



ADAP – 09 005

**Étude d'investigation
pour la valorisation des cuirs
et peaux des filières bovines et ovines**

Rapport final – Septembre 2012

Laurent PICGIRARD

Florent MASSOULIER

ADIV Association
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

Sommaire

RESUME	3
1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS	4
2 - ETAT DES LIEUX DES VALORISATIONS ACTUELLES DES CUIRS ET PEAUX	6
2.1 - PANORAMA MACRO-ECONOMIQUE DES CUIRS ET PEAUX	6
2.2 - CARACTERISATION DE LA FILIERE « CUIRS ET PEAUX »	13
2.3 - SYNTHESE ET EVALUATION DE PERTINENCE ECONOMIQUE DES GISEMENTS IDENTIFIES.....	18
3 - IDENTIFICATION ET DETERMINATION DE NOUVELLES PISTES DE VALORISATION DES CUIRS ET PEAUX. 21	
3.1 - GENERALITES SUR LES PEAUX D'ANIMAUX	23
3.2 - CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES CUIRS BRUTS	26
3.3 - ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DES VOIES DE VALORISATION A COURT TERME	36
3.4 - VOIES DE VALORISATION PROSPECTIVES	68
4 - ANALYSE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE DES NOUVELLES VOIES DE VALORISATION	86
4.1 - ANALYSE TECHNIQUE	86
4.2 - ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE DES SOLUTIONS	88
4.3 - CALCUL DES « COUTS » ENVIRONNEMENTAUX	98
5 - CONCLUSION.....	102
6 - BIBLIOGRAPHIE	105

RESUME

Les filières bovines et ovines sont fortement dépendantes des secteurs de la tannerie et de la mégisserie pour la valorisation des cuirs et peaux issus des carcasses. L'émergence de nouvelles voies de valorisation doit permettre aux abattoirs de faire jouer la concurrence et limiter cette dépendance.

Compte tenu du marché actuel des cuirs et peaux, le gisement disponible pour approvisionner de nouvelles voies de valorisation se limite aux chutes de cuirs (masques, manchons,..., de la filière bovine). Il représente 14 500 T/an.

A partir de cette source, 3 pistes de valorisation ont été identifiées sur la base d'une analyse de la bibliographie, d'analyses physico-chimiques des cuirs et peaux et d'essais expérimentaux de transformation.

- la vente de cuirs épilés à destination de l'industrie gélatineuse,
- la production de copeaux de cuirs en concurrence à la sciure de bois pour la filière équitation,
- la production de plaques thermo-pressées en concurrence aux panneaux de bois agglomérés pour la filière construction.

Compte tenu de la conjoncture actuelle, seule la première voie semble économiquement intéressante.

1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS

La production de viande à partir d'animaux vivants est un processus de transformation complexe, composé de nombreuses étapes dont la première est l'abattage. Cette activité qui transforme un animal vivant en carcasses ou quartiers génère des quantités importantes de coproduits (contenu intestinal, peaux, abats,...). Ces activités d'abattage étant des activités faiblement rémunératrices avec des marges réduites, la problématique de la valorisation de ces coproduits est devenue cruciale.

Parmi l'ensemble des coproduits d'abattage, les cuirs et peaux sont traditionnellement les coproduits les plus rémunérateurs car ils possèdent des débouchés vers des filières à forte valeur ajoutée que sont les industries du luxe, de l'automobile ou encore la maroquinerie.

En poids, les cuirs représentent 6 % du poids vif des bovins soit 11,6 % du poids carcasse ; pour les ovins 11 % du poids vif soit 17,1 % du poids carcasse.

On considère d'ailleurs que la valeur des cuirs de bovins et peaux d'ovins¹ représente jusqu'à 5% à 10% de la valeur de la carcasse et peut couvrir le coût d'abattage selon les années. Les secteurs de la tannerie et de la mégisserie constituent donc historiquement les principaux débouchés de ces coproduits. Malgré une rémunération des cuirs et peaux généralement élevée de la part de ces secteurs, cette situation de quasi-monopole est une situation potentiellement dangereuse pour les abattoirs car ils sont totalement dépendants de leur activité. La crise internationale traversée en 2008 et 2009 illustre parfaitement cette situation : la diminution de la demande en cuirs et peaux bruts, alors que l'offre restait plus ou moins stable, a provoqué un effondrement du cours des cuirs et peaux jusqu'à quasiment 50% de leurs valeurs en deux ans. Sans débouchés alternatifs, les abattoirs ont été impactés très fortement avec parfois des situations extrêmes de destruction de certaines peaux.

Face à ce constat de fragilité des abattoirs français, dépendant des secteurs de la tannerie et de la mégisserie, il apparaît nécessaire de développer des voies alternatives de valorisation des cuirs et peaux de bovins et d'ovins. L'apparition de ces nouvelles voies de valorisation permettra aux abattoirs de faire jouer la concurrence et ainsi de tirer profit de cette concurrence pour améliorer la rémunération des cuirs et peaux produits.

¹ Valorisation des cuirs bruts de bovins et peaux brutes d'ovins à l'abattoir auprès des tanneurs et mégisseries.

La puissance des secteurs de la tannerie et de la mégisserie ainsi que les rémunérations pratiquées ont inhibé les initiatives de création de nouvelles voies de valorisation. Mise à part la production de collagène alimentaire issu des cuirs, peu d'applications ont vu le jour ces dernières décennies. Ce constat est d'autant plus dommageable que le cuir est un produit noble possédant d'excellentes propriétés mécaniques, de structure, d'isolation,... Ces mêmes propriétés qui sont exploitées actuellement par les industries du textile, de l'automobile, de la maroquinerie ou autre, pourraient satisfaire d'autres secteurs d'activité à l'avenir. En effet, la demande croissante de produits et matériaux naturels et durables offre aujourd'hui de nouvelles perspectives pour la valorisation des cuirs et peaux.

L'objectif de cette étude d'investigation est donc d'identifier de nouvelles voies de valorisation des cuirs et peaux de bovins et d'ovins indépendantes de la tannerie et de la mégisserie. L'identification de ces nouvelles voies de valorisation est réalisée de manière originale en combinant 2 approches :

- une analyse critique de la bibliographie technique et scientifique,
- une phase d'investigation technique basée sur la caractérisation des propriétés du matériau cuir.

Ces nouvelles voies de valorisation sont également positionnées par rapport aux voies de valorisation actuelles sur les plans économiques et environnementaux afin d'apporter aux professionnels de la filière viande les éléments nécessaires à leur prise de décision sur l'intérêt d'engager des travaux complémentaires sur la faisabilité industrielle des pistes retenues.

Pour atteindre l'objectif final, l'étude a été menée selon 3 étapes :

- état des lieux des valorisations actuelles des cuirs et peaux : marché, débouchés actuels,
- identification et détermination de nouvelles pistes de valorisation des cuirs et peaux, à partir d'une analyse de la bibliographie et des propriétés physico-chimiques des cuirs,
- analyse technique et économique des nouvelles voies de valorisation les plus pertinentes.

2 - ETAT DES LIEUX DES VALORISATIONS ACTUELLES DES CUIRS ET PEAUX

L'objectif de cette étude n'est pas une simple identification de nouvelles voies de valorisation des cuirs et peaux mais bien de les situer et de les ancrer dans le contexte industriel actuel.

Il est donc indispensable d'analyser et de faire un état des lieux détaillé des filières de valorisation actuelles.

Les objectifs de cette phase sont de :

- dresser un bilan général du marché des cuirs et peaux au travers d'un panorama macro-économique mondial et français,
- réaliser un état des lieux des pratiques de traitement actuel des cuirs et peaux à l'abattoir,
- étudier les différences de valorisation éventuelles selon les catégories de cuirs et peaux et sous produits associés et retenir des seuils de rentabilités économiques.

Cet état des lieux a pour finalité de sélectionner les catégories de cuirs et peaux mobilisables pour les nouvelles voies de valorisation et d'estimer un gisement potentiel pour ces pistes.

2.1 - Panorama macro-économique des cuirs et peaux

21.1 - Le marché mondial des cuirs et peaux

211.1 - Volumes de production

Les cuirs de bovins (gros bovins et veaux) représentent la majorité des volumes produits à l'échelle mondiale.

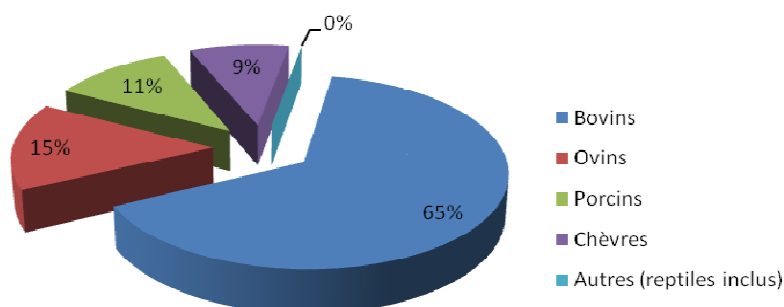


Figure 1
Répartition des cuirs et peaux mondiaux par espèces animales en volume

Source: International Council of Tanners, 2007

La production des cuirs et peaux lors de la dernière décennie a progressé principalement en ce qui concerne les peaux de caprins (+163,2 millions de peaux).

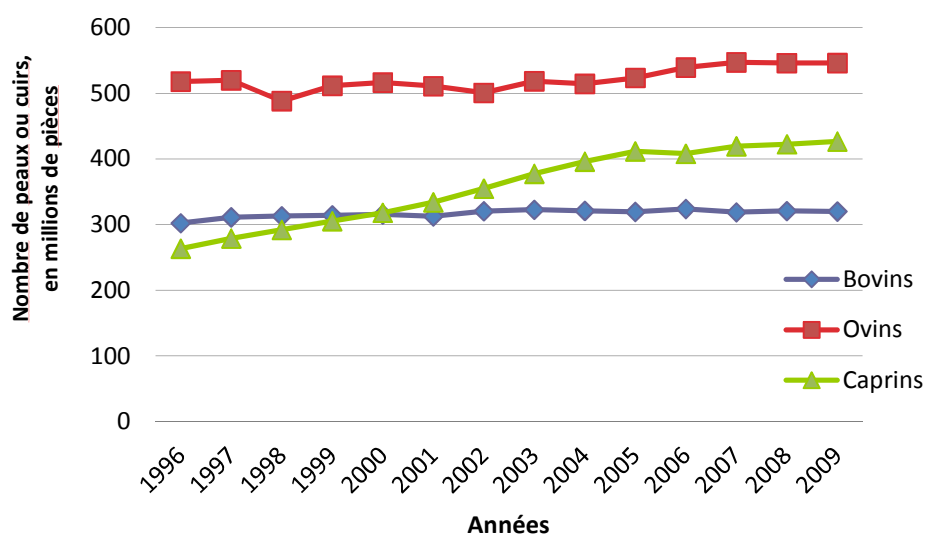


Figure 2
Évolution de la production mondiale de cuirs et peaux entre 1996 et 2009, en nombre de pièces
Source: FranceAgriMer

Les principaux pays producteurs en cuirs de bovins sont les Etats-Unis et le Brésil.

La France occupe le 9^{ième} rang du classement mais est le 1^{er} pays européen.

	2008	1 000 tonnes
1	Etats-Unis	850,1
2	Brésil	809
3	Chine	753,2
4	Argentine	414,4
5	Inde	244,4
6	Russie	192,1
7	Australie	184,3
8	Mexique	159,5
9	France	120,7
10	Italie	115,1
11	Allemagne	105,3
12	Colombie	104,6
13	Canada	100
...	...	...
Total Monde		6 056,70

Tableau 1
Principaux pays producteurs de cuirs bovins bruts (en poids)
Source FAO

En ce qui concerne les peaux ovines, le marché est dominé par la Chine. Les grands pays exportateurs d'ovins, la Nouvelle-Zélande et l'Australie, complètent le podium. La France arrive en 22^{ième} position du classement.

	2008	1 000 tonnes
1	Chine	65,9
2	Nouvelle-Zélande	47
3	Australie	42,7
4	Angleterre	25
5	Inde	19,6
6	Iran	15,1
7	Afrique du Sud	12,1
8	Algérie	9,9
9	Espagne	9,7
10	Syrie	9,1
...	...	...
22	France	4,4
...	...	...
Total Monde		420,00

Tableau 2
Principaux pays producteurs de peaux ovines brutes (en poids)
Source FAO

211.2 - Echanges commerciaux

● Les principaux pays exportateurs

Les Etats-Unis sont le principal exportateur mondial. Ses principaux clients sont la Chine à plus de 50%, la Corée du Sud (environ 20%), le Mexique, Hong-Kong et le Japon.

L'Australie, deuxième pays exportateur, vend principalement à la Chine (plus de 70% de sa production), puis à la Thaïlande, l'Italie, la France et Hong-Kong.

L'Allemagne et la France partagent la troisième place. Les clients de l'Allemagne sont l'Italie (27% environ), la Chine, les Pays-Bas, l'Autriche et le Danemark.

La France vend 60% de ses exportations à l'Italie, et le reste principalement en Chine, Turquie, Allemagne et Belgique.

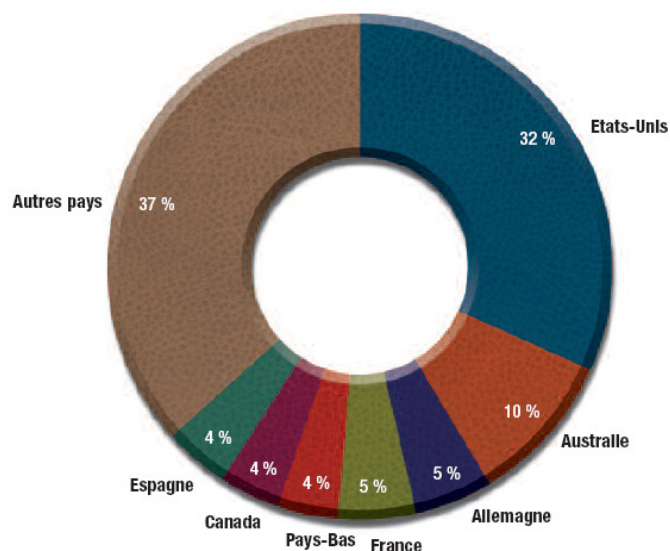


Figure 3
Principaux pays exportateurs de cuirs et peaux bruts en 2010
Source : Conseil National du Cuir (CNC)

● Les principaux pays importateurs

La Chine est le principal importateur de cuirs et peaux, se fournissant aux États-Unis à plus de 40%, puis essentiellement en Australie, au Canada, en Afrique du Sud et au Pays-Bas. L'Italie, deuxième importateur mondial, achète ses peaux et cuirs à la France (20%), à l'Allemagne, l'Iran, l'Espagne et le Royaume-Uni.

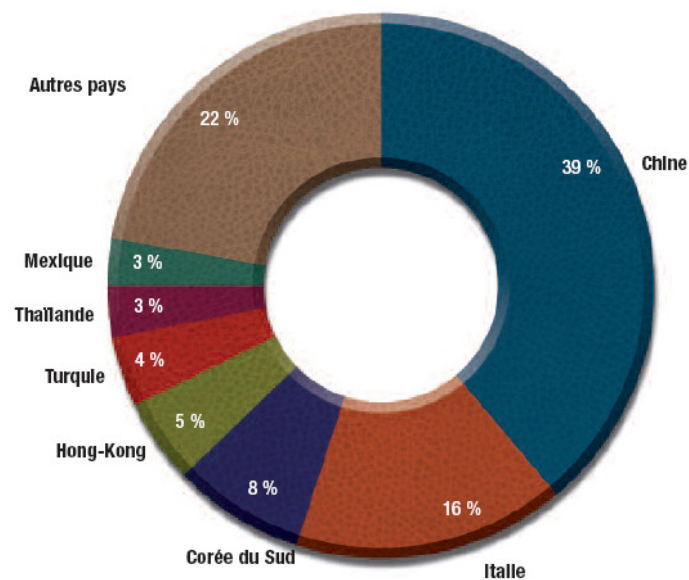


Figure 4
Principaux pays importateurs de cuirs et peaux bruts en 2010
Source : Conseil National du Cuir (CNC)

211.3 - Les perspectives d'évolution

L'accroissement de la population mondiale et l'augmentation des revenus moyens par habitant expliquent la progression constante des tonnages de viande consommée observés ces dernières années même si on remarque une érosion du taux de croissance de 3,8% entre 1960 et 1970 à environ 2% entre 2000 et 2010.

A l'échelle mondiale, on observe deux processus d'évolution.

- Dans les pays dits « développés », on observe une stabilisation voire un recul de la consommation de viande par habitant (de 83kg/habitant en 2000 à 81kg/habitant fin 2010). Tous les types de viandes n'évoluent pas de la même manière. Si les consommations de viandes de volaille et de porc sont stables, celles d'ovins et de bovins diminuent.
- Dans les pays dits « en développement », la consommation de viande a augmenté de 1,4% par an au cours des dix dernières années, tous types de viande confondus.

On prévoit une augmentation de la consommation mondiale de viande dans un futur à moyen terme et donc une augmentation du nombre de cuirs et peaux bruts disponibles. Cette augmentation ne renseigne en rien sur la qualité des cuirs et sur l'évolution de la demande liée aux marchés actuels.

21.2 - Le marché français des cuirs et peaux

212.1 - Volumes de production

Depuis 1990, on constate une diminution de la production française de cuirs et peaux directement liée à l'évolution des abattages français.

Cette tendance s'est confirmée nettement depuis 2005 avec une baisse régulière des volumes abattus en France pour les ovins-caprins et les veaux et malgré une relative stabilité pour les gros bovins.

	2005	2006	2007	2008	2009	Var. 05/09
Gros bovins	115.3	111.8	113.9	115.8	114.5	-0.69%
Veaux	21.0	20.4	18.7	18.1	17.6	-16.2%
Ovins	19.1	18.5	18.1	17.1	15.7	-17.8%

Tableau 3

Évolution de la production de cuirs et peaux bruts en France entre 2005 et 2009 (en milliers de tonnes)

Source FranceAgriMer d'après SSP

212.2 - Echanges commerciaux

Historiquement excédentaire, le solde des échanges français de cuirs et peaux bruts entiers a diminué de 39% en 9 ans. Il est passé de 7 millions d'unités à 4,3 millions d'unités en 2010 soit un solde positif de 218,5 millions d'euros en 2010.

La France est le 12^{ème} importateur mondial avec 2,1% des importations. Les principaux fournisseurs sont les Etats Unis, l'Espagne, l'Australie, Le Zimbabwe et la Nouvelle Zélande.

La France est le 4^{ème} exportateur mondial avec 5,1% des exportations. Les principaux clients de la France, toutes peaux confondues, sont l'Italie avec plus de 63% des peaux et cuirs exportés puis la Chine.

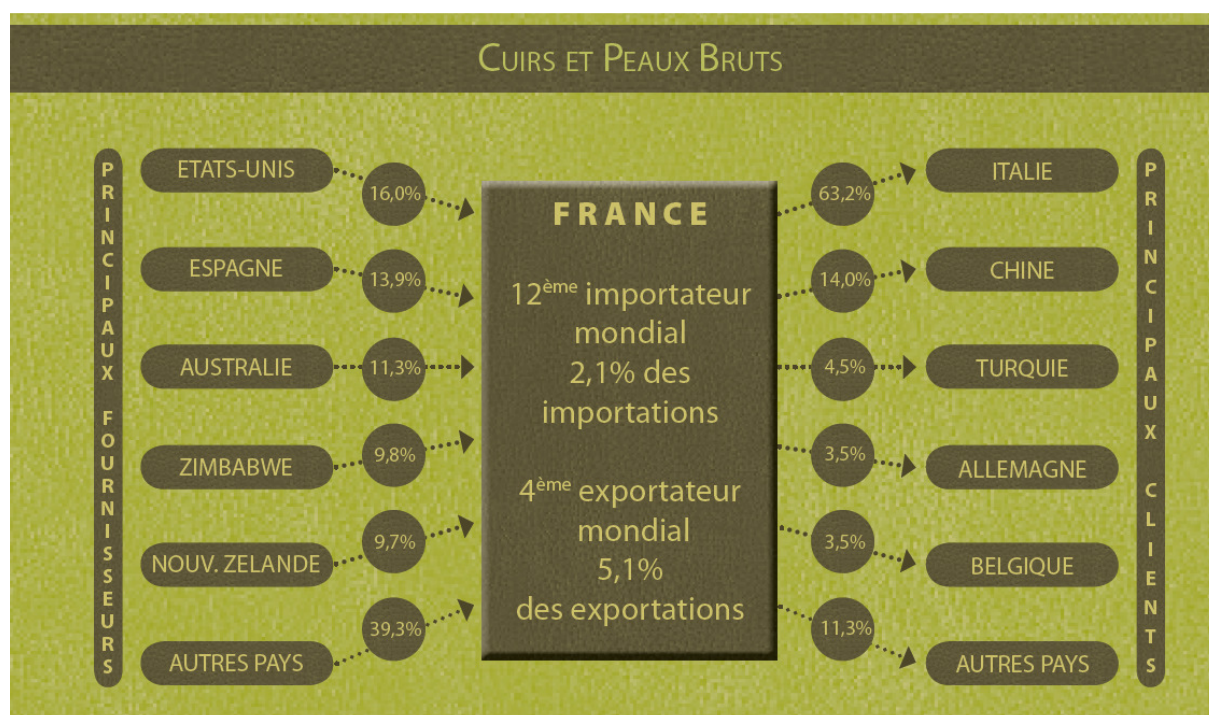


Figure 5
Marché français des cuirs et peaux en 2010
Source : observatoire économique CNC

212.3 - Prix de marché

L'évolution des prix des cuirs et peaux bruts exportés par la France a augmenté jusqu'en 2007 suite à une légère diminution de l'offre liée au repli de la production française de bovins. La valeur des cuirs exportés a gagné 45 %, soit 15,8 €/unité. En 2008 et 2009, les prix se sont affaiblis, perdant 23 €/unité en deux ans pour atteindre un prix inférieur à 30 €/unité. L'impact de la crise économique sur la vente des cuirs de bovins est concentré sur les années 2008 et 2009 puisque dès 2010, les prix se sont rétablis pour atteindre quasiment les niveaux de 2007 en progressant de près de 20 €/unité. L'année 2010 est ainsi l'année

durant laquelle la valeur des cuirs et peaux a le plus progressé au cours de la dernière décennie et cette tendance s'est maintenue en 2011.

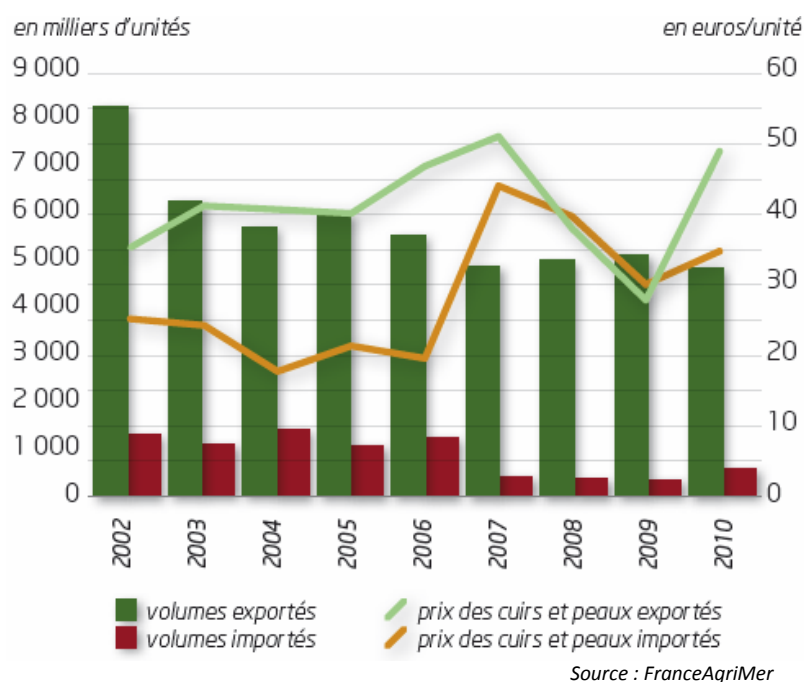


Figure 6
Prix des cuirs et peaux de bovins bruts échangés par la France entre 2002 et 2010
Source : FranceAgriMer

212.4 - Les perspectives d'évolution

La production de viande a diminué en France ces dernières années et devrait continuer à diminuer, faisant ainsi baisser le nombre de peaux et cuirs français disponibles.

Cette diminution probable du gisement des cuirs et peaux est à prendre en considération pour l'introduction de nouvelles voies de valorisation car celles-ci seront soumises à une forte concurrence de la voie de valorisation classique en tannage.

D'où l'intérêt d'une réflexion pertinente à construire autour d'un schéma de valorisation nouveau des sous-produits de cuirs et peaux bruts (potentiellement considérés comme déchets) qui pourrait ultérieurement incarner un marché de dégagement en cas de crises des cours du cuir destinés à la voie classique.

2.2 - Caractérisation de la filière « cuirs et peaux »

Les objectifs de cette étape sont :

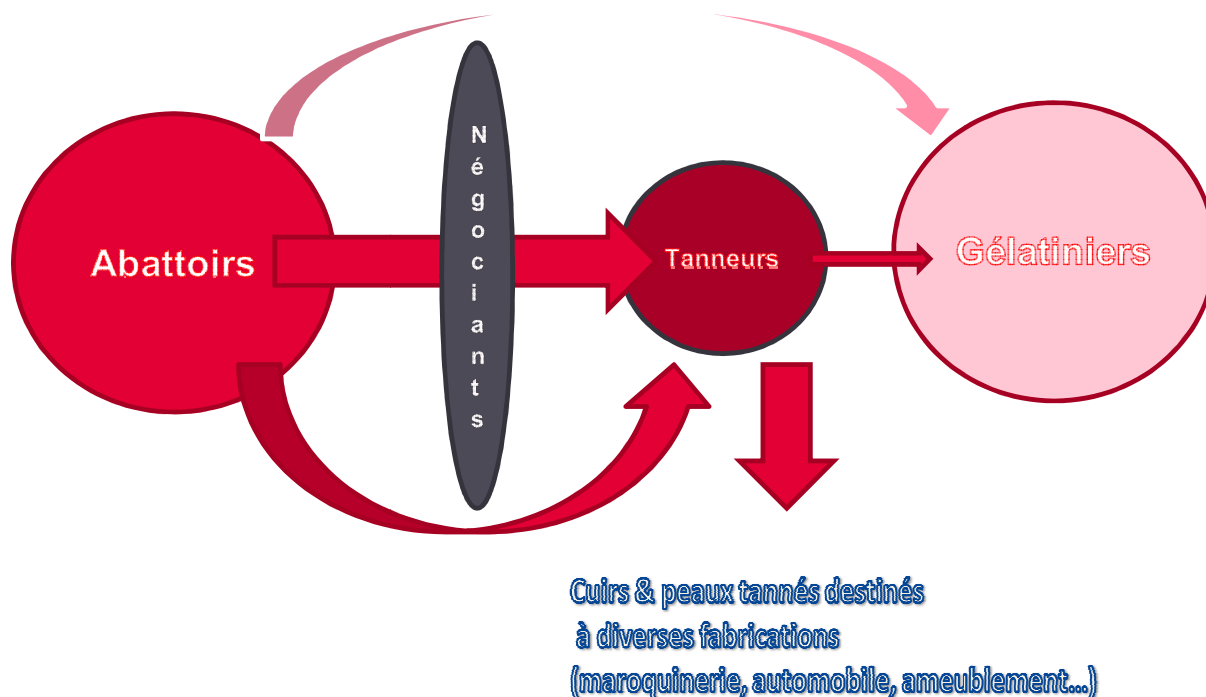
- d'identifier les grandes familles d'opérateurs impliqués dans cette filière,
- de caractériser les pratiques de traitement et de valorisation économique actuelles autour des cuirs et peaux bruts et leurs sous produits associés,
- de détecter de potentiels gisements valorisables de façon nouvelle et différenciée suivant un seuil économique dicté par les pratiques actuelles.

