple des peptides IPP et VPP que l'on trouve dans des produits alimentaires comme Calpis® (Calpis Food Industry Co., Ltd., Japon). Dans le cadre d'une production en continu, l'utilisation d'enzymes immobilisées sur membrane et de techniques de séparation membranaire étaient auparavant recommandées pour les procédés à grande échelle (Korhonen et Pihlanto, 2006; Agyei et Danquah, 2011). Les enzymes immobilisées permettent le recyclage des enzymes après utilisation ainsi que des conditions de travail plus contrôlées (Agyei et Danquah, 2011). En outre, le fait de travailler en continu permet de réduire les coûts et d'utiliser des réacteurs à membrane UF. Il s'agit d'une méthode économiquement moins coûteuse que la production en série de peptides (Korhonen et Pihlanto, 2006).

36.3 - ***Avantages et inconvénients des technologies***

Ainsi, selon Mullen et al. (2017), les méthodes traditionnelles telles que la précipitation chimique, l'ultrafiltration, l'extrusion, la lyophilisation, la solubilisation isoélectrique avec précipitation ou l'extraction par solvant sont largement utilisées pour extraire et concentrer les protéines et les peptides des sous-produits (Galanakis, 2015). En fonction de la matière première et de l'application finale de l'extrait, une de ces méthodes, ou une combinaison de celles-ci, doit être sélectionnée. Cependant, certaines des méthodes susmentionnées peuvent avoir un impact négatif sur l'activité des composés souhaités, car le traitement thermique (par exemple l'évaporation, la pasteurisation ou l'extrusion) ou les produits chimiques dénaturants (éthanol, acides forts ou alcalis) peuvent affecter irréversiblement la structure et les propriétés chimiques des composés cibles. Dans le cas particulier des protéines et des peptides, les effets de traitement négatifs sont :

- Traitement thermique: destruction de peptides sensibles à la chaleur, liens croisés, dénaturation de protéines
- pH: racémisation, destruction des acides aminés, risque d'oxydation
- Filtration membranaire: modification de la composition d'acides aminés
- Stockage: destruction de la lysine et oxydation.

Ces changements peuvent entraîner une perte de fonctionnalité protéique, de valeur nutritive ou de bioactivité ; en réduisant la valeur finale du produit et en réduisant son champ

d'application. Afin de minimiser ou d'empêcher de telles modifications, **de nouvelles technologies sont en cours de développement**. De telles technologies suppriment généralement les effets négatifs des traitements thermiques et, en outre, elles minimisent de manière significative la quantité, et donc l'effet, des solvants et des réactifs utilisés pour l'extraction des protéines et des peptides. Les technologies les plus prometteuses et émergentes pour l'extraction des protéines sont celles basées sur :

- les ultrasons (Kadam, Tiwari, Álvarez et O'Donnell, 2015);
- les champs électriques pulsés (PEF) (Soliva-Fortuny, Balasa, Knorr et Martín-Belloso, 2009);
- les hautes pressions (HHP) (Li, Zhu, Zhou, et Peng, 2012);
- *l'« Hydrolyse sous-critique de l'eau »* (SWH) (Marcet, Alvarez, Paredes et Diaz, 2016);
- le laser (Boutinguiza et al., 2007).

Parmi ces techniques, les ultrasons et les champs électriques pulsés produiraient des changements négligeables dans la composition et la structure des protéines (Chandrapala, Zisu, Palmer, Kentish et Ashokkumar, 2011; Garde-Cerdán, Arias-Gil, Marsellés-Fontanet, Ancín-Azpilicueta, & Martín-Belloso, 2007).

Par contre, les technologies HHP et SWH, pourraient produire des changements importants dans la structure des protéines comme le déploiement de la structure ou une hydrolyse non réversible (Smeller, 2002).

D'autres technologies comme l'extraction aqueuse à deux phases, le séchage en mousse stable et d'autres signalés par Galanakis (2012) présenteraient un potentiel intéressant.

Dans l'article de Mullen et al, 2017, l'auteur propose un tableau qui présente comment, grâce à l'application des technologies actuellement disponibles, il est possible d'obtenir des produits à forte valeur ajoutée issus de différents sous-produits générés par l'industrie de la viande.

Selon l'auteur, il existe peu de preuves de l'application de ces technologies émergentes pour l'extraction de produits à haute valeur ajoutée issus de sous-produits animaux. Des efforts accrus ont été observés pour optimiser l'utilisation de ces technologies émergentes uniquement sur les légumes, les algues et les produits laitiers.

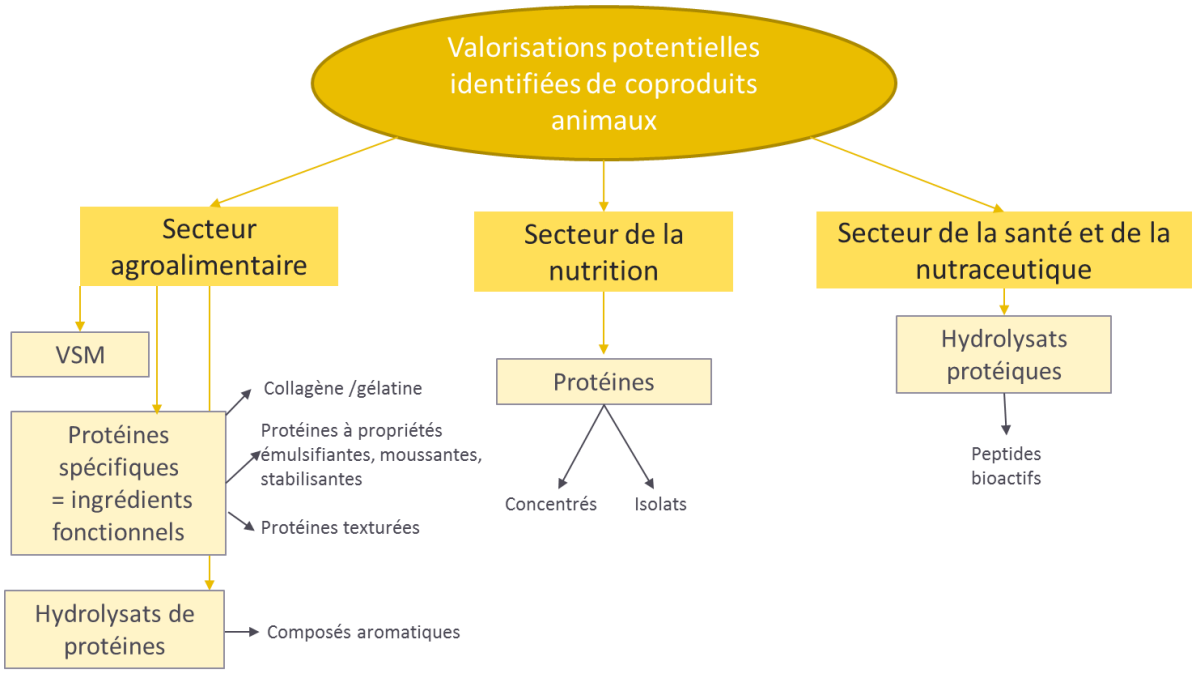
Table 4: Examples of revalorising techniques for adding value to several meat co-products.

Product	Revalorizing techniques	High added-value products
Liver	Enzymatic hydrolysis	Antioxidant peptides
Heart	Isoelectric solubilization/precipitation	High value protein with low ash, fat and cholesterol
	Phosphate buffer washing	Myofibrillar concentrate as texturizing
Skin	Collagen recovery	Barrier membrane, drug delivery, fibroblast scaffolds, bioengineered tissues
	Enzymatic hydrolysis and chromatographic purification	Antioxidant peptides and liver protectors
	Collagen hydrolysis	Antioxidant activity, antimicrobial properties antihypertensive, biomimetic tissue
Blood	Enzymatic hydrolysis	Antioxidant, antibacterial, antihypertensive or iron-binding peptides
	Chemical hydrolysis	Pre-digested peptides for animal and pet food
	Ethanol precipitation	Purified protein as food ingredient Peptides and biopreserved blood
	High pressure treatment	Amino acid and peptides production
	Subcritical water hydrolysis	
Bone	Subcritical water	Hydroxyapatite and collagen
	Alkaline extraction	New kind of sausages
Lung	Isoelectric solubilization - precipitation and membrane filtration	Protein concentrates with good functional properties
Feathers and hair	Keratinolytic bacteria fermentation and enzymatic hydrolysis	Keratinolytic protease production, culture medium, soil assessment, separation membranes

*Adapted from Mullen, Álvarez, Pojić, Hadnadev, & Papageorgiou, 2015.

3.7 - Conclusion

De par leurs propriétés bioactives variées et aux coûts associés à l'élimination des sous-produits de la viande, les peptides bioactifs dérivés des sous-produits animaux représentent une option intéressante de valorisation à la fois dans les domaines de la nutraceutique mais aussi des ingrédients fonctionnels alimentaires. Quelques produits fonctionnels à base de peptides ont déjà été lancés sur le marché. La plupart d'entre eux proviennent de sources laitières, végétales et marines (cf. annexe 1). Cette tendance devrait se poursuivre à mesure que les connaissances sur les bioactivités et les propriétés des peptides augmentent. Cependant, les coproduits de la viande sont actuellement sous-utilisés et restreints par des facteurs culturels, religieux, etc.


Valorisations potentielles identifiées de coproduits animaux
Secteur agroalimentaire
Secteur de la nutrition
Secteur de la santé et de la nutraceutique
VSM
Protéines spécifiques = ingrédients fonctionnels
Hydrolysats de protéines
Collagène /gélatine
Protéines à propriétés émulsifiantes, moussantes, stabilisantes
Protéines texturées
Composés aromatiques
Protéines
Concentrés
Isolats
Hydrolysats protéiques
Peptides bioactifs

4 - CARACTERISATION ET CARTOGRAPHIE DES VOIES DE VALORISATION ALIMENTAIRE

Sur la base d'une enquête qualitative auprès des principaux acteurs identifiés lors des étapes précédentes, il s'agit de qualifier ces différentes voies, de quantifier leurs poids économiques et d'identifier les différents maillons les constituants.

4.1 - Valorisation directe en alimentation humaine

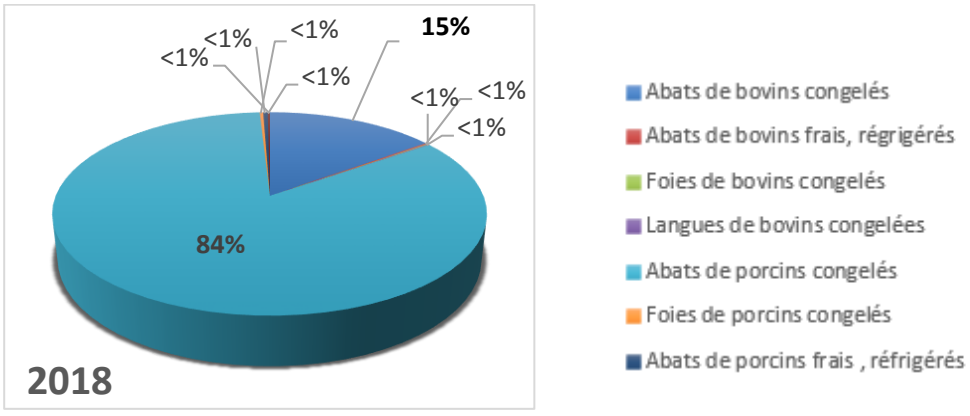
- **Evolution de l'exportation d'abats comestibles**

Année	Valeur (k€)	Volumes (t)	Prix (€/kg)
2011	158 190	149 357 115 000 t en porcs 26 100 t en bovins	1,06
2018	280 609	224 689 191 000 t en porcs 33 500 t en bovins	1,25

Une activité Export en pleine essor en termes de volume (+50,4% sur 7 ans) et de valeur (+77,4% sur 7 ans) ainsi qu'en prix moyen de valorisation.

Cette progression est principalement du à la progression des ventes d'abats de porcs (+66%) même si les ventes d'abats de bovins sont également en progression (+28%).

Les abats d'espèces ovines, caprines, chevaline représentent des volumes négligeables à l'export (<1%).



Les produits exportés sont en très grande majorité des abats de porcs congelés et dans une moindre mesure des abats de bovins congelés.

Les abats congelés de bovins sont valorisés principalement vers l'Union Européenne (50%) et la Côte d'Ivoire (30%) pour des prix moyen de 1,02 €/kg et 0,62 €/kg.

4.2 - Positions des experts scientifiques/marchés

- **CBB CAPBIOTEK (Rennes)**

CBB CAPBIOTEK est un centre d'innovation technologique breton en biotechnologies et chimie fine. Il accompagne ses partenaires dans le développement de nouveaux ingrédients d'origine naturelle ou biotechnologique pour les secteurs cosmétique, diététique, alimentation animale, agroalimentaire, environnement.

CBB CAPBIOTEK Confirme (pour la France) les voies de valorisation déjà identifiées :

- VAPRAN (Groupe VEOS): plasma, globine, hémoglobine, colorant, collagène, arôme
- SERA France: sérum et plasma de bovins, bille de bovins, hémoglobine de bovins
- WEISHARD/ROUSSELOT: producteurs de gélatine/ peptides de collagène

- **Anne Maria MULLEN (PhD au TEAGASC)**

Anne Maria Mullen est chercheur au TEAGASC, établissement irlandais chargé de recherche et développement et de services d'enseignement et de conseil dans les secteurs agricole et agroalimentaire.

Elle supervise le programme de recherche pour la récupération de la valeur des sous-produits de la viande et des flux de déchets. Elle est également coordinatrice du projet ReValueProtein.

Anne Maria Mullen indique :

- qu'il est essentiel que l'industrie des produits carnés se concentre sur une meilleure valorisation de ses coproduits,
- que la recherche se concentre actuellement sur la « composante protéique » des coproduits,
- qu'il s'agit d'une problématique non sans défis tels que la législation, le consommateur, l'économie d'échelle, etc.

Le projet de recherche ReValueProtein (Exploration de filières de traitement de la viande en Irlande pour la récupération d'ingrédients à base de protéines de haute valeur à des fins alimentaires et non alimentaires, subvention octroyée n ° 11/F/043) bénéficie du soutien du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Marine Plan de développement national 2007-2013 financé par le gouvernement irlandais.

Il regroupe différents partenaires irlandais et est composé d'une équipe multidisciplinaire avec une expertise spécifique - 17 chercheurs principaux (IP), personnel technique, chercheurs et étudiants de troisième cycle :

- **Teagasc** : autorité de développement de l'agriculture et de l'alimentation en Irlande. Sa mission est de soutenir l'innovation scientifique dans le secteur agroalimentaire et la bioéconomie au sens large qui sous-tendra la rentabilité, la compétitivité et la durabilité. Au sein du département Chimie et technologie des aliments, le groupe de recherche sur la viande possède des atouts dans l'optimisation et la prévision de la qualité de la viande fraîche, des innovations dans le développement de produits carnés plus sains et dans le domaine de la valorisation supplémentaire de la transformation de la viande (cinquième trimestre, sang, etc.). .
- **University College Cork (UCC)** : La nutrition humaine, les sciences de l'alimentation et la chaîne d'approvisionnement de la ferme au consommateur sont les spécialités des écoles associées des sciences de l'alimentation et de la nutrition et du commerce et du développement de l'alimentation de l'University College Cork. UCC est reconnu pour la qualité de ses travaux de recherche et de sa collaboration dans les domaines de la nutrition et de la santé humaine, des technologies des céréales et des boissons, des produits laitiers, des emballages alimentaires, du comportement des consommateurs, de l'économie alimentaire, de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, de la politique alimentaire internationale et du développement rural.
- **University College Dublin** : La Faculté de l'agriculture et des sciences de l'alimentation de l'UCD, qui fait partie du Collège de l'agriculture, des sciences de l'alimentation et de la médecine vétérinaire, vise à développer et à appliquer les bourses d'études en sciences et en ingénierie aux problèmes de santé et de bien-être des animaux, de santé humaine, de systèmes alimentaires et d'agriculture, dans l'intérêt de la société. Le Collège est un centre d'expertise dans le domaine des sciences qui soutient la sécurité de la chaîne alimentaire, la qualité des aliments, la santé et le bien-être des animaux et la santé publique.
- **National University of Ireland Galway** : Le réseau d'excellence sur les biomatériaux fonctionnels (NFB) est un groupe dynamique de chercheurs basé au Centre national

des sciences de l'ingénierie biomédicale (NCBES) de l'Université d'Irlande à Galway. Il fournit des installations de recherche de pointe pour soutenir les activités de recherche interdisciplinaires en sciences du génie biomédical. L'objectif général du Réseau d'excellence sur les biomatériaux fonctionnels (ONF) est de rassembler une masse critique de compétences sur une même plate-forme afin de développer la prochaine génération de biomatériaux.

- **Le centre de biotechnologie appliquée de** Shannon est une collaboration entre l'institut de technologie, Tralee et l'institut de technologie de Limerick et est financé par Enterprise Ireland dans le cadre du programme Technology Gateway. Shannon ABC répond aux défis des industries de la biotechnologie, de l'alimentation et des sciences de la vie par le développement durable de processus et de produits viables et rentables à partir de ressources biologiques. Shannon ABC applique une double approche à l'exploitation: elle travaille directement avec les entreprises pour les aider à relever leurs défis scientifiques et à mettre au point un programme de recherche inspiré par l'utilisation pour parvenir à la commercialisation.

Le projet est financé par **Food Institutional Research Measure (FIRM)** du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Marine, principal mécanisme national de financement de la recherche sur l'alimentation et qui vise à développer des technologies de bien public qui sous-tendent une fabrication compétitive, innovante et durable des aliments et le secteur du marketing. Le programme crée une base de connaissances et d'expertise en technologies génériques qui soutiendra une industrie moderne, axée sur le consommateur et renforcera la capacité de l'Irlande en matière de recherche et développement.

Le projet ReValueProtein vise à réduire la production de déchets et donner la priorité aux approches à faible apport/faible énergie pour la récupération des protéines. Il prend en compte les attentes des consommateurs pour l'élaboration de stratégies de commercialisation et vise à établir et optimiser des protocoles d'extraction, de caractérisation et de tests de protéines et de peptides pour leur application potentielle en tant qu'ingrédients fonctionnels et bioactifs.

Projet ReValueProtein – Workshop Février 2017 – Synthèse

- Obstacles et opportunités de récupération et valorisation des coproduits animaux par Charis GALANAKIS (Galanakis Laboratories)
  - Malgré des études de qualité et des méthodologies brevetées, le nombre de produits commercialisés reste limité.
  - Nécessité d'utiliser des technologies flexibles pour faire face à la variabilité des coproduits et d'établir les applications précises du produit final avant développement.

- Perception du consommateur par Mary McCARTHY (University College Cork Business School of management & Marketing)
  - Principaux défis liés à l'acceptabilité par le consommateur d'ingrédients provenant de coproduits animaux considérés comme « non comestibles ».
  - Développer des produits qui peuvent être intégrés dans des routines de consommation existantes, qui sont familiers aux consommateurs.
  - Utiliser des supports adaptés à la façon dont les consommateurs pensent (nourriture/ingrédient/supplément).
  - Répondre aux besoins de segments cibles.

- Derniers travaux de recherche par Carlos Alvarez (Teagasc)
  - Meilleure séparation de la qualité du sang, tests de fonctionnalité d'extraits de protéines pulmonaires et cardiaques, séparation et concentration de protéines dans les coproduits, bioactivité du sang et des poudres de protéines pulmonaires, génération de films à base biologique, …

- Beaucoup de protéines récupérées ont montré une bonne émulsion, une bonne gélification et propriétés de capacité de rétention d'eau / graisses, propriétés essentielles pour les aliments comme les pâtés, les saucisses, les aliments à base de gélatine et les boissons pour sportifs.

- Technologie de traitement des coproduits par Ciara McDonnell (Teagasc)
  - Technologie ultrasonique (US) et traitement à haute pression (HPP) présentent un intérêt considérable en raison de résultats satisfaisants pour améliorer la qualité, l'efficacité, la durée de conservation la sécurité des produits traités.

- Législation de l'Autorité de Sécurité alimentaire de l'Irlande (FSAI) par John MATTHEWS
  - Présentation de l'environnement législatif irlandais concernant l'utilisation de produits dérivés d'animaux pour différentes applications telles que des ingrédients, des aliments pour animaux, du pet-food, des applications biomédicales et nutraceutiques.
  - Rôle de la FSAI dans la clarification de zones floues pour de nouveaux processus et produits afin d'assurer la conformité avec les règlementations applicables.

- **Charis M. GALANAKIS (Directeur Galanakis Laboratories)**

Charis Galanakis est un scientifique interdisciplinaire spécialisé dans la récupération de macro- et micromolécules fonctionnelles à partir de sous-produits alimentaires et leur application en tant qu'additifs alimentaires.

Il est Directeur de Galanakis Laboratories (Grèce) et du groupe de récupération des déchets alimentaires (IFA, Vienne, Autriche). Il anime également une plate-forme d'innovation : Food Waste Recovery Group.

Food Waste Recovery Group a été fondé en 2013 par l'association ISEKI-Food et est aujourd'hui devenu le plus grand réseau mondial dans le domaine de la récupération des déchets alimentaires, comptant des milliers de professionnels associés et de chercheurs de plus de 60 pays. Il comprend des experts possédant de nombreuses années d'expérience dans la récupération des déchets alimentaires et la durabilité.

M. Galanakis indique que la valorisation des déchets alimentaires en tant que source de composants à haute valeur ajoutée est le défi actuel car :

- des quantités de déchets importantes,
- des technologies existantes permettent la récupération et la durabilité des ingrédients à haute valeur ajoutée à l'intérieur de la chaîne alimentaire.

Mais malgré des études de haute qualité et des méthodologies brevetées, les applications commerciales sont limitées. Des exemples d'applications commerciales de valorisation de coproduits principalement hors produits carnés sont donnés ci après.

Ecorces d'agrumes, déchets de tomates, coquilles de crustacés

Caractéristiques du projet	Source		
	Ecorces d'agrumes	Déchets de tomates	Coquilles de crustacés
Demande de brevet	AU1983/0011308D	PCT/Ep2007/061923	CN1994/1001978
Demandeur	Tropicana Products Inc (Floride, USA)	Biolico SRL (Lecce, Italy)	Qingdao Zhengzhongjiahe Export & Import Co., (Shandong, China)
Titre	Traitement de l'écorce des agrumes	Process pour l'extraction du lycopène	Préparation d'un agent anti-rassissement de fruits et légumes à base de chitosane
Nom du produit/de la marque	Sugar Syrup	Lycopene	Chitosan (85%), qualité alimentaire
Applications commerciales	Edulcorant naturel alimentaire	Supplément et antioxydant alimentaire	Epaississant alimentaire et agent anti-rassissement de fruits
Reference	Bonnell (1983)	Lavecchia & Zuorro (2008)	Shenghui (1995)

Déchets de la production d'huile d'olive

Caractéristiques du projet	Déchets de la production d'huile d'olive		
Demande de brevet	PCT/US2001/027132	PCT/ES2002/000058	PCT/SE/2007/001177
Demandeur	CreAgri, Inc (Hayard, USA)	Genosa I+D S.A. (Malaga)	Phenoliv AB (Lund, Sweden)
Titre	Obtention d'une composition riche en hydroxytyrosol à partir d'eau végétale	Obtention d'un hydroxytyrosol purifié à partir de produits et coproduits de l'olivier	Récupération des déchets d'olive
Nom du produit/de la marque	Hydroxytyrosol/Hidrox	Hydroxytyrosol (99,5%)/Hytolive	Olive phenols & dietary fibers containing powders
Applications commerciales	Compléments alimentaires et cosmétiques	Conservateur alimentaire, ingrédient fonctionnel dans le pain	Antioxydants naturels dans les aliments et substituts de graisse dans les boulettes de viande
Reference	Crea (2002)	Fernades-Bolanos & al (2002)	Tornberg & Galanakis (2008)

Lactosérum

Caractéristiques du projet	Lactosérum		
Demande de brevet	PCT/SE1993/000378	PCT/US/2002/010485	MX2006/PA09536
Demandeur	Alfa-Laval Food Engineering (Lund, Sweden)	Davisco International Foods Inc (Le Sueur, USA)	Kraft Foods Holding Inc (Northfield, USA)
Titre	Méthode pour obtenir des produits protéiques de haute qualité à partir de lactosérum	Isolement des glycoprotéines du lait de vache	Méthode de désaromatisation d'une protéine de lactosérum par électrodialyse à membrane
Nom du produit/de la marque	α-lactoalbumin & β-lactoglobulin	Whey protein isolate/Bipro	De-flavored whey protein
Applications commerciales	Compléments alimentaires	Compléments alimentaires	Compléments alimentaires
Reference	Jensen & Larsen (1993)	Davis & al (2002)	Crowely & Brown (2007)

- L'isolat de protéine de lactosérum est l'ingrédient le plus courant dérivé des déchets alimentaires.
- Un exemple typique de valorisation complète des composés cibles.

Marc de pommes, déchets protéine de soja, grains de raisin et canneberge

Caractéristiques du projet	Source		
	Marc de pommes dépectinés	Déchets de protéines de soja	Grains de raisins et de canneberge
Demande de brevet	CN2008/1139768	CN/2008/10238791	JP1998/0075070
Demandeur	Yantai Andre Pectin Co. Ltd. (Yantai, China)	Shandong Wonderful Industry Group Co. Ltd. (Shandong, China)	Kikkoman Corp. (Chiba, Japan)
Titre	Procédé d'extraction de fibres alimentaires non solubles dans la pectine	Procédé d'extraction et de recyclage de l'albumine des eaux usées de lactosérum issues de la production d'un isolat de protéine de soja	Aliments protéinés
Nom du produit/de la marque	Apple dietary fiber granules	Soybean albumin	Proanthocyanidin
Applications commerciales	Compléments alimentaires	Complément et additif alimentaires	Colorant pour sauce soja
Reference	Anming & al (2010)	Shenghui (1995)	Ariga & al (1999)

M. Galanakis n'indique pas d'applications commerciales avec des produits carnés certainement car peu d'applications sont brevetées mais probablement aussi en raison de l'édition prochaine d'un ouvrage spécifique au secteur viande détaillant les problématiques de valorisation des coproduits carnés

Il donne par contre une comparaison entre les utilisations directes des produits du 5ème quartier et celles à haute valeur ajoutée obtenues avec de nouvelles techniques d'extraction.