Cette caractérisation des pratiques de la filière a été réalisée grâce à une enquête terrain.

22.1 - Méthodologie d'enquête

L'enquête a été réalisée par entretiens téléphoniques qualitatifs et semi-directifs avec thématiques et guides d'entretien adaptés aux profils de professionnels contactés.

- Schéma fonctionnel de la filière



● Échantillon enquêté

Cibles	Acteurs	Entretiens
Organisations professionnelles	● FNEAP ● CTC (centre technique du cuir), ● SCP (Syndicat des cuirs & peaux)	3
Abattoirs	● Suivant 5 classes de tonnage d'abattage pour les abattoirs bovins ou multi espèces (moins de 1000T/an, de 1000 à 5000, de 5000 à 10000, de 10000 à 25000, plus de 25 000T/an) ● Outils d'abattage ovins (moins de 500 tonnes/an, entre 500 et 2000 tonnes/an et plus de 5000 tonnes/an) – Enquête par FNEAP	10 3
Négociants en cuirs et peaux	● CADENE (81) ● CARRA(43) ● COVICO(37)	3
Gélatiniers	● ROUSSELOT(16) ● WEISHARDT(81)	2
Fabricants Pet Food	● PET FOOD PLUS(03)	1
Experts honoraires	● M.FOUVET ● L.SPANGHERO	2

● Thématiques abordées par profils de professionnels

- Abattoirs publics : mode de traitement actuel ; tri qualitatif selon critères ; mode de valorisation ; circuit de commercialisation ; critères d'évaluation qualitative par acheteur ; tri et séparation masques/manchons et traitement.
- Société d'abattage privée & groupe industriel : mode de traitement actuel ; tri qualitatif selon critères ; circuit de commercialisation ; critères d'évaluation qualitative par acheteur ; tri et séparation masques/manchons et traitement.
- Négociants : mode de traitement ; tri/classement ; critères d'achat ; différenciation entre grille de classement à l'achat et à la vente ; devenir des déchets ; intérêt du tri à l'abattoir.
- Tanneurs : sources d'approvisionnement ; traitement de préparation avant tannage ; tri/classement ; critères de qualité à l'achat ; devenir des déchets.
- Gélatiniers et fabricants de Petfood : Nature matières premières ; sources d'approvisionnement et mode de conservation ; critères et prix d'achats, intérêt nouvelles sources d'approvisionnement.

22.2 - Description des profils de pratiques observées

222.1 - En abattoirs

● Concernant les cuirs et peaux de qualité standard :

On observe une divergence de pratiques de part et d'autre d'un seuil de tonnage d'environ 15 000 T/an :

- **Les sites de moins de 15 000 T** salent, stockent et commercialisent l'ensemble de leurs produits à un négociant qui gère ensuite le parage, la pesée, la préparation et le tri des cuirs.
- **Les sites de plus de 15 000 T** salent, trient, préparent l'ensemble de leurs produits pour des voies de commercialisation différenciées selon la qualité de ces derniers (tanneries France ou étranger).

● Concernant les cuirs et peaux bruts déclassés :

On observe là-encore une même divergence de pratiques de part et d'autre d'un seuil de tonnage d'environ 15 000 T/an :

- **Les sites de moins de 15 000 T** ne gèrent pas le déclassement qualitatif des produits puisqu'ils n'en gèrent pas le tri.
Une décote tarifaire appliquée sur un prix moyen du lot est par contre appliquée par le négociant suite au tri effectué sur ce même lot. Avec le concours des organisations professionnelles de cette filière, les négociants contribuent aussi en abattoirs à une très forte diminution de la part de cuirs déclassés grâce à l'intervention sur site d'abattage de moniteurs de dépouille.
- **Les sites de plus de 15 000 T** gèrent par contre par eux-mêmes le tri des produits déclassés et en maîtrisent donc pleinement la commercialisation. Pour autant, par la mise en place d'indicateurs de qualité de dépouille régulièrement contrôlés et l'amélioration des pratiques sanitaires en élevage, la quantité de cuirs déclassés tend à diminuer de façon drastique.

Remarque : pas de différence de pratiques selon le tonnage pour les abattoirs spécialisés ovins. Ces derniers commercialisent leurs peaux auprès d'un négociant et entrent donc dans la catégorie des sites de moins de 15000T décrite précédemment.

● Concernant les chutes de cuirs (masques, manchons/manchettes, oreilles) :

On observe une divergence de pratiques de part et d'autre d'un seuil de tonnage d'environ 7 000 T/an qui ne concernent que les abattoirs traitant des bovins puisqu'aucun déchet de peaux

- **Les sites de moins de 7 000 T** ne trient pas les masques, les manchettes ou manchons et les oreilles qui sont enlevés en déchets d'équarrissage majoritairement en catégorie C3.
- **Les sites de plus de 7 000 T** gèrent par contre systématiquement la séparation des masques, moins souvent des manchettes et des oreilles, qui pour l'ensemble sont ensuite valorisés suite à un traitement de salage sur des marchés d'exportation pour des usages très divers.

222.2 - Chez les négociants

En cohérence avec le seuil de tonnage de 15 000T, les négociants gèrent donc pour 100% de leurs clients le tri, la pesée et la préparation des cuirs et peaux bruts.

La notion de produits déclassés est par contre assez opaque auprès des négociants. Dans la mesure où les lots sont achetés au nombre de pièces sur palette sans différenciation ni indication qualitative au sein du lot, la moins value économique appliquée par les négociants suit une règle d'affectation du prix moyen de faible ampleur.

Les négociants classent leurs peaux et cuirs, quelque soit leur mode de triage, par catégories en fonction de leur qualité. La catégorie inférieure regroupe les peaux et cuirs qui ont des traces de césariennes, des trous....

A l'issue du travail de préparation des cuirs chez le négociant, une 3ème source de gisement potentiel pourrait être détectée, à savoir les chutes de parage (chutes issues de découpe/finition des pièces). Elles ne représentent par contre que moins de 1% du poids du cuir.

222.3 - En tanneries-mégisseries

Les tanneurs quant à eux, achètent quelle que soit la source (en direct auprès des gros opérateurs d'abattage ou via des négociants) des cuirs et peaux prêts à traiter en process de tannage suivant une nomenclature de typicité, d'usage et de qualité très spécifique.

A noter néanmoins pour information que les tanneurs bénéficiant d'un agrément spécifique peuvent, à l'issue des opérations dites d'écharnage ou de refente des cuirs, commercialiser le côté « chair » du cuir aux gélatiniers.

Au niveau des tanneries et mégisserie, les cuirs et peaux sont classés également selon des catégories de qualité fonction des débouchés propres à chaque professionnel.

Si, à l'abattoir, les cuirs et peaux bruts ne possèdent qu'un seul débouché (tannerie et mégisserie via les négociants), les cuirs et peaux tannés possèdent six débouchés majeurs :

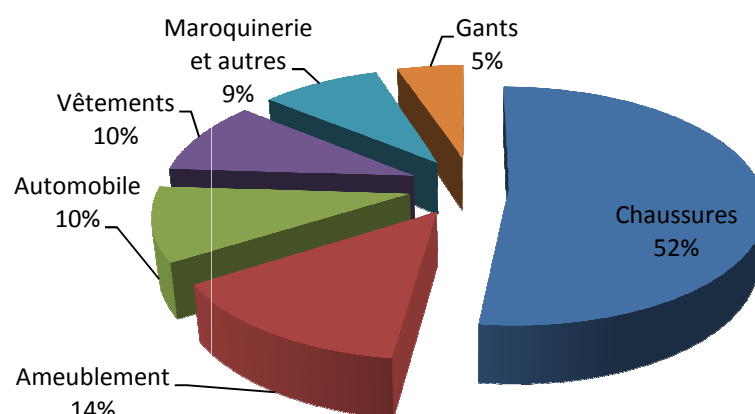


Figure 7
Principaux débouchés de cuirs et peaux en 2010
Source : Conseil National du Cuir (CNC)

Selon leurs spécificités, chaque secteur d'activité exige des types et des qualités de cuirs et peaux différentes.

L'industrie de la chaussure recherche des petits morceaux qui ont peu de défauts donc des morceaux de qualité.

Le cuir dans les industries de l'ameublement et de l'automobile s'est extrêmement développé depuis 40 ans. Ces industries réclament en majorité des cuirs faciles d'entretien (contre le soleil, l'eau...). La finition est donc couverte avec de la micro-peinture ce qui permet l'utilisation de cuirs de qualité moindre.

La maroquinerie nécessite des pièces plus grandes. L'entrée de gamme de ce débouché est en grande diminution au profit du synthétique. Par contre, le secteur du luxe est en grande demande de cuirs et peaux. Il cherche des produits naturels, peu recouverts donc de très grande qualité.

La ganterie nécessite des pièces plus petites qui sont prélevées sur des peaux d'agneaux (donc plus petites). Ce secteur recherche des produits de qualité.

Il existe bien des débouchés différents selon la qualité des cuirs et peaux, avec des valorisations économiques différenciées. Même si la qualité des cuirs et peaux tannées est dépendante de la qualité des cuirs et peaux brutes, la majorité des défauts apparaissent au cours des traitements de tannage et il donc est impossible de différencier ces cuirs et peaux bruts selon leur qualité au stade de l'abattoir.

222.4 - Chez les Gélatiniers :

La gélatine alimentaire représente tout comme les cuirs un marché colossal d'envergure internationale. Pour autant, depuis la période des crises ESB des années 2000, la gélatine est en très grande majorité fabriquée à partir de matières premières d'origine porcine.

Néanmoins, sur une telle envergure de marché et dans un contexte de très fort développement des produits halal, la tendance des années futures sera probablement axée sur un retour aux matières premières d'origine bovine.

222.5 - Chez les fabricants de Pet Food :

Même si l'analyse mériterait d'être étendue à un nombre plus important d'opérateurs, il ressort de ce premier contact, la non existence de lien entre les sites d'abattage et les fabricants de Pet Food. Ces derniers ont semble-t-il construit leur process de fabrication à partir d'une matière déjà transformée que sont des protéines animales achetées auprès des sociétés de traitement d'équarrissage.

2.3 - Synthèse et évaluation de pertinence économique des gisements identifiés

Les débouchés vers les tanneries/mégisseries sont des débouchés anciens et matures qui proposent une valorisation économique intéressante. L'intérêt du développement de nouvelles voies de valorisation des cuirs et peaux n'est pas tant de concurrencer frontalement ces débouchés rémunérateurs mais de permettre aux abattoirs de diversifier leurs débouchés et ainsi d'être moins dépendant du seul secteur de la tannerie/mégisserie. Ainsi lors des crises récurrentes, les abattoirs pourraient activer d'autres leviers pour ne pas subir totalement les variations des cours des cuirs et peaux.

L'objectif étant donc que les nouvelles de valorisation soient des débouchés complémentaires aux débouchés principaux que sont la tannerie et la mégisserie, il n'est pas

judicieux d'estimer le gisement des cuirs et peaux mobilisable pour ces nouvelles voies de valorisation à la totalité des cuirs et peaux produite en France.

23.1 - Gisement de cuirs déclassés :

Historiquement évalué à 8% production nationale (11000 T/an), le gisement potentiel en cuirs déclassés se situe plutôt aujourd'hui à moins de 5% de la production soit 6300T/an.

L'optimisation des pratiques de dépouille en abattoir (via moniteurs de dépouille) et l'optimisation des conditions de stockage avant enlèvement (rénovation des outils, haute maîtrise du process -glace pilée- notamment pour les outils les plus importants) ont permis de réduire significativement le déclassement.

Ce gisement potentiel est cependant inexistant physiquement dans les outils d'abattage. On le retrouve chez les industriels en charge du tri et classement des cuirs et peaux donc chez les négociants pour les abattoirs traitant moins de 15 000 tonnes abattues par an ou en centres de traitement privés pour les outils supérieurs à 15 000 tonnes.

Dans les 2 cas, il existe une valorisation spécifique de ce gisement dans la filière cuirs.

Ce gisement apparaît économiquement peu pertinent par rapport aux nouvelles voies envisagées.

23.2 - Gisement de chutes de cuirs :

Ce gisement, présent dans les outils d'abattage, couvre les masques, manchons, oreilles des gros bovins et représente 4 kg par animal. Il n'existe pas ou très peu de chutes de cuirs et peaux pour les veaux et ovins. Les têtes et pieds de veaux et les pieds d'ovins sont traités en triperie pour valorisation en abats.

Le gisement est évalué à 14 500 T/an (à partir abattages contrôlés 2009).

On remarque une nette différence de pratiques observée selon les outils :

- **Pour les outils d'abattage < 7 000 tonnes abattues/an :**

Elimination en déchets d'équarrissage avec variation dans les prix d'enlèvement selon les outils (minimum = - 80€/T)

- **Pour les outils d'abattage > 7000 tonnes abattues/an:**

Traitement à l'abattoir (salage) et valorisation à l'export en moyenne à 150€/T (de 40 à 180 €/T).

Remarque: Des solutions de traitement plus poussées (échaudage + épilage) existent dans les très gros outils pour une valorisation entre 500 et 700 €/T à usage alimentaire (PA, gélatine). Il s'agit d'une valorisation peu fréquente et soumise notamment à agrément « gélatine alimentaire ».

Ce gisement semble potentiellement intéressant au regard des nouvelles voies envisagées.

23.3 - Gisement de chutes de parage :

Ces chutes sont issues de la préparation des cuirs et peaux. Le volume concerné représente moins de 1% du poids du cuir ou de la peau.

En cohérence avec la gestion du tri observée, ce gisement est présent chez les négociants pour les abattoirs inférieurs à 15 000 tonnes abattues/an d'où un gisement non maîtrisé par les outils d'abattage. Il est très limité voire inexistant pour les outils supérieurs à 15 000 tonnes abattues/an en raison du suivi régulier des pratiques de dépouille.

Ce faible gisement est estimé à 550 T/an et en diminution constante par l'amélioration généralisée des pratiques de dépouille.

23.4 - Conclusion :

Seul le gisement « chutes de cuirs » semble réellement pertinent à considérer et retenir en perspective de nouvelles voies de valorisation.

Le volume considéré – **14 500 T/an** – est quasi-incompressible malgré l'optimisation des pratiques et la recherche de nouvelles valorisations apparaît forcément pertinente pour tous les types d'opérateurs.

Il convient néanmoins de prendre en considération la grande divergence de pratiques actuelles de valorisation (+150€/T) ou d'enlèvement (-80€/T) et donc de retenir 2 hypothèses de valeurs à prendre en compte dans l'équation économique associée aux nouvelles voies.

De plus, selon la voie de valorisation nouvelle retenue, la nécessité de prendre en compte le mode de conservation et stockage sur site d'abattage avant enlèvement ainsi qu'un éventuel agrément « gélatine alimentaire » doivent être envisagés.

3 - IDENTIFICATION ET DETERMINATION DE NOUVELLES PISTES DE VALORISATION DES CUIRS ET PEAUX

L'objectif de cette étape est d'aboutir à l'identification de nouvelles voies de valorisation des cuirs et peaux, alternatives à l'utilisation en tannerie et mégisserie.

Pour mener cette étape, l'ADIV s'appuie sur les compétences du CRITT CATAR – Centre de Ressource Technologique, basé à Toulouse, dont le cœur de métier est la valorisation non-alimentaire des produits et coproduits agro-industriels notamment pour des applications en agro-matériaux.

Cette démarche combinée a été mise en œuvre pour permettre la hiérarchisation des nouvelles pistes potentielles de valorisation des cuirs et peaux selon 2 niveaux :

- des pistes de valorisation applicables à court ou moyen terme,
- des pistes de valorisation prospectives.

Les pistes de valorisation applicables à court ou moyen terme ont été déterminées en combinant les résultats d'une caractérisation précise des cuirs et peaux et l'analyse bibliographique. Ces pistes font donc appel à des techniques ou des procédés existants pouvant être empruntés à d'autres secteurs d'activité, d'où un développement envisagé à court ou moyen terme. Les applications proposées peuvent être « classiques », c'est-à-dire déjà investiguées ou « nouvelles » dans des secteurs d'activité émergents. Ces pistes sont déterminées également en tenant compte du gisement des cuirs et peaux défini lors de la phase 1.

Les pistes de valorisation prospectives sont déterminées selon un processus en 3 étapes :

- caractérisation précise des cuirs,
- essais et tests de mise en œuvre : des procédés de transformation des cuirs sont testés à l'échelle pilote ou laboratoire pour évaluer leur faisabilité technique,
- analyse des propriétés : les propriétés des matériaux obtenus seront évaluées et comparées aux propriétés de matériaux connus pour cibler de nouvelles pistes de valorisation.

Ces pistes de valorisation peuvent nécessiter la mise en œuvre de procédés nouveaux qui nécessiteront des développements ultérieurs. C'est pourquoi ces pistes sont qualifiées de pistes « prospectives ».

La démarche mise en œuvre dans cette phase peut être synthétisée par la figure 8 :

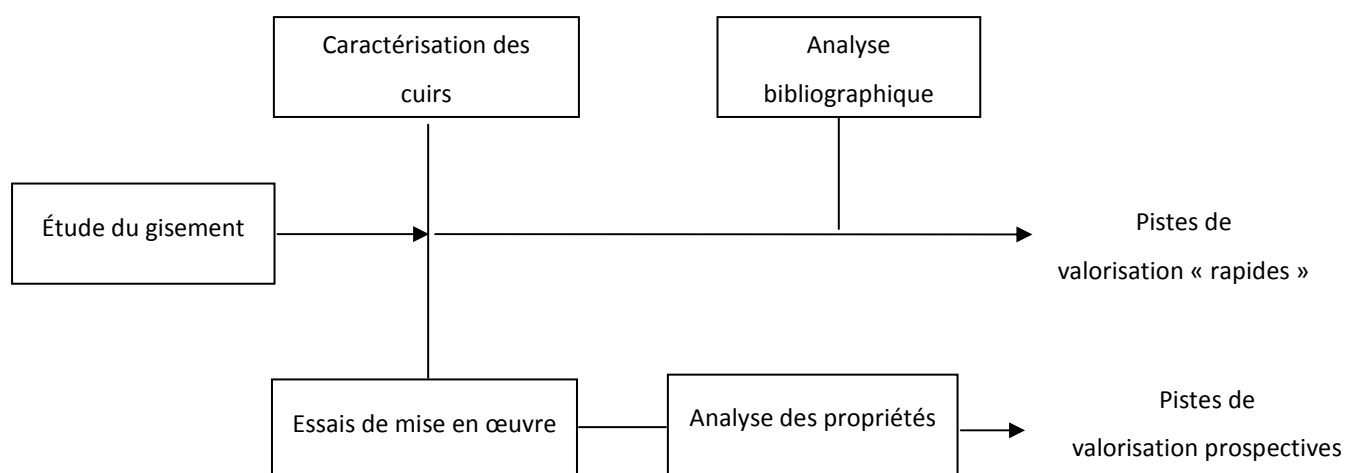


Figure 8
Démarche mise en œuvre pour la détermination des nouvelles voies
de valorisation des cuirs et peaux

3.1 - Généralités sur les peaux d'animaux

L'épaisseur de la peau varie selon l'âge, l'espèce, le sexe et la partie du corps de l'animal. La peau est plus épaisse sur le dos et sur les surfaces externes des membres et elle est plus fine sur le ventre et les surfaces des fléchisseurs. La peau est composée de 3 couches principales (figure 9) :

- **L'épiderme** : couche fine (1 % de l'épaisseur totale) couvrant la surface, s'étendant sous forme d'invaginations tubulaires et formant une partie de la surface des follicules pileux.
- **le corium ou derme** (85% de l'épaisseur totale) : partie associée aux poils. La partie supérieure contient les glandes sébacées, les muscles érectiles des poils, le reticulum et les fibres de collagène. La partie inférieure est constituée d'un entrelacement de faisceaux de collagène. Chez les bovins, les racines des poils pénètrent jusqu'au tiers de l'épaisseur du corium.
- **Le tissu sous-cutané** (14% de l'épaisseur totale) qui consiste en un réseau membranaire de collagène et de fibres d'élastine. Elle contient aussi des graisses qui déterminent la souplesse de la peau.

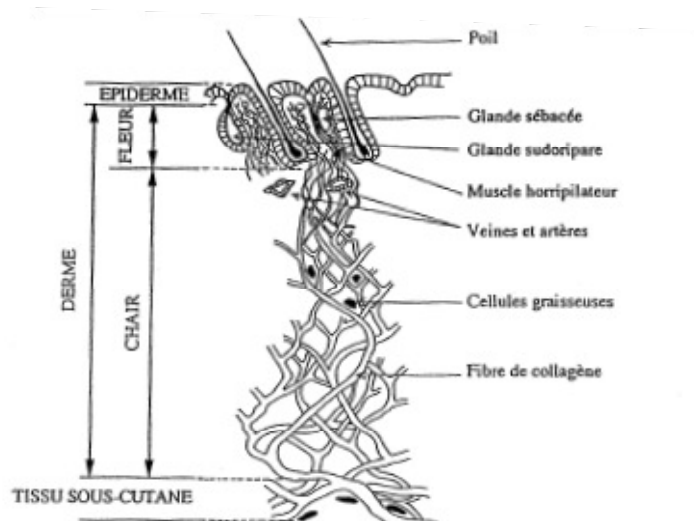


Figure 9
Coupe transversale d'une peau fraîche animale (Chagne, 1994)

La composition chimique de la peau varie aussi avec l'âge de l'animal, son sexe, son niveau d'engraissement et en fonction du traitement que la peau a subi après avoir été retirée de la

carcasse. En général, la peau est pauvre en lipides et en minéraux et riche en protéines. Les poils sont presque entièrement composés de kératine, protéine représentant entre 6-10% de la totalité protéique de la peau. La composition moyenne d'une peau brute animale (toutes espèces confondues) est présentée dans la figure 10.

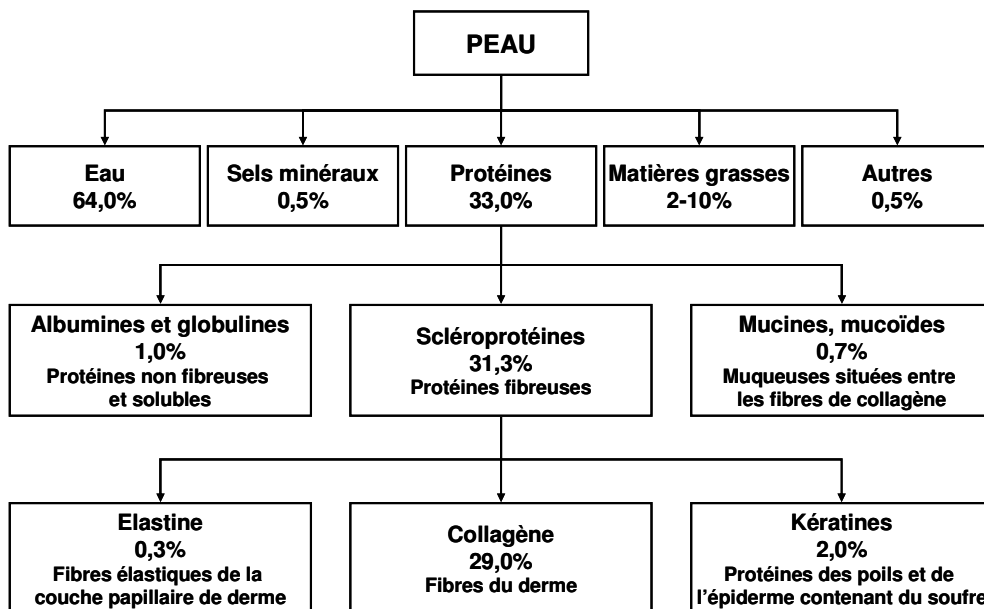


Figure 10
Composition moyenne d'une peau brute animale

Le collagène, protéine majoritaire, est constitué d'un faisceau de fibres (figure 11). La structure primaire du collagène comprend 20 acides aminés dont les plus caractéristiques sont la proline, l'hydroxyproline et la glycine qui interviennent pour un tiers des résidus (tableau 4). Chaque molécule de tropocollagène est longue de 300 nm, a un diamètre de 1,4 nm et un poids moléculaire d'environ 300 kDa. Elle est formée de 3 chaînes polypeptidiques, de type α , enroulées en triple hélice et d'une séquence d'environ 1050 acides aminés. Cette dernière se caractérise par la présence d'une molécule de glycine tous les 3 acides aminés. L'association de 5 molécules de tropocollagène conduit à la formation des protofibrilles élémentaires. Celles-ci, pontées entre elles, constituent les fibres de collagène. Les fibrilles ont une apparence caractéristique et présentent une structure périodique (période de 67 nm environ) qui peut s'expliquer par un arrangement très ordonné des molécules de tropocollagène à l'intérieur des fibrilles.

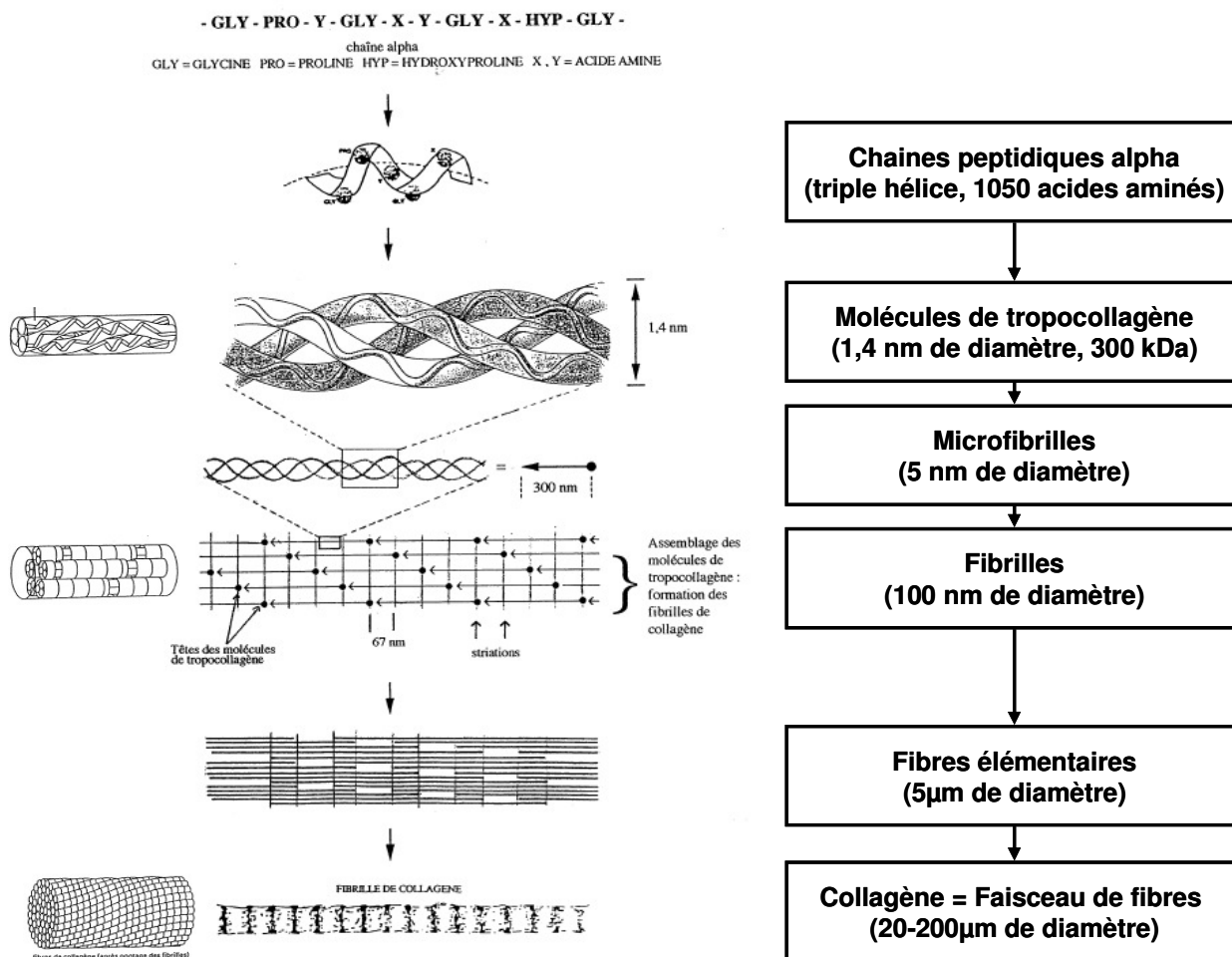


Figure 11
Structure des fibres de collagène

Glycine	Proline	Hydroxyproline
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{HO} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{HO} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \end{array} \begin{array}{c} \text{OH} \end{array}$

Tableau 4
Acides aminés majoritaires présents dans la structure du collagène

3.2 - Caractéristiques physico-chimiques des cuirs bruts

Les analyses de caractérisation ont exclusivement porté sur les cuirs de bovins, la composition des cuirs de bovins et peaux d'ovins étant proches. L'objectif de cette phase n'est pas de mesurer les différences de composition entre chaque espèce mais plutôt d'identifier les composantes majoritaires d'intérêt afin de définir de nouvelles voies de valorisation.