Produits du 5ème quartier	Préparation directe	Utilisations	Techniques de valorisation	Produits à forte valeur ajoutée
Foie	Frais, réfrigéré ou congelé	Braisé, grillé, frit, galette et saucisse	Hydrolyse enzymatique	peptides antioxydants
Cœur	Entier ou en tranches, frais, réfrigéré	Braisé, cuit, pain de viande, pâté, …	Solubilisation & précipitation isoélectrique	protéines à faible teneur en cendres, lipides et cholestérol
Peau	Frais, réfrigéré	Gélatine	Récupération de collagène hydrolyse enzymatique et purification chromatographique	tissu antimicrobien, antihypertenseur, biomimétique
Sang	Frais, réfrigéré	Boudin, saucisse, …	Hydrolyse enzymatique Précipitation à l'éthanol Hydrolyse sous-critique	protéine purifiée comme aliment ingrédient peptides et sang bio préservé
Os	Frais, réfrigéré ou congelé	Gélatine, produits en gelée	Eau sous-critique Extraction alcaline	hydroxyapatite et collagène nouveau type de saucisse
Poumons	Frais, réfrigéré ou congelé	Pet food, …	ISP & filtration membranaire	concentrés de protéines avec de bonnes propriétés fonctionnelles
Poils & plumes	Incinération, engrais	Farines	Fermentation bactérienne	production de protéase kératinolytique

L'industrialisation des procédés de récupération et valorisation de coproduits alimentaires rencontre de nombreuses problématiques telles que la recherche en laboratoire, le passage au plan pilote et à la production à grande échelle, la protection des propriétés intellectuelles et le développement d'applications précises. Ces paramètres doivent être maitrisés afin d'assurer un processus durable, un intérêt économique pour l'industrie alimentaire concernée, et une mise sur le marché pérenne des produits issus de la valorisation.

En outre, un scénario qui se concentre uniquement sur les technologies d'extraction et non sur les applications futures des produits dérivés est voué à l'échec.

Le processus de transfert à l'échelle industrielle doit de plus être conduit sans diminuer les propriétés fonctionnelles (par exemple, antioxydant, viscoélastique, etc.) des composés cibles et en même temps doit répondre aux critères organoleptiques souhaités par les consommateurs.

La collecte des sous-produits à la source peut être également un obstacle à l'innovation. En effet, elle nécessite souvent un coût de transport supplémentaire et des mesures spécifiques pour éviter le développement microbien. Une bonne gestion du processus de collecte, le

refroidissement/la congélation du sous-produit et/ou l'ajout de conservateurs chimiques peuvent être des solutions à cette problématique.

La commercialisation de produits dérivés n'est envisageable que si le process de valorisation reste flexible et simple pour une industrialisation facile et peu couteuse. Comme déjà indiqué, un projet axé sur les technologies de récupération sans établir d'applications précises du produit final est voué à l'échec.

L'autorisation de mise sur le marché peut aussi être un obstacle majeur à l'innovation. La sécurité des composés actifs récupérés dans leurs formes pure doit être vérifiée de la même manière que celle issus de composés synthétiques notamment par des dosages longs et complexes en tests laboratoires.

Les consommateurs affichent de plus en plus de préférence pour les entités naturelles, lesquelles ont été générées sans intervention humaine. Ils demandent des produits alimentaires écoresponsables avec la promotion de green labels et d'assurance qualité

Ces préoccupations en matière de sécurité alimentaire, de risques pour la santé, de mondialisation créent un environnement difficile pour les innovations alimentaires.

Le renforcement de la législation sur les allégations santé des composés peut également être un obstacle à la mise sur le marché de certains produits dérivés. Les allégations de santé n'ont été approuvées que pour quelques composés et certains produits (yoghourts réduisant le cholestérol par exemple). La démonstration de la preuve des bénéfices santé est de plus très coûteuse

4.3 - Transformateurs/utilisateurs de SPA

- **DARLING INGREDIENTS**
    - Plus grand producteur mondial d'ingrédients naturels
    - Possède notamment ROUSSELOT (leader mondial de la gélatine) et PEPTAN (première marque mondiale de peptides de collagène)
        - 2 unités de production en France : Angoulême (16) et Isle/Sorgue (84)
        - 250 à 500 salariés
        - CA 2017 : 176 millions €
    - Quelques exemples de produits développés par Darling Ingredients à partir de coproduits d'abattage mais peu en alimentation humaine :
        - Groin de porc frit comme snack pour chien

- Intestins comme ingrédients pour pet-food sec
- Gélatine de porc pour fabrications de confiseries, pâtisseries
- Colle issue d'os pour améliorer la qualité du cuir pour la production de chaussures et d'autres produits
- Cuir de porc utilisé dans la fabrication de gants de sécurité, etc.
- Gélatine de porc comme agent clarifiant dans la production de bière
- Colle d'os utilisée en colle papier pour fabrication livres
- Héparine
- etc.

- Les moteurs actuels du marché alimentaire pour Darling Ingredients :
  - des produits qui répondent aux demandes nutritionnels spécifiques: « vieillir en bonne santé » (articulations, os.)
  - des ingrédients naturels: remplacement des numéros E et des allergènes
  - des produits durables
  - des produits pratiques
- Nouvelles approches pour l'utilisation de la gélatine (Rousselot)
  - Applications fonctionnelles: viscosité, propriétés moussantes, texture, gélification spécifique, …
  - Reformulation pour répondre aux problèmes de texture et de conservation: réduction des graisses, du sucre et des calories dans la nourriture / produits ciblés pour groupes spécifiques (enfants, personnes âgés)
- Peptan - marque mondiale de peptides de collagène.
  - Facteur de reconstruction osseuse
  - Stimulation ostéoblastique
  - Amélioration de la densité minérale osseuse
- Futures opportunités – Recherche, développement et applications
  - Propriétés techno-fonctionnelles

- ✓ Développement de nouvelles protéines / ingrédients techno-fonctionnels avec des fonctionnalités nouvelles ou améliorées (liaison à l'eau, gélifiant, moussant, émulsifiant)
- ✓ Comprendre la techno-fonctionnalité pour remplacer d'autres ingrédients par des ingrédients Darling, par ex. autres hydrocolloïdes, remplacement du sucre et des graisses, reformulation

- Propriétés bio-fonctionnelles
  - ✓ Développement d'ingrédients actifs, tels que des peptides bioactifs, et de bons promoteurs de la santé pouvant remplacer les antibiotiques
  - ✓ Nouveaux hydrolysats / bio fonctionnalités nouvelles ou améliorées, pour la santé des articulations, des os et de la peau
- Propriétés nutritionnelles
  - ✓ Support marketing (Aliments pour animaux, Aliments pour animaux)
  - ✓ Développements spécifiques au groupe cible: personnes âgées, sportifs, animaux de compagnie

- **DIANA FOOD France**
  - une unité du groupe DIANA qui appartient à Symrise, leader en parfums, saveurs et principes actifs pour industries
  - Diana est spécialisée dans des solutions nutritionnelles faites d'ingrédients naturels (fruits, légumes, protéines animales)
  - Diana Food fournit aux industries agroalimentaires des solutions qui améliorent les qualités sensorielles et fonctionnelles de différents d'aliments
  - Diana Food possède 1 centre de recherche et 5 unités de production en France dont SPI Diana Food à Berric (56) qui transforme des produits alimentaires d'origine animale pour l'élaboration de protéines cuites concentrées, de graisses et de bouillons destinés à l'industrie agroalimentaire.
    - 100/199 salariés / CA 2017 : nc
  - Pas d'autres informations délivrées

- **BIOBERICA**
    - Spécialisé dans la production d'héparine puis d'autres glycosaminoglycanes et de principes actifs comme des acides aminés, des peptides et hydrolysats de protéines
    - Pas de développement vers des produits pour alimentation humaine
    - Priorité à l'amélioration de la qualité de vie de patients qui souffrent d'arthrose, de lésions articulaires et troubles musculo-squelettiques
    - Aucune unité en France
- **WEISHARDT Gélatine**
    - 4ème producteur mondial, le groupe WEISHARDT propose une large gamme de gélatines traditionnelles issues de peaux de porc, de bovins ou de poissons destinées à toutes applications pharmaceutiques, alimentaires ou techniques.
    - Gamme complétée par des gélatines solubles à froid, des collagènes marins hydrolysés et des mélanges d'ingrédients complexes développés à façon
    - Une unité de production à Graulhet (81)
        - 200 à 300 salariés / CA : nc
- **MANE LYRAZ**
    - Filiale du groupe MENE, leader national des arômes et parfums
    - P° de « cœurs aromatiques » destinés à l'agroalimentaire
    - Extraction par infusion ou hydrolyse enzymatique
        - à partir de coproduits pêche (depuis 30 ans), de coproduits viande (depuis 15 ans) et de légumes (depuis peu)
        - 50 à 100 salariés / CA : nc
        - Situé à Quéven (56)

4.4 - Interrogations d'acteurs indépendants des filières mais avec des applications alimentaires

- **Laboratoires compléments alimentaires – micronutrition (Pilège, Nutergia, …)**
    - Pas d'intérêt pour PILAGE qui se concentre uniquement sur des produits « végétaux »
    - NUTERGIA:
        - Utilisation de protéines végétales et laitières uniquement dans des compléments nutritionnels protéinés
        - Demande d'informations complémentaires et notamment sur une utilisation future de protéines animales viande par mail au service R&D – en attente de réponses
- **Laboratoires compléments alimentaires pour sportifs (EAFIT, Eric FAVRE)**
    - Contexte au développement de produits « vegan » et marché dominé en France par produits à base lactosérum
    - Cependant intérêt pour de nombreux sportifs qui se fournissent à l'étranger via internet pour des compléments protéinés d'origine animale « viande »
    - Protéine « bovine » présente un intérêt fort notamment pour sa digestibilité (pas de lactose-pas de sucres)
    - ERIC FAVRE :
        - Recherche de produits 80% protéine, bien tracé (bio, sans antibiotique, etc.) sous forme isolats ou hydrolysats prêts à être mélangés avec saveur proposée (vanille – chocolat)
        - Prix d'achat autour de 4-5 €/kg – si déjà aromatisé alors 7-8€/kg
        - Actuellement proposition de produits espagnols ou hongrois

5 - SYNTHESE ET ANALYSE STRATEGIQUE

Une analyse AFOM (Forces/Faiblesses - Opportunités/Menaces) corrélée à des déterminants techniques, économiques, organisationnels, concurrentiels,… est délicate car les voies de valorisation alimentaires restent réduites.

Certaines sont déjà identifiées pour quelques coproduits (sang et peaux): plasma, globine, hémoglobine, colorant, collagène, gélatine/ peptides de collagène.

Les protocoles d'extraction, de caractérisation et de tests de protéines et de peptides pour leur application potentielle en tant qu'ingrédients fonctionnels et bioactifs sont à établir ou à optimiser – et le plus souvent encore au stade de recherche.

Malgré des études de qualité et méthodologies brevetées, le nombre de produits commercialisés reste limité.

5.1 - Obstacles à la valorisation des coproduits animaux

- L'industrialisation des processus :
  - La recherche en laboratoire, le passage au plan pilote et à la production à grande échelle, la protection des propriétés intellectuelles et le développement d'applications précises doivent être maitrisés afin d'assurer un processus durable, un intérêt économique pour l'industrie alimentaire concernée, et une mise sur le marché pérenne des produits issus de la valorisation
- L'intérêt économique
- La collecte des coproduits à la source :
  - Une bonne gestion du processus de collecte, le refroidissement/la congélation du déchet et/ou l'ajout de conservateurs chimiques peuvent être des solutions à cette problématique.
- La commercialisation :
  - La commercialisation de produits dérivés n'est envisageable que si le process de valorisation reste flexible et simple pour une industrialisation facile et peu couteuse.
- L'autorisation de mise sur le marché :
  - La sécurité des composés actifs récupérés dans leurs formes pures doit être vérifiée de la même manière que celle issues de composés synthétiques notamment par des dosages longs et complexes en tests laboratoires.

- La perception du consommateur :
  - Principaux défis liés à l'acceptabilité par le consommateur d'ingrédients provenant de coproduits animaux considérés comme « non comestibles ».
  - Développer des produits qui peuvent être intégrés dans des routines de consommation existantes, qui sont familiers aux consommateurs.
  - Utiliser des supports adaptés à la façon dont les consommateurs pensent (nourriture/ingrédient/supplément).
  - Répondre aux besoins de segments cibles.

5.2 - Opportunités et perspectives d'utilisation des coproduits

- Les coproduits de viande issus du traitement / de la fabrication de la viande sont générés quotidiennement en grandes quantités.
- Ces co-produits sont une source précieuse de protéines avec des utilisations dans la transformation culinaire et alimentaire, ainsi que dans les domaines de la recherche, de la biomédecine et autres.
- Comme la consommation de nombreux coproduits dans les régimes alimentaires occidentaux a diminué, il existe un potentiel de récupération protéines à utiliser comme ingrédients alimentaires.
- Les propriétés fonctionnelles des protéines récupérées sont influencées par les caractéristiques de la matière première ainsi que par la méthode de récupération et les conditions de traitement employées. La caractérisation du matériau de départ et des fractions dérivées pendant le traitement sont essentiels pour la sélection et le développement de la méthode de récupération la plus efficace pour des ingrédients protéiques fonctionnels de haute qualité.
- Au stade de la recherche : des efforts ont été déployés pour extraire les protéines de légumes, de poissons ou même du poulet. Cependant, le nombre de publications liées à l'extraction de protéines à partir de coproduits de viande est encore limité.
- En tenant compte de volumes élevés de coproduits générés à l'échelle mondiale, le besoin croissant de protéines pour une population croissante et l'excellente valeur nutritive de protéines d'abats, il est intéressant d'explorer toutes les techniques disponibles et méthodes de traitement pour valoriser les coproduits, comme moyen d'augmenter la production de protéines et améliorer impact environnemental de l'industrie de la viande

5.3 - Article Meat Science – Juin 2018

Un article publié dans Meat Science en juin 2018 présente les opportunités et perspectives d'utilisation des coproduits dans l'industrie carnée.

Il est donné en annexe 2 et son résumé est traduit ci-dessous.

Résumé

Les coproduits issus du traitement / de la fabrication de la viande sont générés quotidiennement en grandes quantités.

Les coproduits sont considérés comme des produits à faible valeur ajoutée et, en général, difficiles à valoriser pour les industries.

Alors que beaucoup de ces produits peuvent être comestibles, ceux qui ne sont pas utilisés pour la consommation humaine ou pet food sont généralement transformés pour être utilisés comme aliments pour animaux (PAT de porc et de volailles), engrais ou carburant.

Cependant, dans une large mesure, les coproduits de viande sont une excellente source de protéines, de minéraux et de vitamines à haute valeur nutritive et peuvent donc être mieux utilisés pour contribuer à atténuer la demande mondiale croissante de protéines.

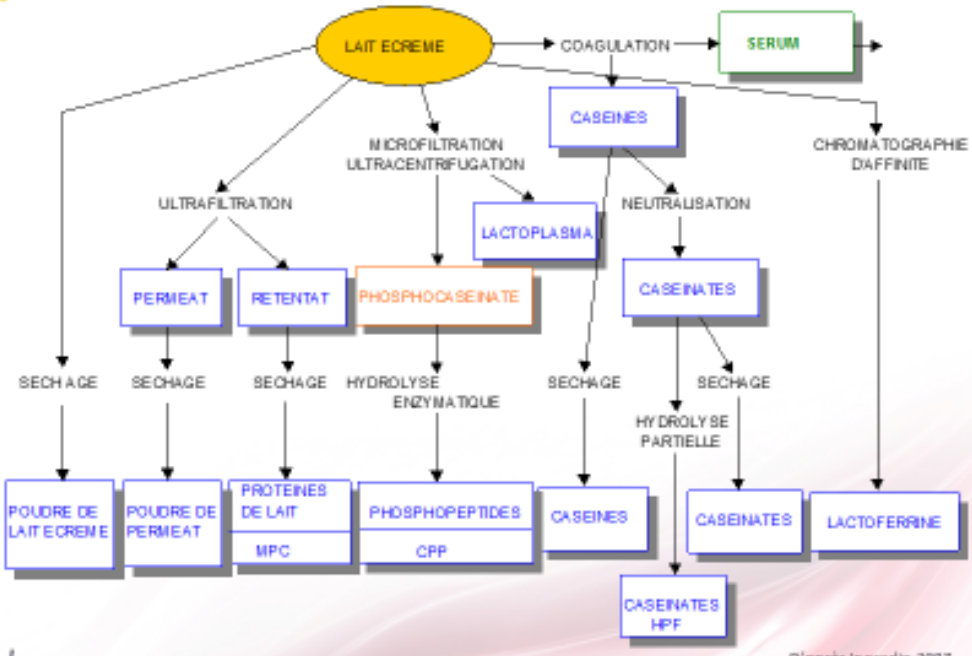
Dans cet article, les utilisations actuelles, la législation et les techniques potentielles de traitement des coproduits de viande pour une meilleure utilisation dans l'industrie carnée des ressources sont présentées.

6 - ANNEXES

Annexe 1

Exemples de valorisation de protéines dans d'autres filières agro-alimentaire

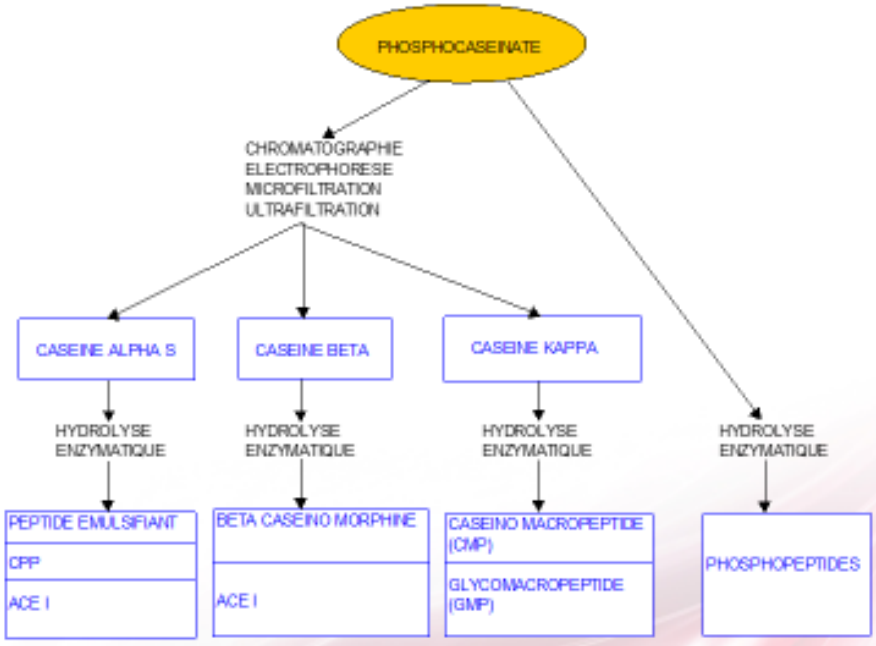
Le lait écrémé et sa valorisation



D'après Ingredia, 2007

FRACTIONNEMENT DU LAIT ECREME

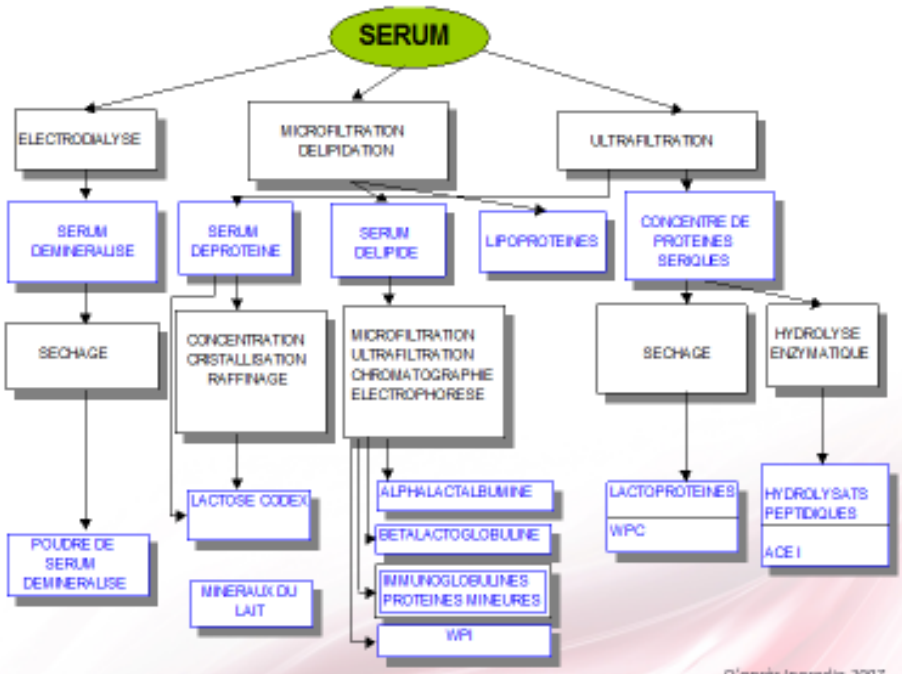
Le lait écrémé et sa valorisation



D'après Ingredia, 2007

FRACTIONNEMENT DE LA CASEINE NATIVE DU LAIT

Le lait écrémé et sa valorisation



FRACTIONNEMENT DU SERUM

D'après Ingredia, 2007

Le lait écrémé et sa valorisation

- **Années avant 1970 :**

Produits de 1ère génération : Poudres de lait écrémé, entier /Poudre de lactosérum + déminéralisation / Poudre de babeurre, Caséine, caséinate.

- **Années 1970 :**

UF : concentré de protéines sériques=WPC (35%) – concentré de protéines de lait (MPC) – coprécipité

- **Années 1980 :**

WPC (->80%) ; WPI (isolat de prot de lait) ;

- **Années 1990 :**

Hydrolysats

Avec la Microfiltration - Nanofiltration : MPC--->MPI (isolat de protéines de lait)

- **Années 2000 :** Peptides bioactifs

Débouchés de plus en plus ciblés :

- Ingrédients technologiques
- Ingrédients nutritionnels
- Ingrédients santé (peptides)

Exemple du poisson



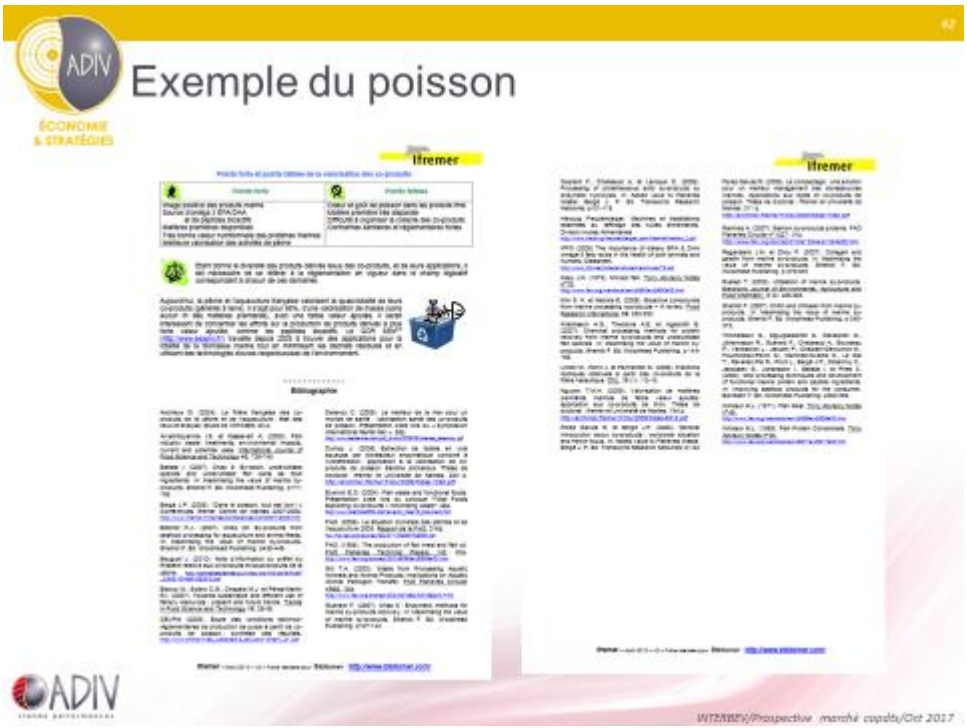


Exemple du poisson





INTERBEV/Prospective marché copdts/Oct 2017


Exemple du poisson
Ifremer
Bibliographie
Ifremer
INTERBEV/Prospective marché copeaux/Oct 2017

Annexe 2

Article « *Meat Science* » sur les opportunités et perspectives d'utilisation des coproduits animaux dans l'industrie carnée

Meat Science 144 (2018) 62–73

Contents lists available at ScienceDirect

Meat Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/meatsci

Review

Opportunities and perspectives for utilisation of co-products in the meat industry

Sarah A. Lynch[a,b], Anne Maria Mullen[a], Eileen O'Neill[b], Liana Drummond[a], Carlos Álvarez[a,*]

[a] Department of Food Quality and Sensory Science, Teagasc Food Research Centre, Ashtown, Dublin 15, Ireland
[b] Department of Food and Nutritional Sciences, University College Cork, Cork, Ireland

ARTICLE INFO

Keywords:
Meat co-products
Revalorisation
Offal
Sustainability
Protein extraction

ABSTRACT

Meat co-products are the non-meat components arising from meat processing/fabrication and are generated in large quantities on a daily basis. Co-products are considered as low added-value products, and in general it is difficult for industries to divert efforts into increasing their value. While many of these products can be edible those not used for human consumption or pet food is usually processed to be used as animal feed, fertilizer or fuel. However, to a large extent meat co-products are an excellent source of high nutritive value protein, minerals and vitamins and hence may be better diverted to contribute to alleviate the increasing global demand for protein. In this review the current uses, legislation and potential techniques for meat co-products processing are reviewed with the aim of showing a route to improve meat industry sustainability, profitability and better usage of available resources.

1. Introduction

The world population is predicted to grow by almost 35% in the next three decades, primarily in developing countries. This increasing population, coupled with rising living standards in developing countries, is expected to contribute to a higher demand for animal derived protein by 2050 (FAO, 2009). "Global meat production is projected to be 16% higher in 2025 than in the base period (2013–15)" (FAO, 2009). The eating habits of populations, in developing countries, are shifting from a primarily grain-based diet towards diets containing more animal protein. For instance, in Asia, consumption of animal protein per capita increased by 225% between 1961 and 2011, while the consumption of crop based protein increased by only 22% in the same period (Boland et al., 2013). Worldwide animal protein now accounts for 40% of total protein consumption and this is expected to continue to rise (Sans & Combris, 2015). It is predicted that by 2050 global meat production will need to increase by 200 million tonnes to a total of 470 million tonnes to meet demand (FAO, 2009). Animal protein consumption has increased worldwide from approximately 61 g per person per day in 1961, to 80 g per person per day in 2011. This increase in animal protein consumption in developing countries has contributed to fulfilling the nutritional needs of the population (Sans & Combris, 2015); where rapid population growth is more significant. Particularly in Sub-Saharan countries, the rate of meat consumption is growing much faster than in any other region (FAO, 2015). Pork is the most widely consumed meat in the world, followed by poultry, beef, and mutton. At a global scale, chicken is the fastest growing sector in this market (FAO, 2009). Regarding processed meat products, in developed countries products such as sausages, burgers and pies account for nearly half of all meat consumed (Kearney, 2010). The predicted increased meat production will bring a concomitant increase in the amounts of generated edible meat co-products or offal; which have been defined by the United Nations (2015) as "any product other than red or white meat muscles"; and processing streams (such as water from rendering processes, brines solution, exudates or drip loss). These processing streams are currently also underused as protein sources for human consumption, regardless of the fact that they are also excellent sources of minerals and vitamins (Mullen & Álvarez, 2016). Several reasons may prevent offal from being used to their fullest potential, in spite of their benefits for human consumption. For instance, consumers' perception relating to what constitutes high quality meat; cultural or traditional practices of direct consumption; dietary, religious or ethical restrictions (Hsieh & Ofori, 2011); or issues of public health such as BSE. Also, from a technical point of view, some barriers such as economy of scale, market knowledge, and know-how need to be addressed. Notwithstanding their uses as human food, meat co-products are extensively used in pet food, animal feed, pharmaceutical and biomedical industries, research, or diverse industrial applications (as glue, plant growth promoter, textile, cosmetic, novel materials or flocculants for water treatment).