32.1 - Cuirs de bovins bruts

Cette étape a été réalisée sur la base d'analyses réalisées par le CRITT-CATAR à partir de peaux brutes et d'un rapprochement de ces résultats à ceux retrouvés dans la bibliographie. Les analyses physico-chimiques et les essais de valorisation ont été réalisés à partir de 3 cuirs de bovins bruts fournis par l'ADIV au CRITT CATAR. Afin de distinguer aisément ces 3 peaux, un nom leur a été attribué :

- **Bertha** : salée semaine 33
- **Marguerite** : salée semaine 34
- **Hortense** : salée semaine 35.

Leur aspect est décrit dans le tableau 5. Avant même toute analyse, il est possible de constater que ces cuirs diffèrent que ce soit par leur race ou par leur aspect (plus ou moins gras par exemple).

Peau	Livree	Aspect	Semaine salage
Marguerite	26/08/2011	marron, épaisse, vaisseaux	34
Hortense	06/09/2011	gris beige, assez fine, peu grasse	35
Bertha	06/09/2011	gris beige, épaisse, grasse, vaisseaux	33

Tableau 5
Description physique des 3 peaux de bovins analysées

Pour les caractérisations physico-chimiques de chaque cuir brut, des morceaux à différents endroits sur les bords ont été prélevés ; aux pattes, aux flancs, à la culée et au collet (figure 12).

Les analyses physico-chimiques envisagées visaient à évaluer les grandes familles constitutives des peaux que sont les protéines, les graisses et les minéraux.

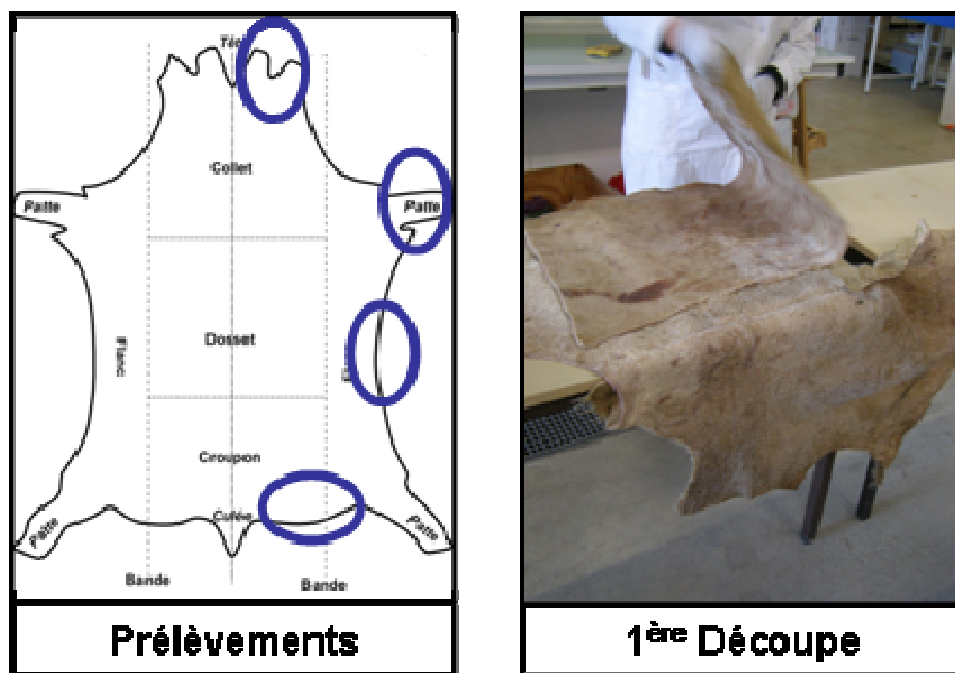


Figure 12
Prélèvements et découpes effectués sur les peaux de bovins
pour les caractérisations physico-chimiques

32.2 - Détermination de la matière sèche et de la matière minérale

La surface côté chair des morceaux de peaux a été grattée pour enlever le sel visible. Les morceaux ont été découpés aux ciseaux en plus petits morceaux d'environ 1 cm² et ils ont été mélangés pour homogénéiser les prélèvements.

La **matière sèche** a été déterminée par séchage dans une étuve ventilée à 60°C jusqu'à un poids constant. La **matière minérale** a été déterminée par calcination dans un four à 550°C pendant 6 heures.

Les 3 peaux présentent des teneurs en matières sèches et en matières minérales comparables (tableau 6).

On ne constate pas d'influence de la durée de salage sur ces résultats. Les taux d'humidité compris entre 43% et 46% reflètent une bonne conservation des peaux puisqu'il est précisé dans la littérature qu'un bon prétraitement des peaux est validé par un taux d'humidité compris entre 40 et 48% (Ockerman H.W et al., 1988).

La teneur en matière minérale est calculée par rapport à la matière sèche. Des teneurs importantes en matière minérale, de l'ordre de 30%, démontrent que la peau retient une très grande quantité de NaCl. En effet, pour une peau non salée, le pourcentage de matière minérale par rapport à la matière sèche est plutôt de l'ordre de 1-2%.

Peau	Aspect	Semaine salage	%H	%MS	%MM/MS	%MM sur peau brute
Marguerite	marron, épaisse, vaisseaux	34	45,7	54,3	29,6	16,1
Hortense	gris beige, assez fine, peu grasse	35	44,4	55,6	29,3	16,3
Bertha	gris beige, épaisse grasse vaisseaux	33	43,0	57,0	26,6	15,1
	Moyenne	/	44,3	55,6	28,5	15,8

Tableau 6

Matière sèche et matière minérale pour les 3 peaux de bovins analysées ; %H=humidité (%), %MS= matière sèche (%), %MM= matière minérale (%/MS).

32.3 - Détermination du pH et de la température de rétraction

Le pH des peaux a été mesuré en pressant un morceau de chaque prélèvement sur une bandelette de papier pH. Le pH des peaux est compris entre 6,5 et 7,0 pour les 3 peaux testées (tableau 7).

La température de rétraction des peaux a été mesurée en chauffant un petit échantillon dans un bécher d'eau muni d'un thermomètre (tableau 7). Lorsque le morceau de peau se racornit, la température est notée. Cette température correspond à la température de rupture des liaisons hydrogène intramoléculaires de la triple hélice du collagène puis à la dénaturation de la structure même de la peau par fusion de la zone cristalline. Pour chaque peau analysée, cette température est variable entre 40°C et 60°C. Les données sur l'âge, le sexe et la race des bovins testés n'étant pas disponibles, on ne peut pas établir de conclusion sur ces différences de températures. Par contre, la connaissance de ces températures est intéressante car, d'un point de vue procédé, elles permettent de fixer une gamme de températures au-delà de laquelle la dénaturation du collagène débute.

Peau	Aspect	Semaine salage	pH	TR°C
Marguerite	marron, épaisse, vaisseaux	34	6,5	40
Hortense	gris beige, assez fine, peu grasse	35	6,5	47
Bertha	gris beige, épaisse grasse vaisseaux	33	6,8	60

Tableau 7

pH et températures de rétraction des 3 peaux de bovins analysées.

32.4 - Détermination de la teneur en matières grasses et analyses chromatographiques des lipides

La teneur en matières grasses des peaux après séchage a été déterminée par extraction dans un soxhlet 125 mL avec 200mL de cyclohexane pendant 6h. Après extraction, l'extract cyclohexane est concentré à l'évaporateur rotatif puis les dernières traces de cyclohexane sont éliminées par un passage à l'étuve ventilée.

La teneur en matières grasses extraites est le pourcentage massique extrait ramené à la matière sèche de l'échantillon de départ.

Les teneurs en matière grasse mesurées pour les 3 peaux de bovins sont différentes. Cependant, comme précisé dans la partie bibliographique, les teneurs en matières grasses sont fonction de la race, du sexe, de l'âge et de l'alimentation de l'animal. De ce fait, il n'est pas étonnant de noter de telles différences. Les 3 peaux à notre disposition seraient peu grasses par rapport aux données de la bibliographie (tableau 8).

Peau	Aspect	Masse peau (g)	Masse MG (g)	% MG/MS	% MG sur peau brute
Marguerite	marron, épaisse, vaisseaux	15,22	0,25	1,6	0,87
Hortense	gris beige, assez fine, peu grasse	15,40	0,86	5,6	3,11
Bertha	gris beige, épaisse grasse vaisseaux	15,78	1,17	7,4	4,22
Moyenne		/	/	4,87	2,73

Tableau 8
Quantité de matière grasse extraite pour les 3 peaux de bovins (extraction Soxhlet).

Les lipides extraits ont été analysés plus précisément en chromatographie gazeuse afin de déterminer le profil en acides gras et le profil glycéridique. Les conditions opératoires de ces deux types d'analyses figurent dans le tableau 9.

100µL d'une solution d'huile à 20g/L dans le tertbutylmethylether (TBME) sont méthylés par 50µL d'hydroxyde de triméthylsulphonium TMSH à 0,5M dans le méthanol. La solution est injectée en mode split. Le profil glycéridique consiste en une analyse de la graisse par chromatographie en phase gazeuse qui permet de quantifier les esters d'acides gras (tri, di et monoglycérides) et les acides gras libres (C16-C18) (figure 13).

180µL d'une solution d'huile à 0,5g/L dans le cyclohexane sont dérivatisés par 20µL de réactif de silylation (50µl methyl imidazole dans 1 ml de N-méthyl-N-triméthylsilyl-heptafluorobutyramide MSHFBA). La solution est chauffée dans une étuve à 105°C pendant 2 à 3 minutes. Elle est ensuite injectée en mode on-column.

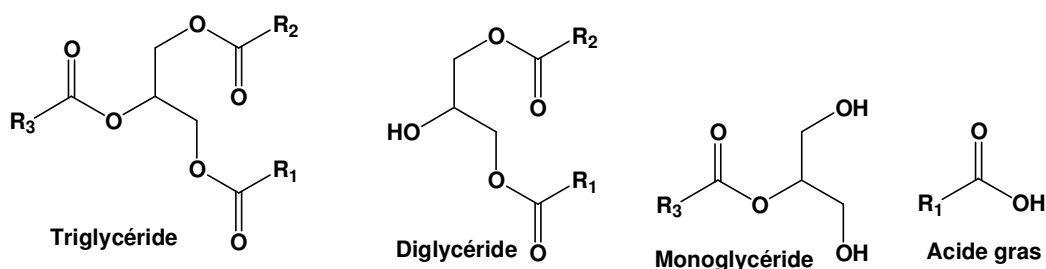


Figure 13
Composition glycéridique théorique d'une graisse

Module	Profil acides gras	Profil glycéridique
Appareil	CPG VARIAN 3900	CPG PERKIN ELMER
Standards chimiques	Supelco Mix37	Acide oléique, monooléine, dioléine et trioléine
Colonne	CP-Select CB for FAME fused silica WCOT	CP Sil 8CB low bleed MS
Dimensions colonne	50m x 0,25mm(ID); 0,25µ(df)	15m x 0,32mm(ID); 0,25µ(df)
Gaz vecteur	Hélium	Hélium
Débit ou pression	1,2mL/min	15psi
Volume injecté	1µL	1µL
Température injecteur	250°C, split 1:100	De 55°C (0,5min) à 340°C @200°C/min; 340°C (40min)
Température détecteur	FID, 250°C	FID, 365°C
Four	De 185°C (20min) à 250°C @15°C/min; 250°C (5,67min)	De 55°C (0,5min) à 80°C @45°C/min; de 80°C à 360°C @10°C/min; 360°C (16min)

Tableau 9
**Conditions opératoires pour les analyses chromatographiques des graisses :
profil acide gras et profil glycéridique.**

Concernant les profils acides gras (tableau 10):

- Les peaux sont riches en acides gras insaturés et essentiellement en acide oléique. La composition globale en acides gras insaturés est supérieure à 40% pour Hortense et Bertha.

- Les compositions en acides gras pour Hortense et Bertha sont cohérentes avec la littérature [acides gras majoritaires : oléate (C18 :1) et palmitate(C16 :0)]. Par contre, une très haute teneur en myristate (C14 :0) a été mesurée pour Marguerite sans avoir d'hypothèse pour expliquer ce résultat.

A propos des profils glycéridiques (tableau 11), pour chaque peau, les résultats sont exprimés en mg/100 mg d'extrait lipidique et en pourcentage par rapport à la somme des composés glycéridiques dosés.

Les peaux présentent une très faible teneur en monoglycérides (<1%) et une faible proportion de diglycérides (<5%).

Elles sont essentiellement constituées de triglycérides (80-90%) et d'acides gras libres (8-17%). Dans l'objectif d'une application en tant que suif, il sera nécessaire d'abaisser la teneur en acides gras libres à des valeurs inférieures à 2%. Dans les 3 chromatogrammes, un pic correspondant au cholestérol a été déterminé. Ajoutons à cela l'éventuelle présence de cyclohexane résiduel et de protéines entraînées par l'extraction soxhlet et le bilan massique de l'extrait lipidique serait complet.

Acides gras (%)		Marguerite	Hortense	Bertha
C12:0	Laurate	3.38	0.79	0.38
C14:0	Myristate	20.31	8.19	5.29
C14:1n9c	Myristoléate	0.64	1.26	1.48
C15:0	Pentadécanoate	0.62	0.88	0.79
C16:0	Palmitate	22.05	31.74	33.06
C16:1n7c	Palmitoléate	3.26	6.23	6.14
C17:0	Heptadécanoate	0.66	0.83	0.84
C18:0	Stéarate	8.59	9.51	9.07
C18:1n9c	Oléate	22.58	31.44	34.86
C20:1n9c	Gadoléate	1.98	1.12	0.55
C24:0	Lignocérate	4.28	0.55	1.29

Tableau 10
Profils acides gras des 3 peaux de bovins sélectionnées

Dosage glycérides		Marguerite		Hortense		Bertha	
		(mg/100mg)	(%/S)	(mg/100mg)	(%/S)	(mg/100mg)	(%/S)
C14	Acides gras libres	0,84	2,1	0,48	1,0	0,20	0,4
C16		2,53	6,3	2,74	5,7	1,85	3,7
C18		3,34	8,4	2,84	5,9	2,18	4,3
MonoC18	Monoglycérides	0,22	0,6	0,27	0,6	0,09	0,2
DiC16	Diglycérides	0,50	1,3	1,45	3,0	0,93	1,9
DiC18		0,69	1,7	0,93	1,9	1,02	2,0
T42	Triglycérides	1,66	4,2	0,39	0,8	0,15	0,3
T44		2,43	6,1	1,35	2,8	1,03	2,1
T46		2,77	6,9	2,18	4,6	2,02	4,0
T48		4,77	12,0	6,41	13,4	6,79	13,5
T50		10,76	27,0	12,11	25,4	13,45	26,8
T52		7,44	18,7	13,05	27,3	15,77	31,5
T54		1,92	4,8	3,55	7,4	4,64	9,3
Somme (S)		39,87	100	47,75	100	50,12	100

Tableau 11
Profils glycéridiques des 3 peaux de bovins sélectionnées

32.5 - Évaluation de la teneur en protéines et composition en acides aminés

Des échantillons prélevés tout autour des différents cuirs bruts ont été lavés à l'eau claire puis séchés à l'étuve ventilée à 60°C et enfin broyés dans un broyeur à couteaux sur une grille 6mm puis 2 mm (figure 14).



Figure 14
Broyats de peaux de bovins après lavage et séchage

Les broyats sont foisonnants et contiennent à la fois la peau et le poil.

La matière sèche et la matière minérale de ces broyats ont été déterminées.

La teneur en azote total a été mesurée sur les broyats par la méthode de Kjeldalh.

La teneur en azote total a aussi été mesurée sur un mélange de poils isolés.

La conversion du taux d'azote total en taux de protéines a été calculée avec un facteur multiplicatif de 6,25.

Les 3 cuirs bruts de bovins présentent des teneurs protéiques élevées et similaires.

Pour information, les poils représentent 10 à 12 % de la matière sèche de la peau brute dessalée.

Peau	% MS des cuirs bruts dessalés	%MS du broyat de cuir séché	%MM/MS	%N/MS	%Protéines/MS	%Protéines/peau brute dessalée	%MM/peau brute dessalée
Marguerite	44,6 %	92,83	22,6	11,59	72,4	32,3	10,08
Hortense	44,6 %	92,35	24,71	12,72	79,5	35,46	11,02
Bertha	49,6 %	93,51	23,91	10,51	65,7	32,6	11,86
Poils isolés	/	91,04	/	13,65	85,3	/	

Tableau 12
Teneur en protéines des peaux de bovins mesurée par la méthode de Kjeldalh.
(N : azote ; MS : Matière sèche ; MM : matières minérales)

Ces analyses ont été complétées par la réalisation des aminogrammes c'est-à-dire la détermination de la composition en acides aminés

- des différents cuirs bruts : broyats de peaux contenant la peau et les poils,
- et d'un mélange de poils.

La détermination de la composition en acides aminés se déroule en deux étapes : premièrement l'hydrolyse qui consiste à amener les acides aminés en solution comme molécules libres et deuxièmement une étape chromatographique pour séparer les différents pics d'acides aminés avant leur quantification.

- Préparation des hydrolysats de protéine : Une quantité connue d'échantillon (15-25 mg) est placée dans un tube d'hydrolyse en verre, sur lequel sont ajoutés 10mL d'acide chlorhydrique (6M). Le tube contenant l'échantillon est placé à l'étuve à 103°C pendant 24 heures. Après cette période, le tube est mis à refroidir. Le pH est ajusté avec précaution à 2,2 avec une solution de NaOH à 30%. La solution est transvasée dans une fiole jaugée de 25mL. Le volume est ajusté avec un tampon citrate pH 2,2 (tampon commercial de la société Biochrom). Après filtration sur un filtre PTFE 0,45µm, l'échantillon est stocké à 4°C avant analyse.
- Chromatographie : la chromatographie est exécutée sur l'appareil Biochrom 30 (Biochrom, Cambridge, Royaume-Uni, Photographie 5- 2), qui contient des résines

d'échange ionique, les acides aminés sont normalement déterminés par colorimétrie à 570 nm (440 nm pour la proline) après réaction avec la ninhydrine. Un étalonnage a été réalisé pour 17 acides aminés (Amino Acid Standard Solution, Sigma Aldrich).

Pour chaque échantillon, trois hydrolyses ont été effectuées. Les compositions en acides aminés sont initialement exprimées en g/100g d'échantillon. A des fins comparatives, les pourcentages relatifs massiques moyens ont aussi été calculés et comparés avec les valeurs trouvées dans la littérature (tableau 13).

Acide Aminé	MW (g/mol)	Résultats bibliographiques				Résultats expérimentaux			
		Peau dépilée (Ockerman H.W et al.,1988)		Alpha kératine épidermique (Sternert P.M. et al., 1975)		Marguerithe	Hortense	Bertha	Poils
		Nbre résidus/100 résidus	%Poids (relatif)	Nbre résidus/100 résidus	%Poids (relatif)	Moyenne de 3 échantillons %Poids (relatif)			
Acide aspartique	133,1	4,2	5,1	9,0	9,5	6,8	6,8	6,7	6,9
Thréonine	119,1	1,8	2,0	4,2	3,9	2,9	2,9	2,6	6,5
Sérine	105,1	3,4	3,3	11,9	10,0	5,2	5	4,7	9,4
Acide glutamique	147,1	7,2	9,7	13,5	15,7	13,1	13	12,7	17,4
Glycine	75,1	33,9	23,3	14,9	8,9	20,9	21,5	22,5	4,4
Alanine	89,1	10,6	8,7	5,2	3,7	8,4	8,6	8,9	4
Cystéine	121,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,2	1,1	0,7	6,1
Cystine	240,3	—	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
S-carboxyméthylcystéine	179,2	N.D.	N.D.	1,2	1,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Valine	117,2	2,1	2,2	5,6	5,2	3,3	3,1	3,1	5,5
Méthionine	149,2	0,6	0,8	1,6	1,9	0	0	0	0
Isoleucine	131,2	4,1	4,9	4,1	4,2	2,1	2	1,9	3,3
Leucine	131,2			9,0	9,4	4,9	4,7	4,5	8,2
Tyrosine	181,2	0,5	0,8	3,6	5,2	1,4	1,3	1,3	3
Phénylalanine	165,2	1,4	2,1	3,0	3,9	2,7	2,6	2,6	3
Histidine	155,2	0,4	0,6	1,2	1,4	1,1	1	1,1	1,1
Lysine	146,2	2,8	3,7	4,8	5,6	4,4	4,4	4,4	3,9
Arginine	174,2	4,6	7,3	6,2	8,6	8,6	8,8	8,6	9,6
Proline	115,1	12,1	12,8	1,0	0,9	13,0	13,3	13,6	7,6
Hydroxylysine	162,2	0,7	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hydroxyproline	131,1	9,7	11,7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Tableau 13
Composition en acides aminés des peaux et des poils de bovins fournis par l'ADIV ;
comparaison avec la littérature. (ND : Non disponible)

Les 3 cuirs présentent des compositions en acides aminés équivalentes avec une majorité de glycine, d'acide glutamique et de proline. Les cuirs analysés étant constitués des poils et de la peau, il est normal de constater la présence de cystéine, qui est l'acide aminé caractéristique de la kératine des poils et qui est retrouvé à hauteur de 6% dans les poils isolés.

32.6 - Conclusions sur la caractérisation physico-chimique des peaux

L'ensemble des analyses réalisées nous permet de proposer une composition moyenne pour les cuirs bruts de bovins étudiés (figure 15).

	Cuirs bruts avant lavage		Cuirs bruts dessalés	
Eau (%)	44.4 +/- 1.1		5.7 +/- 3.4	
M.S. (%)	55.6 +/- 1.4		46.3 +/- 2.9	
	(% /MS)	(%/peau brute)	(%/MS)	(%/peau brute)
Matières minérales	28.5 +/- 1.7	15.8 +/- 0.9	23.7 +/- 1.1	11.0 +/- 0.5
Protéines	66.6 +/- 6.3	37.0 +/- 3.5	72.5 +/- 6.9	33.6 +/- 3.2
Lipides	4.9 +/- 3.0	2.7 +/- 1.7	5.3 +/- 3.2	2.5 +/- 1.5

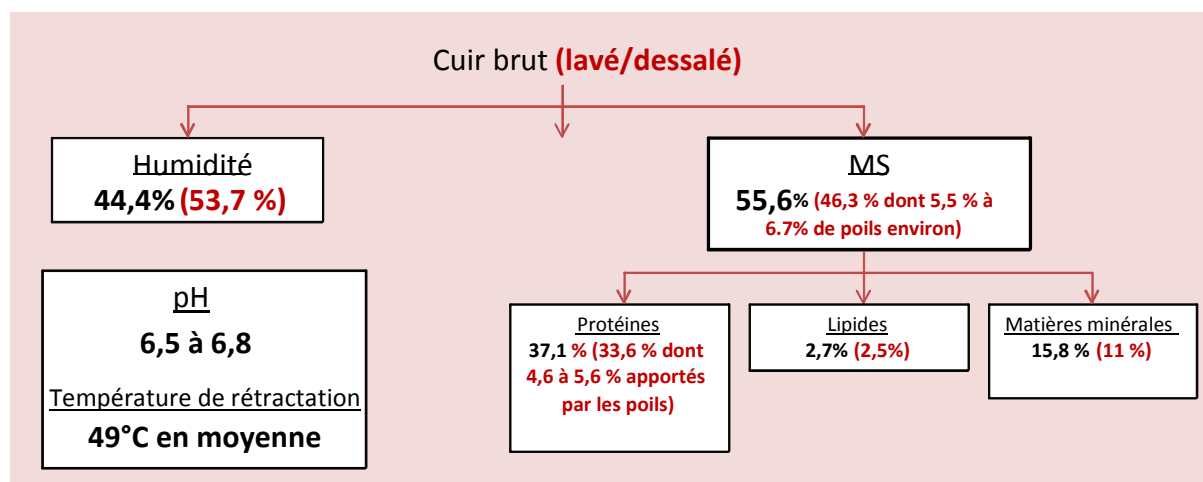


Figure 15
Compositions physico-chimiques moyennes d'un cuir brut de bovin (noir)
et d'un cuir lavé/dessalé (en rouge) exprimées par rapport au poids de départ

Les cuirs bruts sont des matériaux riches en protéines, en particulier le collagène issu du derme et de la kératine issue des poils. La teneur en lipides est faible mais la teneur en matière minérale élevée consécutivement à l'opération de salage effectuée à l'abattoir. Les

capacités de rétraction et cette composition chimique particulière peuvent permettre d'aborder les voies de valorisation alternatives immédiates et à plus long terme.

3.3 - Analyse bibliographique des voies de valorisation à court terme

Les peaux et fourrures animales sont transformées en une multitude de biens de consommation. En dehors de leur valorisation en cuirs et peaux tannées, d'autres parties de la peau telles que les poils, la laine, les graisses ou des coproduits du process de tannage sont aussi préservées et utilisées dans de nombreux domaines (tableau 14).

Portion of hide, skin or pelt	Example of finished product
<i>Cattle hide by-products</i>	
Cured and tanned hides	Sole and upper leather shoes, rawhide, bags, athletic equipment, belting, upholstery, etc.
Corium layer	Picking bands, textile shuttle holders and passers, reconstituted collagen sausage casings, cosmetic collagen products
Tail hair	Paint brushes, upholstery padding
Body hair	Felting, plaster retardant, etc.
Inside of ear hair	Imitation camel-hair brushes
Hide trimmings	Tankage, fertilizer, glue, inedible gelatin
Hide fat	Tallow
Calf skin	Light weight leather, fabric trimmings, drum heads, gloves, etc.
<i>Hog skin by-products</i>	
Pig skin	Gloves, belts, razor strops, shoe uppers, inner-soles, upholstery, shoe counters, sausage, pork rinds, edible gelatin, glue, etc.
Hair	Upholstery padding, felting, plaster retardant
Bristles	Brushes
<i>Sheep pelt, by-products</i>	
Wool	Blankets, gloves, clothing, carpets, upholstery fabric, lanolin, etc.
Slats (skin after wool or fleece is removed)	Shoe and slipper uppers and lining, hat sweat bands, fancy shoes, gloves, garmets, sporting goods, diplomas, etc.
Pelts (wool or fleece left on)	Heavy coat material, moutons, shearlings
Trimming	Glue, tankage
<i>Horse hide by-products</i>	
Cured and tanned hides	Shoe sole and uppers, gloves, sporting goods, luggage, belts
<i>Domesticated land and water buffalo hide by-products</i>	
Cured and tanned hides	Shoe sole and uppers, fancy leather goods, luggage, handbags, buffing wheels
<i>Deer hide by-products</i>	
Cured and tanned hides	Shoe uppers, clothing, gloves, moccasins, muk-luks
<i>Kangaroo hide by-products</i>	
Cured and tanned hides	Shoe uppers
<i>Exotic and fancy leathers</i>	
Aquatic group	Frog, seal, shark, walrus, turtle
Land group	Camel, elephant, ostrich, pangolin
Reptile group	Alligator, crocodile, lizard, snake

Clemen (1927), Ockerman (1983), Tanners' Council of America (1983).