* Corresponding author.
E-mail address: Carlos.alvarez@teagasc.ie (C. Álvarez).

https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.019
Received 31 January 2018; Received in revised form 1 June 2018; Accepted 18 June 2018
Available online 19 June 2018
0309-1740/ © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Better use of animal co-products has the potential to reduce the environmental impact of an increasing meat production, while providing new ingredients and products (Henchion, McCarthy, & O'Callaghan, 2016). Moreover, if the entire edible protein content from farmed animals was employed as source of protein, the need for larger numbers of livestock could be minimised without compromising the protein requirements of the global population; thereby, reducing the environmental impact of farming.

Although efforts to recover protein from co-products have been ongoing for some time (Gault & Lawrie, 1980; Lawrie & Ledward, 1988); the development of processes to recover protein from these sources has regained interest in recent years, as a means to increase the value of slaughterhouse co-products by extracting protein for use as a functional ingredient (Darine, Christophe, & Gholamreza, 2011) or bioactive peptides (Lafarga, Álvarez, & Hayes, 2017). The technical criteria for protein isolation remains the same: ease of extraction to isolate proteins in a non-denatured state or peptides with biological activity; absence of undesirable compounds such as anti-nutritional factors, colour or flavoured compounds; high protein solubility over a wide pH range and ionic strength; and a suitable amino acid profile (Boland et al., 2013).

In addition to the technical properties, regulatory requirements (further discussed in Section 3) included in the legislative framework, need to be observed. In many cases, when a product is produced as part of primary food processing, that product would be called a by-product. However, according to EU regulations, the term animal by-product refers specifically to “any part of the animal carcass or any material of animal origin not intended for human consumption”. In some cases animal by-products may be products of animal origin that may be destined for human consumption, but following a decision made by an operator, which shall be irreversible, are destined for purposes other than human consumption (European Parliament and Council, 2009).

The efficient utilisation of animal co-products and low value meats is important for the sustainability of the meat industry as a whole. It has been previously estimated that for the beef industry, almost one eighth of gross income derives from the effective utilisation of co-products (Lui, 2002); and hopefully, by means of innovative processes and novel applications, the amount of co-product utilised for human food, and other higher added-value applications, can be increased.

2. Overview of offal current situation

2.1. Offal yield and composition

The weights of a selection of bovine, ovine and porcine co-products are shown in Table 1. The gender, age, species and live weight of the animal have a significant influence on the weight of the co-product. Offal and animal co-products account for approximately 30% of the live weight of pigs and 44% of the live weight of bovine (Marti, Johnson, & Mathews, 2011). For instance, the yield of blood and organs is 12% of the live weight of bovine and 14% in pigs, when porcine rinds are included (Ockerman & Basu, 2014).

With the exception of hair, wool, horns and digestive material, most non carcase material is edible, provided that these products are handled and processed according to the current legislation. However, due to their low or neutral market value, many edible co-products are redirected for purposes other than human consumption (Ockerman & Basu, 2014). The nutritional profile and proximate composition of animal co-products may differ significantly to those in lean meat. Blood has higher moisture content (78–82% w/v depending on the species) than lean meat; on the other hand, heart, kidney and lungs have a moisture content similar to the lean meat. Due to their physiological function, some co-products such as liver and kidney contain carbohydrate; for instance in liver, where carbohydrates are found in form of glycogen, it can account for between 8.5% (beef) and 15% w/w (chicken) of live weight, the content in glycogen in other co-products usually is lower than 1%; which are the same levels that can be found in meat cuts. Co-products are a good source of protein with values ranging from around 15% for tongue, to 20% for liver (Anderson, 1988); values comparable to those found in lean meat (16–19%). There are, however, differences in the amino acid profile of lean meat and co-products; for example, percentage of essential amino acids (%EAA) in blood is 61% of total protein content for bovine and 58% for porcine; which is significantly higher when compared to lean meat (%EAA about 50%). On the other hand, tissues rich in connective tissue (CT) are deficient in EAA, as for example skin or ears, where 93% and 71% of total protein content is CT (Mullen & Álvarez, 2016); and therefore contain a higher content of proline and glycine (highly abundant in collagen) than that found in lean meat. While overall the protein and amino acid content of co-products is similar to lean tissue, there are some notable differences in the essential amino acid composition of some co-products; in particular tripe, which has lower levels of valine, threonine, isoleucine, leucine, phenylalanine and methionine. Lung is also lower in threonine, isoleucine, leucine and methionine. Overall, methionine is the limiting amino acid for most co-products, with the lowest levels seen in pancreas, tripe, tongue, lungs and kidney. The vitamin content of co-products is generally higher than that of lean meat, for example, liver is rich in vitamin A, B_{12} and folate. Regarding mineral content, except for tripe, all products have a content of iron and copper that is higher than that of lean meat (Mullen & Álvarez, 2016).

Further information about offal and meat co-products composition can be obtained from Mullen and Álvarez (2016) and from the United States Department of Agriculture Food Composition Databases (https://

Table 1
Expected weight of co-products based on animal type and weight.

	Porcine	Bovine				Sheep
		Yearling	Steers	Cows	Bulls	
Animal Weight (kg)	60–75	200–300	300–500	300–600	400–450	55–65
Hide/skin (kg)	3.6–4.5	14–21	21–35	21–42	28–32	7.5–8.5
Bones (kg)	3.5–5.6	30–42	40–55	40–65	45–52	4.0–6.0
Head (kg)	3.6–4.5	16–24	24–40	24–48	32–35	5.5–6.5
Feet (kg)	1.0–1.5	4–6	6–10	6–12	8–9	1.1–1.3
Blood (liters)	3.5–3.8	14–16	18–25	18–36	24–26	1.5–1.8
Heart (g)	180–245	1275–1470	1200–2000	1800–2400	1687–2062	300–1000
Kidney(g)	130–220	635–940	600–1200	580–1600	800–1200	300–600
Liver(g)	1150–1660	2700–4800	3500–6200	3000–8600	5180–6400	900–2200
Lungs& Trachea(g)	750–1100	2240–2570	3980–6640	6000–8600	3480–6710	700–2000
Tongue(g)	150–210	1500–1750	1400–1880	1380–1490	1570–1940	500–600
Rumen & Reticulum(g)			6340–10,600	6000–15,500	8470–10,350	2900–4600
Omasum(g)			1800–4860	5120–8700	4310–5270	1000–1200
Abomasum(g)			1000–3030	2140–4700	2230–2730	

Adapted from Spooncer 1988; Mullen and Álvarez, 2016.

Table 2
Culinary uses of offal (Bovine (B), Porcine (P) Ovine (O) and Veal (V)).

Co-product	Species	Use/Preparation
Heart	B V P O	Stuffed with forcemeat and braised Roasted, Grilled, used in sausages and faggots, processed meats
Kidney	B V P O	Whole or sliced, grilled, braised or sautéed, used in pies
Liver	B V P O	Sliced and sautéed Liver sausage, pate, terrine, faggots, forcemeats
Lung	P O B	Blanch, slice thinly fry in clarified butter Sausages, braised, haggis, faggots, hash, stew
Stomach	B P V O	Tripe cooked in court bouillon and sliced Used as casings Poaching, braising, sausages Caul used in pates, terrines, and to wrap lean meats for roast
Intestines	P	Sausage casings
Muzzle/snout	B P	Brine, boil slice
Tongue	B P V O	Fresh or pickled braised or boiled, potted meats
Bones		Production of stocks and bouillon, marrow, gelatin production
Pancreas	B V O	Sweetbreads- sautéed, poached in white stock
Tail	B	Soups, stew, stock, cook in stock, press and slice
Blood	P V	Sausage, pudding, stews, plasma and red blood cells, plasma transglutaminase, used for binding and colour
Feet	P O V	Pickled, fresh cooked in white stock, pressed and sliced
Ears	P O V	Boil with mirepoix, slice for salad, fried, stuffed
Skin/hide	P B	Gelatin production
Fat		Suet

Adapted from (Saulnier and Brunet 1982; Rust 1988; Spooncer 1988; Marchello and Marchello 2005; Tarté 2009).

ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list).

2.2. Current uses and consumption

Co-products provide a range of foods that are nutritionally valuable, with a variety of flavours and textures. However, products considered as a delicacy in one culture, might be completely rejected in another (Toldrá, Mora, & Reig, 2016). The main factors influencing the utilisation of animal co-products for human consumption are regulatory requirements, consumer acceptability, nutritional benefits and economics (Goldstrand, 1988). Table 2 summarizes the main culinary uses of the most common meat co-products. According to Nollet and Toldrá (2011), in spite of increasing meat consumption, the use of co-products for human consumption has globally decreased.

While consumption patterns vary depending on factors such as culture, tradition and need, some general trends can be observed. In European countries liver from pork, lamb and beef is highly appreciated for its high nutritional value; bovine heart is used in traditional gastronomy in Peru; while in Brazil chicken hearts are usually roasted or grilled. Beef tongue is highly appreciated in Russia, Japan, Mediterranean countries and in some South American countries such as Brazil and Uruguay. Kidneys, from pork, lamb or beef, are extensively consumed in the United Kingdom. Beef tripe is used in traditional dishes in Scotland, Rumania, Turkey, Bulgaria and Spain; while porcine tripe is extensively used as casings for stuffing semidry and dry-fermented products. In Latin American countries, such as Mexico, and in Caribbean countries as Cuba, tripe is used to cook “mondongo”. Finally, in China, a cold appetizer is made using beef tripe. Chitterlings, (intestines and rectum from pigs) are extensively used in most pork-farming countries; for instance in China, East Asian countries, Italy, France and African-American cultures, where many traditional dishes use this co-product as the main ingredient (Nollet & Toldrá, 2011).

In African countries all edible co-products are processed and consumed as human food. For instance, in South Africa, delicacies from co-products are accepted as traditional dishes. In Angola, for example, offal is accepted and consumed by people of all ages (Alao, Falowo, Chulayo, & Muchenje, 2017). In Korea, China and Singapore offal from bovine, duck, pork and chicken are usually used as main ingredients for soups, or simmered in soy sauce. In Japan, offal from large animals is scarcely used for religious reasons, while chicken offal is widely used after grilling. In the Philippines, almost all parts from pork are used for eating purposes. In India, Pakistan, Nepal and Bangladesh offal from goat such as feet, head, testicles or tongue are consumed. A dish made with lamb brain is popular in Lebanon. Iran dishes may include liver, heart and kidneys from sheep in certain type of kebab (Nollet & Toldrá, 2011).

In addition to their culinary and nutritional uses, co-products have also been used in a variety of fields including manufacture of furniture adhesives (Charles, 2003), as well as medical (Pearl, 2005) and surgical (Maverick Biosciences, 2015) uses, as shown in Table 3. Research into the utilisation of animal co-products in a variety of industrial

Table 3
Industrial, pharmaceutical, veterinary and medical uses of offal.

Product	Industrial uses	Product	Pharma, veterinary and medical uses
Stomach	Pet food, glue	Heart	Valves for surgery Pericardium used is surgery and for repair
Intestines	Sausage casing	Stomach	Digestive enzymes (pepsin, rennin, lipase, trypsin) Hormones
Bones	Mineral extraction, gelatin, pet food, collagen	Liver	Bile, heparin
Blood	Glue/adhesive, fertilizer, feed, bio-plastics	Blood	Cell culture media, vaccine stabilizer, diagnostics, blood plasma, blood serum, blood albumin, fibrinogen films used in surgery, treatment of osteoarthritis and inflammation infection, wound cleaning, thrombin
Feet	Glue production	Bones	Mineral extraction Gelatin Cartilage used in surgery
Kidney	Pet food	Pancreas	Insulin, Glucagon, pancreatic enzyme supplements
Liver	Pet food	Intestines	Mucosa used for the production of heparin Internal surgical sutures
Lung	Pet food	Lung	Heparin
Hide/skin	Leather, pet food, Gelatin for cosmetics	Skin	Gelatin Collagen Dressings, grafts initial treatment of burns
Ears	Pet food	Adrenal gland	Cortisteroids, epinephrine, norepinephrine
Fat	Soap, lubricants, paints, emulsifiers, shampoo, ink, glue, solvents,	Blood vessels	Used in surgery
Collagen	Cosmetics	Collagen	Scaffolds for cell growing

Addapted from: Ockerman and Basu, 2014; Bier et al. 2012; Charles 2003; García-Falcón & Simal-Gándara, 2005; Goldstrand 1988; Lambuthy, 2003; Lin and Gunasekaran 2010; Low et al. 2014; Marchello and Marchello 2005; Maverick Biosciences 2015; Ockerman and Hansen, 1988; Pearl 2005; Pérez-Gálvez et al. 2011; Torrallardona et al. 2002; Zeugolis et al., 2008.

applications continues, as for instance to be used as bio flocculants (Piazza & Garcia, 2010; Zhang, Garcia, & Piazza, 2017).

3. Legislation

Offal is defined by EU legislation as “fresh meat other than that of the carcase, including viscera and blood” and is subject to the same regulations as carcass meat as outlined in EC Regulation No. 853/2004, laying down specific hygiene rules for food of animal origin (The European Parliament and the Council of the European Union, 2004). Viscera refer to the organs of the abdominal, thoracic and pelvic cavities, including the trachea and oesophagus.

Specific rules apply for the handling of all animal parts intended for human consumption, with a strong focus on traceability and safety assurance. Traceability ensures that all parts of an animal (including collected blood) are identifiable, and that, should one animal be declared unfit for human consumption, a batch containing parts from that animal will also be declared unfit. Chilling of the carcase and its parts must be carried out promptly, to ensure a continuous decrease to a final temperature of no > 3 °C for offal and lower than 7 °C for carcases.

If offal or meat is intended for freezing, it should be frozen without undue delay while taking into account a stabilisation period before freezing (The European Parliament and the Council of the European Union, 2004).

In the European Union, the term animal by-product (ABP) is reserved for products of animal origin that are not intended for human consumption. Use or disposal of ABPs is strictly controlled and materials are divided into categories 1, 2 and 3, according to the risk they pose, with category 1 being the highest risk to humans (The European Parliament and the Council of the European Union, 2009). Animal parts intended for human consumption must be segregated from materials classed as ABPs. If offal is to be declared fit for human consumption, the slaughterhouse must meet certain conditions so as to avoid contamination, such as separate rooms for the emptying and cleaning of stomachs and intestines (unless otherwise authorised by a competent authority) and the separation in space or time for a number of activities, including stunning and bleeding; evisceration and dressing; and packaging of offal.

In the United States the Code of Federal Regulations (CFR Title 9) is responsible for regulating the use of animals and animal products for human food. Products covered include ingredients of livestock or poultry origin from muscle tissue, which are skeletal or found in the edible organs (with or without the accompanying and overlying fat), portions of bone, skin, sinew, nerve, and blood vessels which normally accompany the muscle tissue, not separated in the process of dressing, meat by products; mechanically separated (species); and poultry products. Federal regulation (USDA-FSIS, 1999) provides the rules governing collection and processing of blood when intended for human consumption.

Regarding Australia and New Zealand, FSANZ (Food Standards Australia and New Zealand) is an independent statutory agency established in 1991. According to this organisation offal means those parts of the carcass such as blood, brain, heart, kidney, liver, pancreas, spleen, thymus, tongue, and tripe, but it excludes meat flesh, bone, and bone marrow; thus offal and meat are defined separately, and offal is not considered to be meat (Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 2.2.1 - Meat and Meat Products, 2016).

Requirements for the labelling of cut meat and offal in Europe are defined in Annex II (The European Parliament and the Council of the European Union, 2004). The packaging of offal and cut meat should be branded before leaving the slaughterhouse with an oval shaped identification mark indicating the country where the slaughterhouse is located, and the approval number of the establishment. Although offal forms part of the edible portion of slaughtered animals, and in the past has been referred to as non-carcase meat, for European labelling purposes the definition of meat has been restricted to skeletal attached muscles (The Commission of the European Communities, 2001). The addition of offal (heart, liver, tongue, kidney and lung) in any meat preparation must be declared separately in the list of ingredients, along with offal species and type. Offal should not be included in the calculation of the product's meat content (The Commission of the European Communities, 2001).

In Australia and New Zealand the presence of offal in foods must be declared in the list of ingredients or, if the food is not required to bear a label, declared to the purchaser. Besides, the presence of brain, heart, kidney, liver, tongue or tripe in a food must be declared as ‘offal’ or by the specific name of the type of offal; and the presence of any other type of offal in a food must be declared by the specific name of the type of offal. (Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 2.2.1 - Meat and Meat Products, 2016).

3.1. Detection of animal co- products in meat products

To ensure consumer confidence in food products, the description and labeling must be accurate trustworthy and reliable. This has particular importance in processed food products where ingredients are not easily identifiable (Primrose, Woolfe, & Rollinson, 2010). Mixtures of meat with undeclared co-products pose a potential adulteration issue (Zhao, Downey, & O'Donnell, 2014). Methods for the authentication of meat and meat products have been reviewed by Ballin (2010). Differences exist in the composition and protein profile of meat and offal, some of these characteristics are reflected in analysis methods such as analysis by quantitating infrared spectra (Al-Jowder, Defernez, Kemsley, & Wilson, 1999; Zhao et al., 2014). In the case of connective tissue hydroxyproline, an amino acid accounting for 8% of collagen, is easily quantified by a colorimetric method (Kolar, 1990). Through this method, the inclusion of collagen-rich tissues in meat products can be detected as the percentage of collagen to total protein content. In lean meat, this percentage is much lower (20%) (El, 1995) compared to these co-products e.g. skin (97%) or ears (73%).

Studies on detection of adulteration of fresh and frozen beef burgers with offal (heart, lung, kidney and liver) using ATR (attenuated total reflectance) spectroscopy with multivariate analysis, have had some success in distinguishing authentic and adulterated beef burgers (Zhao et al., 2014). Authentic beef burgers could be identified with 100% accuracy, and burgers that had been adulterated with heart, lung, liver and kidney at levels of 0–20% could be correctly classified as adulterated. Earlier work by Al-Jowder et al. (1999), demonstrated that beef meat, kidney and liver samples could be easily distinguished by their respective spectra. Samples that had been adulterated with levels higher than 10% of offal were correctly identified. In the quantification of offal added to a sample, samples adulterated with liver had a prediction accuracy of 96% and those including kidney in the formulation had a prediction accuracy of 95%.

Histology has also been employed to determine the authenticity of processed meat products including hamburgers (Prayson, McMahon, & Prayson, 2008a), tortellini (Ghisleni, Stella, Radaelli, Mattiello, & Scanziani, 2010) and hotdogs (Prayson, McMahon, & Prayson, 2008b). These authors determined the meat content in hotdogs and hamburgers, using a combination of staining and light microscopy. In addition to skeletal muscle, other tissue types including nerves, blood vessels, adipose tissue, bone and cartilage were found in both hamburgers and hotdogs, however brain tissue was not detected in either product. The application of histology to tortellini meat products also enabled detection of nerves, blood vessels, cartilage, mucosa of the upper digestive tract and glandular tissue. More recent tools are those based on immunological detection (Ofori & Hsieh, 2017), proteomic approach (Woolfe, 2017), or PCR analysis (Ghovvati, Nassiri, Mirhoseini, Moussavi, & Javadmanesh, 2009); either for the detection of the inclusion of non-meat proteins, or for detection of other species than those specified in the label.

According to The Commission of the European Communities (2011),

a permanent marker (glyceroltriheptanoate (GHT)) must be added by processors of Category 1 (intended for incineration) and Category 2 (intended for use in fertilizers) animal by-products at a minimum inclusion level of 250 mg/Kg fat. The use of this marker prevents the fraudulent and improper use of animal by-products. A method for the detection of GHT based on gas chromatography (GC), with quantification using mass spectroscopy (MS), has been validated for dried meat and bone meal (von Holst, Boix, Bellorini, Androni, & Serano, 2012). However, this method requires that processors of animal by-products fully comply with the addition of GHT at the appropriate levels. A study by Marchis, Amato, and Abete (2013), found that 8 out of 17 samples tested were not compliant with legislation, as GHT was quantified at levels below the recommended. Currently, there are no official or validated methods to detect adulteration in Category 3 animal by-products () (Zhao et al., 2014).

4. Processes used in the recovery of protein from offal and low value meats

The protein content of offal is comparable to that of meat; which gives them a strong economic potential as sources for the production of new added-value products and functional ingredients (Toldrá et al., 2016). However, protein recovery may be difficult due to the high content of connective tissue, which can account for 15–20% of the total protein, in products such as lungs or liver, and up to > 90%, as in cartilages or hides. The main component of connective tissue, collagen, is a very stable protein resistant to common extraction methods; impeding other proteins from being recovered. Besides, extraction methods need to balance the yield of recovered protein with potential negative effects on the properties of extracted proteins.

A variety of processes have been applied for the recovery of whole proteins from offal and low value cuts, for applications such as meat analogues, extenders or as food ingredient and these are summarised in Table 4. The extraction processes include surimi-like process (Desmond & Kenny, 1998), salt extraction (Nuckles, Smith, & Merkel, 1990) and isoelectric solubilisation precipitation (ISP) also known as pH shift (Selmane, Christophe, & Gholamreza, 2008). For example, recent research (Álvarez, Drummond, & Mullen, 2018a), carried out at Ashtown Teagasc (Dublin, Ireland), focused on the recovery of proteins from blood plasma, ham exudates, brine solutions, hides, bovine lungs and a processing stream from fat rendering (also referred as stick water). Testing on the functionality of these proteins in a meat based system showed that, at inclusion levels of up to 10% of total protein content, there was no negative impact on the properties of the final product. Each one of the protein extracts were obtained by means of tailored processes. For example using specific enzymatic processes to solubilize and extract collagen based proteins from hides; selective precipitation of proteins present in brines by modifying the pH of the raw material, followed by centrifugation; or in the most simple manner by spray drying the raw material e.g. exudates from hams.

Where proteins are extracted from meat co-products to exploit their techno-functional properties in food formulations, aqueous solutions are the preferred buffers for extraction. This is for two main reasons: they do not have a negative impact on protein structure and functionality in the way organic solvents do, and these systems lend themselves to being food grade. Finally, soluble and insoluble proteins are usually separated by centrifugation (Aluko, 2004) and further stabilised by means of drying, vacuum packing or addition of preservatives, until final use. These products can be then added to food formulations, where they can perform several functional roles such as binders, emulsifiers or gelling agents.

On the other hand, when peptides or protein fragments are the final end product, other processes such as enzymatic hydrolysis (Linder, Fanni, Parmentier, Sergent, & Phan-Tan-Luu, 1995), alkaline hydrolysis (Gault & Lawrie, 1980), acid hydrolysis (Dewitt, Gomez, & James, 2002) or subcritical water hydrolysis (SWH) (Marcet, Álvarez, Paredes, & Díaz, 2016) can be employed. After protein hydrolysis, the desirable techno-functional properties may be lost, in particular gelling and water holding capacity; while other properties such as solubility can be improved. The most interesting aspect of hydrolysates is that novel bioactivities can be unlocked, leading to a new range of products. After peptides have been generated, membrane technologies and chromatographic techniques are commonly employed for their purification (Di Bernardini et al., 2011).

4.1. Intact protein extraction

4.1.1. Surimi

Surimi is a Japanese seafood product manufactured by washing fish mince, usually white fish. During the process, water soluble proteins, enzymes, blood and minerals are removed, improving the stability of the fish product and concentrating myofibrillar proteins (Antonomanolaki, Vareltzis, Georgakis, & Kaldrymidou, 1999). After preparation, the product is mixed with cryoprotectants, to increase the protein stability (Wang & Xiong, 1998) and frozen (Desmond and Kenny, 1998; Whitehead, Church, & Knight, 1993). The surimi process results in a semi purified protein fraction with a high content of myofibrillar protein and has been applied, with some modifications, to the processing of poultry (Smyth & Neill, 1997), red meat (McCormick, Burgen, Field, Rule, & Busboom, 1993) and offal (Srinivasan & Xiong, 1996). Muscle and offal from red meat generally contain higher fat, myoglobin, haemoglobin and connective tissue than fish (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel, and Novakofski, 1996); resulting in differences in the yield and properties of the surimi product. For instance, due to the high content of myofibrillar protein, beef and porcine surimi result in strong and elastic gels when cooked (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel, and Novakofski, 1996). Extraction yields using surimi processing vary depending on the properties of the original material. Some extraction yields previously reported include 45% w/w for lean beef; 38% for lean porcine; 18% for beef tongue, and 10% for beef cheek meat (Mckeith, Bechtel, Novakofski, Park, and Arnold, 1988). Surimi processing of hand boned mutton yielded a protein recovery of 42.5% of the initial protein, although yields were lower with mechanically separated mutton, due to sarcoplasmic protein loss in the wash water (McCormick, Burgen, Field, Rule, and Busboom, 1993). Depending on the processing conditions and on the characteristics of the starting material, connective tissue content in the surimi products may be concentrated. However, the content of connective tissue in the final product can be reduced if a screening process is used in the first wash, as collagen is removed before dewatering (Kang et al., 2007).

The water washing process in surimi production from minced beef has the effect of concentrating the levels of aspartic acid, threonine, serine, glutamic acid, alanine, methionine, isoleucine, leucine, tryptophan, phenylalanine, lysine and arginine. Histidine content, in the washed protein, was reduced compared to ground beef, and proline, glycine and valine were unchanged. In surimi processing of porcine muscle, glycine and histidine levels were lower than in the minced tissue, while aspartic acid, proline, alanine, valine and phenylalanine were unchanged. In beef and porcine surimi the non-protein nitrogenous compounds were removed in the washing process (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel, and Novakofski, 1996). Researchers also reported that the washing process removes water soluble thiamine, as well as potassium, sodium and magnesium. However, calcium, copper, iron and zinc levels were unaffected by the process. This is probably due to the fact that these minerals are associated with structural or insoluble proteins and are thus retained, while water soluble minerals are more easily lost during the process. Water washing did not affect cholesterol content, although fat content was reduced in sheep meat surimi (Antonomanolaki, Vareltzis, Georgakis, & Kaldrymidou, 1999; McCormick, Burgen, Field, Rule, and Busboom, 1993) and beef surimi (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel, and Novakofski, 1996). These results suggest that the chopping and blending step leaves membranes

Table 4
Methods used in the recovery of protein from animal co-products.