Tableau 14
Exemples d'utilisation de peaux et fourrures (Ockerman H.W. et al., 1988)

33.1 - Rappel sur la valorisation en tannerie

Le secteur de la tannerie reste encore le débouché dominant pour la valorisation des cuirs et peaux brutes issues des abattoirs. L'analyse des différentes opérations réalisées en tannerie (figures 16 et 17) en particulier le travail de rivière avant tannage permet de mettre en évidence les co-produits issus de la filière tannerie et leurs débouchés.

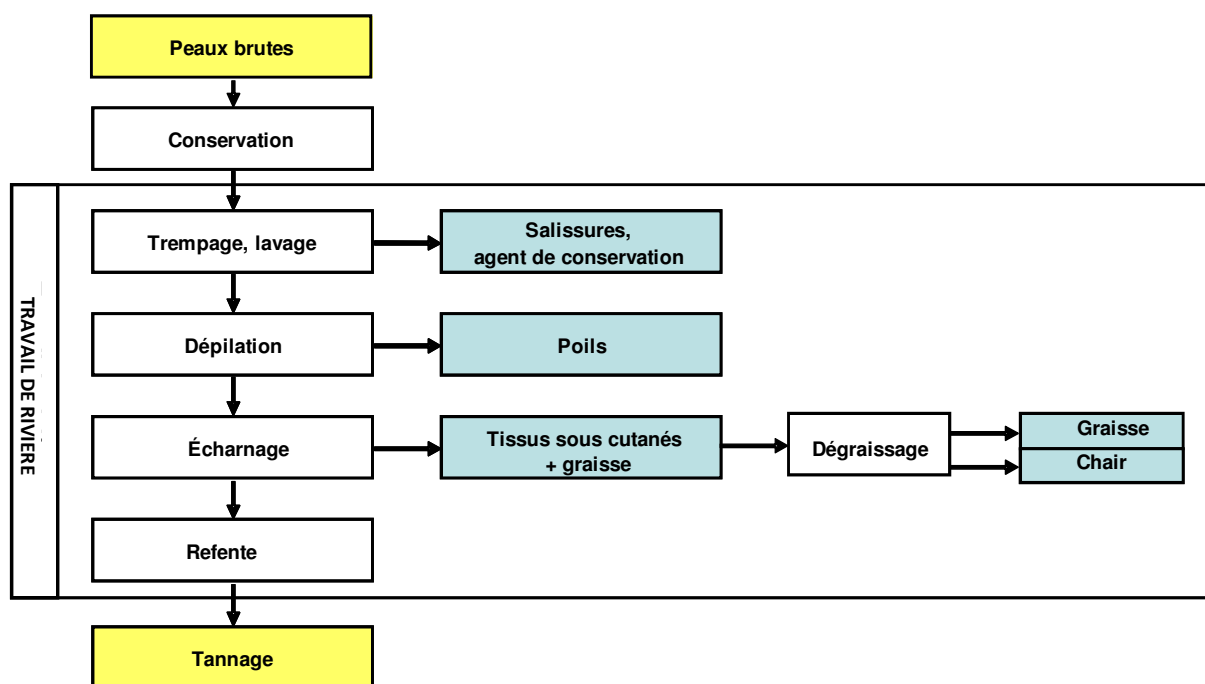


Figure 16
Diagramme de préparation des peaux avant tannage

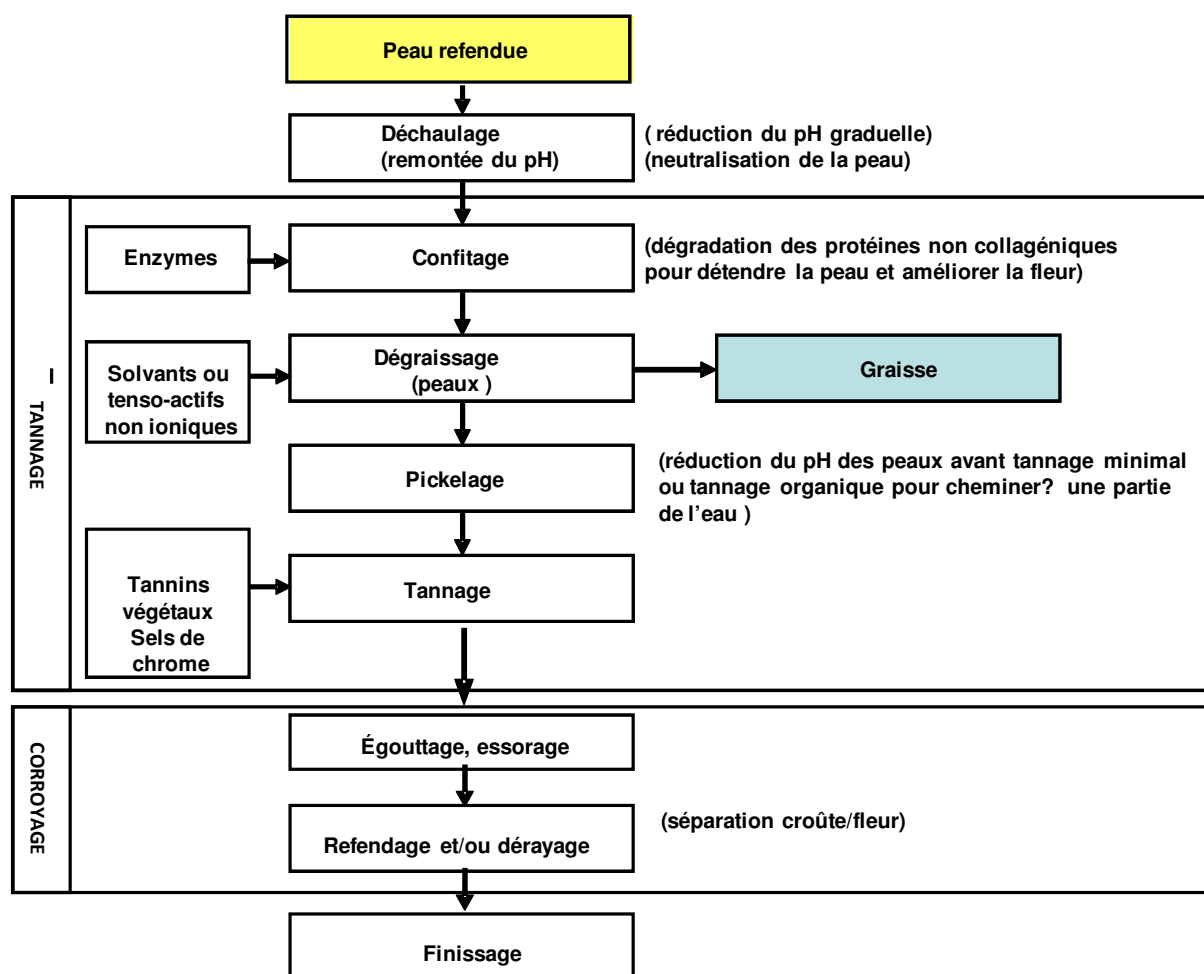


Figure 17
Diagramme des opérations de tannage avant finissage

● La conservation

Quel que soit l'animal, l'enlèvement de la peau (figure 18) doit être rapidement suivi de l'étape de conservation pour arrêter la décomposition bactérienne et enzymatique.

Dans les zones à faible taux d'humidité, les peaux peuvent être séchées à l'air. Dans les zones où le taux d'humidité est plus important (85-90%), la méthode de conservation la plus ancienne est le **salage**.

Les peaux sont salées côté chair (1kg de sel / kg de peau) puis empilées de telle manière que les bords soient plus hauts que le centre afin de retenir le sel et conduire ainsi à un meilleur traitement. Le niveau de sel contrôle la croissance bactérienne et diminue l'humidité des peaux. Des **additifs** sont souvent ajoutés : fluorure de sodium (1%), naphthalène (1%), acide borique (1%), oxyde de zinc, metabisulfite de sodium. Après 30 jours de salage, la

composition moyenne est : 12-16% de sel, 35-45% d'eau et 40-50% de peau. Les peaux peuvent être conservées sous cette forme pour une durée allant jusqu'à 2 ans.

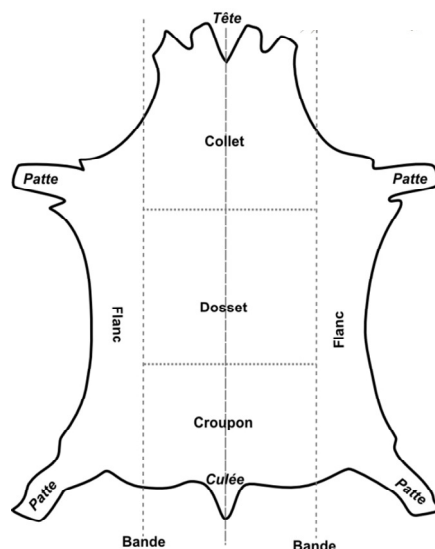


Figure 18
Schéma représentatif d'une peau de bovin après abattage

D'autres méthodes de conservation ont été développées afin d'optimiser le salage ou d'aller vers des traitements différents :

- le traitement mélangeur : les peaux sont chargées dans un mélangeur avec une solution saturée en sel et un agent antibactérien. Les peaux sont mises en rotation pendant 6-12 h. En sortie de process, les peaux sont mouillées. L'excès de liquide est éliminé par essorage.
- Traitement « raceway » : les peaux et la solution saturée en sel sont placées dans une cuve. Des roues à aube permettent de faire circuler la solution saline (maintenue à 98% de salinité) et de faire bouger les peaux. Le traitement dure 16h et est suivi par un essorage des peaux.
- Traitements sans sel : traitement acide acétique/sulfite de sodium ou traitement par solvant (acétone, ether/alcool, éther/alcool+éther/ester) qui permet une très bonne conservation de la peau tant qu'elle n'est pas en contact avec l'eau.
- Traitements sans sel pour des conservations de courtes durées par l'utilisation de réactifs plus respectueux de l'environnement (Didato D.T. et al., 2008).

● Le trempage

Tout d'abord une étape de **trempage** est menée pour remonter le taux d'humidité. Cette étape, durant entre 8 et 20h, est accomplie dans des cylindres agités dans lesquels les peaux sont placées en présence d'eau, de détergents et d'agents désinfectants. L'agitation permet le ramollissement des peaux qui sont ensuite lavées à l'eau afin d'éliminer les salissures, le sel et le sang.

● La dépilation

L'objectif de la **dépilation** est d'éliminer la **kératine** épidermique (qui forme 85% de la tige pileuse) et quelques protéines solubles sans altérer le collagène. La kératine est une protéine contenant des chaînes polypeptidiques résultant de la condensation d'acides aminés (figure 19). La cystéine représente à elle seule 15-18% de l'ensemble des 18 à 20 acides aminés constituant la kératine. Dans les poils, la kératine adopte une forme hélicoïdale : c'est la kératine α (diamètre de l'hélice = $9,8\text{\AA}$; pas = $5,4\text{\AA}$; 3,6 acides aminés/spire).

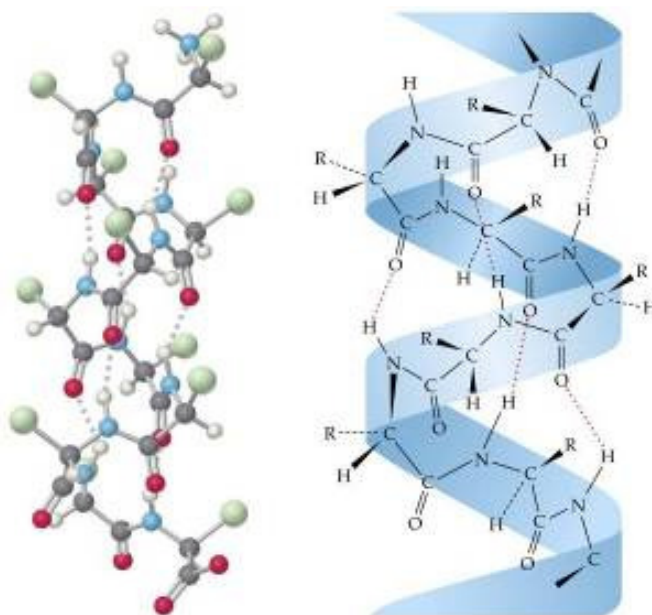


Figure 19
Structure de la kératine

Quatre types d'interactions interviennent dans la cohésion de la kératine (Lyon L.R., 1967 et Barry R.H., 1972) :

- **ponts disulfures** (cystine) tendus entre les chaînes polypeptidiques. Ces liaisons sont sensibles aux attaques chimiques en particulier les réducteurs et les oxydants.
- **interactions coulombiennes** (liaisons salines) entre groupements situés sur les chaînes latérales. Ces interactions diminuent fortement dans un milieu diélectrique tel que l'eau et disparaissent en milieux acide ou basique.
- **liaisons hydrogène** qui sont rompues par les molécules d'eau s'insérant entre les chaînes polypeptidiques. Ce processus est influencé par la présence dans l'eau de produits gonflants tels que l'urée, la thiourée, la guanidine... qui déstabilisent la structure hélicoïdale en donnant une configuration déployée lâche.
- **interactions hydrophobes** qui se manifestent au voisinage des chaînes latérales qui ne portent aucun groupement fonctionnel et qui ont tendance à s'empaqueter pour s'isoler de l'eau. Les tensioactifs s'opposent à ce genre d'interactions.

La rupture de l'une ou de plusieurs de ces forces provoque une instabilité de l'édifice moléculaire.

A l'origine, la dépilation était accomplie en plaçant les peaux dans une pièce chaude et humide en présence d'enzymes bactériennes (GB 284719, 1927). Cette technique a été délaissée pendant un temps car elle impliquait une altération des peaux. Une autre possibilité était de pulvériser de l'acétate de méthyle sur des peaux vertes à pH 4 puis d'incuber 20h à 32°C. Depuis de nombreuses années, la dépilation chimique est devenue la méthode la plus communément utilisée.

Les **agents dépilatoires chimiques** les plus classiques sont des mélanges entre des mercaptans qui agissent comme réducteurs des ponts disulfures et des bases (pH>11) qui rompent les liaisons salines. Ainsi, des compositions privilégiées sont par exemple :

- une solution saturée d'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2) et de sulfure de sodium (NaS) ou d'hydrogénosulfure de sodium (NaHS).

- du lait de chaux (CaO) fortifié par du sulfure de sodium (NaS) ou de l'hydrogénosulfure de sodium (NaHS), du sulfure d'arsenic (As₂S₂) ou de la diméthylamine ((CH₃)₂NH).

Les températures, l'agitation et les quantités d'agents dépilatoires déterminent l'étendue de l'élimination des poils. Si les poils doivent être sauvegardés, une solution peu concentrée et des températures faibles sont utilisées et seules les racines des poils sont perdues. Au bout de 2 à 4 jours, les poils sont collectés, lavés à l'eau puis à l'eau acidifiée (acide acétique 1%) puis séchés. Ils peuvent servir en tant que liant dans les plâtres, matériau isolant, feutre, tapis et autres types de textiles. Pour des solutions dépilatoires de pH plus élevés et des températures supérieures, il est possible d'observer une dissolution totale des poils en quelques heures.

Si tous les poils ne sont pas éliminés chimiquement, la peau peut subir un traitement de dépilation mécanique complémentaire. Des travaux récents proposent de substituer les traitements réducteurs au sulfure de sodium par des traitements oxydants au peroxyde d'hydrogène afin de limiter l'impact environnemental (Moura JM. et al., 2002). Dans le cas de réactifs basiques de dépilation, des lavages à l'eau contenant des sels (sulfate de sodium, chlorure d'ammonium, phosphate trisodique) ou de l'acide sulfurique sont réalisés afin d'éliminer ces réactifs et de passer d'un pH supérieur à 12,5 à un pH de 8-9.

Les traitements de dépilation chimiques sont générateurs d'un grand nombre d'effluents hautement chargés en produits chimiques. Les derniers procédés développés proposent une optimisation afin de recycler au maximum les réactifs et à limiter la pollution engendrée (Potter W. et al., 2001).

La **dépilation enzymatique** est de nouveau au goût du jour grâce à l'utilisation d'enzymes protéolytiques, par exemple la pancréatine couplée à un prétraitement avec des hydroxydes alcalins (Donevan R.G. et al., 1972) ou des enzymes dérivées de *Streptomyces griseus* (Gehring A.G. et al., 2002), de *Bacillus licheniformis* (Noshay E.H.A et al., 2005), de *Bacillus subtilis* (Sivasubramanian S. et al, 2002) ou de Biodart, une protéase bactérienne commerciale (Sivasubramanian S. et al, 2002). De la même manière que pour les réactifs chimiques, la vitesse d'élimination des poils dépend de la concentration en enzymes et de la température. Certaines enzymes peuvent même être mises en œuvre conjointement à du métasilicate de sodium qui agit sur l'ouverture des fibres et augmente ultérieurement les

propriétés du cuir de part la présence de silice (Saravanabhavan, S., et al., 2005 et 2008). Il est aussi nécessaire pour chaque enzyme utilisée de comparer son action sur la kératine à celle exercée sur le collagène, qui bien évidemment doit être la plus faible possible (Dettmer, A. et al., 2011). Plusieurs exemples de procédés de dépilation enzymatique brevetés sont exposés dans le tableau 17.

Cette technique présente les intérêts :

- d'éliminer les racines : augmentation du rendement et une obtention d'un grain de peau plus propre
- d'être plus rapide
- d'être plus respectueuse de l'environnement.

S. Sivasubramanian et al. ont comparé les procédés conventionnels de dépilation chimique et de dépilation assistée par une enzyme commerciale à un procédé totalement enzymatique. Les détails de ces comparaisons de procédés sont donnés dans le tableau 15. Quelques années auparavant, le même laboratoire de recherche, par l'intermédiaire P. Thanikaivelan et al. publiaient en plus d'une étude environnementale, une comparaison économique entre les procédés chimique et enzymatique (tableau 16).

Process	Goatskins			Cowhides		
	Conventional	EA	Experimental	Conventional	EA	Experimental
<i>Soaking</i>						
Wet salted skins/hides	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Water	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Soaked skins/hides	1160	1160	1160	1180	1180	1180
Green fleshed hides	—	—	—	1040	1040	1040
<i>Dehairing</i>						
Mode of dehairing	Paste and pile	Paste and pile	Dip method	Dip method	Dip method	Dip method
Water	116	116	1160	1040	1040	1040
Lime	116	58	—	104	62.4	—
Sodium sulfide	23.2	5.8	—	31.2	20.8	—
Sodium carbonate	—	—	2.3	—	—	4.2
Enzyme	—	17.4	11.6	—	20.8	20.8
Effluent	750 ^a	750 ^a	830	730	770	795
Dehaired pelts	880	865	860	920	890	875
Dry hair	30	33	38	—	—	22
<i>Reliming</i>						
Water	880	865	860	920	890	875
Lime	88	86.5	86	92	89	87.5
Effluent	610	575	550	605	560	530
Relimed pelts	1045	1020	1025	1090	1075	1060
Fleshed weight	820	825	825	940	930	940

Weight of the above components was presented in kg.

EA – Enzyme Assisted.

^a Water used for washing.

Tableau 15
Détails du procédé de dépilation enzymatique comparé aux procédés
de dépilation chimique et assisté par des enzymes (Sivasubramanian S. et al., 2008)

TABLE 9. Cost Estimates of the Conventional (C) and Biocatalytic Three-Step Tanning (E) Processes

unit operations	(US\$/t of raw hides)	
	control	experimental
lime	24.48	
sodium sulfide	15.92	2.65
Biodart (SPIC)		24.49
α -amylase (SPIC)		36.73
ammonium chloride	1.94	
alkali bate	6.64	
sodium chloride	3.80	
sulfuric acid	1.37	0.30
BCS	45.55	39.18
sodium formate	1.90	
sodium bicarbonate	2.66	
total	104.27	103.35

Tableau 16
Estimation des coûts des procédés de dépilation conventionnel
(Control) et biocatalysé (Experimental), (Thanikaivelan, P., et al., 2003)

Ces innovations concernent l'industrie du tannage au sein de laquelle le souci de réduction de la pollution engendrée grâce à l'utilisation d'enzymes est une priorité actuelle. La réduction de l'impact environnemental ne concerne pas seulement la dépilation (Wang R. et al., 2009) mais aussi les autres étapes de préparation des peaux avant leur tannage, (Kanagaraj, J., et al., 2006, Mukherjee, R. et Mukherjee G., 2008). Les recherches se dirigent vers une utilisation d'enzymes spécifiques à chaque étape du procédé (Mukherjee, R. and Mukherjee G., 2008).

● L'écharnage

L'écharnage consiste à **éliminer les tissus sous-cutanés et la chair**. Cette opération élimine environ 16% de la matière première (8,2kg en moyenne de graisses et chair pour 45,4kg de peau). L'écharneuse possède 2 cylindres rotatifs, l'un étant muni d'une lame hélicoïdale qui rabote la graisse et la chair lors du passage de la peau entre les cylindres.

Les résidus de l'écharnage et du dégraissage sont aussi valorisés. Le système Lycoil (clarification humide) est basé sur la centrifugation (Lyon L.R., 1967). La matière est broyée et l'eau et la graisse sont récupérées par centrifugation. Une deuxième étape de centrifugation sépare la phase lipidique de la phase aqueuse. Le résidu solide est alors séché. Ce dernier contient 40-60% de protéines. La partie lipidique est utilisée dans l'industrie des savons et dans l'industrie chimique. Ce procédé est détaillé après.

Brevet	Société	Objet
US396655 1 (Monsheimer, R., 1976)	Rohm GmbH	Méthode pour préparer des peaux tannables à partir de peaux et de cuirs d'animaux Exemple : 100 kg de peau de bovin salée + 200% d'eau dans un tambour rotatif à 25°C pendant 30 min. Phase aqueuse retirée. Addition 200% eau à 28°C +0.023% protéase bactérienne alcaline (<i>Bacillus alcalophilus</i>) + 0.025% protéase fongique (<i>Aspergillus Flavus</i>) + 0.02% trypsine + 0.8% thioglycolate d'ammonium + 1% NaOH. 12h, agitation initiale pendant 30 min. Addition 1% chaux hydratée +2% NaOH, agitation initiale pendant 40min puis 24h.
US429408 7 (Monsheimer, R., 1981)	Rohm GmbH	Méthode enzymatique pour la récupération des poils en concomitance avec la préparation du cuir. Exemple : 100 kg de peaux de vaches + 150% d'eau : lavage pendant 2h à 30°C. Elimination eau de lavage puis addition 150% eau (26°C) + 0,2% acide thioglycolique (30 min, 4 rpm puis 1h sans agitation). Addition de 1% de protéinase <i>Bacillus subtilis</i> + 2% protéinase <i>Bacillus Licheniformis</i> + 2% NaOH (agitation 1h). Durée totale traitement = 18h. Deux lavages à 150% d'eau à 25°C.
US463622 2 (Pfleiderer et al., 1986)	Rohm GmbH	Méthode de dépilation enzymatique Lavage de 2000 kg de peaux de bovins (150% eau, 27°C, 4rpm, 2h) Elimination eau de lavage. +150% eau (27°C) + 1% <i>Bacillus subtilis</i> , 4rpm, 4h. +100% eau (27°C) + 3% <i>Aspergillus parasiticus</i> + 1% NaOH (2min/h à 4rpm pendant 18h).
WO90/12 118 (Soerensen, N.H. et al., 1990)	Novon ordisk	Méthode enzymatique de dépilation de peaux et cuirs 2 Prélavages des peaux : 300% eau, 20°C, 2h puis 300% eau, 20°C, 12h. Addition 300% eau + 2.4% NaCl (agitation 5 min, 32°C) + 0.15% acide sorbique +2% carboxypeptidase +2% d'acide lactique (32°C, pH 3.9-4.0, 24h,).
US2004/ 0006825 (Rose, C., et al., 2004)	Baker & Botts	Procédé sans sulfures et sans chaux utilisant des enzymes de plantes ou animales : dépilation sans affecter le collagène + récupération totale des poils. 1. Trempage peau dans H ₂ O (300% H ₂ O/poids peau, 2-6h, 10-40°C). Retirer solution de lavage. Dépôt d'une solution enzymatique sur le côté chair (10-24h, 10-60°C, placer les peaux chair contre chair ou grain contre grain) Ou 2. Trempage peau dans H ₂ O (300% H ₂ O/poids peau, 4h, 20°C). Retirer solution de lavage. Tremper dans une solution d'enzyme à 1-15% (300% solution/poids peau, (avec ou sans agitation, pH=4,5-10, 12-24h, 20°C). Enzyme d'origine animale = issue des organes hypochondriaux, épigastriques, péritonéaux, de l'estomac, du duodenum, pancréas, foie, poumons, intestin de buffle, bovin, chèvres et ovins donc enzymes = trypsine, chymotrypsine, carboxypeptidases A et B, metallocarboxypeptidase, alpha-amylase, alpha 1,4, D glucosidase et lipase, triglycerol lipase. Enzyme de plantes = issue des tissus des plantes telles que <i>Euphorbia antiquorum</i> , <i>Carica papaya</i> , <i>plumeria alba</i> , <i>calotropis gigantea</i> , <i>euphorbia nerrifolia</i> donc enzymes = calotropine, papaïne, protéase de type cucumisine.

Tableau 17
Exemples de procédés de dépilation enzymatique brevetés

Que ce soit avant ou après écharnage, la qualité du prétraitement des peaux en vue d'une conservation avant tannage est souvent évaluée par :

- la mesure du taux d'humidité (80°C, sous vide, 16h ou 100°C, 16h) qui doit être compris entre 40 et 48%.
- la mesure de la salinité (600°C, jusqu'à poids constant) par correction de la quantité de minéraux par un facteur 35,9.

33.2 - Valorisation des graisses issues des cuirs

La proportion de lipides présents dans les cuirs bruts est assez faible et très variable d'un animal à l'autre.

Sur les expérimentations conduites, le taux de lipides des cuirs bruts variait de 0,9 % à 4,2 %. Par ailleurs, les matières grasses éventuellement récupérables sur les cuirs ou peaux brutes se présentent sous la forme d'adipocytes. Les adipocytes peuvent être récupérés des cuirs par action mécanique tel que l'écharnage. Or, ces adipocytes ne sont pas constituées de matières grasses pures. Elles contiennent une membrane constituée de protéines, de phospholipides et de cholestérol. Afin d'extraire les lipides, cette membrane doit être cassée. Les graisses ainsi obtenues sont formées de 3 phases : 2 liquides et 1 solide.

Solide		Liquide	
Solide dégraissé	Eau	Eau	Graisses

L'opération visant à récupérer les graisses à partir d'adipocytes s'appelle la clarification.

Elle est réalisée en 4 étapes :

- Rupture de la membrane
- Séparation solide/liquide
- Séparation graisses/eau dans la phase liquide
- Séchage de la matière solide.

Le procédé le plus communément utilisé est la **clarification continue en voie sèche**, qui est un procédé semi-continu ou batch (figure 20). La matière première est broyée (désintégration mécanique des membranes) puis préchauffée (désintégration thermique des

membranes) à 80°C pendant 10-15 min dans des autoclaves en série où elle subit ensuite une injection de vapeur d'eau à une température supérieure à 100°C pendant 4 à 6h. A la sortie, les phases solide/liquide et graisses/eau sont séparées mécaniquement : pressage basse pression, séparateur centrifuge, décanteur. Le solide est séché à 130°C. L'eau de la phase liquide est évaporée et les graisses obtenues sont envoyées vers le sécheur. Une presse haute pression permet de collecter les graisses à la sortie du sécheur.

La **clarification en voie humide** est un procédé continu qui consiste en une séquence de machines qui permettent de désintégrer et mélanger la matière première, séparer le solide des graisses et les graisses de l'eau (figure 21).