Method	Advantages	Disadvantages	% Yields	Products used	Reference
Surimi	Protein concentrated and fat content decreased	Low yields for some materials	45% 45% 38.% 18% 10.% 7.5%	Beef Porcine Beef Head Beef Tongue Beef Cheek Beef Weasand Meat	Mckeith et al. (1988)
Surimi	WHC of surimi higher than meat	Cook bind of products lower than those that used phosphates	42.5%	Mutton	McCormick et al. (1993)
Surimi	Colour improved, excellent gels produced	Water content of washed muscle high	[a]	Sheep Meat	Antonomanolaki et al. (1999)
Surimi	Collagen and fat reduced	Salt needed to form good gels	[a]	Beef Heart	James and Dewitt (2004)
Alkaline solubilisation/membrane concentration/isoelectric precipitation	Low process cost Good emulsification properties	Process impacts functional properties	40% 48% 15%	Beef Lung Porcine Lung MDCM	Selmane et al. (2008); Darine et al. (2010, 2011)
Alkaline solubilisation/acid precipitation	Inexpensive reagents/process	Extraction and recovery yields for some materials low	[a] 65% 60% 72% 58%	Meat Trimmings And Bones Bovine Lung Rumen Small Intestine Large Intestine	Hamilton, (1978) Lynch, et al. (2017) Gault and Lawrie, (1980)
Alkaline solubilisation	Inexpensive reagents/process	Extractability low with some materials	[a]	Bovine Lung Rumen Reticulum Omasum Abomasum Ovine Lung Stomachs	Young and Lawrie (1974, 1975)
Acid Solubilisation	Salt not needed to form good gels	Issues with using recovered protein with injection process	60.8%	Bovine Heart	Dewitt et al. (2002); James and Dewitt (2004); Vann and Mireles Dewitt, (2007)
Salt	Inexpensive reagents	Highest yields with LIS – poor functionality	45.5% 54.5% 70.1%	Beef heart Beef lip Beef skeletal muscle	Krasnowska et al. (1995)
	High ionic strength protein impart best functionalities	Low ionic strength proteins reduce functionalities	53.1% 45.9% 75.3% 90.9% 61.8%	Beef heart Beef lung Beef spleen Porcine liver Porcine lung	Nuckles et al. (1990)
Chemical hydrolysis	High yield of soluble peptides and amino acids	Techno functional properties lost due in hydrolysis. Nutritive value reduced	80%	Porcine haemoglobin	Álvarez et al. (2012)
Enzyme hydrolysis	High yield Predictable peptide sequence	Hydrolysis necessary for high yield reduces functionality	60–80% > 64% of nitrogen	Veal bone Sheep viscera	Linder et al. (1995); Linder et al. (1996) Bhaskar et al. (2007)
Subcritical water hydrolysis	No reagents required Peptide size controlled	High cost of equipment Amino acid degradation		Porcine haemoglobin	Álvarez et al., (2012); Álvarez et al., (2016)

[a] % recovery yield not given.

containing intact cholesterol. Preparation of water washed beef and porcine does, however, remove low molecular weight components, thereby concentrating myofibrillar proteins in the water washed product.

Surimi-like material from mutton has been used as a binder in restructured red meat products, as its water holding capacity (WHC) is higher than that of boned meat. The addition of 5% surimi reduced the amount of salt and phosphates needed to bind the final product, without affecting its quality. Moreover, sensory trials could not differentiate products with added surimi from those containing salt or phosphate (McCormick, Burgen, Field, Rule, and Busboom, 1993). The gelling properties of surimi from porcine skeletal muscle were better than those of heart surimi (Kang et al., 2007). Surimi from porcine heart had a lower WHC and gel strength than that of skeletal muscle, while cook loss was higher. Reduced WHC of cardiac muscle surimi may have affected gel forming ability and may be an indication that proteins from cardiac muscle were not dissociated enough with salt and phosphate, resulting in higher cook loss (Kang et al., 2007). Water binding capacity of surimi like material from sheep meat was greater than that of sheep meat itself, and this is likely due to a higher concentration of myofibrillar protein in sheep meat surimi and to the removal of sarcoplasmic proteins, which may interfere with the gelation properties of contractile proteins (Antonomanolaki, Vareltzis, Georgakis, & Kaldrymidou, 1999). Surimi type material from beef hearts has potential in the manufacture of emulsion type sausages and inclusion at levels of 3% and above improves texture. Surimi material can be added at rate of up to 15% in frankfurter type products, giving reduced cook losses and lower shear values. Sensory analysis showed that tenderness increased with an addition of 7–15% surimi, while overall acceptability of frankfurters containing 7 and 10% surimi was higher than the control (Desmond and Kenny, 1998).

Although surimi from meat and offal has shown potential as functional ingredients in processed meats, there are unwanted interactions. Lipid oxidation in meat products was induced by the addition of beef heart surimi, and this was attributed to the levels of heme and iron, as well as unsaturated lipids. Thus the development of off flavours associated with lipid oxidation limits the potential of beef heart surimi (Desmond and Kenny, 1998; Kenney, Kastner, & Kropf, 1992).

Although some functional properties, such as gelling, emulsifying or binding capacity, of meat and offal are improved with surimi processing due to the concentration of myofibrillar proteins, these functional properties can be altered over the storage period. The emulsion properties of beef heart surimi, stored under refrigeration, were reduced over storage time due to a loss in protein surface hydrophobicity, while the elasticity of surimi protein gels increased with storage time. Progressive aggregation of myosin reduced the emulsifying properties, but enhanced the gelling properties of beef heart surimi during storage (Parkington et al., 2000). The use of cryoprotectants had a protective effect, increased water holding capacity and reduced cook loss of beef heart surimi over a frozen storage time of 24 weeks. Cryoprotectants also had a beneficial effect on other functional properties of beef heart surimi, such as the emulsion activity and stability and the solubility of proteins. Despite limiting protein conformational changes and denaturation, the addition of cryoprotectants promoted oxidation of lipids and protein side chains, and the use of antioxidants would be recommended.

Beef and porcine surimi are very popular in China and surrounding countries. Once the proteins have been extracted they are ball-shaped and used as main ingredients for soups or in traditional hot pots.

4.1.2. Salt extraction

Extraction of soluble protein from bovine co-products in aqueous saline solutions, and the further evaluation of their functional properties in the fractions obtained, has been carried out (Krasnowska, Gorska, & Gergont, 1995; Nuckles, Smith, & Merkel, 1990; Steen et al., 2016). A common approach was used across these studies, yielding a fraction with water soluble proteins (extracted using a sodium phosphate buffer at pH 7.4); and a fraction with salt soluble proteins (extracted using the same buffer with 0.6 M NaCl added).

The yield of this process is notably affected by the composition of the raw material. For instance, beef heart, lung and lip contained approximately 50% (w/w) soluble protein fraction, composed mainly of actin and myosin (Krasnowska, Gorska, & Gergont, 1995; Nuckles, Smith, and Merkel, 1990), while the remaining insoluble protein fraction was composed mainly of collagen; which is not solubilised by salt extraction. Skeletal muscle proteins, on the other hand, have an insoluble protein fraction of < 30% of the total weight, and the majority of the protein can be extracted as salt soluble protein. Pork liver had the lowest amount of insoluble protein (approximately 10% of the total weight) corresponding also with the lowest collagen content (Steen et al., 2016). Characterisation of the protein fractions from co-products using SDS-PAGE shows that actin and myosin were not detected in the insoluble protein fraction (Nuckles, Smith, & Merkel, 1990), while the water soluble fractions contain proteins in the molecular weight range that corresponds to myofibrillar fragments (Steen et al., 2016).

Evaluation of the functional properties of the co-products, in a frankfurter model food system, shows that higher levels of salt soluble protein had a beneficial effect on texture properties and reheat yields, conversely to water soluble proteins (Nuckles, Smith, and Merkel, 1990). Evaluation of the functional properties of protein extracted from skeletal muscle and co-products showed that co-products extracts do not perform as well as skeletal muscle extracts in the areas of emulsification or gelling. In all cases, salt soluble proteins performed better than water soluble proteins.

4.1.3. Acid/alkali aided pH shift

This process exploits the pH dependent solubility of muscle proteins for the solubilisation and further precipitation of proteins. The solubilisation pH, either acid (1 to 3) or alkaline (9 to 12), promotes the side chains of the protein to have a net positive (acid) or negative (alkaline) charge. As a consequence protein-protein interactions are reduced and protein water interactions are favoured and solubilisation of protein occurs. As a second step, solubilised proteins are precipitated by adjusting the pH value to the isoelectric pH (4 to 6) and then separated by centrifugation (Kristinsson, Theodore, Demir, & Ingadottir, 2005). The method has been used extensively with co-products from fish (Kristinsson & Ingadottir, 2006; Taskaya, Chen, & Jaczynski, 2009; Vareltzis & Undeland, 2012) and poultry processing (Hrynets, Omana, Xu, & Betti, 2010; Omana, Xu, Moayedi, & Betti, 2010). When employed for solubilising meat co-products, myofibrillar and sarcoplasmic proteins are extracted, while the subsequent application of filtration, press filtering or centrifugation removes a residue of connective tissue (Lynch, Álvarez, O'Neill, Keenan, & Mullen, 2017). Protein ingredients produced using acid solubilisation in combination with filtration have been approved as generally recognised as safe (GRAS) in the USA. It is intended that the ingredient will be used in products of the same species from which it was derived. Ingredients derived from beef trimmings have been approved by the FDA for use as a water binding agent to improve moistness and reduce cook loss in beef products (Hibbert, 2009). Similar ingredients have also been approved from porcine (GRN 314), seafood (GRN 168) and poultry (GRN 147).

The factors affecting pH shift process are: pH value, time, temperature, solvent to sample ratio, raw material composition (Lynch, Álvarez, O'Neill, Keenan, & Mullen, 2017) and salt concentration (Dewitt, Gomez, & James, 2002). Extraction using high ratio of solvent to material results in a high extraction yield, with a low protein content solution, while extraction with lower ratios results in a viscous and high protein content solution with a low protein yield (Hamilton, 1978); such high viscosity has to be considered for further processing as filtration or pumping. The presence of NaCl increased the amount of protein soluble in the pH range of 4.5–5.0, but outside of these pH values, increasing NaCl content decreased protein extractability, indicating that protein extraction is most effective at low ionic strengths (Young & Lawrie, 1974). Composition of material also affects the extractability and yield of protein from animal co-products. As previously described, collagen is very stable against extreme pH values, thus pH shift practically does not affect this protein. Raw materials with high collagen content reported lower yields of extraction than those with lower connective tissue (Gault & Lawrie, 1980).

Extraction times above 2 h gave increased protein recovery, while increasing the extraction temperature led to an increase in the amount of collagen solubilised (Swingler & Lawrie, 1979). Additionally, there was some concern that the increased extraction time and temperature may result in protein degradation and the generation of anti-nutritional factors such as the formation of lysinoalaine (LAL); however, it was not detected in protein extracted at pH 10 for 8 h at temperatures below 40 °C. Increasing the extraction temperature to 60 °C led to the detection of LAL in the extract at all extraction times. While increasing extraction time did increase protein yields, extraction time above 2 h had little effect in increasing protein yield and co-products extracted at 20 °C for 2 h show over 50% protein extraction. In a recent investigation, using bovine and porcine lungs as raw material (Lynch, Álvarez, O'Neill, Keenan, & Mullen, 2017), it was demonstrated that the most relevant parameters in protein extraction yield are pH and sample solvent ratio; while time and temperature, although statistically significant, had less effect on the overall yield. In this sense, for industrial applications, room temperature and extraction times no longer than 20 min are recommended. Studies on the effect of time and temperature on recovery of protein from bovine lung at fixed pH of 9.0 showed that there were nominal increases in yield with an increase in time and temperature (Darine, Christophe, & Gholamreza, 2010), however increase in extraction time or temperature were not justified from an industrial application point of view, as differences disappeared when soluble protein was recovered by isoelectric precipitation.

Alkaline solubilisation of protein from slaughter house by-products was carried out by Selmane, Christophe, and Gholamreza (2008). Extraction at 20 °C for 60 min at pH 9.0 resulted in a protein solubility yield of 75% for porcine lung, 63% for beef lung and 83% for MDCM (mechanically deboned chicken meat). This proved that collagen, more abundant in bovine lung, plays an important role in the yield achieved.

Subsequently, soluble protein can be recovered either by means of membrane technology or isoelectric precipitation. During the membrane filtration process fouling became an issue with MDCM after only 15 min, under the filtration conditions assayed in this experiment, due to the high lipid content of the material. Fouling only became an issue with soluble bovine and porcine lung protein after 100 min. The overall protein yield after filtration was 48% for porcine lung, 40% for beef lung and 15% for MDCM. However, when soluble protein from MDCM was recovered by acid precipitation at pH 4–4.5, a final protein yield of 55% was observed. These researchers found out as well, that processing conditions influenced functional properties; for instance, filtrate from porcine lung protein using 100 nm pore size began to gel at 45 °C and had maximum gel strength of 35,000 Pa compared to a gel temperature of 58 °C and max gel strength of 30,000 Pa for proteins concentrated using pore size of 20 nm. Similar results were found for beef lung. The emulsifying properties of beef and porcine lung protein compared favourably to commercial ingredients such as sodium caseinate and whey protein. Regarding MDCM, the lipid extraction process applied reduced functional properties with the exception of emulsifying properties. Comparison of the functional properties of beef lung purified using membrane filtration or isoelectric precipitation showed that precipitation is a suitable method and functional properties are similar to those of beef lung protein concentrates purified using filtration.

Acid solubilisation is an alternative to alkaline solubilisation. It has been used to recover protein with techno-functional properties from beef heart, which was selected as a model for red meats (Dewitt, Gomez, & James, 2002). Process variables evaluated were: post mortem time, salt concentration and pH. Post mortem time did not impact protein solubilisation and little difference was seen between 3 and 24 h. This will enable a storage period for the collection of sufficient product to improve the economic viability and scale up of the process. The solubility of protein was, as in alkaline extraction, impacted by pH and salt content in solvent. The impact of salt addition was seen in protein solubilisation and recovery of soluble protein by precipitation, with the yield of total protein obtained at both stages decreasing as salt concentration increased.

Evaluation of proteins solubilised from beef heart as an alternative to phosphates was studied by Vann and Mireles Dewitt (2007). As a result, the level of salt added to the product including extracted proteins, was approximately half that added to the product manufactured using phosphates. However, a few disadvantages were observed: aerobic plate counts on day 9 values were significantly higher for steaks enhanced using soluble protein due to higher NaCl content in phosphate enhanced steaks; lipid oxidation products were significantly higher during shelf life for soluble protein enhanced steaks; and cook loss were significantly higher in protein enhanced steaks than those enhanced using phosphate. This indicates that although protein solubilised from beef heart show promise as functional ingredient, interactions with other ingredients need to be investigated to ensure that these protein extracts can be used by established food processing methods.

Due to the conditions used in the pH shift protein recovery process (acid or alkaline solubilisation followed by acid precipitation), this process potentially would have a beneficial effect on reducing microbial counts in the recovered protein. However, to the best of our knowledge, the most recent studies have been carried out mainly with fish proteins (Lansdowne, Beamer, Jaczynski, & Matak, 2009a; Lansdowne, Beamer, Jaczynski, & Matak, 2009b; Otto, Beamer, Jaczynski, & Matak, 2011; Ronaghi, Beamer, Jaczynski, & Matak, 2016); and no recent works assessing the impact of the extraction process on microbial load have been published using meat co-products. The impact of the pH shift process, using acid or alkaline solubilisation, on microbial aspects of animal co-products and their isolated proteins has been investigated by Swingler, Naylor, and Lawrie (1979). It was found that, in alkaline conditions, a decrease in bacterial growth at 30 °C is seen when extraction pH is increased and, at least, a 90% reduction was seen when extraction pH was 10, with the greatest reduction observed in the first 2 h of extraction. Regarding fish proteins, it has been reported that rainbow trout inoculated with *Escherichia coli* showed 4.4 log reduction under alkaline conditions (pH 12.5). However, neither acid nor alkaline conditions were sufficient to produce a net pasteurisation effect for *E. coli* or *Listeria innocua* (Lansdowne et al., 2009a; Lansdowne et al., 2009b). Additionally, there is also some evidence to show that the acid used to precipitate proteins, from alkaline solubilised protein, influences the bactericidal effect of the process, depending on the acid employed (Ronaghi, Beamer, Jaczynski, & Matak, 2016; Otto, Beamer, Jaczynski, & Matak, 2011). Although it is evident that the pH shift process does result in a reduction of microbial populations, the process used for the recovery of protein does not eliminate these populations completely. Based on the results seen with pH shift process, there may be potential to increase the microbial reduction seen by optimising the pH, time, temperature and type of acid in the process.

There is little information publically available about the industrial applications of this process. Proteus Industries, n.d (MA, USA) is using this technology to generate protein solutions or suspensions from fish, chicken and beef raw materials to be used as a coater for beef, chicken or fish before deep frying, reducing the fat content of the final product (Available at http://www.proteusindustries.com/). Additionally, protein beef extracted by means of acid solubilisation has been declared as GRAS in 2009 (GRAS Notice, 2009).

4.2. Peptide extraction by means of hydrolysis

Conversely to the methods discussed above, hydrolysis methods are based on breaking down the peptidic bonds of the proteins present in the raw material, yielding peptides and free amino acids. The proteins once transformed into peptides, which usually present a very high solubility, can be easily separated from non-hydrolysed proteins and further recovered by means of centrifugation, filtration or precipitation. Several methods have been employed for this purpose, in particular enzymes, strong acids or alkalis, or subcritical water.

4.2.1. Enzymatic hydrolysis

The most common methods employed for protein hydrolysis are those based on the use of enzymes. Typically, main factors affecting the hydrolysis process are processing time, pH, temperature, enzyme specificity and protein/enzyme ratio. Many reviews have been published regarding the use of meat co-products and offal to generate peptides, either for its nutritional value, modified functional properties or for unlocking bioactivities such as antioxidant, antihypertensive, antimicrobial or metal biding ability (Bah, Bekhit, Carne, & McConnell, 2013; Di Bernardini, et al., 2011; Lafarga, Álvarez, & Hayes, 2017).

Controlling the degree of hydrolysis (DH) is essential to ensure the properties of the final hydrolysate. DH is the percentage of total peptidic bonds hydrolysed at the end of the process, assuming that 100% represents DH when the protein is fully transformed into free amino acids. Usually, high DH corresponds to very low molecular weight peptides; high content in free amino acids; an increased recovery yield of protein-nitrogen; a loss of functional properties; improved solubility and more bitter taste. For instance, enzymatic hydrolysis of veal bone was carried out and hydrolysis parameters were controlled to ensure that DH was not higher than 8% preventing the formation of bitter taste (Linder, Fanni, & Parmentier, 1996).

Hydrolysis of sheep visceral mass, following heat treatment (121 °C under pressure) and partially defatting, using a commercial fungal protease at neutral pH and moderate temperature yielded a nitrogen recovery of over 60%, using an enzyme substrate ratio of 1% (Bhaskar, Modi, Govindaraju, Radha, & Lalitha, 2007).

More recently, the use of in silico methods have been employed to identify peptides from specific substrates with targeted functionalities. Recent work by Lafarga, O'Connor, and Hayes (2015) identified peptides with PEP (prolyl endopeptidase) inhibitory function which has

been linked to improved cognitive function. The work was based on the use of substrates containing proline from animal co-products including collagen, actin, myosin and serum albumin.

Blood proteins have attracted attention from researchers, particularly haemoglobin, to generate bioactive peptides. For example, according to Bah, Bekhit, Carne, and McConnell (2013), enzymatic hydrolysis of haemoglobin can lead to the generation of peptides, which are known to have antihypertensive, antioxidant, antimicrobial, mineral binding, reducing power, opioid, antigenotoxic, or bacterial-growth stimulation activities. In on-going research, our group is trying to up-scale the enzymatic hydrolysis of red blood cells, to obtain antioxidant and antimicrobial peptides. Key parameters such as agitation, protein/enzyme ratio, and downstream processes are being evaluated to validate the results obtained at lab scale.

4.2.2. Non-enzymatic hydrolysis

Non-enzymatic hydrolysis has been utilised to recover amino acids and peptides from animal co- products by means of different techniques such as chemical hydrolysis employing strong acids and alkalis; or subcritical water hydrolysis (SWH), when high pressures and temperatures are combined to cleave the peptidic bonds. However, techno-functional properties are lost due to the process conditions, though an increased solubility is observed (Marcet, Álvarez, Paredes, & Díaz, 2016). The resulting product can still have applications for nutritional supplementation (Álvarez, Rendueles, and Díaz, 2012). Generation of amino acids and peptides from the haemoglobin fraction of porcine blood has been achieved using both alkaline (Álvarez, Rendueles, & Diaz, 2013) and acid hydrolysis (Álvarez, Rendueles, and Diaz, 2012). Acid hydrolysed proteins have applications as flavour enhancers and also in the area of biotechnology as microbiological and culture media. During acid hydrolysis essential amino acids tryptophan, methionine, cysteine are destroyed and glutamine and aspartame are converted to glutamic and aspartic acid. Alkaline hydrolysis is also destructive with serine and threonine amino acids being degraded; however, tryptophan is not lost during processing (Pasupuleti & Demain, 2010). As the acid and alkaline hydrolysis processes are destructive to particular amino acids, it has been suggested that it would be beneficial to carry out separate acid and alkaline hydrolysis. By mixing the acid and alkaline hydrolysate the hydrolysis is stopped with little need for additional reagent to neutralise the pH, and only serine, threonine, methionine and cysteine will be destroyed in the combined product (Álvarez, Rendueles, and Diaz, 2013). Amino acids and peptides have been recovered from poultry co-products (Zhu et al., 2010), blood proteins as haemoglobin and albumin (Álvarez, Tiwari, Rendueles, & Díaz, 2016; Rogalinski, Herrmann, & Brunner, 2005) and fish (Xian, Chao, Liang, & Cheng, 2008) processing using sub-critical water hydrolysis. Water is maintained in its liquid state at temperatures above boiling point by applying high pressure. Under these conditions, proteins are released from the matrix and hydrolysed into peptides and free amino acids (Marcet, Álvarez, Paredes, & Díaz, 2016). The value of animal co-products may be increased by recovering amino acids and peptides using the hydrolysis methods mentions above, however due to the loss of the native protein structure they will not have applications as a techno functional ingredient.

4.3. Downstream processes

After proteins have been extracted, either as peptides or as intact proteins, they need to be further processed in order to improve their stability; purity (presence of salts added during the extraction process or presence of undesired proteins); or to remove excess water to obtain a protein powder, easier to handle and to incorporate in product formulations.

Membrane technologies (ultrafiltration, nano-filtration, tangential flow filtration, dialysis, electro-dialysis or osmosis) are often used to remove salts and concentrate proteins of interest or to fractionate proteins according to their molecular size (Selmane, Christophe, and Gholamreza, 2008; Galanakis, 2012). In spite of the benefits that such technologies provide, some disadvantages have to be considered. The formation of a gel in the active surface of the membrane, which leads to a loss of efficacy in terms of permeation flux, is one of the main difficulties encountered. When flux restriction becomes severe, a cleaning step has to be performed, which delays the overall production process. Promising efforts to avoid this fouling effect have been proposed, as for example the use of functionalised membranes using graphene oxide (Kumar, Mcglade, Ulbricht, and Lawler, 2015); the application of magnetic fields perpendicular to the membrane (Zin et al.; 2016) or by using vibrating membrane technology (Mohammad, Ng, Lim, & Ng, 2012).

Membrane technologies are used frequently as a pre-concentration step before the final drying process. Spray-drying is a well-established drying method for food ingredients, mainly because of its large processing capacity and relative ease to control and optimize. As an additional advantage, when compared to more traditional drying methods, the high temperature contact time is very short, helping to preserve heat-labile properties of the source material (Murugesan & Orsat, 2012). However, when highly temperature-sensitive products need to be dried, freeze drying or lyophilisation might be the preferred technique, since no high temperature are involved, although the processing cost are significantly higher (Mumenthaler & Leuenberger, 1991).

For bioactive peptides, chromatographic techniques can be applied in tandem with membrane filtration, to purify and concentrate specific compounds possessing the bioactivity of interest. Using these techniques compounds can be separated based on properties such as hydrophobicity, isoelectric point or charge characteristics. Frequently, more than one chromatographic technique is combined to obtain the targeted peptide (Di Bernardini et al., 2011). Although technically feasible, performing chromatographic separation at industrial scale is excessively expensive, and only suitable for very high added-value products.

4.4. Emerging technologies and novel processes for protein extraction

The methods described so far can be considered traditional or based in traditional techniques, such as solvent extraction, use of food grade enzymes, salting-in and salting-out effects, membrane filtration systems or protein solubilisation by pH modification. Such methods are very consistent and most of them have been broadly applied in the food industry for many different applications. However, some of these methods can be improved to achieve higher extraction yield; reduced water consumption; reduced microbiological load; or reduced processing times, by applying newer emerging processing technologies. When applying novel technologies, effects on the overall process, as well as any effects on the properties of the final product have to be considered. The most promising emerging technologies for intact protein processing are those classified as non-thermal, since processing at room temperature allow proteins to remain in their native state thus maintaining their properties (Smeller, 2002). For example, a recent investigation using fish as raw material (Álvarez, Lélu, Lynch, & Tiwari, 2018), demonstrated that alkaline extraction assisted by ultrasound (US) can remarkably improve the extraction yield. The authors reported that novel sequential acid-alkaline extraction resulted in similar extraction levels compared to a single step assisted by US. A similar approach has been carried out in our facilities, with a view to increase the extraction yield of functional proteins from bovine and porcine lungs. Preliminary results (not yet published) indicate that ISP-US is able to increase the amount of proteins recovered (up to a 5–10% depending on extraction conditions) with no negative effect on the functional properties of the recovered proteins. Additionally, water consumption and use of chemicals (NaOH, in this case) can be reduced, making this process more sustainable and environmentally friendly.

On the other hand, when peptides and amino acid are the desired product, since these compounds are more thermo-stable, heat pre-treatments can be used to improve the performance of the enzymes, exposing more cleavage points and providing a beneficial impact on the rate of hydrolysis, by assisting protein denaturation (Bhaskar, Modi, Govindaraju, Radha, & Lalitha, 2007). A similar effect was observed when high hydrostatic pressure, which promotes protein denaturation, was applied to bovine blood before hydrolysis (Toldrà, Parés, Saguer, & Carretero, 2011).

Many other promising emerging technologies, which are currently being investigated for extraction of a variety compounds from non-meat-related co- and by-products, hold potential for applications in meat co-products processing. Examples include: pulse electric fields (PEF) (Sobrino-Lopez and Martin-Belloso, 2006); microwave assisted extraction (Ekezie, Sun, & Cheng, 2017); aqueous two-phase solvent; ionic liquids; high voltage electrical discharges (HVED); or extraction assisted by hydrotropic solvents (Barba, Zhu, Koubaa, Sant'Ana, & Orlien, 2016). When considering protein extraction from meat co-products it is important to review and explore potential technologies used for other raw materials. From our review of the literature, research with non-meat based proteins seems well progressed, and may provide opportunities for the meat industry to exploit.

As well as using emerging technologies, innovative processes can be designed based on the particular properties and characteristics of the raw material; either co-products, trimmings or processing streams. For example, a recent investigation carried out in our laboratory (data not published), succeeded in developing an innovative desalting method for a rendering processing stream which was of proteins with strong gelation properties. The stream was concentrated until a gel was formed, and this gel was subsequently submerged in cold water, allowing the salt to diffuse out. Results showed that 90% of the protein was recovered, > 85% of the salt was removed and the water consumption per unit of protein recovered was significantly lower when compared to traditional diafiltration. A recent publication discloses a method for optimised blood centrifugation (Álvarez, Drummond, & Mullen, 2018b) based on red cell crenation. In this method, specific amounts of phosphate buffer saline are carefully added to freshly collected blood prior to centrifugation. The research demonstrated that very high quality blood plasma (i.e. very low haemolysis) can be obtained regardless the processing conditions employed: centrifugation volumes, speed or time. Besides, the amount of plasma proteins recovered per litre of blood was increased and the protein content in the red cell fraction was remarkably improved. Although this method has to be scaled-up and tested with a continuous centrifuge, reflective of industrial processing, there is a potential for this product to be used for high added-value markets e.g. research or pharmaceutical. An additional advantage is that one of the main issues of using plasma as food ingredient, the red colour imparted to the final products, can be more easily overcome.

5. Non-food applications

In spite of the efforts that have been made in developing new processes and new technologies for meat co-products utilisation, current industrial applications seem too limited and mainly dedicated to pet food and animal feed purposes. Table 3 summarizes current applications of several of these products, when not employed for human consumption. Depending on the final application and on the level of processing involved to obtain the product, the generated added value can be very low, as for example for fertilizers; or can reach significant commercial value as for enzymes and hormones (from stomach) or thrombin (from blood). For instance, a market study performed by MLA (Meat & Livestock Australia) (Glenn, 2015) reported that the price of dried blood (blood meal) was 230 AUD/t; while haemoglobin meal was 3000 AUD/t and immunoglobulins was higher than 16,000 AUD/t, when intended as supplements in livestock feed formulations. For this reason, developing innovative applications and novel uses for proteins extracted from co-products, will lead to positive economic impact in the meat industry. For example, as part of ReValue Protein Project (www.revalueprotein.com), we have developed a new process (pending patent) to generate haemoglobin based films with tailored solubility and mechanical properties. Our analysis showed that these films can be used as carrier of bioactive compounds (antioxidant, antimicrobial, etc); as effective water vapour barrier; and even more relevant, as scaffolds for cells with potential uses in biomedical applications. Additionally, the method to make protein-based films insoluble can be applied to proteins extracted from other co-products, expanding their range of application.

6. Conclusion

The co-products generated as a result of meat processing account for a considerable amount of the edible portion of beef, porcine and sheep carcases. These co-products are a valuable source of protein with uses in culinary and food processing, and also in the fields of research, biomedicine and others, as demonstrated. As consumption of many co-products in western diets has diminished, there is potential to recover proteins for use as food ingredients. The functional properties of recovered proteins are influenced by the characteristics of the raw material as well as by the recovery method and, processing conditions employed. Characterisation of the starting material and of the fractions derived during processing are essential for selection and development of the most efficient recovery method for high quality functional protein ingredient.

As extensively reported in this review, great efforts have been focused on protein extraction from vegetable, fish or even chicken sources; however, the number of publications related to protein extraction from meat co-products is still scarce. Taking into account the high volumes of co-products generated globally, the increasing need of protein for a growing population and the excellent nutritive value of offal proteins, it is worthwhile to explore all available techniques and processing methodologies to capitalise on the currently underused meat co-products, as a way to increase protein production and improve the environmental impact of the meat industry.

Acknowledgments

“This work forms part of the ReValueProtein Research Project (Grant Award No. 11/F/043) supported by the Department of Agriculture, Food and the Marine (DAFM) under the National Development Plan2007–2013 funded by the Irish Government.”

References

Alao, B. O., Falowo, A. B., Chulayo, A., & Muchenje, V. (2017). The potential of animal by-products in food systems: Production, prospects and challenges. *Sustainability, 9*(7), 1089.

Al-Jowder, O., Defernez, M., Kemsley, E. K., & Wilson, R. H. (1999). Mid-infrared spectroscopy and chemometrics for the authentication of meat products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*(8), 3210–3218.

Aluko, R. E. (2004). The extraction and purification of proteins: An introduction. In R. Y. Yada (Ed.). *Proteins in food processing* (pp. 323–351). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Álvarez, C., Drummond, L., & Mullen, A. M. (2018a). Protein recovered from meat co-products and processing streams as pork meat replacers in Irish breakfast sausages formulations. *LWT-Food Science and Technology, 96*, 679–685.

Álvarez, C., Drummond, L., & Mullen, A. M. (2018b). Expanding the industrial applications of a meat co-product: Generation of low-haemoglobin content plasma by means of red cells crenation. *Journal of Cleaner Production, 185*, 805–813.

Álvarez, C., Lélu, P., Lynch, S. A., & Tiwari, B. K. (2018). Optimised protein recovery from mackerel whole fish by using sequential acid/alkaline isoelectric solubilization precipitation (ISP) extraction assisted by ultrasound. *LWT- Food Science and Technology, 88*, 210–216.

Álvarez, C., Rendueles, M., & Diaz, M. (2012). The yield of peptides and amino acids following acid hydrolysis of haemoglobin from porcine blood. *Animal Production Science, 52*(5), 313–320.

Álvarez, C., Rendueles, M., & Díaz, M. (2012). Production of porcine hemoglobin peptides at moderate temperature and medium pressure under a nitrogen stream. Functional

and antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(22), 5636–5643.
Álvarez, C., Rendueles, M., & Diaz, M. (2013). Alkaline hydrolysis of porcine blood haemoglobin: Applications for peptide and amino acid production. *Animal Production Science, 53*(2), 121–128.
Álvarez, C., Tiwari, B. K., Rendueles, M., & Díaz, M. (2016). Use of response surface methodology to describe the effect of time and temperature on the production of decoloured, antioxidant and functional peptides from porcine haemoglobin by sub-critical water hydrolysis. *LWT - Food Science and Technology, 73*, 280–289.
Anderson, B. A. (1988). Composition and nutritional value of edible meat by- products. In A. M. Pearson, & T. R. Dutson (Eds.). *Edible meat by-products advances in meat research volume 5* (pp. 15–45). London: Elsevier Science Publishers LTD.
Antonomanolaki, R. E., Vareltzis, K. P., Georgakis, S. A., & Kaldrymidou, E. (1999). Thermal gelation properties of surimi-like material made fromsheep meat. *Meat Science, 52*(4), 429–435.
Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 2.2.1 - Meat and Meat Products (2016). Available at http://www.foodstandards.govt.nz/code/Documents/2.2.1%20Meat%20products%20v157.pdf, Accessed date: January 2018.
Bah, C. S. F., Bekhit, A. E.-D. A., Carne, A., & McConnell, M. A. (2013). Slaughterhouse blood: An emerging source of bioactive compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12*(3), 314–331.
Ballin, N. Z. (2010). Authentication of meat and meat products. *Meat Science, 86*(3), 577–587.
Barba, F. J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., & Orlien, V. (2016). Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology, 49*, 96–109.
Bhaskar, N., Modi, V. K., Govindaraju, K., Radha, C., & Lalitha, R. G. (2007). Utilization of meat industry by products: Protein hydrolysate from sheep visceral mass. *Bioresource Technology, 98*(2), 388–394.
Bier, J. M., Verbeek, C. J. R., & Lay, M. C. (2012). An ecoprofile of thermoplastic protein derived from blood meal part 2: Thermoplastic processing. *International Journal of Life Cycle Assessment, 17*, 314–324.
Boland, M. J., Rae, A. N., Vereijken, J. M., Meuwissen, M. P., Fischer, A. R., van Boekel, M. A., ... Hendriks, W. H. (2013). The future supply of animal-derived protein for human consumption. *Trends in Food Science & Technology, 29*(1), 62–73.
Charles, L. P. (2003). Animal glues and adhesives. In A. Pizzi, & K. L. Mittal (Eds.). *Handbook of adhesive technology, revised and expanded* (pp. 479–494). (2nd ed.). New York: Mercel Dekker Inc.
Darine, S., Christophe, V., & Gholamreza, D. (2010). Production and functional properties of beef lung protein concentrates. *Meat Science, 84*(3), 315–322.
Darine, S., Christophe, V., & Gholamreza, D. (2011). Emulsification properties of proteins extracted from beef lungs in the presence of xanthan gum using a continuous rotor/stator system. *LWT- Food Science and Technology, 44*(4), 1179–1188.
Desmond, E. M., & Kenny, T. A. (1998). Preparation of surimi-like extract from beef hearts and its utilisation in frankfurters. *Meat Science, 50*(1), 81–89.
Dewitt, C. A. M., Gomez, G., & James, J. M. (2002). Protein extraction from beef heart using acid solubilization. *Journal of Food Science, 67*(9), 3335–3341.
Di Bernardini, R., Harnedy, P., Bolton, D., Kerry, J., O'Neill, E., Mullen, A. M., & Hayes, M. (2011). Antioxidant and antimicrobial peptidic hydrolysates from muscle protein sources and by-products. *Food Chemistry, 124*(4), 1296–1307.
Ekezie, F. G. C., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2017). Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments. *Trends in Food Science & Technology, 67*, 160–172.
El, S. N. (1995). Evaluating protein quality of meats using collagen content. *Food Chemistry, 53*(2), 209–210.
European Parliament and Council (2009). Regulation (EC) No 1069/2009. *Official Journal of the European Union, 300*(April), 1–33.
FAO (2009). How to feed the world in 2050. *Population and Development Review, 35*.
FAO (2015). OECD-FAO Agricultural Outlook 2016–2025. Available at http://www.fao.org/3/a-BO100e.pdf, Accessed date: October 2017.
Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology, 26*(2), 68–87.
García-Falcón, M., & Simal-Gándara, J. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke from different woods and their transfer during traditional smoking into chorizo sausages with collagen and tripe casings. *Food Additives and Contaminants, 22*(1), 1–8.
Gault, N. F., & Lawrie, R. A. (1980). Efficiency of protein extraction and recovery from meat industry by-products. *Meat Science, 4*(3), 167–190.
Ghisleni, G., Stella, S., Radaelli, E., Mattiello, S., & Scanziani, E. (2010). Qualitative evaluation of tortellini meat filling by histology and image analysis. *International Journal of Food Science and Technology, 45*(2), 265–270.
Ghovvati, S., Nassiri, M. R., Mirhoseini, S. Z., Moussavi, A. H., & Javadmanesh, A. (2009). Fraud identification in industrial meat products by multiplex PCR assay. *Food Control, 20*(8), 696–699.
Glenn, D. (2015). Blood Based Proteins: A market review for MLA, January 2015. Available at https://www.mla.com.au/download/finalreports?itemId=2796, Accessed date: January 2018.
Goldstrand, R. E. (1988). Edible meat products: Their production and importance to the meat industry. In A. M. Pearson, & T. R. Dutson (Vol. Eds.), *Edible meat by-products advances in meat research. Vol. 5. Edible meat by-products advances in meat research* (pp. 1–13). London: Elsevier Applied Science Publisshers.
GRAS notice (2009). Available at http://wayback.archive-it.org/7993/20171031050438/https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/UCM269480.pdf, Accessed date: March 2018.
Hamilton, R. G. (1978). Recovery of functional meat proteins from abattoir by-products. *CSIRO Food Research Quarterly, 38*, 6–12.
Henchion, M., McCarthy, M., & O'Callaghan, J. (2016). Transforming beef by-products into valuable ingredients: Which spell/recipe to use? *Frontiers in Nutrition, 3*(November), 1–8.
Hibbert, R. (2009). Beef protein. Retrieved from https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/ucm269480.pdf, Accessed date: November 2017.
Hrynets, Y., Omana, D. A., Xu, Y., & Betti, M. (2010). Effect of acid- and alkaline-aided extractions on functional and rheological properties of proteins recovered from mechanically separated turkey meat (MSTM). *Journal of Food Science, 75*(7), 477–486.
Hsieh, Y. H., & Ofori, J. A. (2011). Blood-derived products for human consumption. *Revelation and Science, 1*(01), 14–21.
James, J. M., & Dewitt, C. A. M. (2004). Gel attributes of beef heart when treated by acid solubilisation isoelectric precipitation. *Journal of Food Science, 69*(6), 473–480.
Kang, G. H., Yang, H. S., Jeong, J. Y., Moon, S. H., Joo, S. T., & Park, G. B. (2007). Gel properties of surimi-like materials from cardiac and skeletal muscle of pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 20*(8), 1292–1296.
Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 365*(1554), 2793–2807.
Kenney, P. B., Kastner, C. L., & Kropf, D. H. (1992). Muscle washing and raw material source affect quality and physicochemical properties of low-salt, low-fat, restructured beef. *Journal of Food Science, 57*(3), 545–550.
Kolar, K. (1990). Colormetric determination of hydroxyproline as measure of collagen content in meat and meat products: NMKL collaborative study. *Association of Official Analytical Chemists, 73*, 54–57.
Krasnowska, G., Gorska, I., & Gergont, J. (1995). Evaluation of functional properties of offal proteins. *Nahrung, 39*(2), 149–155.
Kristinsson, H. G., & Ingadottir, B. (2006). Recovery and properties of muscle proteins extracted from tilapia (*Oreochromis niloticus*) light muscle by pH shift processing. *Journal of Food Science, 71*(3).
Kristinsson, H. G., Theodore, A. E., Demir, N., & Ingadottir, B. (2005). A comparative study between acid-and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle. *Journal of Food Science, 70*(4), 298–306.
Kumar, M., Mcglade, D., Ulbricht, M., & Lawler, J. (2015). Quaternized polysulfone and graphene oxide nanosheet derived low fouling novel positively charged hybrid ultrafiltration membranes for protein separation. *RSC Advances, 5*(63), 51208–51219.
Lafarga, T., Álvarez, C., & Hayes, M. (2017). Bioactive peptides derived from bovine and porcine co-products: A review. *Journal of Food Biochemistry, 41*(6), e12418.
Lafarga, T., O'Connor, P., & Hayes, M. (2015). In silico methods to identify meat-derived prolyl endopeptidase inhibitors. *Food Chemistry, 175*, 337–343.
Lambuthy, A. (2003). Protein adhesives for wood. In A. Pizzi, & K. L. Mittal (Eds.). *Handbook of adhesive technology, revised and expanded* (pp. 457–478). (2nd ed.). New York: Mercel Dekker Inc.
Lansdowne, L. R., Beamer, S., Jaczynski, J., & Matak, K. E. (2009a). Survival of *Escherichia coli* after isoelectric solubilization and precipitation of fish protein. *Journal of Food Protection, 72*(7), 1398–1403.
Lansdowne, L. R., Beamer, S., Jaczynski, J., & Matak, K. E. (2009b). Survival of listeria innocua after isoelectric solubilization and precipitation of fish protein. *Journal of Food Science, 74*(4), 201–205.
Lawrie, R. A., & Ledward, D. A. (1988). Edible protein recovery and upgrading of meat packinghouse waste. In A. M. Pearson, & T. R. Dutson (Eds.). *Edible meat by-products advances in meat research volume 5* (pp. 231–260). London: Elsevier Applied Science Publisshers.
Lin, H., & Gunasekaran, S. (2010). Cow blood adhesive: Characterization of physico-chemical and adhesion properties. *International Journal of Adhesion and Adhesives, 30*(3), 139–144.
Linder, M., Fanni, J., & Parmentier, M. (1996). Functional properties of veal bone hydrolysates. *Journal of Food Science, 61*(4), 712–716.
Linder, M., Fanni, J., Parmentier, M., Sergent, M., & Phan-Tan-Luu, R. (1995). Protein recovery from veal bones by enzymatic hydrolysis. *Journal of Food Science, 60*(5), 949–952.
Low, A., Verbeek, C. J. R., & Lay, M. C. (2014). Treating Bloodmeal with Peracetic acid to produce a bioplastic feedstock. *Macromolecular Materials and Engineering, 299*(1), 75–84.
Lui, D. C. (2002). Better utilization of by-products from the meat industry. *Extension Bulletins. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region (FFTC Publication Database)*. http://www.agnet.org/library/eb/515/, Accessed date: March 2018 (2002-10-01).
Lynch, S. A., Álvarez, C., O'Neill, E. E., Keenan, D. F., & Mullen, A. M. (2017). Optimization of protein recovery from bovine lung by pH shift process using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 98*(5), 1951–1960.
Marcet, I., Álvarez, C., Paredes, B., & Díaz, M. (2016). The use of sub-critical water hydrolysis for the recovery of peptides and free amino acids from food processing wastes. Review of sources and main parameters. *Waste Management, 49*, 364–371.
Marchello, J. A., & Marchello, E. V. (2005). Contributions to society: Slaughter by- products. In W. G. Pond, & A. W. Bell (Eds.). *Encyclopedia of animal science* (pp. 258–260). New York: Marcel Dekker.
Marchis, D., Amato, G., & Abete, M. C. (2013). A monitoring study of glycerol-triheptanoate (GTH) in animal by-products through a validated GC-MS analytical method. *Food Control, 34*(2), 624–629.
Marti, D., Johnson, R., & Mathews, K. (2011). Where's the (not) meat?: Byproducts from beef and pork production. *USDA Economic Research Service*. Retrieved December 2017, from https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=37428.

Maverick Biosciences (2015). Biological Medical Product Materials. Retrieved June 8, 2017, from http://maverickbio.com/biological-medical-device-materials/.
McCormick, R. J., Burgen, S., Field, R. A., Rule, D. C., & Busboom, J. R. (1993). Surimi-like products from mutton. *Journal of Food Science, 58*(3), 497–500.
Mckeith, F. K., Bechtel, P. J., Novakofski, J., Park, S., & Arnold, J. S. (1988). Characteristics of surimi-like material from beef, pork and beef by-products. *Proceedings of the 34th International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 325–326). Australia: Brisbane.
Mohammad, A. W., Ng, C. Y., Lim, Y. P., & Ng, G. H. (2012). Ultrafiltration in food processing industry: Review on application, membrane fouling, and fouling control. *Food and Bioprocess Technology, 5*(4), 1143–1156.
Mullen, A. M., & Álvarez, C. (2016). *Offal: Types and composition.* The Encyclopedia of Food and Health: Academic Press, United Kingdom152–157.
Mumenthaler, M., & Leuenberger, H. (1991). Atmospheric spray freeze-drying: A suitable alternative in freeze drying technology. *International Journal of Pharmaceutics, 72*, 97–110.
Murugesan, R., & Orsat, V. (2012). Spray drying for the production of nutraceutical ingredients—A review. *Food and Bioprocess Technology, 5*(1), 3–14.
Nollet, L. M. L., & Toldrá, F. (2011). Introduction - Offal meat: Definitions, regions, cultures, generalities. *Handbook of analysis of edible animal by-products* (pp. 105–121). NY: CRC Press.
Nuckles, R. O., Smith, D. M., & Merkel, R. A. (1990). Meat by-product protein composition and functional properties in model systems. *Journal of Food Science, 55*(3), 640–643.
Ockerman, H. W., & Basu, L. (2014). *Encyclopedia of meat sciences* (2nd ed.). London: Elsevier.
Ockerman, H. W., & Hansen, C. L. (1988). *Animal by-product processing.* Chichester, UK: Ellis Horwood Ltd.
Ofori, J. A., & Hsieh, Y. H. P. (2017). Immunodetection of porcine red blood cell containing food ingredients using a porcine-hemoglobin-specific monoclonal antibody. *Food, 6*(11), 101.
Omana, D.a., Xu, Y., Moayedi, V., & Betti, M. (2010). Alkali-aided protein extraction from chicken dark meat: Chemical and functional properties of recovered proteins. *Process Biochemistry, 45*(3), 375–381.
Otto, R.a., Beamer, S., Jaczynski, J., & Matak, K. E. (2011). The effect of using citric or acetic acid on survival of Listeria monocytogenes during fish protein recovery by isoelectric solubilization and precipitation process. *Journal of Food Science, 76*(8), 4.
Park, S., Brewer, M. S., Mckeith, F. K., Bechtel, P. J., & Novakofski, J. (1996). Composition of surimi-like material from beef and pork. *Journal of Food Science, 61*(4), 717–720.
Parkington, J. K. K., Xiong, Y. L. L., Blanchard, S. P. P., Xiong, S., Wang, B., Srinivasan, S., & Froning, G. W. W. (2000). Chemical and functional properties of oxidatively modified beef heart surimi stored at 2 C. *Journal of Food Science, 65*(3), 428–433.
Pasupuleti, V. K., & Demain, A. L. (2010). Protein hydrolysates in biotechnology. *Protein Hydrolysates in Biotechnology*, 1–229.
Pearl, G. G. (2005). Animal by-products: Biological and industrial products. In W. G. Pond (Ed.). *Encyclopedia of animal science* (pp. 19–21). New York: Marcel Dekker Inc.
Pérez-Gálvez, R., Almécija, M. C., Espejo, F. J., Guadix, E. M., & Guadix, A. (2011). Bi-objective optimisation of the enzymatic hydrolysis of porcine blood protein. *Biochemical Engineering Journal, 53*(3), 305–310.
Piazza, G. J. J., & Garcia, R. A. A. (2010). Meat & bone meal extract and gelatin as renewable flocculants. *Bioresource Technology, 101*(2), 781–787.
Prayson, B., Mcmahon, J., & Prayson, R. (2008a). Journal article fast food hamburgers: What are we really eating? *Annals of Diagnostic Pathology, 12*(6), 406–409.
Prayson, B. E., Mcmahon, J. T., & Prayson, R. A. (2008b). Applying morphologic techniques to evaluate hotdogs: What is in the hotdogs we eat? *Annals of Diagnostic Pathology, 12*(2), 98–102.
Primrose, S., Woolfe, M., & Rollinson, S. (2010). Food forensics: Methods for determining the authenticity of foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology, 21*(12), 582–590.
Proteus Industries web site Available at http://www.proteusindustries.com, Accessed date: March 2018.
Rogalinski, T., Herrmann, S., & Brunner, G. (2005). Production of amino acids from bovine serum albumin by continuous sub-critical water hydrolysis. *The Journal of Supercritical Fluids, 36*(1), 49–58.
Ronaghi, M., Beamer, S., Jaczynski, J., & Matak, K. E. (2016). A comparison of the bactericidal effectiveness of hydrochloric and acetic acid on Staphylococcus aureus in silver carp during a pH-shift protein recovery process. *LWT - Food Science and Technology, 66*, 239–243.
Rust, R. E. (1988). Production of edible casings. *Edible meat by-products advances in meat research. Vol. 5. Edible meat by-products advances in meat research* (pp. 261–274).
Sans, P., & Combris, P. (2015). World meat consumption patterns: An overview of the last fifty years (1961–2011). *Meat Science, 109*, 106–111.
Saulnier, L., & Brunet, E. (1982). *Le répertoire de la cuisine.* (Leon Jaeggi).
Selmane, D., Christophe, V., & Gholamreza, D. (2008). Extraction of proteins from slaughterhouse by-products: Influence of operating conditions on functional properties. *Meat Science, 79*(4), 640–647.
Smeller, L. (2002). Pressure–temperature phase diagrams of biomolecules. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure and Molecular Enzymology, 1595*(1), 11–29.
Smyth, A. B., & Neill, E. O. (1997). Heat-induced gelation properties of surimi from mechanically separated chicken. *Journal of Food Science, 62*(2), 326–330.
Sobrino-Lopez, A., & Martin-Belloso, O. (2006). Enhancing inactivation of Staphylococcus aureus in skim milk by combining high-intensity pulsed electric fields and nisin. *Journal of Food Protection, 69*(2), 345–353.
Spooncer, W. F. (1988). Organds and glands as human food. In A. M. Pearson, & T. R. Dutson (Eds.). *Edible meat by-products* (pp. 197–217). London: Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
Srinivasan, S., & Xiong, Y. L. (1996). Gelation of beef heart surimi as affected by antioxidants. *Journal of Food Science, 61*(4), 707–711.
Steen, L., Glorieux, S., Goemaere, O., Brijs, K., Paelinck, H., Foubert, I., & Fraeye, I. (2016). Functional properties of pork liver protein fractions. *Food and Bioprocess Technology*, 1–11.
Swingler, G. R., & Lawrie, R. A. (1979). Improved protein recovery from some meat industry by-products. *Meat Science, 3*(1), 63–73.
Swingler, G. R. R., Naylor, P. E. L. E., & Lawrie, R. A. A. (1979). Microbial aspects of protein recovery from meat industry by-products. *Meat Science, 3*(2), 83–95.
Tarté, R. (2009). Ingredients in meat products: Properties, functionality and applications. *Ingredients in meat products: Properties* (pp. 145–171). Springer Science and Business Media: Functionality and Applications.
Taskaya, L., Chen, Y.-C., & Jaczynski, J. (2009). Functional properties of proteins recovered from silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) by isoelectric solubilization/precipitation. *LWT - Food Science and Technology, 42*(6), 1082–1089.
The Commission of the European Communities (2001). The commission of the european communities. *Official Journal of the European Communities, 64*(Ii), 19–21.
The Commission of the European Communities (2011). Comission regulation (EU) No 142/2011 of 25 February 2011. *Official Journal of the European Union, 54*, 1–254.
The European Parliament and the Council of the European Union (2004). Regulation (EC) No 853/2004 of the european parliament and of the council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin. *Official Journal of the European, 22*(853), 69–74.
The European Parliament and the Council of the European Union (2009). Regulation 1069/2009. Health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption. *Official Journal of the European Union, 300*, 1–33.
Toldrá, F., Mora, L., & Reig, M. (2016). New insights into meat by-product utilization. *Meat Science, 120*, 54–59.
Toldrà, M., Parés, D., Saguer, E., & Carretero, C. (2011). Hemoglobin hydrolysates from porcine blood obtained through enzymatic hydrolysis assisted by high hydrostatic pressure processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 12*(4), 435–442.
Torrallardona, D., Conde, R., Esteve-García, E., & Brufau, J. (2002). Use of spray dried animal plasma as an alternative to antimicrobial medication in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology, 99*, 119–129.
United Nations (2015). *Unece standard edible meat co-products.* (Geneva).
USDA-FSIS (1999). Saving of blood from livestock as an edible product. *Federal register. Vol. 64* No. 246 Part 9 CFR 310.20.
Vann, D. G., & Mireles Dewitt, C. A. (2007). Evaluation of solubilized proteins as an alternative to phosphates for meat enhancement. *Journal of Food Science, 72*(1), 72–77.
Vareltzis, P. K., & Undeland, I. (2012). Protein isolation from blue mussels (Mytilus edulis) using an acid and alkaline solubilisation technique-process characteristics and functionality of the isolates. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*(15), 3055–3064.
Von Holst, C., Boix, A., Bellorini, S., Androni, S., & Serano, F. (2012). *Determination of glyceroltriheptanoate (GTH) in processed animal by-products by gas chromatography* (6th ed.). *Vol. 16*. Joint Research Centre Institute for Reference Materials and Measurements.
Wang, B., & Xiong, Y. L. (1998). Functional stability of antioxidant-washed, cryoprotectant-treated beef heart surimi during frozen storage. *Journal of Food Science, 63*(2), 293–298.
Whitehead, P. A., Church, P. N., & Knight, M. K. (1993). New animal- derived ingredients. In J. Smith (Ed.). *Technology of reduced additive foods* (pp. 26–59). London: Springer Science and Business Media.
Woolfe, M. (2017). Quarterly newsletter. March 2017. Retrieved June 15, 2017, from http://fera.co.uk/news/resources/documents/FOOD_Authenticity_NewsletterMarch17.pdf.
Xian, Z., Chao, Z., Liang, Z., & Cheng, H. (2008). Amino acids production from fish proteins hydrolysis in subcritical water** supported by the National Natural Science Foundation of China (50578091) and shanghai leading academic discipline project (T-105). *Chinese Journal of Chemical Engineering, 16*(3), 456–460.
Young, R. H., & Lawrie, R. A. (1974). Utilization of edible protein from meat industry by-products and waste. *International Journal of Food Science and Technology, 9*(2), 171–177.
Young, R. H., & Lawrie, R. A. (1975). Utilization of edible protein from meat industry by-products and waste. *International Journal of Food Science and Technology, 10*(5), 523–532.
Zeugolis, D. I., Paul, R. G., & Attenburrow, G. (2008). Engineering extruded collagen fibers for biomedical applications. *Journal of Applied Polymer Science, 108*(5), 2886–2894.
Zhang, C., Garcia, R. A., & Piazza, G. J. (2017). Solubilization of meat & bone meal protein by dilute acid hydrolysis for the production of bio-based flocculant. *Food and Bioproducts Processing, 102*, 362–366.
Zhao, M., Downey, G., & O'Donnell, C. P. (2014). Detection of adulteration in fresh and frozen beefburger products by beef offal using mid-infrared ATR spectroscopy and multivariate data analysis. *Meat Science, 96*(2), 1003–1011.
Zhu, G. Y., Zhu, X., Wan, X. L., Fan, Q., Ma, Y. H., Qian, J., ... Jiang, J. H. (2010). Hydrolysis technology and kinetics of poultry waste to produce amino acids in subcritical water. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 88*(2), 187–191.
Zin, G., Penha, F. M., Rezzadori, K., Silva, F. L., Guizoni, K., Petrus, J. C. C., ... Di Luccio, M. (2016). Fouling control in ultrafiltration of bovine serum albumin and milk by the use of permanent magnetic field. *Journal of Food Engineering, 168*, 154–159.