Les procédés de récupération et de valorisation des graisses sont complexes à mettre en œuvre et ne peuvent concerner que des abattoirs de grosse capacité déjà équipés de système de traitement de tissus adipeux d'abattoir : gras d'émoussage, ...

De plus, compte tenu du faible taux de lipides des cuirs bruts, la mise en place de tels procédés d'extraction ne saurait se justifier économiquement que par la récupération des graisses des cuirs bruts seules.

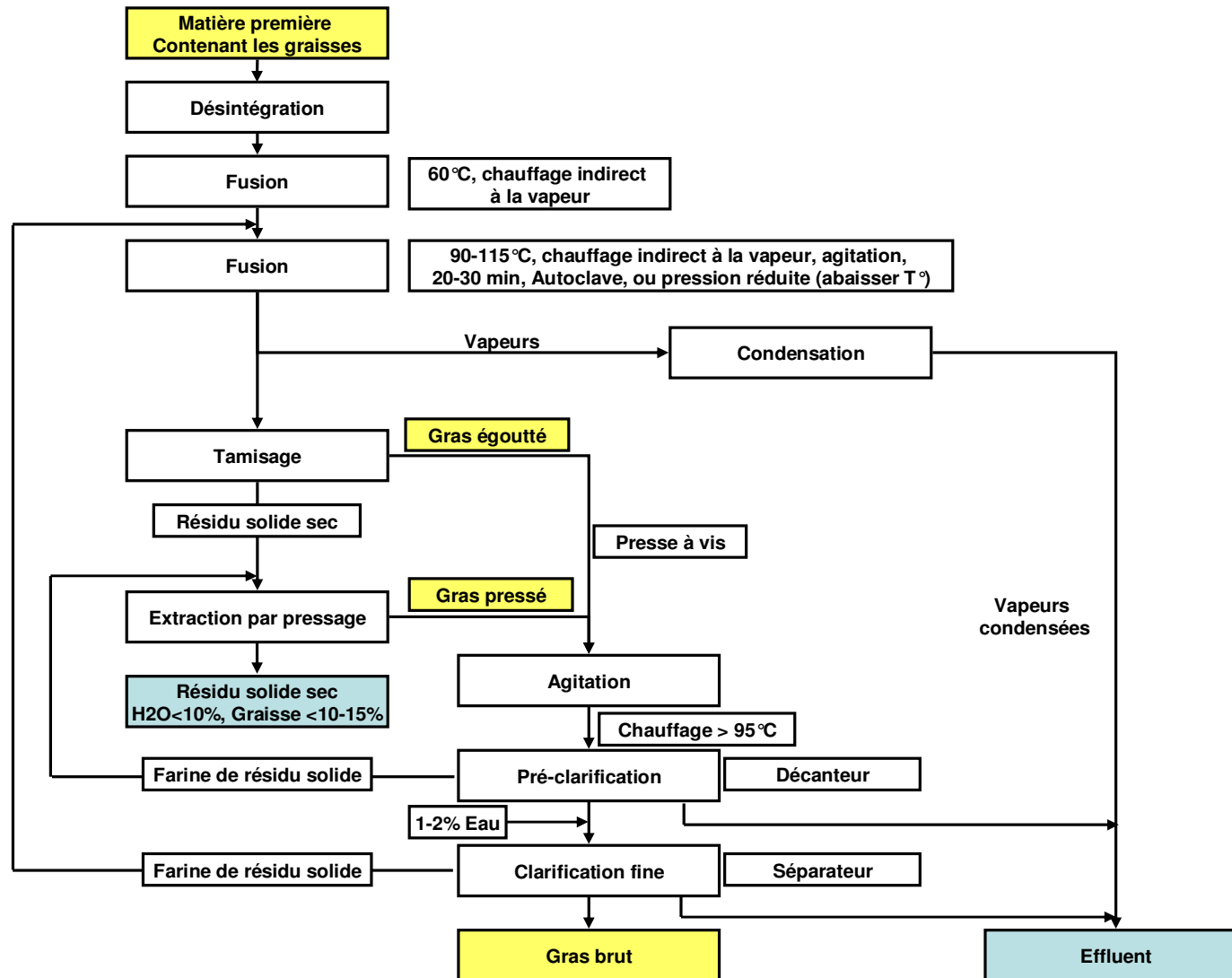


Figure 20
Exemple d'organigramme d'un procédé de clarification en voie sèche

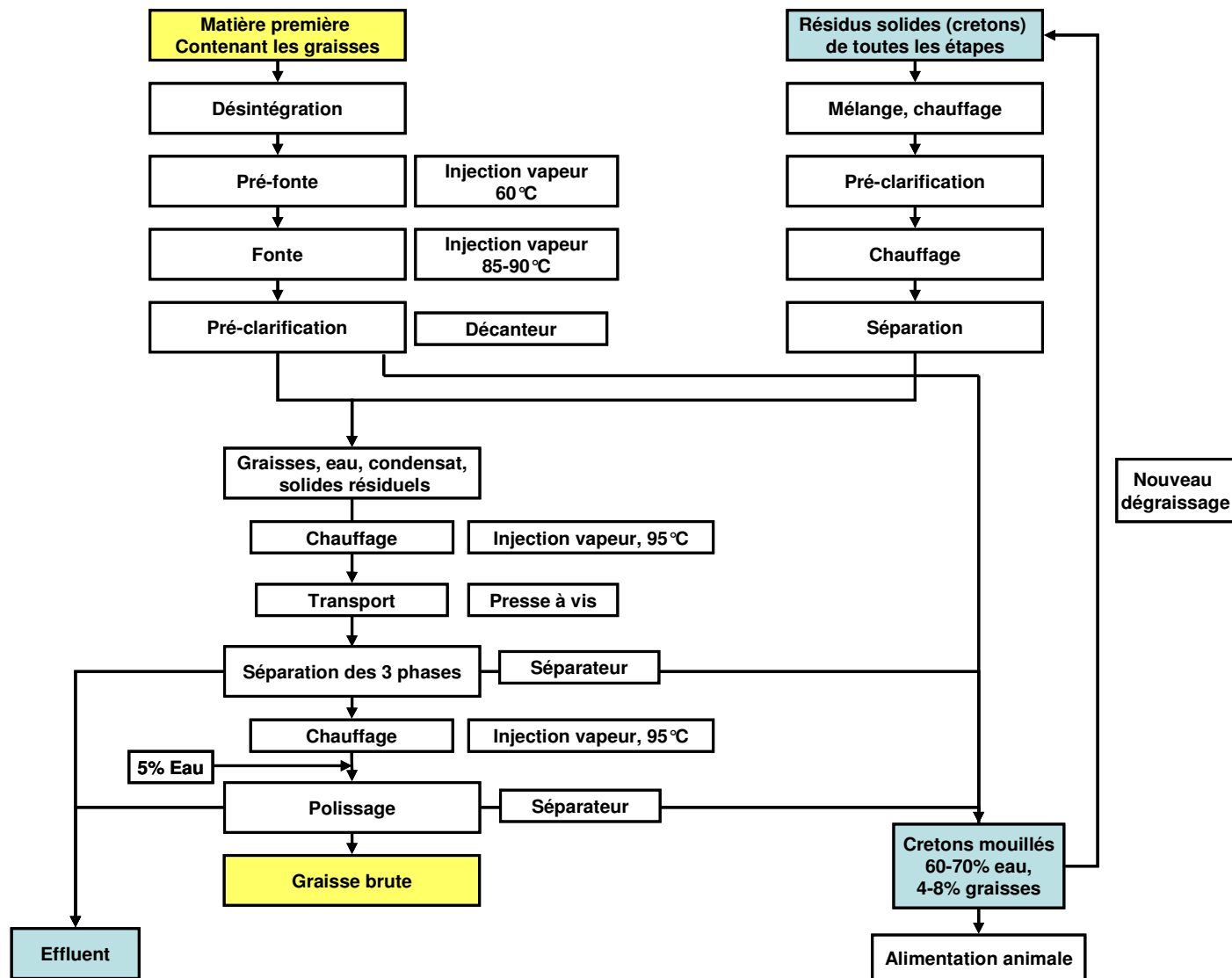


Figure 21
Exemple d'organigramme d'un procédé de clarification en voie humide

En tannerie, le dégraissage des peaux peut aussi être réalisé :

- En utilisant des surfactants afin d'abaisser la tension interfaciale lors de l'extraction et d'augmenter les rendements d'extraction (Pabst, G., et al., 2004) ou en effectuant l'extraction par l'intermédiaire d'une émulsion (mélange de produits éthoxylés d'oxo-alcools) (Gamarino, R., et al., 2006).
- par solvant (Bedingfield G. et al., 1979) :
 - o fluorocarbonés (Godawa, C. et al., 1987)
 - o diméthyléther (DME), dioxolane, diéthyléther et méthyléthylcétone (Berkhout, H.J. et al., 2005) : En utilisant du DME sur des peaux dépilées, écharnées, il est possible d'extraire 50% de la masse de peau introduite (graisses+eau).
- en mettant en œuvre des lipases (*Humicola lanuginosa*) vendues sous la marque GREASEX® (Rasmussen, L., et al., 2008) ou des lipases d'origine pancréatique (Christner, J., et al., 1992)

Brevet	Société	Objet
US5102422 Christner, J., et al., 1992	Rohm GmbH	Méthodes de traitement du cuir incluant des formulations enzymatiques liquides. Exemple : 100 kg de peaux de bovins prélavées pour retirer les salissures. Addition 200% eau à 26°C + 0.8% solution enzymatique liquide (préparation de la solution : 920g butyl glycol +40g pétrole + 30g bentonite + 18.5g protéase de souche neutre (<i>Bacillus subtilis</i>) + 0.4% agent mouillant (alcool gras éthoxylé) + 0.2% bactéricide. Trempage pendant 5h. Les graisses sont émulsifiées et la peau est prête à subir la dépilation après ce traitement.

Les graisses extraites à l'aide des différents procédés décrits ci-dessus peuvent être valorisées dans différentes filières :

- la nutrition humaine,
- la nutrition animale,
- pet food,
- diester,
- combustible,
- Lipochimie.

La voie d'utilisation prospective sous forme énergétique au sein des abattoirs serait économiquement intéressante. En effet, les graisses transestérifiées par le méthanol pourraient servir de biodiesel et être réutilisées in situ pour le fonctionnement des installations. La société OLVA Technologies implantée à Tarbes étudie la transestérification à façon des graisses animales à cette fin (Olva, 2011).

33.3 - Valorisation des poils issus des cuirs et peaux brutes

Les applications directes que sont la fabrication de pinceaux, les liants dans les plâtres et l'industrie textile, notamment pour la laine, permettent d'envisager un débouché rapide mais à faible valeur ajoutée des poils.

En 2003, la production de laine était estimée à 10 000 tonnes en France, celle des poils de bovins à 2500 tonnes/an.

Un débouché plus « modeste » consiste en une valorisation des poils et surtout de la laine en isolant. La laine a, en effet, la propriété d'absorber jusqu'à 30 % de son poids en humidité sans perdre ses propriétés isolantes.

Le marché est en cours de développement et répond bien à une demande sociétale de produits issus de filières naturelles et durables.

Le pouvoir isolant de la laine est comparable à celui de la laine de verre (tableau 18).

	Liège	Laine de mouton	Ouate de Cellulose Vrac	Laine de bois	Laine de verre
Coefficient de transfert thermique (w.m-1.k-1)	0,032 à 0,04	0,035 à 0,042	0,039	0,038	0,04
Résistivité thermique R pour 10 cm	3,13 à 2,38	2,86 à 2,38	2,56	2,63	2,5

Tableau 18
Propriétés isolantes de la laine de mouton

Des entreprises se sont spécialisées dans la collecte et le travail de la laine pour produire des isolants. Tel est le cas, par exemple, de la société Black Mouton Insulate LTD® basée au Pays de Galles. L'utilisation en isolant nécessite cependant, d'appliquer des traitements antiparasitaires, notamment anti-mites ainsi que des traitements ignifugeants.

Le traitement anti-parasite est réalisé principalement avec du sel de bore et un pesticide à base de sulfuron (Miteo). Or, ce dernier a été placé comme substance présentant un effet mutagène, cancérigène ou toxique et le sel de bore a été classé toxique pour la reproduction. L'emploi de ces substances n'est pas interdit mais la notion de produit naturel pour la laine de mouton peut être remise en question en l'absence de traitements alternatifs. L'enjeu de cette filière est donc le développement de traitement anti-mites naturels et efficaces.

Les voies plus prospectives des poils ne considèrent plus cette matière première comme produit directement commercialisable mais comme un substrat kératinique. Cette stratégie repose sur l'utilisation de kératinases afin d'hydrolyser la kératine et de fournir des produits innovants (Gupta, R. et al., 2006 - Kornilowicz-Kowalska, T. et al., 2011).

Le substrat kératinique le plus largement étudié dans la littérature scientifique est la plume. Des hydrolysats de **plumes** ont été produits et ont permis de fournir des farines pour l'alimentation animale (Gupta, R. et al., 2006). Ces hydrolysats sont riches en azote mais aussi en antioxydants d'origine naturelle. Ils peuvent aussi être utilisés pour la fertilisation des sols (promotion de l'activité microbienne, structuration des sols et augmentation des capacités de rétention d'eau) (Gupta, R. et al., 2006) ou représenter une matière première énergétique : conversion en méthane ou génération de biohydrogène (Brandelli, A., D.J. Daroit, et al., 2010).

Ces voies restent prospectives car les kératinases ne sont réellement bien connues et produites que depuis quelques années. Les derniers travaux menés sur l'hydrolyse des plumes sont en phase d'optimisation (Embaby, A.M., et al., 2010) et de transfert à l'échelle pilote (Zaghloul, T.I. et al., 2011). Toutefois, il existe en France une société française spécialisée dans l'hydrolyse des plumes collectées en abattoir pour produire des mélanges d'acides aminés plus ou moins purifiés à valoriser en pharmacie, en complément alimentaire, en ingrédient pour charcuteries, ...

Quelques travaux sur l'hydrolyse des poils de bovins issus d'une dépilation douce, conduisent à des extraits peptidiques pour des applications en tant que charge protéique dans l'industrie du cuir (Galarza, B.C., et al., 2007 - Huang, H., 2008) ou comme fertilisant

grâce à leur apport positif à la fixation d'azote par les plantes (Rangel-Serrano, A. et al., 2003). La préservation des poils lors du procédé de dépilation pourrait permettre de valoriser 2,5 tonnes de poils pour 1000 peaux de bovins salées. Parmi les co-produits de l'abattage des bovins, les cornes et les sabots peuvent aussi être hydrolysés par des kératinases pour fournir un fertilisant (Vesela, M. et al., 2009).

Brevet	Société	Objet
EP2284177 (Huang, H, 2008)	Sichuan University	Préparation d'une charge protéique à partir de poils d'animaux Exemple : 600g de poils de bovins + 1200g HCl 0,01M (48h). Rinçage jusqu'à pH neutre. + 3000 ml solution Na ₂ S ₂ O ₃ à 30% poids (48h). Rinçage jusqu'à pH neutre. + 3000 ml solution NaOH à 0,5% en poids (95°C, 20h). Refroidissement, ajustage pH du liquide à 5 par H ₂ SO ₄ . L'extrait liquide obtenu est réutilisé pour le tannage.

En conclusion, les voies de valorisation des poils issus d'un procédé de dépilation des cuirs ou chutes de cuir brut peut être résumé par le tableau 19.

POILS ~ 6% des cuirs ou ~ 9 % des peaux	Isolant (feutres)	Faible valeur ajoutée
	Fertilisant biologique	
	Liants pour plâtres	
	Industries textile (laine)	
	Hydrolysats (hydrolyse enzymatique)	Substrat nutritif pour culture microbienne - Fertilisant biologique - Charge protéique pour l'industrie du cuir - Alimentation humaine ou animale (mélange acides aminés) - Complément nutritif riche en cystéine pour pharmacie

Tableau 19
Voies de valorisation des poils de bovins ou ovins

33.4 - Valorisation du derme et de l'épiderme des cuirs et peaux brutes

Comme mentionné dans la figure 10, le collagène est la protéine constitutive majeure du derme et de l'épiderme des cuirs et peaux brutes.

Le collagène peut être transformé à des fins :

- alimentaires pour la production de gélatines plus ou moins hydrolysées qui seront exploitées directement dans les produits comme gélifiants, comme agent de clarification ou comme complément alimentaire pour l'alimentation humaine ou animale,
- médicales,
- pharmacologiques et cosmétiques,
- mécaniques pour la production de colles ou matériaux.

Enfin, le derme et l'épiderme débarrassé ou non de ses poils peut être utilisé directement comme aliment. Il existe d'ailleurs, à ce jour, un marché pour l'export en Afrique, de chutes de cuirs dépilées destinées à l'alimentation humaine.

334.1 - Production de gélatines

a. Généralités sur la gélatine (GME)

La **gélatine** est une appellation générique pour une famille de produits de nature polypeptidique, issus de **l'hydrolyse partielle du collagène**, protéine fibreuse contenue dans la peau, les tissus conjonctifs et les os. La production de gélatine repose sur la destruction plus ou moins poussée de la structure hélicoïdale en triple hélice du collagène.

La production de gélatine s'appuie sur **3 matières premières** : les peaux de porcins, les peaux de bovins et les os. En Europe, la filière gélatine utilise les peaux de bovins à hauteur de 14%. Les peaux de bovins, reçues salées ou chaulées, proviennent des tanneries, des abattoirs et collecteurs spécialisés.

En plus du collagène, source de la gélatine, ces matières premières contiennent d'autres protéines, des graisses, des sels minéraux. Il faut noter ici que les gélatines et colles d'origine animale ne peuvent pas être fabriquées à partir de poils, cornes ou sabots car la kératine qui

les compose ne produit pas la configuration hélicoïdale en accord avec les caractéristiques des colles et gélatines.

La gélatine fait partie de la famille des **hydrocolloïdes** dont les fonctions principales sont d'épaissir, de stabiliser et de gélifier. De plus, la gélatine possède des caractéristiques technologiques propres. Outre sa pureté chimique en protéines, c'est son **pouvoir gélifiant** qui représente son originalité. Ce dernier est évalué par les valeurs de viscosité et de forces de gel exprimées en degré Bloom (rigidité du gel obtenu dans des conditions normalisées). Le gel formé est un gel thermoréversible.

Le procédé de fabrication de la gélatine consiste en :

1. l'élimination des composés non collagéniques en limitant autant que possible l'altération du collagène
2. l'hydrolyse contrôlée du collagène en gélatine
3. la récupération et le séchage du produit fini.

b. Procédés de fabrication de la gélatine à partir de peaux de bovins

En fonction des matières premières et du type de gélatine souhaitée, le traitement préalable et la phase d'extraction de la gélatine sont variables. Les peaux sont traitées directement après avoir été coupées et lavées.

Deux procédés de prétraitement des matières premières sont utilisés pour obtenir une pré-hydrolyse du collagène :

- **traitement acide** : bain acide (HCl ou H₂SO₄) de courte durée (8-24h) suivi de la neutralisation de la matière et de son lavage afin d'ajuster le pH.
- **traitement alcalin** : immersion de la matière dans un lait de chaux, périodiquement renouvelé. Ce chaulage dure de 1 à 4 mois à température ambiante. Les graisses sont ainsi saponifiées, la couche cornée de l'épiderme et les productions épidermiques sont détruites, la peau gonfle et la conservation est assurée. A 5 et 10°C pour des durées de 5, 10, 15, 20, 25 et 30 jours (avec une agitation vigoureuse toutes les 72h), les meilleurs rendements d'extraction (34g/100g) sont obtenus à 5°C pendant 30 jours (Idris A et al., 2011). Le chaulage est suivi du déchaulage, opération complexe

destinée à éliminer le lait de chaux et à ajuster le pH avant cuisson. Le traitement alcalin peut aussi être réalisé avec une solution de soude ou par alternance chaux/soude.

Selon le traitement, des **gélamines dites acides** (ou de type A) **ou alcalines** (ou de type B) sont obtenues. Les gélamines cationiques de type A ont un point isoélectrique compris entre 7,0 et 9,5 tandis que les gélamines anioniques de type B sont caractérisées par un point isoélectrique compris entre 4,5 et 5,2. Au cours de ces prétraitements, les liaisons polypeptidiques intra et intermoléculaires sont rompues. Le procédé d'extraction de gélatine à partir de peaux de bovins est donné figure 22.

En tant que prétraitement alternatif, il est possible de citer la **protéolyse enzymatique** (Idris A. et al., 2011). La peau est traitée dans une solution tamponnée à pH 10-12.5, à 24-28°C pendant 2 jours puis lavée et traitée à l'acide afin de dénaturer l'enzyme et d'empêcher la protéolyse de la gélatine qui sera ultérieurement extraite.

La matière première prétraitée subit ensuite **une série d'extractions à l'eau chaude** dans des cuves de cuisson. La structure en triple hélice du collagène est détruite et la solubilisation de la gélatine devient possible. A une température de 40°C, ce changement peut être réalisé en conditions douces par la seule rupture des liaisons hydrogène et des liaisons hydrophobes qui aident à stabiliser la structure en hélice. L'augmentation progressive des températures d'extraction conduit à la rupture supplémentaire de liaisons covalentes. Par hydrolyse partielle du collagène (solubilisation de la gélatine à température contrôlée à 50-60°C, puis augmentation de 10°C à chaque nouveau lavage jusqu'à 100°C), différentes solutions de gélatine, de concentrations et de qualités décroissantes sont obtenues.

Des traitements de purification par centrifugation, filtration sont rapidement menés afin d'éliminer les particules en suspension, les substances albuminoïdes coagulées. Les solutions sont enfin concentrées et stérilisées à 140°C dans des évaporateurs sous vide (MS = 30-40%) après avoir subi une déminéralisation sur échangeurs d'ions. Cette étape doit être réalisée rapidement après l'extraction afin de limiter les détériorations dues aux champignons et bactéries. Les solutions sont ensuite transformées en gel par refroidissement brusque dans

un échangeur de chaleur. Le gel est extrudé sous forme de « nouilles » qui passent dans un séchoir continu puis sont concassées, broyées et tamisées sous forme de poudres.

Les gélatines diffèrent par le taux de dénaturation et de dégradation du collagène ce qui implique des gammes de masses moléculaires (105 à 300 kDa) et des propriétés chimiques (solubilité, pouvoir épaississant et gélifiant, émulsifiant et moussant, filmogène et thermoplastique, collant) différentes.

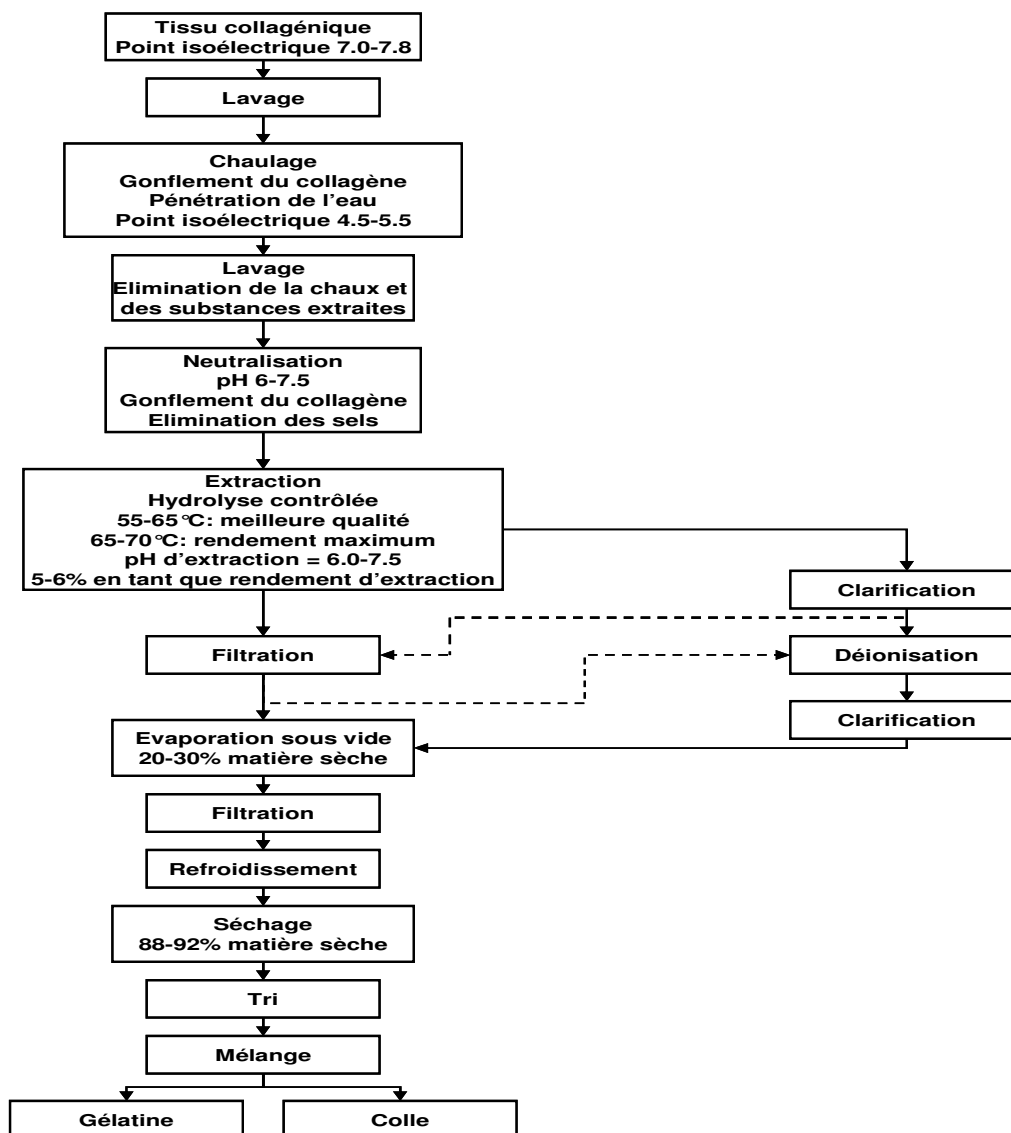


Figure 22
Organigramme de fabrication de gélatines par la voie alcaline
(Ockerman H.W. et al., 1988).

La composition en acides aminés des peaux comparée à la composition des gélatines qui en sont issues est explicitée dans le tableau 20.

Amino acid	Number of residues/ 100 residues			Percentage by weight			
	Hide	Ossein	Pigskin	Type B skin	Type B bone	Type A porkskin	Mixed gelatin
Alanine	10.1–11.0	11.0	11.1	9.3–11.0	11.3	8.6–10.7	11.0
Arginine	4.5–4.6	4.9	4.8	8.5–8.8	9.0	8.3–9.1	8.8
Aspartic acid	4.9–4.4	5.0	4.7	6.6–6.9	6.7	6.2–6.7	6.7
Cystine	—	—	—	Trace	Trace	0.1	Trace
Glutamic acid	7.1–7.2	7.6	7.2	11.1–11.4	11.6	11.3–11.7	11.4
Glycine	33.5–33.8	31.4	32.6	26.9–27.5	27.2	26.4–30.5	27.5
Histidine	0.43–0.45	0.58	0.60	0.7–0.8	0.7	0.8–1.0	0.78
Hydroxylsine	0.63–0.66	0.64	0.59	0.9–1.2	0.8	1.0	—
Hydroxyproline	9.3–10.0	10.1	9.5	14.0–14.5	13.3	13.5	14.1
Isoleucine	—	—	—	1.7–1.8	1.5	1.4	—
Leucine	—	—	—	3.2–3.4	3.4	3.1–3.3	—
Leucine and isoleucine	4.0–4.1	4.1	2.3	—	—	—	5.1
Lysine	2.6–2.9	2.6	2.6	4.5–4.6	4.4	4.1–5.2	4.5
Methionine	0.5–0.6	0.5	0.5	0.8–0.9	0.6	0.8–0.9	0.9
Phenylalanine	1.3–1.4	1.6	1.4	2.2–2.5	2.5	2.1–2.6	2.2
Proline	11.9–12.2	11.9	13.0	14.8–16.4	15.5	16.2–18.0	16.4
Serine	3.0–3.8	3.8	3.6	3.2–4.2	3.7	2.9–4.1	4.2
Threonine	1.8	2.0	1.7	2.2	2.4	2.2	2.2
Tyrosine	0.5	0.3	0.3	0.2–1.0	0.2	0.4–0.9	0.3
Valine	2.0–2.1	2.1	2.2	2.6–3.4	2.8	2.5–2.8	2.6
Amino groups	4.4	4.2	4.1	—	—	—	—

Divakaran (1984), Eastoe (1955), Veis (1964), Gelatin Manufacturers Institute of America (undated).