[1]Meat Science – Juin 2018

Opportunités et perspectives d'utilisation des coproduits dans l'industrie carnée

Sarah A. Lynch[2,3], Anne Maria Mullen[1], Eileen O'neill[2], Liana Drummond[1] , Carlos Alvarez[1]

Résumé

Les coproduits de viande sont issus du traitement / de la fabrication de la viande et sont générés quotidiennement en grandes quantités. Les coproduits sont considérés comme des produits à faible valeur ajoutée et, en général, difficiles à valoriser pour les industries. Alors que beaucoup de ces produits peuvent être comestibles, ceux qui ne sont pas utilisés pour la consommation humaine ou les aliments pour animaux de compagnie sont généralement transformés pour être utilisés comme aliments pour animaux, engrais ou carburant. Cependant, dans une large mesure, les coproduits de viande sont une excellente source de protéines, de minéraux et de vitamines à haute valeur nutritive et peuvent donc être mieux utilisés pour contribuer à atténuer la demande mondiale croissante de protéine. Dans cette revue, les utilisations actuelles, la législation et les techniques potentielles pour le traitement des coproduits de viande sont examinés dans le but de montrer une voie pour améliorer la durabilité de l'industrie de la viande, la rentabilité et une meilleure utilisation des ressources disponibles.

1. Introduction

La population mondiale devrait augmenter de près de 35% dans trois prochaines décennies, principalement dans les pays en développement. Cette augmentation de la population, associée à l'élévation du niveau de vie dans les pays en développement, devrait contribuer à une forte demande en protéines animales d'ici à 2050 (FAO, 2009). *« La production mondiale de viande devrait être supérieur de 16% en 2025 à la période de référence (2013-15) »* (FAO, 2009). Les habitudes alimentaires des populations, dans les pays en développement, évoluent d'une alimentation essentiellement à base de céréales vers des régimes contenant plus de protéines animales. Par exemple, en Asie, la consommation de protéines animales par habitant a augmenté de 225% entre 1961 et 2011, tandis que la consommation en protéines végétales n'a augmenté que de 22% au cours de la même période (Boland et al., 2013). Les protéines animales représentent désormais 40% du total la consommation de protéines et cela devrait continuer à augmenter (Sans & Combris, 2015). Il est prévu que, d'ici 2050, la production mondiale de viande augmente de 200 millions de tonnes pour un total de 470 millions tonnes afin de répondre à la demande (FAO, 2009). A l'échelle mondiale, La consommation de protéines animales est passée d'environ 61g/homme/jour en 1961 à 80g/homme/jour en 2011. Cette augmentation de la consommation de protéines dans les pays en développement a contribué à satisfaire les besoins nutritionnels de la population (Sans & Combris, 2015); où la croissance démographique rapide est plus significative. Dans les pays subsahariens en particulier, le taux de consommation de viande augmente beaucoup plus rapidement que dans toute autre région (FAO, 2015). Le porc est la viande la plus consommée au monde, suivie de la volaille, du bœuf et du mouton. À l'échelle mondiale, le poulet est le secteur qui connaît la croissance la plus rapide (FAO, 2009). En ce qui concerne les produits carnés transformés, dans les pays développés, les saucisses, les hamburgers et les tartes représentent près de la moitié de la viande consommée (Kearney, 2010). L'augmentation de la production de viande entraînera une augmentation concomitante des quantités de coproduits ou d'abats de viande comestibles générés; qui ont été définis par les Nations Unies (2015) comme « tout produit autre que la viande rouge ou blanche sous forme de muscles »; et des effluents (tels que l'eau provenant des process, les solutions de saumure, les exsudats ou les pertes par égouttement). Ces produits sont actuellement sous-utilisés comme sources de protéines pour la consommation humaine, indépendamment du fait qu'ils sont aussi d'excellentes sources de minéraux et de vitamines (Mullen & Álvarez, 2016). Plusieurs raisons peuvent empêcher les abats d'être utilisés à leur plein potentiel, en dépit de leurs avantages pour la consommation humaine. Par exemple, la perception des consommateurs concernant ce qui constitue une viande de haute qualité; les pratiques culturelles ou traditionnelles de consommation directe; les restrictions alimentaires, religieuses ou éthiques (Hsieh & Ofori, 2011); ou des problèmes de santé publique tels que l'ESB. En outre, d'un point de vue technique, certains obstacles tels que l'économie d'échelle, la connaissance du marché et le savoir-faire doivent être pris en

[1] Traduit en Français par l'ADIV

[2] Department of Food Quality and Sensory Science, Teagasc Food Research Centre, Ashtown, Dublin 15, Ireland
[3] Department of Food Quality and Nutritional Science, University College Cork, Cork, Ireland

compte. Nonobstant leurs utilisations en tant qu'aliment humain, les coproduits de viande sont largement utilisés en pet-food, dans les aliments pour animaux, les industries pharmaceutiques et biomédicales, la recherche ou diverses applications industrielles (comme la colle, les engrais, les textiles, les cosmétiques ou les floculants pour traitement de l'eau).

Une meilleure utilisation des coproduits animaux peut réduire l'impact environnemental d'une production de viande croissante, tout en fournissant de nouveaux ingrédients et produits (Henchion, McCarthy et O'Callaghan, 2016). De plus, si la totalité de la teneur en protéines comestibles des animaux d'élevage était utilisée comme source de protéines, le besoin d'un plus grand nombre de bétail pourrait être minimisé sans compromettre les besoins en protéines de la population mondiale; ce qui réduit l'impact environnemental de l'agriculture. Bien que les efforts visant à récupérer les protéines à partir de coproduits se poursuivent depuis un certain temps (Gault et Lawrie, 1980 ; Lawrie et Ledward, 1988); le développement de procédés de récupération de protéines à partir de ces sources a regagné en intérêt ces dernières années, comme moyen d'augmenter la valeur des coproduits d'abattoir en extrayant des protéines pour les utiliser comme ingrédient fonctionnel (Darine, Christophe, & Gholamreza, 2011) ou peptides bioactifs (Lafarga, Álvarez et Hayes, 2017). Les critères techniques d'isolement des protéines restent les mêmes : facilité d'extraction pour isoler les protéines à l'état non dénaturé ou peptides à activité biologique; absence de composés indésirables tels que des facteurs antinutritionnels, des composés colorés ou aromatisés; solubilité élevée des protéines sur une large gamme de pH et force ionique; et un profil d'acides aminés approprié (Boland et al., 2013).

En plus des propriétés techniques, des exigences réglementaires (discuté plus en détail à la section 3) inclus dans le cadre législatif, besoin d'être observé. Dans de nombreux cas, lorsqu'un produit est fabriqué dans le cadre de la transformation alimentaire primaire, ce produit serait appelé un sous-produit. Cependant, selon les règlements de l'UE, le terme sous-produit animal mentionne spécifiquement "toute partie de la carcasse d'un animal ou toute origine animale non destinée à la consommation humaine ". Dans certains cas, les sous-produits animaux peuvent être des produits d'origine animale pouvant être destiné à la consommation humaine, mais à la suite d'une décision prise part l'opérateur, décision irréversible, sont destinés à d'autres fins que la consommation humaine (Parlement européen et Conseil, 2009).

L'utilisation efficace des coproduits animaux et des viandes de faible valeur est importante pour la durabilité de l'industrie de la viande dans son ensemble. On a déjà estimé que, pour l'industrie bovine, près d'un huitième du revenu brut découle de l'utilisation efficace des coproduits (Lui, 2002); et, espérons-le, au moyen de processus et d'applications innovants, que la quantité de coproduit utilisé pour la nourriture humaine, et d'autres applications à plus forte valeur ajoutée, peut être augmentée.

2. Aperçu de la situation actuelle des abats

2.1. Rendement et composition des abats

Les poids d'une sélection de coproduits bovins, ovins et porcins sont indiqués au *tableau 1*. Le sexe, l'âge, l'espèce et le poids vif de les animaux ont une influence significative sur le poids du coproduit.

Table 1
Expected weight of co-products based on animal type and weight.

	Porcine	Bovine				Sheep
		Yearling	Steers	Cows	Bulls	
Animal Weight (kg)	60–75	200–300	300–500	300–600	400–450	55–65
Hide/skin (kg)	3.6–4.5	14–21	21–35	21–42	28–32	7.5–8.5
Bones (kg)	3.5–5.6	30–42	40–55	40–65	45–52	4.0–6.0
Head (kg)	3.6–4.5	16–24	24–40	24–48	32–35	5.5–6.5
Feet (kg)	1.0–1.5	4–6	6–10	6–12	8–9	1.1–1.3
Blood (liters)	3.5–3.8	14–16	18–25	18–36	24–26	1.5–1.8
Heart (g)	180–245	1275–1470	1200–2000	1800–2400	1687–2062	300–1000
Kidney(g)	130–220	635–940	600–1200	580–1600	800–1200	300–600
Liver(g)	1150–1660	2700–4800	3500–6200	3000–8600	5180–6400	900–2200
Lungs& Trachea(g)	750–1100	2240–2570	3980–6640	6000–8600	3480–6710	700–2000
Tongue(g)	150–210	1500–1750	1400–1880	1380–1490	1570–1940	500–600
Rumen & Reticulum(g)			6340–10,600	6000–15,500	8470–10,350	2900–4600
Omasum(g)			1800–4860	5120–8700	4310–5270	1000–1200
Abomasum(g)			1000–3030	2140–4700	2230–2730	

Adapted from Spooncer 1988; Mullen and Álvarez, 2016.

Les coproduits animaux et animaux environ 30% du poids des porcs et 44% du poids vif des bovins (Marti, Johnson, & Mathews, 2011). Par exemple, le rendement du sang et des organes est de 12% le poids vif des bovins

et de 14% chez les porcs avec peaux (Ockerman et Basu, 2014). À l'exception des poils, de la laine, des cornes et du matériel digestif, la plupart des coproduits de la carcasse est comestible, à condition que ces produits soient manipulés et traitées conformément à la législation en vigueur. Cependant, en raison de leur faible valeur marchande, de nombreux coproduits comestibles sont redirigés à des fins autres que la consommation humaine (Ockerman & Basu, 2014). Le profil nutritionnel et la composition des coproduits animaux peuvent différer de manière significative de ceux de la viande. Le sang a une teneur en humidité plus élevée (78-82% w/v selon les espèces) que la viande; le cœur, les reins et les poumons ont un teneur en humidité similaire à la viande. En raison de leur fonction physiologique, certains coproduits tels que le foie et les reins contiennent des hydrates de carbone. Par exemple dans le foie, les hydrates de carbone sont trouvés sous forme de glycogène, ce dernier peut représenter entre 8,5% (bœuf) et 15% w/w (poulet) du poids vif, sa teneur dans d'autres coproduits est généralement inférieur à 1%; ces mêmes niveaux peuvent être trouvés dans la viande. Les coproduits sont une bonne source de protéines avec des valeurs allant d'environ 15% pour la langue, à 20% pour le foie (Anderson, 1988); valeurs comparables à ceux trouvés dans la viande (16-19%). Il y a, cependant, différences dans le profil des acides aminés de la viande maigre et des coproduits; pour exemple, le pourcentage d'acides aminés essentiels (% EAA) dans le sang est de 61% de la teneur totale en protéines pour les bovins et de 58% pour les porcs; qui est significativement plus élevé que celui de la viande (% EAA environ 50%). D'autre part, les tissus riches en tissu conjonctif (CT) sont déficients en EAA, comme par exemple la peau ou les oreilles, où 93% et 71% des protéines totales est du tissu conjonctif (Mullen & Álvarez, 2016); et donc contiennent une plus haute teneur en proline et en glycine (très abondante dans le collagène) que dans la viande. Alors que globalement, la teneur en protéines et en acides aminés des coproduits est similaire au tissu maigre, il y a quelques différences notables dans la composition en acides aminés essentiels de certains coproduits; en particulier les tripes, qui ont des niveaux plus bas de valine, thréonine, isoleucine, leucine, phénylalanine et méthionine. Le poumon est également plus faible en thréonine, isoleucine, leucine et méthionine. Dans l'ensemble, la méthionine est l'acide aminé limitant pour la plupart des coproduits, avec les plus faibles niveaux observés dans le pancréas, les tripes, la langue, les poumons et les reins. La teneur en vitamines des coproduits est généralement plus élevée que celle des viandes, par exemple, le foie est riche en vitamine A, B12 et acide folique. En ce qui concerne la teneur en minéraux, à l'exception des tripes, tous les produits ont une teneur en fer et en cuivre supérieure à celle de la viande (Mullen & Álvarez, 2016).

Des informations complémentaires sur la composition des abats et des coproduits de viande peuvent être obtenues auprès de Mullen et Álvarez (2016) et du Département de l'agriculture des États-Unis (https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list).

2.2. Usages et consommation actuels

Les coproduits fournissent une gamme d'aliments qui ont une valeur nutritionnelle, avec une variété de flaveurs et de textures. Cependant, les produits considérés comme une délicieux dans une culture, pourraient être complètement rejetés dans une autre (Toldrá, Mora, & Reig, 2016). Les principaux facteurs influençant l'utilisation des coproduits animaux pour la consommation humaine sont les exigences règlementaires, l'acceptabilité du consommateur, les avantages nutritionnels et économiques (Goldstrand, 1988). Le *tableau 2* résume les principales utilisations culinaires des coproduits de viande les plus courants. Selon Nollet et Toldrá (2011), malgré l'augmentation de la consommation de viande, l'utilisation de coproduits pour la consommation humaine a globalement diminué.

Alors que les habitudes de consommation varient en fonction de facteurs tels que la culture, les traditions et les besoins, certaines tendances générales peuvent être observées. Dans Les pays européens, les foies de porc, d'agneau et de bœuf sont très appréciés pour leur haute valeur nutritionnelle ; le cœur de bovin est utilisé dans la gastronomie traditionnelle au Pérou; tandis qu'au Brésil les cœurs de poulet sont généralement torréfiés ou grillés. La langue de bœuf est très appréciée en Russie, au Japon, dans les pays méditerranéens et dans certains pays d'Amérique du Sud (Brésil et Uruguay). Les reins de porc, d'agneau ou de bœuf, sont largement consommé au Royaume-Uni. Les tripes de bœuf sont utilisées comme plats traditionnels en Ecosse, en Roumanie, en Turquie, en Bulgarie et en Espagne ; alors que les tripes de porcs sont largement utilisées comme enveloppes en charcuterie.

Table 2
Culinary uses of offal (Bovine (B), Porcine (P) Ovine (O) and Veal (V)).

Co-product	Species	Use/Preparation
Heart	B V P O	Stuffed with forcemeat and braised Roasted, Grilled, used in sausages and faggots, processed meats
Kidney	B V P O	Whole or sliced, grilled, braised or sautéed, used in pies
Liver	B V P O	Sliced and sautéed Liver sausage, pate, terrine, faggots, forcemeats
Lung	P O B	Blanch, slice thinly fry in clarified butter Sausages, braised, haggis, faggots, hash, stew
Stomach	B P V O	Tripe cooked in court bouillon and sliced Used as casings Poaching, braising, sausages Caul used in pates, terrines, and to wrap lean meats for roast
Intestines	P	Sausage casings
Muzzle/snout	B P	Brine, boil slice
Tongue	B P V O	Fresh or pickled braised or boiled, potted meats
Bones		Production of stocks and bouillon, marrow, gelatin production
Pancreas	B V O	Sweetbreads- sautéed, poached in white stock
Tail	B	Soups, stew, stock, cook in stock, press and slice
Blood	P V	Sausage, pudding, stews, plasma and red blood cells, plasma transglutaminase, used for binding and colour
Feet	P O V	Pickled, fresh cooked in white stock, pressed and sliced
Ears	P O V	Boil with mirepoix, slice for salad, fried, stuffed
Skin/hide	P B	Gelatin production
Fat		Suet

Adapted from (Saulnier and Brunet 1982; Rust 1988; Spooncer 1988; Marchello and Marchello 2005; Tarté 2009).

Dans les pays d'Amérique latine, tels que le Mexique et les pays des Caraïbes comme Cuba, les tripes sont utilisées pour cuisiner "mondongo". En Chine, un apéritif froid est fait en utilisant des tripes de bouf. Les intestins et rectum des porcs sont largement utilisés dans la plupart des pays producteurs de porcs; par exemple en Chine, dans les pays d'Asie de l'Est, en Italie, en France et dans des cultures afro-américaines, où de nombreux plats traditionnels utilisent ce coproduit comme ingrédient principal (Nollet & Toldrá, 2011).

Dans les pays africains, tous les coproduits comestibles sont transformés et consommés en alimentation humaine. Par exemple, en Afrique du Sud, *les friandises de coproduits* sont acceptées comme des plats traditionnels. En Angola, les abats sont acceptés et consommés par des personnes de tous âges (Alao, Falowo, Chulayo, & Muchenje, 2017). En Corée, en Chine et à Singapour, les abats de boeuf, canard, porc et poulet sont généralement utilisés comme ingrédients pour des soupes, ou mijotés dans une sauce soja. Au Japon, les abats de gros animaux sont rarement utilisés pour des raisons religieuses, alors que les abats de poulet sont largement utilisés après avoir été grillés. Aux Philippines, presque toutes les parties de porc sont utilisées en alimentation humaine. En Inde, au Pakistan, au Népal et au Bangladesh, les abats de caprins comme les pieds, la tête, les testicules ou la langue sont consommés. Un plat fait avec la cervelle d'agneau est populaire au Liban. Des plats Iraniens peuvent inclure le foie, le cœur et les reins des moutons comme dans certains types de kebab (Nollet & Toldrá, 2011).

En plus de leurs utilisations culinaires et nutritionnelles, les coproduits sont également utilisé dans une variété de produits comme dans la fabrication de colles et d'adhésifs (Charles, 2003), dans les secteurs médical (Pearl, 2005) et chirurgical (Maverick Biosciences, 2015) - *tableau 3*.

Table 3
Industrial, pharmaceutical, veterinary and medical uses of offal.

Product	Industrial uses	Product	Pharma, veterinary and medical uses
Stomach	Pet food, glue	Heart	Valves for surgery Pericardium used is surgery and for repair
Intestines	Sausage casing	Stomach	Digestive enzymes (pepsin, rennin, lipase, trypsin) Hormones
Bones	Mineral extraction, gelatin, pet food, collagen	Liver	Bile, heparin
Blood	Glue/adhesive, fertilizer, feed, bio-plastics	Blood	Cell culture media, vaccine stabilizer, diagnostics, blood plasma, blood serum, blood albumin, fibrinogen films used in surgery, treatment of osteoarthritis and inflammation infection, wound cleaning, thrombin
Feet	Glue production	Bones	Mineral extraction Gelatin Cartilage used in surgery
Kidney	Pet food	Pancreas	Insulin, Glucagon, pancreatic enzyme supplements
Liver	Pet food	Intestines	Mucosa used for the production of heparin Internal surgical sutures
Lung	Pet food	Lung	Heparin
Hide/skin	Leather, pet food, Gelatin for cosmetics	Skin	Gelatin Collagen Dressings, grafts initial treatment of burns
Ears	Pet food	Adrenal gland	Cortisteroids, epinephrine, norepinephrine
Fat	Soap, lubricants, paints, emulsifiers, shampoo, ink, glue, solvents,	Blood vessels	Used in surgery
Collagen	Cosmetics	Collagen	Scaffolds for cell growing

Addapted from: Ockerman and Basu, 2014; Bier et al. 2012; Charles 2003; García-Falcón & Simal-Gándara, 2005; Goldstrand 1988; Lambuthy, 2003; Lin and Gunasekaran 2010; Low et al. 2014; Marchello and Marchello 2005; Maverick Biosciences 2015; Ockerman and Hansen, 1988; Pearl 2005; Pérez-Gálvez et al. 2011; Torrallardona et al. 2002; Zeugolis et al., 2008.

La recherche sur l'utilisation de coproduits animaux dans diverses applications industrielles se poursuit, par exemple pour être utilisée comme biofloculant (Piazza & Garcia, 2010, Zhang, Garcia et Piazza, 2017).

3. Législation

Les abats sont définis par la législation de l'UE comme « de la viande fraîche autre que la carcasse, y compris les viscères et le sang » et sont soumis à la même réglementation que la viande, conformément au règlement (CE) n ° 853/2004, fixant des règles spécifiques d'hygiène pour les denrées alimentaires d'origine animale (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004). Les viscères se réfèrent aux organes des cavités abdominale, thoracique et pelvienne, y compris la trachée et l'œsophage.

Des règles spécifiques s'appliquent à la manipulation de toutes les parties d'animaux destinées à la consommation humaine, avec un fort accent sur la traçabilité et la sécurité sanitaire. La traçabilité garantit que toutes les parties d'un animal (y compris sang collecté) sont identifiables et que, si un animal est déclaré impropre à la consommation humaine, ses coproduits seront également déclarés inaptes. Le refroidissement de la carcasse et de ses parties doit être effectuée rapidement, pour assurer une diminution continue de température et assurer une température final < 3 ° C pour les abats et< à 7 ° C pour les carcasses.

Si les abats ou la viande sont destinés à la congélation, ils doivent être congelés sans retard indu tout en tenant compte d'une période de stabilisation avant surgélation (Parlement européen et Conseil des ministres européens, 2004).

Dans l'Union européenne, le terme sous-produit animal (SPA) est réservé aux produits d'origine animale qui ne sont pas destinés à consommation. L'utilisation ou l'élimination des SPA est strictement contrôlée et les SPA sont divisés en catégories 1, 2 et 3, en fonction du risque supposé, la catégorie 1 étant le risque le plus élevé pour l'homme (le Parlement et Conseil de l'Union européenne, 2009). Les parties d'animaux destinées à la consommation humaine doivent être séparées des matériaux classés comme MRS. Si les abats doivent être déclarés propres à la consommation humaine, l'abattoir doit remplir certaines conditions afin d'éviter toute contamination, telles que des salles séparées pour le travail des estomacs et intestins et la séparation dans l'espace ou dans le temps d'un certain nombre d'activités, comme l'étourdissement et la saignée; l'éviscération et la dépouille et le conditionnement d'abats.

Aux États-Unis, le Code of Federal Regulations (CFR Title 9) est responsable de la réglementation de l'utilisation des animaux et des produits nourriture humaine. Les produits couverts comprennent les ingrédients du bétail ou origine de la volaille à partir du tissu musculaire, qui sont squelettiques ou trouvés dans le les organes comestibles (avec ou sans la graisse qui l'accompagne et la sus-jacente), parties de l'os, de la peau, du tendon, du nerf et des vaisseaux sanguins accompagner le tissu musculaire, non séparé dans le processus d'habillage, viande par produits; séparé mécaniquement (espèce); et les produits de volaille. La réglementation fédérale (USDA-FSIS, 1999) définit les règles régissant la collecte et le traitement du sang consommation. En ce qui concerne l'Australie et la Nouvelle-Zélande, FSANZ (Food Standards Australie et Nouvelle-Zélande) est un organisme statutaire indépendant créé en 1991. Selon cette organisation, les abats signifient les parties de la carcasse comme le sang, le cerveau, le cœur, les reins, le foie, le pancréas, la rate, thymus, langue et tripes, mais exclut la chair, les os et les os de la viande moelle; donc les abats et la viande sont définis séparément, et les abats ne sont pas considéré comme de la viande (Code des normes alimentaires de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande - Norme 2.2.1 - Viande et produits à base de viande, 2016). Les exigences relatives à l'étiquetage de la viande et des abats coupés en Europe sont définies à l'annexe II (Le Parlement européen et le Conseil du Union européenne, 2004). L'emballage des abats et de la viande coupée doit être marqué avant de quitter l'abattoir avec une marque d'identification de forme ovale indiquant le pays où est situé l'abattoir et le numéro d'agrément de l'établissement. Bien que les abats fait partie de la partie comestible des animaux abattus, et dans le passé a été désignée sous le nom de viande non-carcasse, aux fins de l'étiquetage européen, la définition de la viande a été limitée aux muscles attachés au squelette (Commission des Communautés européennes, 2001). L'ajout d'abats (cœur, foie, langue, rein et poumon) dans toute préparation de viande doit être déclaré séparément dans la liste des ingrédients avec les espèces et le type d'abats. Les abats ne doivent pas être inclus dans le calcul de la teneur en viande du produit (La Commission des Communautés, 2001).

En Australie et en Nouvelle-Zélande, la présence d'abats dans les aliments doit être déclarée dans la liste des ingrédients ou, si la denrée alimentaire n'est pas étiquette, déclarée à l'acheteur. D'ailleurs, la présence de la cervelle, du cœur, des reins, du foie, de la langue ou des tripes dans un aliment doit être déclarée avec le nom spécifique du type d'abats ; et la présence de tout autre type d'abats dans un aliment doit être déclaré par le nom spécifique du type de déchets. (Code des normes alimentaires de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande - Norme 2.2.1 - Viande et produits carnés, 2016)

3.1. Détection de coproduits animaux dans les produits carnés

Pour assurer la confiance des consommateurs dans les produits alimentaires, la description et l'étiquetage doivent être précis, digne de confiance et fiable. Cela a une importance particulière dans les produits alimentaires transformés où les ingrédients ne sont pas facilement identifiables (Primrose, Woolfe et Rollinson, 2010). Les mélanges de la viande avec des coproduits non déclarés pose un problème d'adultération (Zhao, Downey et O'Donnell, 2014). Les méthodes d'authentification de la viande et les produits à base de viande ont été examinés par Ballin (2010). Il existe des différences dans la composition et le profil protéique de la viande et des abats, certaines de ces caractéristiques sont reflétées dans des méthodes d'analyse telles que celle quantifiant les spectres infrarouges (Al-Jowder, Defernez, Kemsley, & Wilson, 1999; Zhao et al., 2014). L'hydroxyproline du tissu conjonctif, un acide aminé représentant 8% du collagène, est facilement quantifié par une méthode colorimétrique (Kolar, 1990). L'inclusion de tissus riches en collagène dans les produits carnés peut être détectée par le pourcentage de collagène par rapport à la teneur totale en protéines. CE pourcentage est beaucoup plus faible (20%) (El, 1995) pour la viande que pour ses coproduits, par ex. peau (97%) ou oreilles (73%).

Les études sur la détection de l'adultération des burgers de bœuf frais et congelés avec des abats (cœur, poumon, rein et foie) en utilisant ATR (spectrométrie total atténuée) avec une analyse multivariée, ont eu quelques succès dans la distinction des hamburgers de bœuf authentiques et frelatés (Zhao et al., 2014). Les hamburgers de bœuf authentiques pourraient être identifiés avec 100% d'exactitude, et les hamburgers qui avaient été adultérés avec le cœur, le poumon, le foie et les reins à des niveaux de 0-20% pourraient être correctement classés comme adultérés. Les travaux antérieurs d'Al-Jowder et al. (1999), a démontré que pour le bœuf, les échantillons de viande, de rein et de foie peuvent être facilement distingués par spectres respectifs. Les échantillons qui ont été adultérés avec des niveaux de plus de 10% des abats ont été correctement identifiés. Dans la quantification d'abats ajoutés à un échantillon, les échantillons adultérés avec du foie avaient une précision de prédiction de 96% et ceux incluant le rein dans la formulation avait une précision de prédiction de 95%

L'histologie a également été utilisée pour déterminer l'authenticité de produits de viande transformés, y compris les hamburgers (Prayson, McMahon, & Prayson, 2008a), les tortellinis (Ghisleni, Stella, Radaelli, Mattiello, & Scanziani, 2010) et les hotdogs (Prayson, McMahon et Prayson, 2008b). Ces auteurs ont déterminé la teneur en viande dans les hot-dogs et les hamburgers, en utilisant une combinaison de coloration et de microscopie optique. En plus du muscle squelettique, d'autres types de tissus, y compris les nerfs, les vaisseaux sanguins, tissu adipeux, les os et le cartilage ont été trouvés dans les deux produits, cependant le tissu cérébral n'a été détecté dans aucun des deux produits. L'application de l'histologie aux produits de viande tortellini a également permis la détection des nerfs, des vaisseaux sanguins, du cartilage, de la muqueuse du tube digestif supérieur et du tissu glandulaire. Les outils plus récents sont ceux basés sur la détection immunologique (Ofori & Hsieh, 2017), l'approche protéomique (Woolfe, 2017), ou l'analyse PCR (Ghovvati, Nassiri, Mirhoseini, Moussavi, & Javadmanesh, 2009); soit pour la détection de l'inclusion de protéines non carnées, soit pour la détection d'autres espèces que ceux spécifiés dans l'étiquette.

Selon la Commission des Communautés européennes (2011), un marqueur permanent (glycéroltriheptanoate (GHT)) doit être ajouté au SPA de catégorie 1 (destinés à l'incinération) et de catégorie 2 (destiné à être utilisé dans les engrais) à un niveau d'inclusion minimum de 250 mg / kg de graisse. L'utilisation de ce marqueur empêche l'utilisation frauduleuse et inappropriée de sous-produits animaux. Une méthode pour le la détection de GHT basée sur la chromatographie en phase gazeuse (GC), avec quantification par spectroscopie de masse (MS), a été validée pour la viande séchée et la farine d'os (von Holst, Boix, Bellorini, Androni et Serano, 2012). Cependant, cette méthode ne nécessite que les transformateurs de SPA respectent pleinement l'ajout de GHT aux niveaux appropriés. Une étude de Marchis, Amato et Abete (2013), ont trouvé que 8 échantillons sur 17 testés n'étaient pas conformes à la législation, puisque GHT a été quantifié à niveaux inférieurs à la recommandation. Actuellement, il n'existe aucune méthode officielle ou validée pour détecter l'adultération dans les sous-produits animaux de catégorie 3 () (Zhao et al., 2014).

4. Procédés utilisés pour la récupération des protéines à partir des abats et des viandes de valeur

La teneur en protéines des abats est comparable à celle de la viande ; lequel leur donne un fort potentiel économique en tant que sources de nouveaux produits à valeur ajoutée et ingrédients fonctionnels (Toldrá et al., 2016).

Table 4
Methods used in the recovery of protein from animal co-products.

Method	Advantages	Disadvantages	% Yields	Products used	Reference
Surimi	Protein concentrated and fat content decreased	Low yields for some materials	45% 45% 38.% 18% 10.% 7.5%	Beef Porcine Beef Head Beef Tongue Beef Cheek Beef Weasand Meat	Mckeith et al. (1988)
Surimi	WHC of surimi higher than meat	Cook bind of products lower than those that used phosphates	42.5%	Mutton	McCormick et al. (1993)
Surimi	Colour improved, excellent gels produced	Water content of washed muscle high	[a]	Sheep Meat	Antonomanolaki et al. (1999)
Surimi	Collagen and fat reduced	Salt needed to form good gels	[a]	Beef Heart	James and Dewitt (2004)
Alkaline solubilisation/membrane concentration/isoelectric precipitation	Low process cost Good emulsification properties	Process impacts functional properties	40% 48% 15%	Beef Lung Porcine Lung MDCM	Selmane et al. (2008); Darine et al. (2010, 2011)
Alkaline solubilisation/acid precipitation	Inexpensive reagents/process	Extraction and recovery yields for some materials low	[a] 65% 60% 72% 58%	Meat Trimmings And Bones Bovine Lung Rumen Small Intestine Large Intestine	Hamilton, (1978) Lynch, et al. (2017) Gault and Lawrie, (1980)
Alkaline solubilisation	Inexpensive reagents/process	Extractability low with some materials	[a]	Bovine Lung Rumen Reticulum Omasum Abomasum Ovine Lung Stomachs	Young and Lawrie (1974, 1975)
Acid Solubilisation	Salt not needed to form good gels	Issues with using recovered protein with injection process	60.8%	Bovine Heart	Dewitt et al. (2002); James and Dewitt (2004); Vann and Mireles Dewitt, (2007)
Salt	Inexpensive reagents	Highest yields with LIS – poor functionality	45.5% 54.5% 70.1%	Beef heart Beef lip Beef skeletal muscle	Krasnowska et al. (1995)
	High ionic strength protein impart best functionalities	Low ionic strength proteins reduce functionalities	53.1% 45.9% 75.3% 90.9% 61.8%	Beef heart Beef lung Beef spleen Porcine liver Porcine lung	Nuckles et al. (1990)
Chemical hydrolysis	High yield of soluble peptides and amino acids	Techno functional properties lost due in hydrolysis. Nutritive value reduced	80%	Porcine haemoglobin	Álvarez et al. (2012)
Enzyme hydrolysis	High yield Predictable peptide sequence	Hydrolysis necessary for high yield reduces functionality	60–80% > 64% of nitrogen	Veal bone Sheep viscera	Linder et al. (1995); Linder et al. (1996) Bhaskar et al. (2007)
Subcritical water hydrolysis	No reagents required Peptide size controlled	High cost of equipment Amino acid degradation		Porcine haemoglobin	Álvarez et al., (2012); Álvarez et al., (2016)

[a] % recovery yield not given.

Cependant, la récupération des protéines peut être difficile en raison du contenu de tissu conjonctif, qui peut représenter 15-20% du total de protéines, dans des produits tels que les poumons ou le foie, et jusqu'à > 90%, comme dans cartilages ou peaux. Le principal composant du tissu conjonctif, le collagène, est une protéine très stable résistante aux méthodes d'extraction courantes ; empêchant d'autres protéines d'être récupérées. En outre, les méthodes d'extraction doivent équilibrer le rendement de la protéine récupérée avec potentiel effets négatifs sur les propriétés des protéines extraites.

Une variété de processus a été appliquée pour la récupération de l'ensemble protéines issues des abats et des morceaux de faible valeur, pour des applications telles que la viande analogues, diluants ou comme ingrédient alimentaire et ceux-ci sont résumés dans Tableau 4.

Les processus d'extraction comprennent un processus semblable à celui du surimi (Desmond & Kenny, 1998), l'extraction du sel (Nuckles, Smith et Merkel, 1990) et précipitation de solubilisation isoélectrique (ISP) également connue sous le nom de changement de pH (Selmane, Christophe et Gholamreza, 2008). Par exemple, des recherches récentes (Álvarez, Drummond, & Mullen, 2018a), réalisées à Ashtown Teagasc (Dublin, Irlande), axée sur la récupération des protéines plasma sanguin, exsudats de jambon, solutions de saumure, peaux, poumons de bovins et graisses de prétraitement. Les tests sur la fonctionnalité de ces protéines dans un système à base de viande ont montré que, à des niveaux d'inclusion allant jusqu'à 10% de la teneur totale en protéines, il n'y avait pas d'impact négatif sur les propriétés du produit final. Chacun des extraits protéiques a été obtenu au moyen de process. Par exemple en utilisant des processus enzymatiques spécifiques pour solubiliser et extraire les protéines à base de collagène des peaux; précipitation sélective des protéines présentes dans les saumures

en modifiant le pH de la matière première, suivi de la centrifugation; ou de la manière la plus simple par pulvérisation pour sécher la matière première, par ex. exsudats de jambons.

Lorsque les protéines sont extraites de coproduits de viande pour exploiter leur propriétés techno-fonctionnelles dans les formulations alimentaires, les solutions aqueuses sont les tampons préférés pour l'extraction. Et ce, deux raisons principales: ils n'ont pas d'impact négatif sur la structure et la fonctionnalité des protéines comme le font les solvants organiques, et ces systèmes se prêtent être de qualité alimentaire. Enfin, les protéines solubles et insolubles sont généralement séparées par centrifugation (Aluko, 2004) et stabilisées par moyens de séchage, d'emballage sous vide ou d'ajout de conservateurs, jusqu'à utilisation finale. Ces produits peuvent ensuite être ajoutés aux formulations alimentaires, où ils peuvent effectuer plusieurs rôles fonctionnels tels que des liants, des émulsifiants ou agents gélifiants.

En revanche, lorsque les peptides ou les fragments de protéines sont les produits finaux, d'autres procédés tels que l'hydrolyse enzymatique (Linder, Fanni, Parmentier, Sergent et Phan-Tan-Luu, 1995), hydrolyse alcaline (Gault & Lawrie, 1980), hydrolyse acide (Dewitt, Gomez, & James, 2002) ou hydrolyse de l'eau sous-critique (SWH) (Marcet, Álvarez, Paredes, & Díaz, 2016) peuvent être employés. Après hydrolyse des protéines, les propriétés techno-fonctionnelles souhaitées peuvent être perdues, en particulier le pouvoir gélifiant et la capacité de rétention d'eau; tandis que d'autres propriétés telles que la solubilité peuvent être améliorées. L'aspect le plus intéressant des hydrolysats est que de nouvelles biactivités peuvent être débloquées, conduisant à une nouvelle gamme de produits. Après que des peptides aient été générés, des technologies membranaires et des techniques chromatographiques sont couramment utilisées pour leur purification (Di Bernardini et al, 2011).

4.1. Extraction de protéines intacte

4.1.1. Surimi

Le surimi est un produit de la mer japonais fabriqué par lavage-hachage de poisson, généralement le poisson blanc. Au cours du processus, les protéines hydrosolubles, les enzymes, le sang et les minéraux sont éliminés, améliorant la stabilité du produit et la concentration des protéines myofibrillaires (Antonomanolaki, Vareltzis, Georgakis et Kaldrymidou, 1999). Après préparation, le produit est mélangé avec des cryoprotecteurs, pour augmenter la stabilité protéique (Wang & Xiong, 1998) et est congelé (Desmond et Kenny, 1998; Whitehead, Church et Knight, 1993). Le procédé permet d'obtenir une fraction protéique semi-purifiée avec une teneur élevée en protéines myofibrillaires et a été appliqué, avec quelques modifications, à la transformation de la volaille (Smyth et Neill, 1997), de la viande rouge (McCormick, Burgen, Field, Rule et Busboom, 1993) et des abats (Srinivasan & Xiong, 1996). Les muscles et les abats de viande rouge contiennent généralement plus de matières grasses, myoglobine, hémoglobine et tissus conjonctifs (Park, Brewer,

Mckeith, Bechtel et Novakofski, 1996); entraînant des différences dans la rendement et propriétés du produit « surimi ». Par exemple, en raison de forte teneur en protéines myofibrillaires, le surimi de bœuf ou de porc est dur et élastique après cuisson (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel et Novakofski, 1996). Les rendements d'extraction utilisant le process « surimi » varient en fonction des propriétés de la matière première. Les rendements d'extraction observés sont 45% p / p pour le bœuf maigre; 38% pour le maigre porcin; 18% pour la langue de bœuf et 10% pour la viande de bœuf (Mckeith, Bechtel, Novakofski, Park et Arnold, 1988). Le process « surimi » avec de la viande de mouton désossé à la main a donné une récupération de protéines de 42,5%, bien que les rendements soient plus faibles avec le mouton, en raison de la perte de protéines sarcoplasmiques dans les eaux de traitement (McCormick, Burgen, Field, Rule et Busboom, 1993). Selonlxes conditions de traitement et les caractéristiques de la matière première, la teneur en tissu conjonctif dans les produits de surimi peut être concentré. Cependant, la teneur en tissu conjonctif dans le produit fini peut être réduite si un processus de dépistage est utilisé dans le premier lavage, comme le collagène est enlevé avant la déshydratation (Kang et al., 2007).

Le procédé de lavage à l'eau dans la production de surimi à partir de viande de bœuf hachée a pour effet de concentrer les taux d'acide aspartique, de thréonine, sérine, acide glutamique, alanine, méthionine, isoleucine, leucine, tryptophane, phénylalanine, lysine et arginine. La teneur en histidine, dans les protéines lavées, a été réduite par rapport au bœuf haché et la proline, la glycine et la valine sont inchangées. Dans le procces « surimi » de muscles de porc, la teneur en glycine et histidine étaient plus bas que dans les tissus tranchés, tandis que l'acide aspartique, la proline, l'alanine, la valine et la phénylalanine étaient inchangés. Dans le surimi de bœuf et

de porc, les composés azotés non protéiques ont été éliminés dans le processus de lavage (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel et Novakofski, 1996). Les chercheurs ont également signalé que le processus de lavage élimine la thiamine soluble dans l'eau, ainsi que du potassium, du sodium et du magnésium. Cependant, les niveaux de calcium, de cuivre, de fer et de zinc n'ont pas été affectés par le procédé. C'est probablement dû au fait que ces minéraux sont associés à des structures insolubles des protéines et sont donc conservés, tandis que les minéraux solubles dans l'eau sont plus facilement perdu pendant le processus. Le lavage à l'eau n'a pas affecté le niveau de cholestérol, bien que la teneur en matière grasse ait été réduite dans le surimi de viande de mouton (Antonomanolaki, Vareltzis, Georgakis et Kaldrymidou, 1999; McCormick, Burgen, Field, Rule et Busboom, 1993) et le surimi de bœuf (Park, Brewer, Mckeith, Bechtel et Novakofski, 1996). Ces résultats suggèrent que l'étape de hachage et de mélange laisse la membrane contenant le cholestérol intacte. Le process de lavage de bœuf et porcin, cependant, élimine les composants de faible poids moléculaire, concentrant ainsi les protéines myofibrillaires dans le produit lavé à l'eau.

Le matériel similaire au surimi de mouton a été utilisé comme liant dans les produits de viande rouge restructurés, car sa capacité de rétention d'eau (WHC) est supérieure à celle de la viande désossée. L'ajout de 5% de surimi a réduit la quantité de sel et de phosphates nécessaires pour lier le produit final, sans affecter sa qualité. De plus, les essais sensoriels n'ont pas permis de différencier les produits contenant du surimi ajouté de ceux contenant du sel ou du phosphate (McCormick, Burgen, Field, Rule et Busboom, 1993). Les propriétés gélifiantes du surimi du muscle squelettique porcin étaient meilleures que ceux du surimi cardiaque (Kang et al., 2007). Le surimi de cœur de porc avait un WHC et pouvoir gélifiant inférieurs à ceux du muscle squelettique, tandis que la perte de cuisson était plus élevée. WHC réduit du surimi du muscle cardiaque peut avoir affecté la capacité de formation de gel et peut être une indication que les protéines du muscle cardiaque n'étaient pas suffisamment dissociées avec le sel et phosphate, entraînant une perte de cuisson plus importante (Kang et al., 2007). La capacité de rétention d'eau du surimi comme matière de viande de mouton était supérieure à celle de la viande de mouton elle-même, et cela est probablement dû à une concentration plus élevée de protéines myofibrillaires dans le surimi de viande de mouton et à l'élimination des protéines sarcoplasmiques aux propriétés contractiles (Antonomanolaki, Vareltzis, Georgakis et Kaldrymidou, 1999). Le surimi de cœur de bœuf a le potentiel dans la fabrication de saucisses de type émulsion et l'inclusion à des niveaux de 3% et plus améliore la texture. Ce surimi peut être ajouté à un taux allant jusqu'à 15% dans les produits de type francfort entrainant la réduction des pertes de cuisson et diminution des valeurs de cisaillement. L'analyse sensorielle a montré cette tendreté a augmenté avec un ajout de 7-15% de surimi, alors que l'acceptabilité globale des saucisses de Francfort contenant 7 et 10% de surimi était plus élevé que le témoin (Desmond et Kenny, 1998). Bien que le surimi de la viande et des abats ait montré un potentiel en tant qu'ingrédients fonctionnels dans les viandes transformées, il existe des interactions indésirables. L'oxydation des lipides dans les produits carnés a été provoquée par l'ajout de surimi de cœur de boeuf, et cela a été attribué aux niveaux de l'hème et du fer, comme ainsi que des lipides insaturés. Ainsi, le développement de flaveurs associées à l'oxydation des lipides limite le potentiel du surimi de cœur de bœuf (Desmond et Kenny, 1998; Kenney, Kastner et Kropf, 1992).

Bien que certaines propriétés fonctionnelles, telles que la gélification, l'émulsification ou la capacité de liaison de la viande et des abats est améliorée grâce au traitement au surimi en raison de la concentration en protéines myofibrillaires, ces les propriétés peuvent être modifiées pendant la période de stockage. Les propriétés de l'émulsion du surimi de cœur de boeuf, conservées au réfrigérateur, ont été réduites au cours de la durée de stockage en raison d'une perte d'hydrophobicité de la surface de la protéine, tandis que l'élasticité des gels de protéines de surimi augmente avec la durée de conservation. L'agrégation progressive de la myosine réduit les propriétés émulsifiantes, mais amélioré les propriétés gélifiantes du surimi de coeur de boeuf pendant le stockage (Parkington et al., 2000). L'utilisation de cryoprotecteurs avait un effet protecteur effet, augmentation de la capacité de rétention d'eau et réduction de la perte de viande de bœuf surimi de cœur sur une durée de conservation congelée de 24 semaines. Cryoprotecteurs également eu un effet bénéfique sur d'autres propriétés fonctionnelles du coeur de boeuf le surimi, tel que l'activité de l'émulsion et la stabilité et la solubilité de protéines. Malgré la limitation des changements conformationnels et de la dénaturation des protéines, l'addition de cryoprotecteurs a favorisé l'oxydation des lipides et les chaînes latérales de protéines, et l'utilisation d'antioxydants serait recommandée. Le surimi de boeuf et de porc est très populaire en Chine et dans ses environs des pays. Une fois que les protéines ont été extraites, elles sont en forme de boule et utilisé comme ingrédients principaux pour les soupes ou dans les chaudrons traditionnels.

4.1.2. Extraction de sel

L'extraction de protéines solubles de coproduits bovins en solution saline aqueuse et l'évaluation plus poussée de leurs propriétés fonctionnelles dans les fractions obtenues ont été effectuées (Krasnowska, Gorska et Gergont, 1995; Nuckles, Smith et Merkel, 1990; Steen et al. 2016). Une approche commune a été utilisée pour ces études, aboutissant à une fraction avec des protéines solubles dans l'eau (extraite à l'aide d'un tampon phosphate de sodium à pH 7,4); et une fraction avec des protéines solubles dans le sel (extraites en utilisant le même tampon avec 0,6 M de NaCl ajouté).

Le rendement de ce processus dépend notamment de la composition de la matière première. Par exemple, le cœur de bœuf, le poumon et les babines contenaient environ 50% (p/p) de fraction protéique soluble, composée principalement de l'actine et la myosine (Krasnowska, Gorska et Gergont, 1995; Nuckles, Smith et Merkel, 1990), tandis que la fraction protéique insoluble restante était principalement composée de collagène; qui n'est pas solubilisé par l'extraction de sel. Les protéines musculaires squelettiques, en revanche, ont une fraction protéique insoluble inférieure à 30% du poids total et la majorité de la protéine peut être extraite sous forme de protéine soluble dans le sel. Le foie de porc avait la quantité minimale de protéines insolubles (environ 10% du poids total) correspondant également à la plus faible teneur en collagène (Steen et al., 2016). La caractérisation des fractions protéiques des coproduits en utilisant SDS-PAGE montre que l'actine et la myosine n'ont pas été détectées dans la fraction de protéine insoluble (Nuckles, Smith, & Merkel, 1990), tandis que la les fractions solubles dans l'eau contiennent des protéines dans la gamme de poids moléculaire cela correspond à des fragments de myofibrilles (Steen et al., 2016).

L'évaluation des propriétés fonctionnelles des coproduits, dans un système alimentaire modèle de saucisses montre qu'à des niveaux plus élevés de sel soluble les protéines ont un effet bénéfique sur les propriétés de texture et de réchauffement des rendements, à l'inverse des protéines solubles dans l'eau (Nuckles, Smith et Merkel, 1990). L'évaluation des propriétés fonctionnelles des protéines extraites des muscles squelettiques et des co-produits a montré que les extraits de co-produits ne sont pas aussi performants que des extraits de muscles squelettiques dans les domaines de l'émulsification ou de la gélification. Dans tous les cas, les protéines solubles dans le sel ont donné de meilleurs résultats que les protéines solubles dans l'eau.

4.1.3. Changement de pH par acide/alcali

Ce processus exploite la solubilité dépendante du pH des protéines musculaires pour la solubilisation et la précipitation supplémentaire des protéines. Le pH de solubilisation, soit acide (1 à 3) ou alcalin (9 à 12), favorise le côté chaînes de la protéine pour avoir une charge positive (acide) ou négative (alcalin). En conséquence, les interactions protéine-protéine sont réduites, les interactions entre l'eau et les protéines sont favorisées et la solubilisation des protéines se produit. Dans un second temps, les protéines solubilisées sont précipitées en ajustant le pH au pH isoélectrique (4 à 6) puis séparées par centrifugation (Kristinsson, Theodore, Demir et Ingadottir, 2005). La méthode a été largement utilisée avec les coproduits du poisson (Kristinsson et Ingadottir, 2006; Taskaya, Chen et Jaczynski, 2009; Vareltzis & Undeland, 2012) et de la transformation de la volaille (Hrynets, Omana, Xu et Betti, 2010; Omana, Xu, Moayedi et Betti, 2010). Lorsque sont extraites les protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires des coproduits de viande, la filtration ou la centrifugation élimine un résidu de tissu conjonctif (Lynch, Álvarez, O'Neill, Keenan et Mullen, 2017). Les ingrédients des protéines produites en utilisant une solubilisation acide en combinaison avec une filtration ont été approuvé comme sûr (GRAS) aux États-Unis. A la condition que l'ingrédient soit utilisé dans les produits de la même espèce à partir de laquelle il a été dérivé. Les ingrédients dérivés des parages de bœuf ont été approuvés par la FDA pour une utilisation en tant qu'agent liant l'eau pour améliorer l'humidité et réduire la perte de cuisson dans les produits de bœuf (Hibbert, 2009). Des ingrédients similaires ont également été approuvés à partir de porcins (GRN 314), fruits de mer (GRN 168) et volaille (GRN 147).

Les facteurs influant sur le processus de changement de pH sont les suivants: valeur du pH, durée, température, rapport solvant / échantillon, composition de la matière première (Lynch, Álvarez, O'Neill, Keenan et Mullen, 2017) et la concentration en sel (Dewitt, Gomez et James, 2002). L'extraction utilisant un ratio élevé de solvant comme matériel se traduit par un rendement d'extraction élevé, avec une solution à faible teneur en protéines, tandis que l'extraction avec des ratios plus faibles donne une viscosité et une solution de teneur en protéines avec un faible rendement en protéines (Hamilton, 1978); une telle viscosité doit être prise en compte pour un traitement ultérieur tel que la filtration ou le pompage. La présence de NaCl augmente la quantité de protéine soluble dans la gamme de pH de 4,5 à 5,0, mais en dehors de ces pH valeurs, l'augmentation de la teneur

en NaCl diminuait l'extractibilité des protéines, indiquant que l'extraction des protéines est la plus efficace pour les faibles forces ioniques (Young & Lawrie, 1974). La composition du matériau affecte également l'extractabilité et le rendement en protéines des coproduits animaux. Comme précédemment décrit, le collagène est très stable contre les valeurs de pH extrêmes, donc le changement de pH n'affecte pratiquement pas cette protéine. Les matières premières avec haute teneur en collagène ont rapporté des rendements d'extraction plus faibles que ceux avec tissu conjonctif inférieur (Gault & Lawrie, 1980).