Tableau 20
Compositions en acides aminés du collagène et des gélatines (Ockerman H.W. et al., 1988)

Les **peaux de bovins** subissent essentiellement le **traitement alcalin**. Plus l'animal est âgé, plus l'extractibilité de sa peau décroît (Idris, A. et al., 2011).

La plupart des recherches sont aujourd'hui consacrées à l'augmentation du rendement d'extraction en gélatine en utilisant de nouvelles méthodes de prétraitement afin de libérer la partie non-collagène de la matière première sans affecter la partie collagène ou les propriétés spécifiques du produit final telles que la viscosité ou le pouvoir gélifiant.

Le procédé de fabrication de la gélatine peut générer, en tant que co-produit, un résidu pâteux contenant les poils, des protéines et d'autres composés non solubilisés lors de l'extraction. Par pressage, il est possible d'extraire des graisses.

334.2 - Applications alimentaires de la gélatine

En dehors de ses applications traditionnelles en tant qu'agent de texture, certaines utilisations spécifiques de la gélatine animale ont été développées. On peut quand même noter que la progression du marché hallal ouvre des perspectives intéressantes pour la gélatine issue de cuirs de bovins en remplacement de la gélatine porcine et de la gélatine issue d'os de bovins (ESB). Certains opérateurs se sont spécialisés dans la production de **gélatine hallal** et des bonbons, par exemple, certifiés hallal sont disponibles sur le marché.

Une des applications particulières dans le domaine de l'alimentaire concerne l'utilisation de gélatine issue de peaux de bovins comme **agent de clarification des liquides fermentés** tels que la bière ou le vin (Hickman D. et al., 2000). L'ajout de collagène au sein de ces suspensions complexes provoque la floculation des matières en suspension. Une société australienne a développé le « Bovine Collagen Isinglass » en remplacement de l'isinglass ou ichtyocolle, substance extraite des vessies natatoires de poissons. Cette substance, aussi appelée colle de poisson dans le milieu viticole, est utilisée pour la clarification des liquides et le collage des vins. Le collagène bovin présente des propriétés de clarification équivalentes voire supérieures à l'ichtyocolle de poisson, qui nécessite des procédés d'extraction et de production très contrôlés pour maîtriser notamment le poids moléculaire et la conformation du collagène, responsables de ses propriétés de clarification.

Des chercheurs américains (Maffia G.J. et al., 2004) ont également investigué ces propriétés du collagène issu de peaux bovines pour développer des **agents floculants** pour le traitement des eaux usées. Cette propriété de floculation peut être également utilisée pour des applications en tant qu'aides technologiques pour la clarification, la filtration, la purification d'eau ou comme support de fractionnement.

Le collagène d'origine bovine est également mis en avant comme **complément alimentaire** pour lutter contre les carences en collagène et aider au **soulagement des douleurs articulaires**. Ces compléments alimentaires sont des hydrolysats de collagène qui sont assimilés par l'organisme, qui s'accumulent au niveau des tissus articulaires et qui, par leur présence, peuvent transformer positivement l'articulation en stimulant la production de nouveau collagène. Des essais pratiqués sur des sujets souffrant de d'arthrose primaire du genou ont montré une amélioration de la mobilité du genou suite à une prise de 10

grammes d'hydrolysat de collagène par jour pendant 6 mois (Benito-Ruiz P. et al., 2009). Des produits commerciaux sont disponibles sur le marché vantant le soulagement des douleurs articulaires, des tendinites et autres (*Genacol*®). Rousselot® a développé en 2012 des peptides de collagène et des gélatines vendues pour :

- maintenir la santé des os et des articulations et ainsi prévenir de l'ostéopénie et de l'ostéoarthrite,
- leur effet hydratant et anti-âge dans des applications pour la beauté de la peau.

Une application marginale en petfood peut être également signalée. Il s'agit de production de **lamelles à mâcher** pour les chiens produites à partir de peaux bovines. La mastication régulière de ces lamelles a un effet de nettoyage mécanique des surfaces dentaires et stimule la sécrétion de salive contenant des éléments de défense naturelle contre les germes de la plaque dentaire (*Système Prozym*).

334.3 - Applications en médecine

Aujourd'hui, une grande part des thérapies chirurgicales font appel à des biomatériaux. Ces biomatériaux, d'un point de vue médical, sont définis comme des matériaux utilisés dans un dispositif destiné à interagir avec des systèmes biologiques (Sedel L. et al., Comte A. et al., 1984). La notion sous-jacente est la notion de contact de ces matériaux avec des tissus ou des fluides vivants et donc de biocompatibilité. Au-delà de la biocompatibilité, la « bioactivité » de ces biomatériaux est aujourd'hui recherchée c'est-à-dire que l'on souhaite que le matériau ne soit pas nécessairement le plus inerte possible mais, au contraire, fasse réagir le tissu vivant. Il existe 4 grandes catégories de biomatériaux :

- les métaux et alliages métalliques,
- les céramiques,
- les polymères,
- les matériaux d'origine naturelle.

Le souci de biocompatibilité et les problèmes rencontrés avec les autres types de biomatériaux ont orienté les chercheurs vers des matériaux logiquement biocompatibles puisque d'origine naturelle. Parmi les biomatériaux d'origine naturelle, on trouve la chitine, les flucanes, les dextrans, la cellulose, le corail mais également le collagène animal, extrait de la peau des bovins (ou porcins). Ce collagène possède des propriétés particulières :

- c'est un produit hémostatique (permet d'arrêter une hémorragie),
- il possède des propriétés mécaniques qui permettent de le manipuler,
- il est indispensable au développement cellulaire,
- il est biodégradable.

Le collagène peut se présenter sous diverses formes : feuilles, tubes, poudres, solutions injectables, dispersion et cette variété de formes permet une flexibilité d'application et donc suscite l'intérêt des équipes médicales.

L'ensemble de ces propriétés permettent l'utilisation de collagène issu des cuirs et peaux pour les applications suivantes :

- **pansements et éponges hémostatiques,**
- **implants oculaires et pansements ophtalmologiques,**
- **reconstitution de tissus mous et durs,**
- **peau artificielle.**

En ce qui concerne l'utilisation de collagène bovin issu des cuirs pour la reconstitution de peaux artificielles, plusieurs stratégies ont été mises en œuvre. L'objectif n'est pas de faire la revue de l'ensemble des stratégies abordées mais d'illustrer l'utilisation du collagène pour ce type d'applications. Par exemple, Wissers D. et al., 2003, ont utilisé un équivalent de derme (Integra®) pour soigner avec succès un patient avec 76% de sa surface corporelle brûlée. Cet équivalent de derme est constitué principalement d'une matrice mêlant le collagène bovin et un polymère de glycosaminoglycane. Cette association du collagène avec les glycosaminoglycane est également décrite dans le brevet WO/1988/010123 (Collombel C. et al., 1988) avec la particularité d'incorporer également du chitosane qui limite la capacité de réticulation du collagène.

La gélatine issue de peaux de bovins peut être foisonnée et transformée en mousse qui, une fois traitée avec du formaldéhyde et séchée, devient une éponge stérile. Ces types d'éponges sont utilisés en chirurgie mais également pour diffuser un antibiotique ou autre médicament dans des zones spécifiques (Friess W., 1998). Par exemple, ces matrices à base de collagène peuvent être utilisées pour diffuser des principes actifs à la surface de la cornée.

Des applications du collagène issu du derme de bovins concernent également la **chirurgie esthétique**. En effet, le **collagène injectable** est une solution très répandue pour combler les rides au même titre que le Botox (Flageul G. et al.). Son application nécessite toutefois la mise en œuvre d'un test cutané préalable pour dépister une allergie à la protéine bovine.

Enfin, parmi les dernières applications pour les hydrolysats collagéniques de peaux de bovins, nous pouvons citer la synthèse d'un biomatériau composite par polymérisation d'acrylamide ou de bisacrylamide dans une solution contenant de la chondroïtine sulfate A afin de fabriquer des lentilles de contact souples (Bucevski, M.D. et al., 1998).

En plus des applications précédemment citées, la spécificité des peaux de jeunes bovins leur permet de servir de matière première pour l'extraction d'hydrolysats de collagène à haute valeur ajoutée puisque pouvant être utilisés dans les domaines médicaux (Lee, C.H. et al., 2001), cosmétique (Dubois, M., 1999) et nutraceutique (Guillerminet, F., et al., 2010). Dans le cas d'abattage de veaux, il serait donc intéressant de stocker à part les cuirs obtenus afin de viser des applications à plus haute valeur ajoutée.

334.4 - Application en pharmacie et cosmétique

A l'instar des autres gélatines animales (porcines, extraites à partir d'os,), la gélatine issue des cuirs et peaux possède de très bonnes propriétés d'émulsification et de stabilisation. Ces propriétés sont utilisées pour la fabrication de **crèmes cosmétiques**, notamment à vocation anti-vieillesse. Ses propriétés gélifiantes à une température proche de la température ambiante et son aptitude à former des films fins sont mises à profit lors de la fabrication de **capsules de médicaments** et de gélules.

Cependant, la tendance actuelle est au remplacement des gélatines dans les produits cosmétiques et pharmaceutiques d'une part, suite aux crises ESB, encadrant l'utilisation de gélatines bovines, et d'autre part à cause de la réticence d'une partie non négligeable de la population mondiale d'utiliser des produits dérivés d'animaux. La substitution s'effectue au profit de collagène de poisson et de polysaccharides végétaux (Lafargue D, 2007).

334.5 - Application comme matériaux

● **Colle/ adhésifs**

La production de colle à partir des peaux d'animaux, notamment des bovins, est un procédé ancien (Kell H.L. et al., 1951 - Spence A. et al., 1951). La colle est obtenue par l'hydrolyse du

collagène à haute température. On peut considérer la colle produite à partir des peaux de bovins comme de la gélatine technique. On parle alors de **colle animale** ou de « **Hide Glue** ». Plusieurs types de peaux peuvent être utilisés pour des applications spécifiques mais les cuirs de bovins sont les principales sources des colles animales.

Les colles d'origine animale, largement utilisées depuis l'antiquité, ne représentent aujourd'hui qu'une faible part du marché des adhésifs (Triboulot H.C. et al., 1996). La colle animale a été une colle universelle pour le collage des meubles, instruments de musique et autres objets en bois. Elle est toujours utilisée de manière préférentielle par les restaurateurs de meubles, d'objets en bois, d'instruments de musique et par les menuisiers traditionnels qui savent utiliser efficacement ses propriétés (*Utzig*). Cependant la tendance pour l'utilisation de matériaux naturels permet d'envisager de nouveaux débouchés pour ces colles animales. Par exemple des colles issues de cuirs de bovins extra-fines sont vendues pour la fabrication du Gesso naturel, enduit à base de plâtre.

● **Photographie**

L'industrie photographique a été un débouché important pour les gélatines. En effet, la gélatine est un constituant de base des **pellicules photographiques**. Tous les produits photographiques ont un point en commun, ils comportent une couche de gélatine qui forme le support de l'émulsion de particules d'halogénure d'argent productrices de l'image (*Hendricks K.B. et al.*). Tout support d'image, qu'il soit à base de nitrate, d'acétate, de polyester, de verre ou de papier, et qu'il s'agisse d'un négatif, d'une photographie ou d'un rouleau de microfilms, comporte une couche de gélatine.

Ces débouchés sont aujourd'hui en déclin à cause de la diminution de la photographie argentique au profit de la photographie numérique.

● **Matériaux composites**

La production de matériaux composites peut s'avérer une solution alternative à la production de cuirs tannés. Il s'agit d'associer des matériaux synthétiques avec des composés issus des peaux sans nécessairement utiliser des cuirs finis.

Une méthode de fabrication d'un **stratifié expansé** à base de peaux bovines a été brevetée par des chercheurs américains (Canamero J. et al., 2002). L'innovation présentée concerne les méthodes d'assemblage de ce matériau multicouches. Dans cette application la peau de bovins est utilisée non tannée et, dans le procédé mis en œuvre, n'est traitée que sur une seule face.

Un autre brevet décrit un procédé pour la fabrication d'un **matériau composite résine epoxy/cuirs** (Schlup J., 1998). Ce nouveau matériau permettrait d'améliorer la résistance mécanique, les propriétés d'humidification et la machinabilité de la résine époxy seule.

D'autres auteurs travaillent sur le développement de **matériaux composites similicuir** en incorporant des fibres de collagène modifiées chimiquement au sein de PVC plastifié (Madera T.J. et al., 2002). Le matériau produit présente une forte résistance à la traction et au déchirement et une bonne flexibilité.

Ce domaine d'application semble très vaste et peut permettre l'utilisation de cuirs et de peaux pas nécessairement tannés. Cependant, les circuits de valorisation semblent devoir passer par les tanneries car les produits nécessitent des traitements préalables.

Enfin, nous pourrions citer l'emploi du derme de bovin et son traitement pour produire des boyaux artificiels appelés boyaux collagéniques. Ces produits sont, à ce jour, largement utilisés dans l'alimentaire pour la saucisserie fraîche et sèche avec une garantie d'origine non porc mais sans pouvoir être certifiés Halal. Ces boyaux sont comestibles en fonction de leur diamètre. Au delà de 40 mm, ils ne sont plus comestibles car trop durs à mâcher. Ils peuvent être déclinés en différentes couleurs : neutre, rouge,...

334.6 - Application alimentaire des cuirs et peaux

Au Nigéria, la viande de bœuf et le poisson sont devenus inaccessibles pour beaucoup de familles. En guise de viande, la peau de vache appelée « promo » en langue yoruba et souvent surnommée « cow-boy », est la viande des pauvres et donc de la majorité de la population nigériane. Ce produit est vendu 40 à 50 nairas le kilo (monnaie locale) contre 180 nairas le kilo pour la viande.

Plus de la moitié des 1,3 million de bovins abattus chaque année dans le pays voient leur peau finir dans une marmite. C'est le cas en particulier dans le sud. Ce phénomène est devenu massif à cause des difficultés économiques. La peau est toujours préparée de la même façon. Elle est d'abord nettoyée en la brûlant ou en la rasant, puis trempée pendant 24 heures. On la fait ensuite cuire dans l'eau à laquelle on ajoute de la potasse, jusqu'à ce qu'elle devienne « tendre ».

Certains abatteurs français ont, d'ores et déjà, identifié ce marché potentiel et expédient des chutes de cuirs (manchons, oreilles) avec poils dans ces pays tiers.

33.5 - Synthèse des voies de valorisation à court terme

En fonction des caractéristiques des cuirs de bovins et de la bibliographie, un schéma de voies de valorisation facilement applicables peut être proposé (figure 23). Ce dernier repose sur la valorisation des 2 principales cibles identifiées lors de l'étude : les poils et le collagène.

Les valeurs du nombre de bovins abattus en France en 2010 et la quantité de chutes de peaux de bovins, qui représente le gisement potentiel annuel de peaux pouvant intégrer les schémas de valorisation ont été déterminées dans la partie économique soit 14 500 tonnes de chutes de peaux. A partir de ces valeurs et des compositions moyennes déterminées lors des analyses, les gisements potentiels dans les différentes familles de molécules constitutives des peaux de bovins peuvent être recalculés.

Les **gisements disponibles** issus des chutes de cuirs de bovins au niveau national sont de (en tonnes) :

- **Matière sèche : 8060**
 - **Matières grasses : 390**
 - **Matières minérales : 2290**
 - **Protéines : 5370**
 - **Kératine : 810 à 970**
 - **Collagène : 4870 à 5030**

Les **gisements les plus riches sont les gisements protéiques sous forme de poils (kératine) et de collagène**. L'extraction des matières grasses ne peut pas être une voie prioritaire.

Compte tenu des process à mettre en place, l'extraction et la valorisation des matières grasses des peaux dont la teneur est faible (1 % à 4 %), ne peuvent s'envisager seules à l'abattoir. Elles ne peuvent être entreprises que dans la mesure où d'autres graisses d'abattage (gras interne, gras d'émoussage) seront valorisées. Cette transformation de graisses en triglycérides ou en esters (carburants,...) nécessite, de plus, des équipements

couteux et performants et implique l'acquisition d'un nouveau métier. Aussi, ne peut-elle s'adresser qu'à des abattoirs de très grosse capacité.

De la même manière, les procédés à mettre en œuvre pour extraire le collagène des peaux dépilées sont complexes et lourds à mettre en œuvre et sont déjà maîtrisés par les gélatiniers. A ce titre, les abatteurs ne peuvent se positionner que comme des fournisseurs de ces matières premières dépilées et non comme des transformateurs producteurs de gélatines plus ou moins hydrolysées.

En conclusion, les solutions de traitements alternatifs à court terme des cuirs et peaux brutes pour les abattoirs concernent :

- la production de chutes de cuirs bruts non épilées à destination de l'export, ou épilées à destination de l'industrie gélatinière,
- la production de poils qui pourrait être valorisée en isolants, pinceaux, support agronomique, liant pour plâtre.

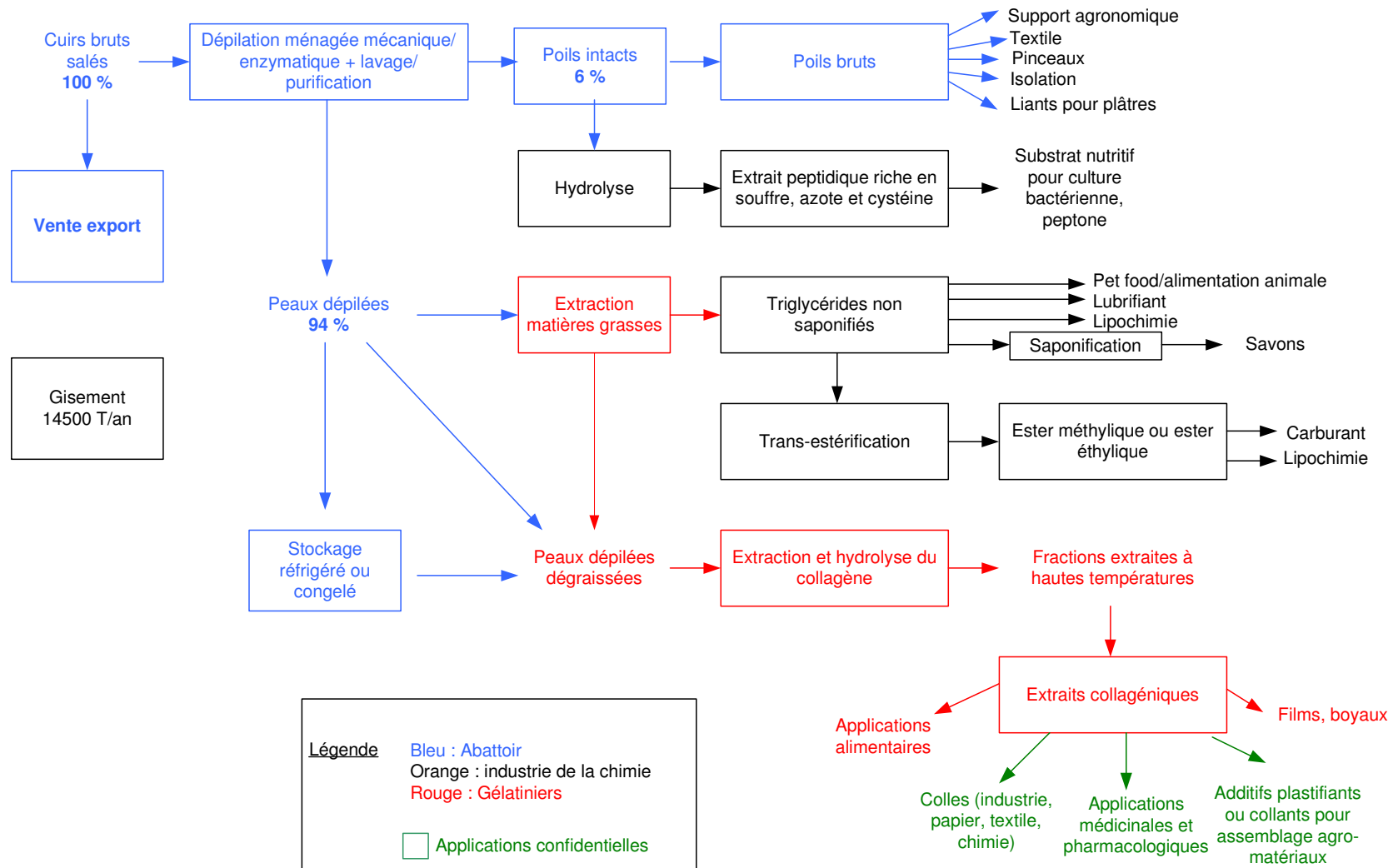


Figure 23
Voies de valorisation à court terme des cuirs et peaux envisageables

3.4 - Voies de valorisation prospectives

Au regard de la composition dominante des cuirs en collagène, molécule capable de changer de structure sous l'effet de la chaleur, et des applications encore confidentielles rencontrées dans la bibliographie comme matériau composites, des essais de transformation en bio matériaux ont été entrepris. 2 voies de valorisation très prospectives ont été envisagées : la fabrication de plaques thermopressées et la fabrication de colles à l'aide d'un procédé plus simple que le procédé usuel. Ces produits ont été développés par le CRITT CATAR, Centre de Réseau Technologique spécialisé dans la valorisation en matériaux des ressources agricoles, basé à Toulouse.

34.1 - Essais de thermopressage des peaux de bovins

341.1 - Généralités sur les panneaux de particules et le thermopressage

La grande variété des panneaux de particules conduit à une multiplicité de critères de classification (Neonene, A.Y., 2000). Les panneaux varient de par : la nature et la géométrie des éléments de renfort, la nature et la réactivité de la matrice, la proportion renfort/matrice, la spécificité fonctionnelle des panneaux, les conditions de leur utilisation ainsi que les procédés de fabrication.

Classiquement, les panneaux de particules et les panneaux de fibres sont classés suivant :

- la taille des particules : panneaux de fibres, de particules, de copeaux, de lamelles minces longues et les contre-plaqués
- la densité :
 - panneaux d'isolation thermique et acoustique de basse densité ($150 \leq \rho \leq 450$)
 - panneaux de fibres (MDF) et panneaux de particules de densité moyenne ($450 \leq \rho \leq 800$) pour l'ameublement principalement
 - panneaux structuraux de haute densité ($\rho > 800$)
- le procédé d'élaboration : voie sèche ou voie humide.

La norme EN 309 (1992) définit 6 critères de classification des panneaux de particules dont le critère usage et conditions d'utilisation.

- P1 : Panneaux pour usage général en milieu sec
- P2 : panneaux pour agencements intérieurs utilisés en milieu sec
- P3 : panneaux non travaillants utilisés en milieu humide
- P4 : panneaux travaillants utilisés en milieu sec
- P5 : panneaux travaillants utilisés en milieu humide
- P6 : panneaux travaillants sous contrainte élevée utilisés en milieu sec
- P7 : panneaux travaillants sous contrainte élevée utilisés en milieu humide.

Les procédés de fabrication de panneaux de particules sont le thermopressage, le thermoformage et le moulage.

La thermo-compression est une technique qui a été fréquemment mise en œuvre au niveau du CRITT Catar pour mouler les matériaux composites fibreux.

Cette technique a par exemple été utilisée pour la transformation de nombreuses matières végétales (Maréchal P., 2001) mais aussi lors d'essais de transformation de la laine en poudre (Jacques C., 2003). Il a été démontré que la thermo-compression de la laine conduisait à une densification irréversible de cette matière et à une plastification de la surface du matériau mis en forme. En présence d'additifs, les films obtenus présentent un caractère thermoplastique (Wang, X., et al., 2009 - Wang, X., et al., 2008). Des essais de thermopressage de la kératine des plumes broyées ont conduit, en présence de glycérol, à des films thermoplastiques pouvant trouver des applications dans l'industrie de l'emballage (Barone, J.R., et al., 2005).

341.2 - Essais préliminaires

A partir des études précédemment décrites, des conditions opératoires ont été retenues et testées sur les cuirs bruts de bovins préalablement lavés, séchés à l'étuve ventilée à 60°C et enfin broyés dans un broyeur à couteaux sur des grilles successives de 6mm et 2mm.

La densité initiale des broyats a été évaluée à 0,15 g/cm³ par. Après avoir soumis le broyat à une compression manuelle, la densité est de 0,46 g/cm³ et la matière se « relâche » pour atteindre une densité de 0,32 g/cm³. La matière première foisonnante, et très peu dense, pourrait être étudiée de manière indépendante pour une application en tant qu'isolant.

Les premiers tests de thermopressage ont été réalisés sur une presse PEI 10 tonnes, non automatisée, en utilisant un moule de forme carrée de dimension 5cmx5cm. Le thermopressage est effectué sur 10 grammes de matière pendant une durée de 5 minutes. Les variables étudiées lors des essais préliminaires sur la presse PEI 10 tonnes sont :

- la température : 50 ou 100°C.
- la pression : 150, 180 ou 250 bars
- la matière première : Bertha, Hortense ou Marguerite.

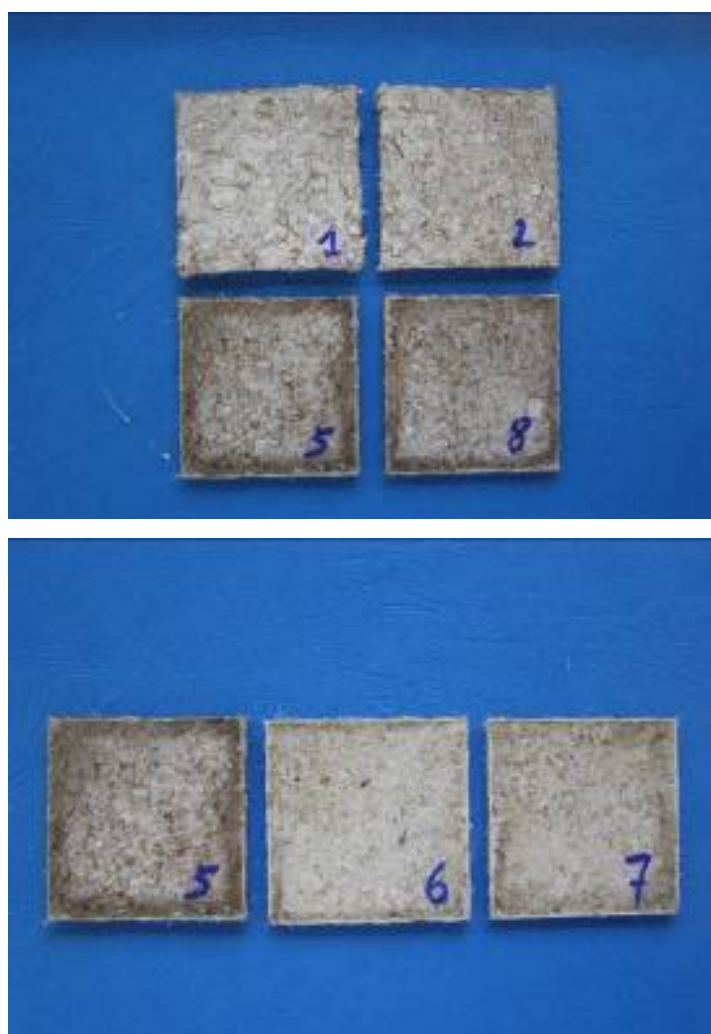


Figure 24
Exemples de plaques obtenues par thermopressage de peaux de bovins séchées broyées ; presse PEI 10 tonnes.