Des temps d'extraction supérieurs à 2 heures ont permis une récupération accrue des protéines, tandis que l'augmentation de la température d'extraction a entraîné une augmentation de la quantité de collagène solubilisé (Swingler & Lawrie, 1979). De plus, l'augmentation du temps d'extraction et de la température peuvent entraîner une dégradation des protéines et la génération d'anti-nutritionnel des facteurs tels que la formation de lysinoalaine (LAL); cependant, ce n'était pas détecté dans la protéine extraite à pH 10 pendant 8 h à des températures inférieures à 40°C. L'augmentation de la température d'extraction à 60°C a conduit à la détection de LAL dans l'extrait à tous les temps d'extraction. Alors que l'augmentation du temps d'extraction a augmenté les rendements en protéines, le temps d'extraction supérieur à 2h peu d'effet dans l'augmentation du rendement en protéines et des coproduits extraits au 20°C pendant 2h montrent une extraction de protéines supérieure à 50%. Dans une enquête récente, l'utilisation de poumons bovins et porcins comme matière première (Lynch, Álvarez, O'Neill, Keenan et Mullen, 2017), il a été démontré que le plus les paramètres pertinents dans le rendement d'extraction des protéines sont le pH et l'échantillon rapport de solvant; alors que le temps et la température, bien que statistiquement significatifs, ont eu moins d'effet sur le rendement global. En ce sens, pour les industriels applications, la température ambiante et les temps d'extraction ne dépassent pas 20 min sont recommandés. Les études sur l'effet du temps et de la température sur la récupération de la protéine du poumon bovin à pH fixe de 9,0 a montré que il y avait des augmentations nominales du rendement avec une augmentation du temps et température (Darine, Christophe et Gholamreza, 2010), cependant l'augmentation du temps d'extraction ou de la température n'était pas justifiée par une du point de vue des applications industrielles, les différences ayant disparu lorsque la protéine soluble a été récupérée par précipitation isoélectrique.

La solubilisation alcaline des protéines des sous-produits d'abattage a été réalisée par Selmane, Christophe et Gholamreza (2008). Une extraction à 20 ° C pendant 60 min à pH 9,0 a eu pour résultat une solubilité dans les protéines. Rendement de 75% pour le poumon de porc, 63% pour le poumon de boeuf et 83% pour le MDCM (viande de poulet désossée mécaniquement). Cela prouve que le collagène, plus abondante dans le poumon bovin, joue un rôle important dans le rendement obtenu. Par la suite, les protéines solubles peuvent être récupérées soit par technologie membranaire ou précipitation isoélectrique. Au cours du processus de membrane filtration, l'encrassement est devenu un problème avec MDCM après seulement 15 min, dans les conditions de filtration testées dans cette expérience, dues à la teneur élevée en lipides du matériau. L'encrassement n'est devenu qu'un problème avec des protéines pulmonaires bovines et porcines solubles après 100 min. L'ensemble le rendement en protéines après filtration était de 48% pour le poumon de porc, de 40% pour le bœuf poumon et 15% pour MDCM. Cependant, lorsque les protéines solubles du MDCM a été récupéré par précipitation acide à pH 4–4,5, rendement en protéines final de 55% ont été observés. Ces chercheurs ont également découvert que le traitement les conditions ont influencé les propriétés fonctionnelles; par exemple, le filtrat d'une protéine pulmonaire porcine utilisant une taille de pores de 100 nm a commencé à se gélifier à 45 ° C et avait une force maximale de gel de 35 000 Pa par rapport à une température de gel de 58 ° C et une force de gel maximale de 30 000 Pa pour les protéines concentrées en utilisant une taille de pores de 20 nm. Des résultats similaires ont été trouvés pour le poumon de bœuf. Les propriétés émulsifiantes des protéines de bœuf et de poumon de porc sont comparables aux ingrédients commerciaux tels que le caséinate de sodium et le lactosérum protéine. En ce qui concerne MDCM, le processus d'extraction des lipides appliqué réduit propriétés fonctionnelles à l'exception des propriétés émulsifiantes. Comparaison des propriétés fonctionnelles du poumon de bœuf purifié en utilisant la membrane filtration ou la précipitation isoélectrique ont montré que la précipitation est une méthode appropriée et que les propriétés fonctionnelles sont similaires à celles des concentrés de protéines pulmonaires de bœuf purifiés par filtration.

La solubilisation acide est une alternative à la solubilisation alcaline. Il a été utilisé pour récupérer des protéines avec des propriétés techno-fonctionnelles de cœur de bœuf, qui a été choisi comme modèle pour les viandes rouges (Dewitt, Gomez et James, 2002). Les variables de processus évaluées étaient: post mortem temps, concentration en sel et pH. Le temps post mortem n'a pas eu d'impact la solubilisation des protéines et peu de

différence a été observée entre 3 et 24 h. Cela permettra une période de stockage pour la collecte de produits suffisants améliorer la viabilité économique et l'extension du processus. La solubilité de la protéine était, comme dans l'extraction alcaline, affectée par le pH et teneur en sel dans le solvant. L'impact de l'ajout de sel a été observé dans les protéines la solubilisation et la récupération des protéines solubles par précipitation, avec le rendement en protéines totales obtenu aux deux stades diminue à mesure que la concentration en sel augmente. L'évaluation de protéines solubilisées à partir de cœur de bœuf comme alternative aux phosphates a été étudié par Vann et Mireles Dewitt (2007). En conséquence, le niveau de sel ajouté au produit, y compris les protéines extraites, était environ la moitié de celui ajouté au produit fabriqué en utilisant des phosphates. Cependant, quelques inconvénients ont été observés: le nombre de plaques aérobies au jour 9 était significativement plus élevé pour les steaks amélioré en utilisant des protéines solubles en raison de la teneur plus élevée en NaCl dans les steaks enrichis en phosphate; les produits d'oxydation des lipides étaient significativement plus élevé pendant la durée de conservation des steaks enrichis en protéines solubles; et cuisinier la perte était significativement plus élevée dans les steaks enrichis en protéines que ceux enrichi en phosphate. Cela indique que bien que les protéines solubilisées dans le cœur de bœuf soient prometteuses en tant qu'ingrédient fonctionnel, il faut étudier les interactions avec d'autres ingrédients pour s'assurer que ces extraits de protéines peuvent être utilisés par la transformation des aliments établis méthodes.

En raison des conditions utilisées dans le processus de récupération de la protéine de changement de pH (solubilisation acide ou alcaline suivie d'une précipitation acide), ceci processus pourrait potentiellement avoir un effet bénéfique sur la réduction microbienne compte dans la protéine récupérée. Cependant, au mieux de nos connaissances, les études les plus récentes ont été réalisées principalement avec des protéines de poisson (Lansdowne, Beamer, Jaczynski et Matak, 2009a; Lansdowne, Beamer, Jaczynski et Matak, 2009b; Otto, Beamer, Jaczynski et Matak, 2011; Ronaghi, Beamer, Jaczynski et Matak, 2016); et aucun travail récent évaluant l'impact du processus d'extraction sur la charge microbienne n'a ont été publiés en utilisant des co-produits de viande. L'impact du changement de pH procédé, par solubilisation acide ou alcaline, sur les aspects microbiens des co-produits animaux et leurs protéines isolées ont été étudiés par Swingler, Naylor et Lawrie (1979). Il a été constaté que, en alcalin conditions, une diminution de la croissance bactérienne à 30°C est observée lorsque le pH d'extraction est augmenté et, au moins, une réduction de 90% a été observée lorsque pH d'extraction était de 10, avec la plus grande réduction observée dans la première 2 h d'extraction. En ce qui concerne les protéines de poisson, il a été rapporté que la truite arc-en-ciel inoculée avec Escherichia dans des conditions alcalines (pH 12,5). Cependant, ni acide ni alcalin les conditions étaient suffisantes pour produire un effet de pasteurisation nette pour E. coli ou Listeria innocua (Lansdowne et al., 2009a; Lansdowne et al.,2009b). En outre, il existe également des preuves montrant que l'acide utilisé pour précipiter les protéines, à partir de protéines alcalines solubilisées, influe sur l'effet bactéricide du procédé, en fonction de l'acide employé (Ronaghi, Beamer, Jaczynski et Matak, 2016; Otto, Beamer, Jaczynski et Matak, 2011). Bien qu'il soit évident que le pH change processus entraîne une réduction des populations microbiennes, le processus utilisé pour la récupération des protéines n'élimine pas ces populations complètement. Sur la base des résultats observés avec le processus de changement de pH, il peut y avoir être en mesure d'augmenter la réduction microbienne observée en optimisant le pH, durée, température et type d'acide dans le processus.

Il y a peu d'informations disponibles publiquement sur l'industrie applications de ce processus. Proteus Industries, n.d (MA, USA) utilise cette technologie pour générer des solutions de protéines ou des suspensions de poisson, matières premières pour le poulet et le bœuf à utiliser comme enrobeuse pour le bœuf, le poulet poisson avant la friture, réduisant la teneur en graisse du produit final (Disponible sur http://www.proteusindustries.com/). De plus, les protéines de bœuf extraites par solubilisation acide ont été déclarées GRAS en 2009 (avis GRAS, 2009).

4.2. Extraction de peptides par hydrolyse

Contrairement aux méthodes décrites ci-dessus, les méthodes d'hydrolyse sont basées sur la décomposition des liaisons peptidiques des protéines présentes dans la matière première, donnant des peptides et des acides aminés libres. Les protéines une fois transformés en peptides, qui présentent généralement une très grande solubilité, peuvent être facilement séparés des protéines non hydrolysées et récupéré en outre par centrifugation, filtration ou précipitation. Plusieurs méthodes ont été employées à cet effet, notamment enzymes, acides forts ou bases, ou eau sous-critique.

4.2.1. Hydrolyse enzymatique

Les méthodes les plus couramment utilisées pour l'hydrolyse des protéines sont les suivantes: ceux basés sur l'utilisation d'enzymes. En règle générale, les principaux facteurs affectant le processus d'hydrolyse est le temps de traitement, le pH, la température, la spécificité enzymatique et le rapport protéine / enzyme. De nombreuses critiques ont été publiées concernant l'utilisation de coproduits de viande et d'abats pour générer des peptides, soit pour sa valeur nutritionnelle, ses propriétés fonctionnelles modifiées ou pour déblocage des bioactivités telles que la capacité antioxydante, antihypertensive, antimicrobienne ou métallique (Bah, Bekhit, Carne et McConnell, 2013; Di Bernardini et al., 2011; Lafarga, Álvarez et Hayes, 2017).

Le contrôle du degré d'hydrolyse (DH) est essentiel pour assurer la propriété de l'hydrolysat final. DH est le pourcentage de liaisons peptidiques totales hydrolysées à la fin du processus, en supposant que 100% représente DH lorsque la protéine est complètement transformée en amino libre acides. Habituellement, une DH élevée correspond à un poids moléculaire très bas les peptides; teneur élevée en acides aminés libres; un rendement de récupération accru de protéine-azote; une perte de propriétés fonctionnelles; solubilité améliorée et plus de goût amer. Par exemple, l'hydrolyse enzymatique de l'os de veau a été réalisée et les paramètres d'hydrolyse ont été contrôlés pour assurer que DH n'était pas supérieur à 8% empêchant la formation de goût amer (Linder, Fanni et Parmentier, 1996).

Hydrolyse de la masse viscérale de mouton après traitement thermique (121 ° C sous pression) et dégraissage partiel, en utilisant un champignon commercial la protéase à pH neutre et à température modérée donne un azote récupération de plus de 60%, en utilisant un ratio de substrat enzymatique de 1% (Bhaskar, Modi, Govindaraju, Radha et Lalitha, 2007).

Plus récemment, l'utilisation de méthodes in silico a été utilisée pour identifier des peptides de substrats spécifiques avec des fonctionnalités ciblées.

Des travaux récents de Lafarga, O'Connor et Hayes (2015) ont identifié des peptides dotés d'une fonction inhibitrice de la PEP (prolyl endopeptidase) qui ont été associés à une amélioration de la fonction cognitive. Le travail était basé sur la utilisation de substrats contenant de la proline provenant de coproduits d'origine animale, y compris collagène, actine, myosine et albumine sérique.

Les protéines sanguines ont attiré l'attention des chercheurs, en particulier de l'hémoglobine, pour générer des peptides bioactifs. Par exemple, selon Bah, Bekhit, Carne et McConnell (2013), l'hydrolyse enzymatique de l'hémoglobine peut conduire à la génération de peptides, qui sont connus pour avoir des activités antihypertensives, antioxydantes, antimicrobiennes, liantes minérales, pouvoir réducteur, opioïdes, antigénotoxiques ou de croissance bactérienne. Dans les recherches en cours, notre groupe essaie améliorer l'hydrolyse enzymatique des globules rouges pour obtenir des peptides antioxydants et antimicrobiens. Paramètres clés tels que l'agitation, rapport protéine / enzyme et les processus en aval sont en cours d'évaluation pour valider les résultats obtenus à l'échelle du laboratoire.

4.2.2. Hydrolyse non enzymatique

L'hydrolyse non enzymatique a été utilisée pour récupérer les acides aminés et des peptides de coproduits d'origine animale au moyen de différentes techniques tels que l'hydrolyse chimique en utilisant des acides forts et des alcalis; ou hydrolyse de l'eau sous-critique (SWH), lorsque des pressions et des températures élevées sont combinées pour couper les liaisons peptidiques. Cependant, les propriétés technofonctionnelles sont perdues en raison des conditions de traitement, bien qu'un On observe une augmentation de la solubilité (Marcet, Álvarez, Paredes et Díaz, 2016). Le produit résultant peut encore avoir des applications nutritionnelles. la supplémentation (Álvarez, Rendueles et Díaz, 2012). Génération d'acides aminés et peptides de la fraction d'hémoglobine de porc le sang a été obtenu en utilisant les deux substances alcalines (Álvarez, Rendueles et Diaz, 2013) et l'hydrolyse acide (Álvarez, Rendueles et Diaz, 2012). Les protéines hydrolysées par l'acide ont des applications comme exhausteurs de goût et également dans le domaine de la biotechnologie en tant que milieu de culture et microbiologique. Au cours de l'hydrolyse acide, les acides aminés essentiels, le tryptophane, la méthionine, la cystéine est détruite et la glutamine et l'aspartame sont convertis en acide glutamique et aspartique. L'hydrolyse alcaline est également destructive avec les acides aminés sérine et thréonine étant dégradés; cependant, tryptophane n'est pas perdu pendant le traitement (Pasupuleti & Demain, 2010). Comme l'acide et les processus d'hydrolyse alcaline sont destructeurs d'amino particulier acides, il a été suggéré qu'il

serait bénéfique d'effectuer des hydrolyse acide et alcaline séparée. En mélangeant l'acide et alcalin hydrolyser l'hydrolyse est arrêté avec peu besoin de plus réactif pour neutraliser le pH, et uniquement sérine, thréonine, méthionine et la cystéine seront détruites dans le produit combiné (Álvarez, Rendueles et Diaz, 2013). Des acides aminés et des peptides ont été extraits de coproduits de volaille (Zhu et al., 2010), les protéines sanguines comme hémoglobine et albumine (Álvarez, Tiwari, Rendueles et Díaz, 2016; Rogalinski, Herrmann et Brunner, 2005) et Fish (Xian, Chao, Liang, & Cheng, 2008) en utilisant une hydrolyse sous-critique de l'eau. L'eau est maintenu à l'état liquide à des températures supérieures au point d'ébullition appliquer une haute pression. Dans ces conditions, les protéines sont libérées de la matrice et hydrolysé en peptides et acides aminés libres (Marcet, Álvarez, Paredes et Díaz, 2016). La valeur des coproduits d'origine animale peut être augmentée en récupérant les acides aminés et les peptides en utilisant les méthodes d'hydrolyse mentionnées ci-dessus, toutefois, en raison de la perte de structure protéique native, ils n'auront pas d'applications en tant que techno ingrédient fonctionnel.

4.3. Processus en aval

Après extraction des protéines, soit sous forme de peptides, soit sous forme intacte protéines, elles doivent être traitées pour améliorer leur la stabilité; pureté (présence de sels ajoutés lors du processus d'extraction ou présence de protéines indésirables); ou pour éliminer l'excès d'eau pour obtenir une poudre de protéines, plus facile à manipuler et à incorporer dans les formulations de produits.

Les technologies membranaires (ultrafiltration, nanofiltration, tangentielle fluxfiltration, dialyse, électro dialyse ou osmose) sont souvent utilisés pour enlever les sels et concentrer les protéines d'intérêt ou les fractionner les protéines en fonction de leur taille moléculaire (Selmane, Christophe et Gholamreza, 2008; Galanakis, 2012). Malgré les avantages que de tels technologies, certains inconvénients doivent être pris en compte. Le formation d'un gel dans la surface active de la membrane, ce qui conduit à une perte d'efficacité en termes de permeationflux est l'une des principales difficultés rencontrées. Lorsque la restriction de débit devient sévère, un nettoyage une étape doit être effectuée, ce qui retarde le processus de production global. Des efforts prometteurs pour éviter cet effet d'encrassement ont été proposés, exemple l'utilisation de membranes fonctionnalisées en utilisant de l'oxyde de graphène (Kumar, Mcglade, Ulbricht et Lawler, 2015); l'application de champs magnétiques perpendiculaires à la membrane (Zin et al .; 2016) ou en utilisant la technologie des membranes vibrantes (Mohammad, Ng, Lim, & Ng, 2012).

Les technologies membranaires sont fréquemment utilisées comme pré-concentration étape avant le processus de séchage final. Le séchage par pulvérisation est bien établi méthode de séchage des ingrédients alimentaires, principalement en raison de sa grande capacité de traitement et de sa facilité relative à contrôler et à optimiser. Comme avantage supplémentaire, comparé à un séchage plus traditionnel méthodes, le temps de contact à haute température est très court, aidant à préserver les propriétés thermolabiles du matériau source (Murugesan & Orsat, 2012). Cependant, lorsque les produits sont sensibles à la température besoin d'être séché, lyophilisation ou lyophilisation pourrait être le préféré technique, car aucune haute température n'intervient, bien que le coût de traitement soit nettement plus élevé (Mumenthaler & Leuenberger, 1991).

Pour les peptides bioactifs, des techniques chromatographiques peuvent être appliquées en tandem avec la filtration sur membrane, pour purifier et concentrer des composés possédant la bioactivité d'intérêt. En utilisant ces techniques, les composés peuvent être séparés en fonction de propriétés telles que l'hydrophobicité, le point isoélectrique ou les caractéristiques de charge. Fréquemment, plus une technique chromatographique est combinée pour obtenir la cible peptide (Di Bernardini et al., 2011). Bien que techniquement réalisable, La séparation chromatographique à l'échelle industrielle est excessivement coûteuse et ne convient que pour des produits à très haute valeur ajoutée.

4.4. Technologies émergentes et nouveaux procédés d'extraction des protéines

Les méthodes décrites jusqu'à présent peuvent être considérées comme traditionnelles ou fondées dans les techniques traditionnelles, telles que l'extraction par solvant, l'utilisation de qualité alimentaire enzymes, effets de relargage et de relargage, systèmes de filtration ou la solubilisation des protéines par modification du pH. De telles méthodes sont très cohérente et la plupart d'entre eux ont été largement appliqués dans la nourriture l'industrie pour de nombreuses applications différentes. Cependant, certains d'entre eux les méthodes peuvent être améliorées pour obtenir un rendement d'extraction plus élevé; réduit consommation d'eau; charge

microbiologique réduite; ou des temps de traitement réduits, en appliquant de nouvelles technologies de traitement émergentes. Quand appliquer de nouvelles technologies, des effets sur le processus global, ainsi que tout effet sur les propriétés du produit final doit être pris en compte. Les technologies émergentes les plus prometteuses pour le traitement intact des protéines sont ceux classés comme non thermiques, étant donné que le traitement à température ambiante a un faible taux de protéines pour rester dans leur état natif, maintenant ainsi leur propriétés (Smeller, 2002). Par exemple, une enquête récente utilisant le poisson en tant que matière première (Álvarez, Lélu, Lynch et Tiwari, 2018), a démontré que l'extraction alcaline assistée par ultrasons (US) peut améliorer considérablement le rendement d'extraction. Les auteurs ont rapporté ce roman l'extraction séquentielle acide-alcaline a abouti à des niveaux d'extraction similaires par rapport à une seule étape assistée par les États-Unis. Une approche similaire a été adoptée effectuées dans nos installations, en vue d'augmenter le rendement d'extraction des protéines fonctionnelles des poumons bovins et porcins. Les résultats préliminaires (non encore publiés) indiquent que l'ISP-US peut augmenter quantité de protéines récupérées (jusqu'à 5–10% selon l'extraction conditions) sans effet négatif sur les propriétés fonctionnelles des protéines récupérées. De plus, la consommation d'eau et l'utilisation de produits chimiques (NaOH, dans ce cas) peuvent être réduites, rendant ce processus plus efficace, durable et écologique.

Par contre, lorsque les peptides et les acides aminés sont les produit, puisque ces composés sont plus thermostables, des prétraitements thermiques peuvent être utilisés pour améliorer les performances des enzymes, exposant plus de points de clivage et fournissant un impact bénéfique sur la taux d'hydrolyse, en aidant la dénaturation des protéines (Bhaskar, Modi, Govindaraju, Radha et Lalitha, 2007). Un effet similaire a été observé lorsque la pression hydrostatique élevée, ce qui favorise la dénaturation des protéines, a été appliqué sur du sang de bovin avant hydrolyse (Toldrà, Parés, Saguer, & Carretero, 2011).

De nombreuses autres technologies émergentes prometteuses, actuellement en cours d'extraction pour l'extrait d'une variété de composés de co-et produits dérivés non liés à la viande, pourraient être utilisés dans des applications transformation de co-produits de viande. Exemples: champs électriques à impulsions (PEF) (Sobrino-Lopez et Martin-Belloso, 2006); assisté par micro-ondes extraction (Ekezie, Sun et Cheng, 2017); solvant biphasique aqueux; liquides ioniques; décharges électriques à haute tension (HVED); ou extraction assistés par des solvants hydrotropes (Barba, Zhu, Koubaa, Sant'Ana, & Orlien, 2016). Lorsque l'on considère l'extraction de protéines à partir de coproduits de viande, il est important d'examiner et d'explorer les technologies potentielles utilisées pour d'autres matières premières. De notre revue de la littérature, la recherche avec les protéines autres qu'à base de viande semblent avoir bien progressé et peuvent offrir des possibilités à l'industrie de la viande.

Outre l'utilisation de technologies émergentes, des processus innovants peuvent être mis en place, conçus sur la base des propriétés et des caractéristiques particulières du matière première ; soit des co produits, des garnitures ou des flux de traitement. Pour exemple, une enquête récente réalisée dans notre laboratoire (données non publié), a réussi à développer une méthode de dessalage innovante pour un flux de traitement de rendu constitué de protéines ayant de fortes propriétés de gélification. Le courant a été concentré jusqu'à la formation d'un gel, et ce gel a ensuite été immergé dans de l'eau froide, permettant au sel de diffuser. Les résultats ont montré que 90% de la protéine était récupérée,> 85% du sel était éliminé et la consommation d'eau par unité de protéine récupérée était significativement plus faible par rapport à diafiltration traditionnelle. Une publication récente divulgue un procédé pour Centrifugation optimisée du sang (Álvarez, Drummond, & Mullen, 2018b) basé sur la crénification des globules rouges. Dans cette méthode, des quantités spécifiques de solution saline de tampon phosphate sont soigneusement ajoutées au sang fraîchement prélevé avant à la centrifugation. La recherche a démontré que de très haute qualité le plasma sanguin (c'est-à-dire une hémolyse très faible) peut être obtenu conditions de traitement employées : volumes de centrifugation, vitesse ou temps. De plus, la quantité de protéines plasmatiques récupérées par litre de sang était augmenté et la teneur en protéines dans la fraction de globules rouges a été remarquablement améliorée. Bien que cette méthode doive être étendue et testé avec une centrifugeuse continue, reflétant le traitement industriel, il existe un potentiel d'utilisation de ce produit à haute valeur ajoutée marchés, par ex. recherche ou pharmaceutique. Un avantage supplémentaire est que l'un des principaux problèmes liés à l'utilisation du plasma comme ingrédient alimentaire, le rouge la couleur conférée aux produits finaux, peut être plus facilement surmonté.

5. Applications non alimentaires

Malgré les efforts déployés pour développer de nouveaux procédés et de nouvelles technologies pour l'utilisation des co-produits de viande, les applications industrielles semblent trop limitées et principalement dédiées aux animaux de compagnie aliments et aliments pour animaux. Le tableau 3 résume les applications actuelles de plusieurs de ces produits lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour la consommation humaine. En fonction de l'application finale et du niveau de traitement requis pour obtenir le produit, la valeur ajoutée générée peut être très faible, par exemple pour les engrais; ou peut atteindre de manière significative valeur commerciale pour les enzymes et les hormones (de l'estomac) ou la thrombine (du sang). Par exemple, une étude de marché réalisée par MLA (Meat & Livestock Australia) (Glenn, 2015) ont indiqué que le prix de le sang séché (farine de sang) était de 230 AUD / t; tandis que le repas d'hémoglobine était 3000AUD / t et les immunoglobulines étaient supérieures à 16.000 AUD / t, lorsqu'il est destiné à être utilisé comme complément dans les formulations d'aliments du bétail. Pour ça raison, développer des applications innovantes et de nouveaux usages pour les protéines extraites des co-produits, entraînera un impact économique positif dans l'industrie de la viande. Par exemple, dans le cadre du projet ReValue Protein (www.revalueprotein.com), nous avons développé un nouveau processus (brevet en instance) pour générer des films à base d'hémoglobine avec une solubilité adaptée et propriétés mécaniques. Notre analyse a montré que ces films peuvent être utilisé comme porteur de composés bioactifs (antioxydant, antimicrobien, etc.); comme barrière efficace à la vapeur d'eau; et encore plus pertinent, comme échafaudages pour cellules ayant des utilisations potentielles dans des applications biomédicales. En outre, la méthode permettant de rendre les films à base de protéines insolubles peut être appliqué aux protéines extraites d'autres coproduits, élargissant leur gamme d'application.

6. Conclusion

Les co-produits générés par la transformation de la viande représentent une quantité considérable de la partie comestible de boeuf, de porc et de mouton carcasses. Ces co-produits sont une source précieuse de protéines avec des utilisations dans la transformation culinaire et alimentaire, ainsi que dans les domaines de la recherche, de la biomédecine et autres, comme démontré. Comme la consommation de nombreux coproduits dans les régimes alimentaires occidentaux a diminué, il existe un potentiel de récupération protéines à utiliser comme ingrédients alimentaires. Les propriétés fonctionnelles des protéines récupérées sont influencées par les caractéristiques de la matière première ainsi que par la méthode de récupération et les conditions de traitement employées. Caractérisation du matériau de départ et des fractions dérivée pendant le traitement sont essentiels pour la sélection et le développement de la méthode de récupération la plus efficace pour les ingrédients protéiques fonctionnels de haute qualité.

Comme cela a été abondamment rapporté dans cette revue, de grands efforts ont été déployés pour extraire les protéines des légumes, des poissons ou même du poulet. Sources ; Cependant, le nombre de publications liées à l'extraction de protéines à partir de coproduits de viande est encore limité. En tenant compte de la volumes élevés de coproduits générés à l'échelle mondiale, le besoin croissant de protéines pour une population croissante et l'excellente valeur nutritive de protéines d'abats, il est intéressant d'explorer toutes les techniques disponibles et méthodes de traitement pour tirer parti de la viande actuellement sous-utilisée co-produits, comme moyen d'augmenter la production de protéines et d'améliorer impact environnemental de l'industrie de la viande.