A l'issue de chaque essai, la densité du matériau a été évaluée (pesée sur balance de précision et mesures au pied à coulisses). Il est possible de conclure que (tableau 21) :

- le thermopressage des cuirs bruts de bovins séchés, broyés est envisageable. Les plaques obtenues ont des densités comprises entre 1,1 et 1,3. Visuellement, ces dernières sont homogènes malgré la présence des 2 matériaux distincts que sont les poils et la peau (figure 24).
- à température constante, une augmentation de la pression conduit à une légère densification du matériau (essais 1 et 2).
- à pression constante, une augmentation de la température permet aussi de densifier le thermopressé (essais 1 et 8 ; 4 et 7 ; 3 et 6). Une augmentation de 50°C permet en moyenne d'augmenter la masse volumique de 0,2 g/cm³.
- dans des conditions de thermopressage identiques, les 3 matières premières conduisent à des plaques de masses volumiques équivalentes (essais 5-7).

Les valeurs de densités supérieures à 0,8 g/cm³ placent les essais dans la gamme des panneaux structuraux de haute densité.

Essai	Matière première	T°C	Pression (bars)	Masse volumique (g/cm3)
1	Marguerite	50	150	1,07
2	Marguerite	50	250	1,12
3	Hortense	50	180	1,01
4	Bertha	50	180	1,10
5	Marguerite	100	180	1,28
6	Hortense	100	180	1,21
7	Bertha	100	180	1,26
8	Marguerite	100	150	1,26

Tableau 21
Essais préliminaires de thermopressage des peaux de bovins sur la presse PEI 10 tonnes

341.3 - Essais complémentaires : tests mécaniques et mise en œuvre d'additifs

Sur une matière première sélectionnée (Hortense), des plaques ont été réalisées avec une presse PEI 50 tonnes automatisée en utilisant le même moule de forme carrée 5cmx5cm. Chaque essai de thermopressage a été réalisé en double.

La densité du matériau a été évaluée sur une des plaques (pesée sur balance de précision et mesures au pied à coulisses). La deuxième plaque a été découpée en éprouvettes de dimensions 1cmx5cm ; éprouvettes destinées aux tests mécaniques : mesure des contraintes et module de flexion 3 points. Ces mesures ont été réalisées directement après la découpe des plaques, sans conditionnement préalable.

Les influences étudiées pour cette deuxième série d'essais ont été celles :

- de la pression et de la température
- de l'ajout d'additifs tels que des tanins (connus comme agents tannants des cuirs) ou de bois issu d'un défibrage thermomécanique.

Les plaques thermopressées dans ces conditions sont exposées dans la figure 25.

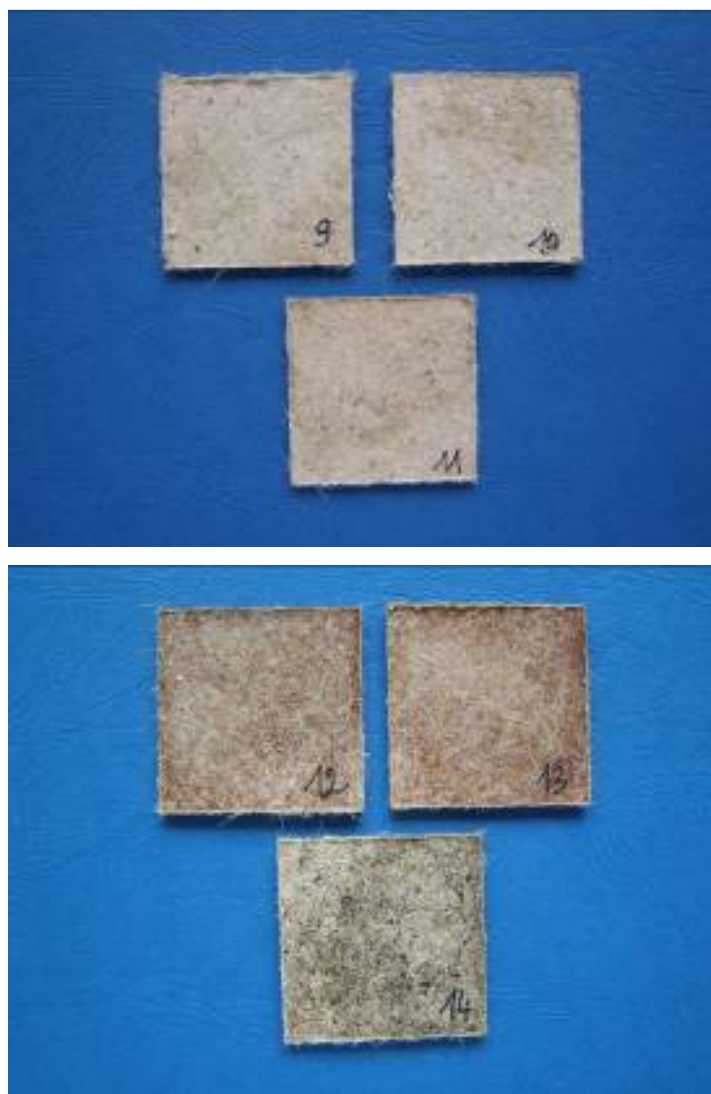


Figure 25

Exemples de plaques obtenues par thermopressage de peaux de bovins séchées broyées (Hortense) ; presse PEI 50 tonnes.

On peut conclure que (tableau 22) :

- les masses volumiques des éprouvettes sont équivalentes quelles que soient les conditions de thermopressage : température, pression, présence d'additifs.
- Pour une température de thermopressage de 100°C, une augmentation de la pression de 150 (essai 9) à 200 bars (essai 10) permet de tripler la contrainte maximale à la rupture.
- Sous 150 bars, thermopresser à 130°C (essai 11) au lieu de 100°C (essai 9) conduit à augmenter la résistance mécanique du matériau par un facteur 7. La température est donc un facteur d'importance majeure pour le thermopressage des peaux de bovins.
- L'utilisation de tanins (essais 12-14), que ce soient des ellagitanins (châtaignier) ou surtout des tanins condensés (mimosa et québracho), apporte un peu de renforcement mécanique aux plaques (figure 26). Ceci peut être expliqué par une amorce de tannage de la peau par les polyphénols d'origine végétale. Les agents de tannage stabilisent la structure du collagène par un cross-linking afin de former un réseau, renforçant du même coup la résistance du matériau.
- L'addition de bois défilé (essai 15) n'améliore pas les propriétés mécaniques alors même que des plaques réalisées uniquement en bois défilé (essai 16) sont deux fois plus résistantes que des plaques issues des peaux de bovins (essai 11).

Essai	Additif	% additif	T°C	P (bars)	Masse Volumique (g/cm ³)	Contrainte maximale		Module de flexion	
						Moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)
9	—	0	100	150	1,10	0,9	0,1	40	9
10	—	0	100	200	1,17	3,5	0,6	186	26
11	—	0	130	150	1,15	7,0	0,3	527	106
12	tanin mimosa	17	130	150	1,27	9,5	1,1	660	134
13	tanin quebracho	17	130	150	1,27	9,5	1,9	908	189
14	tanin châtaignier	17	130	150	1,27	8,2	1,1	657	73
15	bois extrudé	33	130	150	1,13	7,8	0,5	399	69
16	bois extrudé	100	130	75	1,19	13,4	0,1	1061	30

Tableau 22
Essais de thermopressage des peaux de bovins sur la presse PEI 50 tonnes ; masses volumiques et résistances mécaniques des matériaux thermoformés.

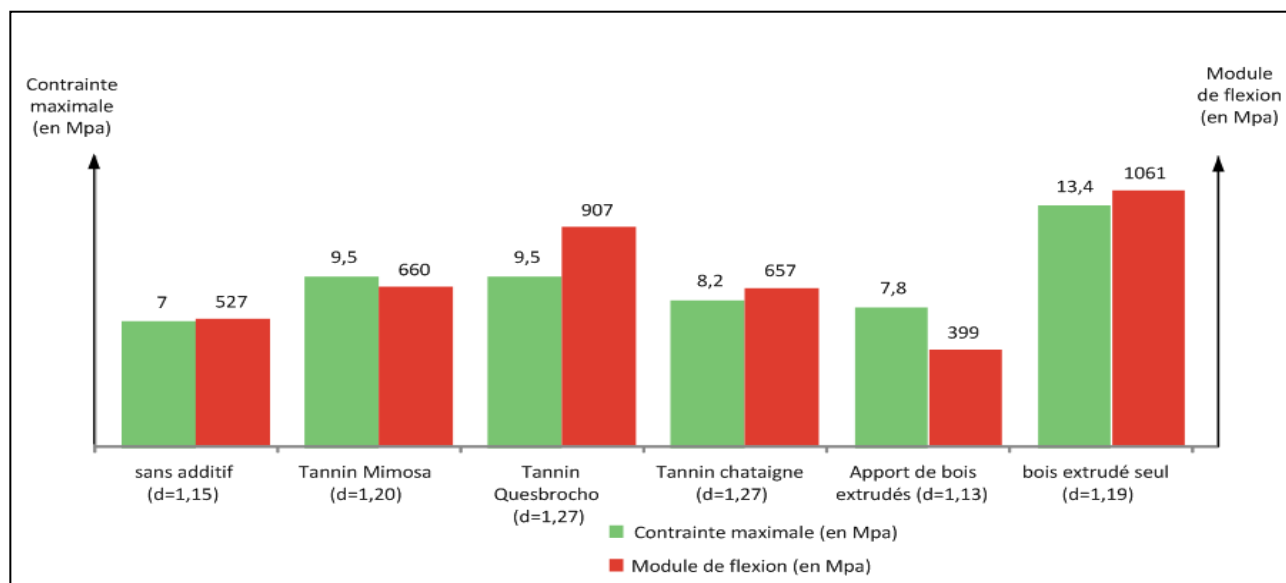


Figure 26
Contraintes de flexion des éprouvettes en présence de tanins d'origine végétale

Les plaques thermopressées sont ainsi caractérisées par des hautes densités et des résistances mécaniques correctes. Une application en tant que panneau de particules nécessite cependant l'acquisition de données sur la stabilité dimensionnelle et microbiologique du matériau à l'humidité, selon la norme NF EN 318 (« Détermination des variations dimensionnelles sous l'influence de variations de l'humidité relative »).

341.4 - Stabilité des plaques thermopressées à l'humidité

La stabilité dimensionnelle a été évaluée selon la norme NF EN 138.

Les plaques sont placées dans des enceintes climatiques caractérisées par des humidités relatives (HR) constantes. Elles sont mesurées quotidiennement au pied à coulisses. Le conditionnement commence dans une enceinte climatique à 65% HR (25°C). Une fois les dimensions stabilisées, les plaques sont placées dans une enceinte à 35% HR jusqu'à stabilisation pour terminer dans une enceinte climatique à 85% HR. Il est ainsi possible d'évaluer les variations dimensionnelles de longueur et d'épaisseur pour les plaques en fonction des conditions d'exposition.

- Diminution de l'épaisseur à 35% HR : **DT35 = -0,5% +/- 0,5%**
- Diminution de la longueur à 35% HR : **DL35 = -0,6% +/- 0,2%**
- Accroissement de l'épaisseur à 85% HR : **IT85 = 50,9% +/- 10,8%**
- Accroissement de la longueur à 85% HR : **IL85 = 14,3% +/- 1,5%.**

En conditions d'hydratation forte (85% HR), il existe une forte augmentation du volume des plaques, accompagnée d'une odeur de fermentation. La stabilité dimensionnelle dans ces conditions est donc insuffisante.

Dans le cadre de cette étude exploratoire, le produit mis au point est original et intéressant mais nécessiterait un développement technique plus approfondi. Pour le développement de ce type de produit, il serait nécessaire d'optimiser la formulation afin de contrôler la fermentation. Des imperméabilisants, des antifongiques et/ou des anti-microbiens, tels que ceux utilisés dans les process de tanneries, pourraient ainsi être additionnés.

341.5 - Proposition d'un schéma de fabrication de plaques par thermopressage de cuirs bruts de bovins

Les essais préliminaires de thermopressage se sont avérés concluants. Cette voie de valorisation novatrice pourrait être approfondie afin d'améliorer les conditions opératoires du procédé, d'optimiser la stabilité à l'humidité des matériaux par l'apport de conservateurs ou d'imperméabilisants mais aussi de travailler sur les applications potentielles des biomatériaux issus d'un tel procédé. Par exemple, les propriétés d'isolation thermique ou acoustique pourraient compléter l'étude réalisée.

Toutefois, à ce stade et compte tenu des objectifs initiaux de l'étude qui étaient de tester des pistes ou procédés de valorisation alternatifs et non d'aboutir à un produit fini optimisé, il est possible de proposer un schéma pour le procédé d'obtention de plaques thermopressées (figure 27).

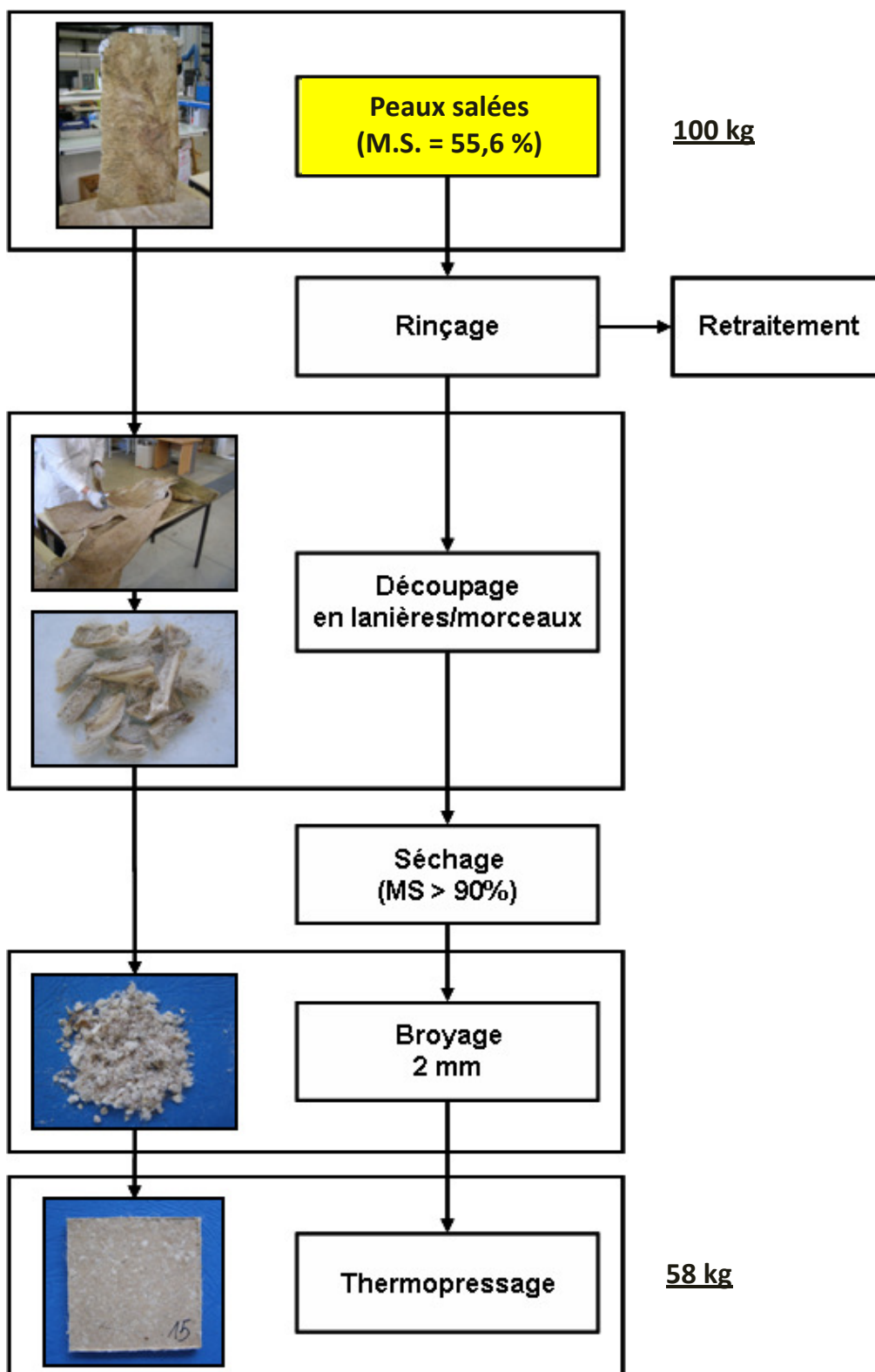


Figure 27

Schéma de procédé pour la fabrication de plaques par thermopressage de peaux de bovins

34.2 - Essai de fractionnement des peaux de bovins salées

342.1 - Présentation de l'essai de fractionnement

Comme il a été précisé dans le chapitre 326, le gisement principal constituant les peaux de bovins est le gisement protéique sous forme de kératine et de collagène. Ces derniers essais ont comme objectif de démontrer la possibilité de séparation et de transformation de ces deux sources protéiques de manière douce et de caractériser les différentes fractions du procédé.

Dans la littérature, la dépilation des peaux a été essentiellement étudiée dans le cadre du prétraitement avant le tannage. Les peaux dépilées rejoignent ensuite le circuit classique de tannage. L'optimisation de la dépilation enzymatique vise donc à dépiler efficacement tout en fournissant une peau avec un grain le plus fin possible c'est-à-dire en préservant cette dernière. D'un autre côté, la production d'hydrolysats de collagène et/ou de gélatine est focalisée sur la maîtrise des conditions d'hydrolyse sans prêter d'intérêt au co-produit qu'est le poil.

L'objet de cet essai est de coupler la dépilation efficace d'une peau de bovin à la production d'hydrolysats de collagène en ne mettant en œuvre qu'un seul type de procédé enzymatique multi-étapes.

342.2 - Conditions opératoires

Étape 1 : trempage et gonflement des peaux

Cette étape a un double objectif : laver les peaux en éliminant les salissures et l'excès de sel et débiter le gonflement du collagène.

100 grammes de peau de bovin salée (Hortense) sont découpés en morceaux en moyenne de 2cmx2cm puis immergés dans un réacteur contenant 400 mL d'eau. Après 16h à température ambiante, la phase liquide est soutirée. Un deuxième lavage avec 400 mL d'eau est réalisé. Après 2h à 26°C sous agitation mécanique, la deuxième phase liquide est soutirée.

Pour chaque phase liquide, une évaluation de la matière sèche et de la matière minérale présente est effectuée : 12h à l'étuve à 103°C pour la matière sèche et 6h au four à 550°C pour les matières minérales.

Étape 2 : dépilation enzymatique

Les morceaux de peau, gonflés et lavés sont mis en présence d'une solution aqueuse de papaine (15g (13,7g en M.S.) dans 400mL). Après 5,5h sous agitation à 35°C, le milieu est laissé au repos pendant 15,5h à température ambiante.

Une séparation du liquide contenant les poils en suspension est menée afin de récupérer la peau dépilée. Les poils sont séparés du liquide par filtration.

Les matières sèches et matières minérales ont aussi été mesurées sur le liquide et les poils.

Étape 3 : Hydrolyse du collagène

Les morceaux de peau dépilée sont séparés en 2 batchs afin de subir une hydrolyse du collagène. Le batch 1 propose une hydrolyse rapide et totale tandis que le batch 2 propose une hydrolyse séquencée.

Batch 1 : 73 g de peau dépilée sont immergés dans 400 mL d'eau. Après 1h sous agitation à 98°C (reflux), la peau a été totalement hydrolysée. Aucun solide ne subsiste. L'extrait 1 obtenu a été caractérisé par la mesure des matières sèches et minérales après filtration (afin d'éliminer les quelques poils résiduels).

Batch 2 : 73 g de peau dépilée sont immergés dans 400 mL d'eau. Après 1h à 50°C, un extrait (extrait 2) est soutiré. 200 mL d'eau sont ajoutés à cet extrait et chauffés 15 minutes à 75°C. L'hydrolyse est alors totale. L'extrait 3 est soutiré puis filtré pour éliminer les quelques poils restants. Les mesures de matières sèches et minérales ont été réalisées sur les extraits 2 et 3.

Les extraits 1, 2 et 3 ont finalement été lyophilisés afin d'éliminer l'eau.

L'ensemble de l'essai de fractionnement est exposé dans la figure 28.

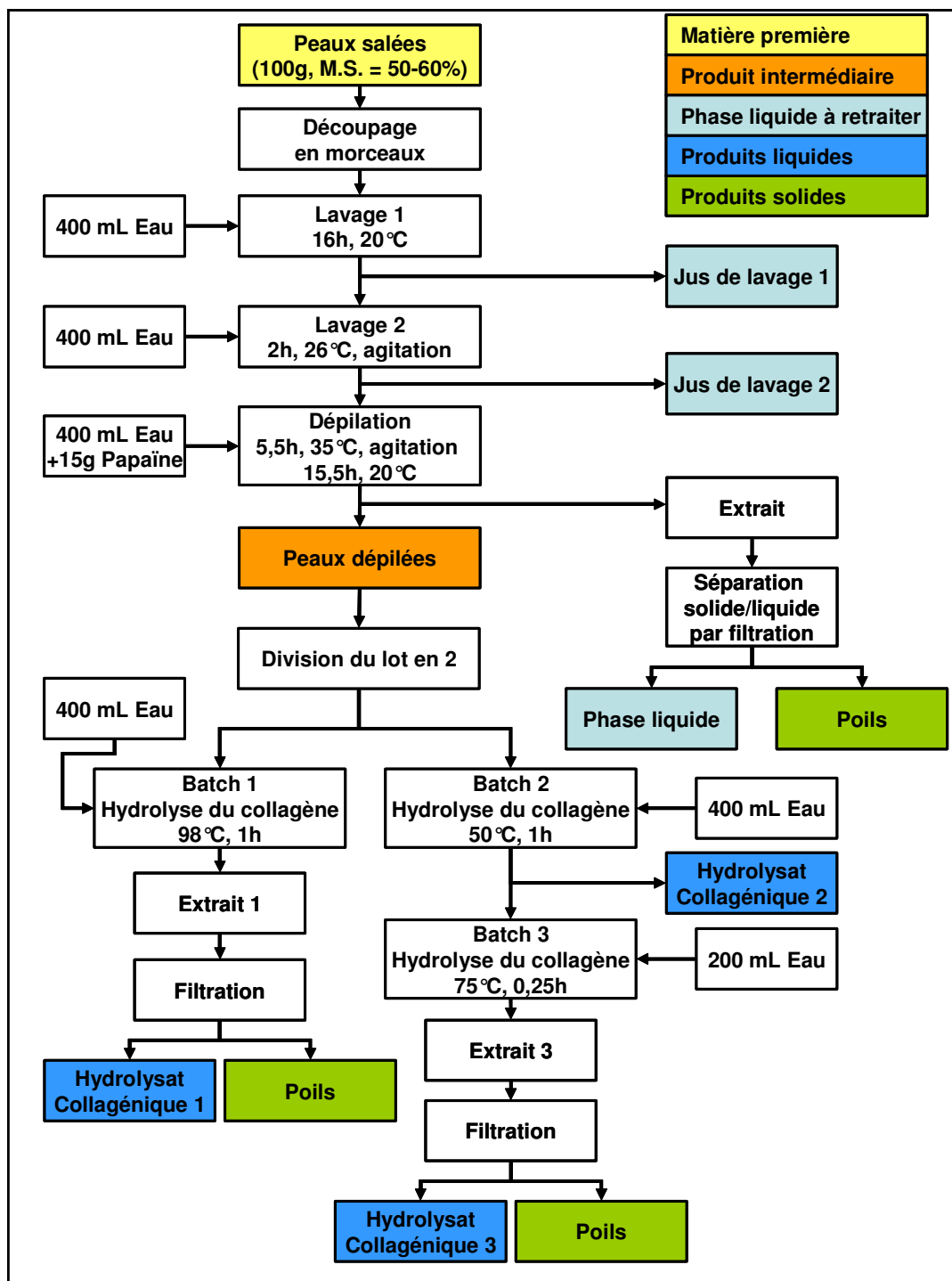


Figure 28

Schéma du procédé de fractionnement enzymatique des peaux de bovins.

342.3 - Résultats de l'essai de fractionnement

L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau 23.

					Par rapport à l'étape		Par rapport aux peaux		M.M. (%/M.S.)
			M.S. (g)	M.M. (g)	Rdt (%M.S.)	Rdt (%M.M)	Rdt (%M.S.)	Rdt (%M.M)	
Etape 1 : lavage	Entrée	Peaux	56,0	16,4					29,3
	Sorties	Lavage 1	10,3	9,5	18,4	57,9	18,4	57,9	92,2
		Lavage 2	3,2	2,8	5,7	17,1	5,7	17,1	87,5
Etape 2 : Dépilation	Entrées	Peaux	42,5	4,1					9,6
		Papaïne	13,7	0,0					0
		Somme	56,2						
	Sorties	Jus papaïne	11,6	2,0	20,6	48,8	20,7	12,2	17,2
		Poils	5,7	0,1	10,1	2,4	10,2	0,6	1,8
Etape 3 : Hydrolyse mono-étagée	Entrée	Peaux dépilées	19,5	1,0					
	Sorties	Extrait 1	17,3	0,2	88,9	23,0	30,9	1,4	1,3
		Poils	0,5	0,0	2,6	1,0	0,9	0,1	2,0
Etape 3 : Hydrolyse séquencée	Entrée	Peaux dépilées	19,5	1,0					
	Sorties	Extrait 2	2,7	0,1	13,9	14,0	4,8	0,9	5,2
		Extrait 3	14,9	0,1	76,6	6,0	26,6	0,4	0,4
		Poils	0,3	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0

Tableau 23
Résultats du fractionnement enzymatique des peaux de bovins (rdt=rendement, MS=matières sèches, MM=matières minérales).

Étape 1 : trempage et gonflement des peaux

L'étape de lavage et de gonflement des peaux permet d'éliminer en 2 lavages plus de 24% de la matière sèche contenant 75% de la matière minérale présente c'est-à-dire essentiellement le sel adsorbé en surface de la chair. Le reste de la matière sèche est constitué par les résidus organiques de lavage que sont les salissures de la fourrure et une infime partie des poils.

Étapes 2 et 3 : dépilation enzymatique et hydrolyse du collagène

Pour les étapes de dépilation et d'hydrolyse du collagène, les rendements en matières sèches et minérales ont été calculés :

- par rapport à l'étape, c'est-à-dire en se rapportant à la matière sèche initiale de chaque étape comme référence ;
- par rapport aux peaux initiales, pour avoir une répartition sur le procédé global.

Suite à la dépilation, une phase solide et une phase liquide sont obtenues. La phase liquide est riche en matière organique. Cette matière organique est a priori essentiellement constituée de papaïne dissoute. Ceci implique que le rendement de récupération en papaïne n'est alors que de 85%. Ainsi, une partie de la papaïne reste adsorbée ou a commencé à pénétrer la peau. La phase solide est constituée en totalité par les poils et représente 10 % de la matière sèche des peaux. Ceci est cohérent avec un test de séparation mécanique réalisé sur les peaux brutes et qui nous avait permis de conclure que les poils représentaient entre 10 et 12% de la matière sèche des peaux de bovins. La dépilation enzymatique est ainsi très efficace et fournit un substrat kératinique avec un rendement élevé.

Il est à noter que les étapes d'hydrolyse consécutives à la dépilation conduisent à la récupération sélective (séparation solide/liquide) des poils résiduels n'ayant pas été séparés lors de l'étape 2. Cette fraction de poils résiduels représente moins de 10% de la fraction obtenue lors de l'étape 2. L'étape 2 permet aussi d'extraire 12% de matière minérale supplémentaire, qui se retrouve dans la phase liquide, amenant le rendement d'extraction de minéraux (quasi-exclusivement NaCl) à 87%.

Les peaux dépilées présentent un aspect lisse et gonflé. Les deux méthodes d'hydrolyse de ces peaux permettent de produire 3 hydrolysats de collagène distincts. En 1h à reflux, le collagène est complètement hydrolysé. L'utilisation de la papaïne pour la dépilation a permis de préparer la peau en éliminant les composés non collagéniques. Les enzymes sont ainsi très efficaces et évitent le prétraitement alcalin des peaux (technique classique utilisée pour la production de gélatine à partir de peaux de bovins). Que ce soit en une hydrolyse mono-étagée ou en une hydrolyse séquencée, les durées nécessaires à l'hydrolyse du collagène sont d'environ 1h. Travailler à reflux est synonyme d'une hydrolyse très rapide du collagène tandis qu'une température de 50°C ne conduit qu'à l'hydrolyse de 14% de la matière

première (hydrolysats 2). 15 minutes supplémentaires à 75°C permettent d'hydrolyser 77% supplémentaires. La présence résiduelle de papaïne suite à la dépilation a certainement favorisé l'hydrolyse du collagène, limitant ainsi les durées de réaction.

Les hydrolysats ne contiennent qu'une faible quantité de matière minérale, l'extrait le plus riche en matière minérale étant celui produit à 50°C. Chaque extrait a été finalement lyophilisé. Un dosage Kjeldahl a été réalisé afin de déterminer la quantité de protéines. Les extraits 1 et 3 contiennent plus de 99% de protéines tandis que l'extrait 2 contient 93% de protéines et 5% de matière minérale.

Le processus défini pour obtenir des hydrolysats de collagène est donné dans la figure 29.

Les applications envisageables pour ce type de produit ont été exposées précédemment dans la partie bibliographique pour les hydrolysats de collagène (chapitre 3342 à 3345).

Une application intéressante en biomatériaux est celle des colles animales ou « Hide Glue ». Or, si les hydrolysats de collagène obtenus devaient avoir une fonction collante, plusieurs caractérisations physico-chimiques supplémentaires doivent être réalisées, en particulier l'étude des propriétés adhésives.

342.4 - Étude des propriétés collantes de l'hydrolysats

Afin d'évaluer l'application potentielle des hydrolysats de collagène obtenus en tant que colle animale, leur caractère collant a été étudié.

Pour cela, les **qualités adhésives ont été comparées sur le bois** pour :

- les 3 hydrolysats de collagène,
- 1 colle d'os référence, commercialisée,
- 1 colle végétale produite par nos soins (isolat protéique de tournesol),
- 1 colle Sader bois extérieur,
- 1 colle Sader bois intérieur.

Pour chaque colle, la quantité déposée est de 50 mg sur une surface de (25 x 12,5) mm² d'une 1^{ère} éprouvette en bois. La 2^{ème} éprouvette est mise en contact au niveau de la zone encollée. La durée de séchage de l'ensemble est de 12 jours avant de réaliser les tests

mécaniques de traction. L'espace entre les mords est réglé à la longueur de référence de 112,5mm. Le capteur est un capteur de 5000N avec un allongement de 50mm et une vitesse de 60mm/min. Les résultats des contraintes maximales moyennes et des modules moyens calculés sur les valeurs obtenues pour 5 éprouvettes pour chaque colle sont donnés dans le tableau 24.

	Contrainte max moyenne (MPa)	Ecart type (Mpa)	Module moyen (Mpa)	Ecart type (Mpa)
Hydrolysats 1 à 44%	2,7	0,3	392	16
Hydrolysats 2 à 44%	1,4	0,2	425	17
Hydrolysats 3 à 44%	2,3	0,2	385	10
Colle d'os référence à 44 %	5,4	0,5	366	10
Isolat Proteique de tournesol	3,4	1,9	414	11
Sader bois extérieur	12,6	7,4	582	133
Sader bois interieur	7,6	2,6	392	54

Tableau 24
Contrainte maximale en traction pour des éprouvettes en bois collées
avec différentes colles d'origine animale, végétale ou fossile.

Après 12h de séchage, toutes les éprouvettes en bois sont collées. Concernant les tests de traction, la rupture se fait au niveau du joint de colle et non pas du bois (pas de délamination observée). L'hydrolysats 1 présente les meilleures performances. Ainsi, même si les capacités d'agent adhésif des hydrolysats sont démontrées, les résultats des tests de traction indiquent que les hydrolysats confèrent une résistance inférieure à celle des colles naturelles classiques.

Des adaptations des conditions opératoires du procédé donné dans la figure 29 s'avèrent nécessaires pour améliorer la performance de la colle « naturelle » développée. Elles pourront être entreprises au travers d'un projet spécifique de développement technique.

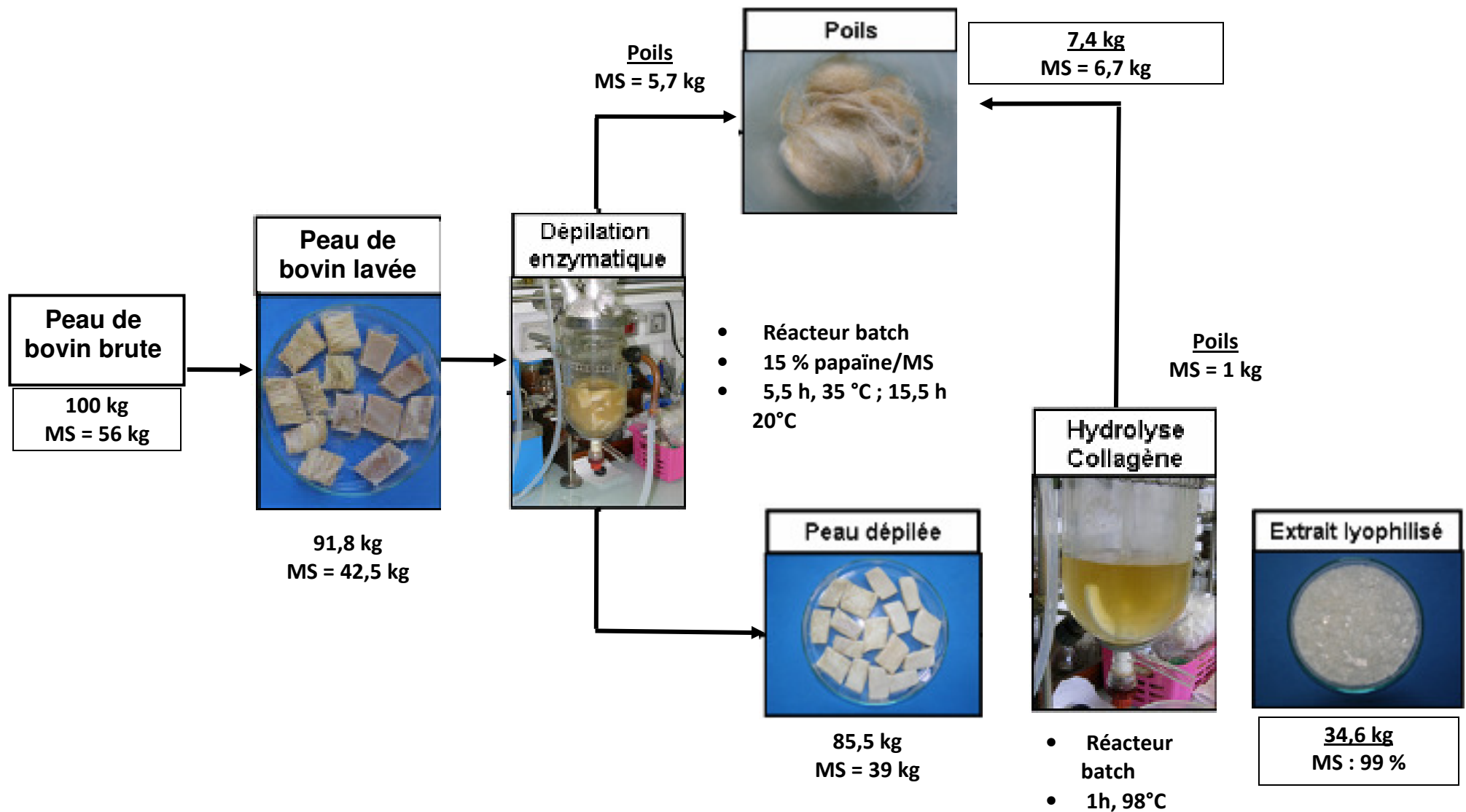


Figure 29
Produits issus de l'essai de fractionnement enzymatique des peaux de bovins.

34.3 - Conclusion sur les voies de valorisation prospectives

Deux procédés de fabrication de matériaux ont été mis au point à partir de cuirs bruts :

- des plaques thermopressées
- des colles à base d'hydrolysats de collagène

Les plaques thermopressées présentent des caractéristiques rhéologiques comparables à celles de panneaux de particules de bois. Elles pourraient donc les concurrencer en qualité de matériau de construction : fabrication de cloisons, de palettes, de supports, Il reste toutefois à améliorer la stabilité microbiologique et mécanique de ces panneaux en conditions humides.

Il est à noter que les lanières de cuir séchées et broyées avant thermopressage ressemblant à des copeaux séchés. Elles représentent un matériau intéressant pour la filière équitation dans les manèges à chevaux en substitution de la sciure de bois trop abrasive pour les sabots des chevaux.

Le procédé d'élaboration défini est simple à mettre en œuvre tout comme les équipements nécessaires.

En ce qui concerne les hydrolysats et collagène, le procédé développé est plus complexe à piloter, notamment l'opération de dépilage enzymatique. Les performances de ces hydrolysats en qualité de colle naturelle s'avèrent insuffisantes et de grosses adaptations du procédé s'avèrent nécessaires. De plus il semble nécessaire d'effectuer des batteries de tests larges pour quantifier précisément l'ensemble des propriétés de ces hydrolysats (pouvoir collant, pouvoir gélifiant, ...) et ainsi identifier de nouvelles applications.

Enfin, on notera toutefois que le produit qui est issu du procédé est en concurrence avec les produits proposés par la filière gélatine, filière constituée de gros groupes industriels et dont les marchés sont, aujourd'hui, bien implantés. A ce titre, la prise en charge d'un procédé de production d'hydrolysats de collagène par des abatteurs semble commercialement et techniquement très délicate.

4 - ANALYSE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE DES NOUVELLES VOIES DE VALORISATION

4.1 - Analyse technique

Au regard de l'analyse bibliographique réalisée et de l'analyse du marché actuel des cuirs et peaux, un gisement de chutes de cuirs bruts de 14500 T/an a été identifié.

3 voies de valorisation alternatives ont été définies :

- La production de peaux dépilées pour la filière gélatine et de poils à destination de l'industrie textile, de fabricants de pinceaux, d'isolants ou pour la production de supports agronomiques.
- La production de plaques thermopressées en concurrence aux panneaux de particules de bois ou la production de sciures de cuirs séchées en concurrence aux sciures de bois
- La production d'hydrolysats de collagène utilisés comme colles « naturelles » à matériaux.

41.1 - Production de peaux dépilées

Le procédé est simple de mise en œuvre en abattoirs car les matériels nécessaires au dépilage des peaux sont disponibles dans les triperies des abattoirs. Il faut toutefois valider si la qualité de dépilage obtenue est susceptible de satisfaire aux attentes de gélatiniers. Si tel n'était pas le cas, le recours à du dépilage enzymatique ou chimique plus complexe à maîtriser devrait alors être mis en place.

En ce qui concerne la valorisation des poils, il semble nécessaire d'induire une phase d'essorage du poil issu du dépilage puis de séchage ou d'apport de conservateurs en vue d'une vente à des industriels producteurs de textiles, pinceaux, isolants (cf §331 p.43).

Pour une valorisation en support agronomique, une simple étape d'essorage serait suffisante.

Compte tenu de ces observations, la production des peaux dépilées peut être prise en charge de manière relativement immédiate par les abatteurs sous réserve de définir :

- le procédé de valorisation des poils,

- les modalités de collecte et de livraison aux industriels producteurs de gélatine, en particulier les minimums de livraison qui auront un impact direct sur les capacités de stockage réfrigéré ou congelé des cuirs dépilés à mobiliser.

41.2 - Plaques thermopressées

Le process est simple à mettre en œuvre et ne nécessite que des opérations unitaires physiques : lacérage, séchage, broyage, thermopressage.

Les cuirs sont utilisés à l'état brut, salés ou non. Aussi, aucune capacité de stockage réfrigéré ou congelé n'est nécessaire.

Les produits issus de ce process, sciure de cuirs ou plaques thermopressées, sont des matériaux biologiques durables et naturels qui répondent pleinement aux attentes sociétales.

Les plaques présentent des résistances comparables à celles de plaques de bois mais leur tenue microbiologique et mécanique à l'humidité doivent être améliorées par l'apport de conservateurs : utilisés en milieu sec, les intrants nécessaires à l'élaboration des plaques sont très faibles puisque seuls des tannins sont nécessaires.

41.3 - Production d'hydrolysats de collagène

La production d'hydrolysats de collagène est un procédé complexe et coûteux à mettre en œuvre et à piloter. Il nécessite une étape de dépilation qui peut être conduite :

- chimiquement à l'aide d'agents chimiques agressifs de type hydroxyde de calcium et sulfure de sodium ou hydrogène sulfuré de sodium ou de type lait de chaux fortifié au sulfure de sodium ou à l'hydrogène sulfuré de sodium,
- enzymatiquement à l'aide d'enzymes de type papaïne ou pancréatine.

L'hydrolyse thermique de collagène peut être conduite de manière simple mais la production d'hydrolysats nécessite un séchage par lyophilisation, technologie coûteuse.

Les produits finis issus de ce procédé sont en concurrence directe avec les productions de l'industrie gélatinière et ont, à ce jour, des performances techniques en qualité de « colle naturelle », bien inférieures aux colles naturelles de référence à base d'os en particulier. A ce titre, la prise en charge de ce type de technologie par des abatteurs, qui seraient forcément de grosse taille, les placeraient directement en concurrence avec de gros groupes industriels

producteurs de gélatine : Rousselot®, PB gélatins®, Weishardt®,... alors que ces abattoirs peuvent être déjà fournisseurs de ces entreprises.

Pour des raisons commerciales et techniques, il ne semble pas opportun de mettre en place le procédé de fractionnement des cuirs en abattoir.

4.2 - Analyse technico-économique des solutions

42.1 - Potentiel de gisement retenu & dimensionnement d'unités de traitement

Le gisement « chutes de cuirs » est évalué à 14 500 T/an. Il couvre les masques, manchons, oreilles des gros bovins. Les boucles d'identification sur les oreilles ont préalablement été retirées en général au poste de pesée fiscale.

Les unités de traitement envisagées sont étudiées selon les pratiques observées et identifiées (cf. §2.2).

Ainsi, on retrouve :

● Pour les outils d'abattage < 7000 T/an

- Unité de traitement collective
- Gisement potentiel de 3 200 t/an de chutes de cuirs
- 10 centres de collecte et de traitement envisagés au vu du nombre d'abattoirs concernés (150) et du maillage du territoire

⇒ Soit une unité de traitement dimensionnée à hauteur de 300 T/an ou **150T/an** si fonctionnement en 2x8.

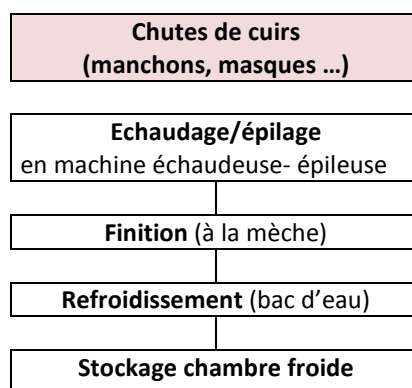
● Pour les outils d'abattage > 7000 T/an

- Unité de traitement in situ d'où suppression des coûts de collecte
- 3 cas types représentatifs des outils spécialisés en bovins de plus de 7000 T/an
 - 10 000 Tonnes abattues/an soit un gisement de 110 T/an
 - 15 000 Tonnes abattues/an soit un gisement de 163 T/an
 - 25 000 Tonnes abattues/an soit un gisement de 271 T/an

⇒ Soit une unité de traitement dimensionnée à hauteur de **150T/an** permettant de couvrir les 2 premiers cas types et également le dernier dans un fonctionnement en 2x8.

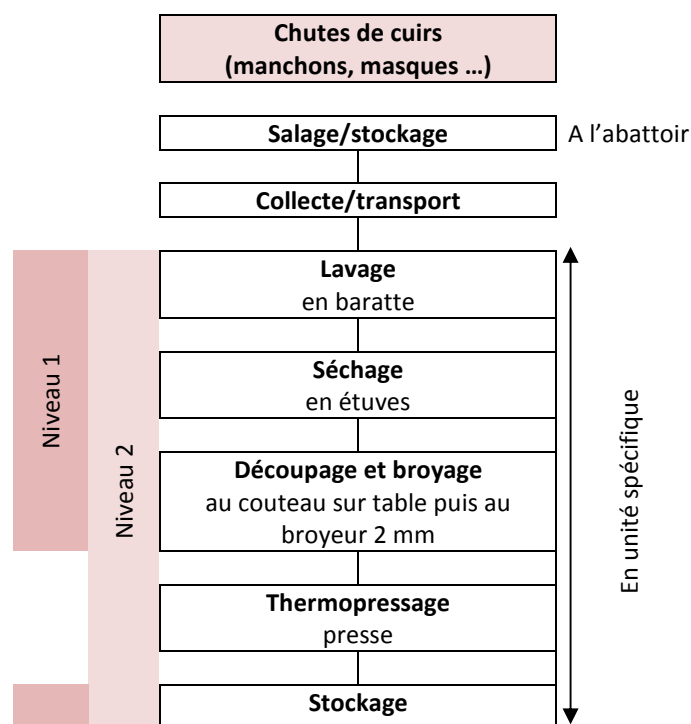
42.2 - Process retenus

422.1 - Epilage (P° peaux épilées)

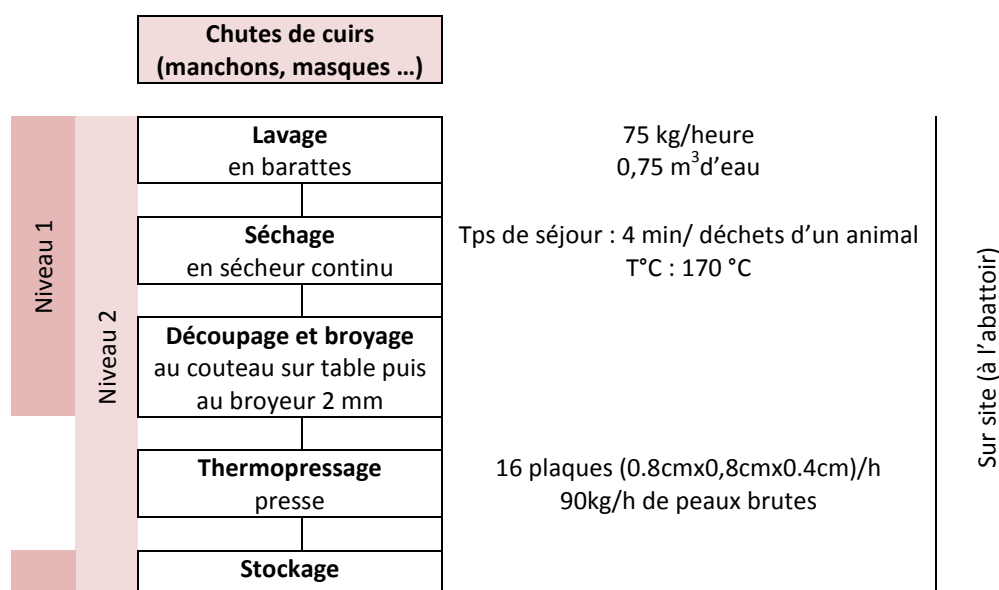


422.2 - Thermopressage

- Pour les outils d'abattage < 7000 T/an



● Pour les outils d'abattage > 7000 T/an



42.3 - Interprétation des stades de process envisagés pour optimisation des équations économiques

423.1 - Production de « peaux épilées »

Le process de fractionnement, complexe à mettre en œuvre pour une valorisation concurrente à celle des gélatiniers, n'a pas été retenu comme nouvelle voie de valorisation. Par contre, il semble intéressant d'utiliser les premières étapes du process jusqu'au stade « peau épilée » pour une valorisation en matière première intermédiaire auprès des gélatiniers.

La technique d'épilage est souvent déjà maîtrisée sur site d'abattage à l'aide d'un équipement ad hoc : échaudeuse-épileuse de museaux.

La capacité minimale d'un tel équipement est de 100 kg/h de peaux de têtes de bovins et peut donc traiter à lui seul le tonnage annuel prévu pour l'outil collectif. Il n'apparaît donc pas opportun d'étudier l'intérêt d'un outil collectif dimensionné sur ce seul équipement.

L'intérêt économique sera donc envisagé par outil d'abattage selon les équations économiques ci-après :

● Pour les outils d'abattage < 7000 T/an

Prix valorisation « Mat 1 ^{ères} pour gélatine » - Coût de process « épilage » ≥ Valorisation actuelle (-80 €/t en déchets) - coût traitement actuel

● Pour les outils d'abattage > 7000 T/an

$$\begin{aligned} & \text{Prix valorisation « Mat 1^{ères} pour gélatine » - Coût de process « épilage »} \\ & \geq \\ & \text{Valorisation actuelle (150 €/t) - coût traitement actuel} \end{aligned}$$

423.2 - Process de thermopressage

Au vu de l'analyse technique, 2 niveaux de process sont envisageables pour l'étude d'intérêt économique :

- Jusqu'au stade « broyage 2 mm » (niveau 1), pour une valorisation en matière première intermédiaire pour matériaux de construction ou en remplacement de la sciure de bois notamment pour les manèges à chevaux en intérieur (qualité sciure de cuir broyée>>sciure de bois).
- En process complet (niveau 2), pour des plaques thermopressées comparables à d'autres panneaux du bâtiment.

L'intérêt de ces process sera approché pour une unité de traitement de 150 T/an (cf. §4.2) et selon les équations économiques suivantes :

● Pour les outils d'abattage < 7000 T/an

● Niveau 1 :

$$\begin{aligned} & \text{Prix valorisation « Sciure de cuir » - (Coûts traitement/stockage abattoir + Coûts de collecte + Coûts} \\ & \quad \text{process « thermopressage » niveau 1)} \\ & \geq \\ & \text{Valorisation actuelle (-80 €/t en déchets) - coût traitement actuel} \end{aligned}$$

● Niveau 2 :

$$\begin{aligned} & \text{Prix valorisation « Panneaux » - (Coûts traitement/stockage abattoir + Coûts de collecte + Coûts} \\ & \quad \text{process « thermopressage » niveau 2)} \\ & \geq \\ & \text{Valorisation actuelle (-80 €/t en déchets) - coût traitement actuel} \end{aligned}$$

● Pour les outils d'abattage > 7000 T/an

● Niveau 1 :

$$\begin{aligned} & \text{Prix valorisation « Sciure de cuir » - (Coûts process « thermopressage » niveau 1)} \\ & \geq \\ & \text{Valorisation actuelle (150€/t) - coût traitement actuel} \end{aligned}$$

● Niveau 2 :

$$\begin{aligned} & \text{Prix valorisation « Panneaux » - (Coûts process « thermopressage » niveau 2)} \\ & \geq \\ & \text{Valorisation actuelle (150€/t) - coût traitement actuel} \end{aligned}$$

42.4 - Intérêt économique

424.1 - Coût des nouvelles pratiques envisagées

4241.1 Charges liées à l'investissement

● Montant de l'investissement

● Règles de calcul :

- Pour le génie civil, l'estimation du coût des travaux est calculé sur la base de ratios au m² comprenant le gros œuvre (fondation, dallage, charpente, couverture, maçonnerie, cloisons et portes isothermes, bardage, ...) ainsi que le second œuvre (revêtement de sols et murs appropriés au travail des viandes, production et distribution des fluides et énergies,...). Les prix retenus sont donc différents selon la destination des locaux.
- Pour le matériel, l'estimation est réalisée par référence à des prix obtenus auprès de constructeurs (valeur année 2012). Ce sont des prix moyens catalogue lorsque plusieurs constructeurs les proposent sur le marché et ils sont donnés pour un matériel livré et installé.

● Production de peaux dépilées :

Génie civil : aucune construction de locaux n'est envisagée. La production est réalisée dans le local « triperie » de l'outil d'abattage. Les produits finis sont stockés en chambre froide abats blancs ou en chambre froide de congélation.

Matériel : échaudeuse-épilleuse de museaux d'un montant HT de 17 000€.

Désignation	Coût marché € HT
GENIE CIVIL	/
EQUIPEMENTS SPECIFIQUES	17 000
TOTAL (hors ingénierie)	17 000

● Process de « thermopressage »:

Génie civil :

Désignation	N1 (m ²)	N2 (m ²)	Coût HT N1	Coût HT N2
Locaux sociaux	25	25		
Local séchage	20	20		
Local Lavage/broyage	30	30	125 000	150 000
Local thermopressage	/	20		
Stockage	25	25		
TOTAL	100	120	125 000	150 000

Matériels et équipements :

Désignation	Quantité	Coût HT N1	Coût HT N2
Baratte 300l	2	40 000	40 000
Sécheur continu	1	130 000	130 000
Broyeur couteau	1	15 000	15 000
Thermopresse	4	/	700 000
TOTAL		200 000	900 000

Financement de l'investissement :

Une hypothèse est formulée sur la base des critères techniques actuellement en vigueur pour l'attribution d'aides européennes et nationales : 20%.

On considère par hypothèse également que l'assiette des investissements éligibles se situe autour de 80%

	Désignation	Coût N1 € HT	Coût N2 € HT
Budget	GENIE CIVIL	120 000	150 000
	EQUIPEMENTS SPECIFIQUES	200 000	900 000
	TOTAL (hors ingénierie)	325 000	1 050 000
Financement	Assiette éligible	260 000	840 000
	Subvention (20%)	52 000	168 000
	Reste à financer	273 000	882 000

● Estimation des charges liées à l'investissement

Cette charge intègre la dotation aux amortissements et les frais financiers relatifs aux modalités et conditions de financement définies. Elle est prise en compte au moyen d'une annuité constante résultant de l'application de la formule suivante² :

$$a = \frac{Ki}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

Le taux de rémunération, choisi par référence au contexte actuel des marchés bancaires et financiers, et la durée d'amortissement retenue sont de 4,5% et de 20 ans pour le génie civil et de 4,5% et 7 ans pour l'équipement.

	P ^a peaux dépilées	Thermopressage N1	Thermopressage N2
Investissement	17 000	273 000	882 000
Annuité	2 885	36 272	137 981
Charges €/tonne	19,2	246,5	919,9

² avec i = taux annuel de rémunération du capital, n = durée d'amortissement (en années) et K = coût de l'investissement

4241.2 Charges de fonctionnement

● Entretien/maintenance des équipements :

Les coûts d'entretien relatifs aux équipements spécifiques sont à rapprocher de l'investissement. Des ratios moyens exprimés en % du coût d'investissement sont utilisés.

Concernant ce type d'équipement, l'expérience des constructeurs a été prise en compte. Ainsi, les valeurs intègrent à la fois le petit et le gros entretien récurrent hors le temps de salariés destinés à ces opérations de maintenance.

Le coût d'entretien est estimé à 1% de l'investissement.

● Fluides :

● Electricité :

$$\text{Coût}_{\text{Elect}} = C^{\text{t}}_{\text{Elect}} \times \text{Prix kWh}$$

La consommation d'électricité est estimée pour chaque solution étudiée, elle est donnée en kWh.

Process d'épilage: 41 355 kWh/an pour le fonctionnement des équipements de process et la production de froid en chambre froide de stockage.

Process de thermopressage:

Niveau 1: 79 000 kWh pour le fonctionnement des barattes, du broyeur et du sécheur continu.

Niveau 2: 145 000 kWh pour le fonctionnement des barattes, du broyeur, du sécheur continu et des thermopresses.

Le prix du kWh électrique est estimé à 0,0621€ (Enquête sur les consommations d'énergie dans l'industrie 2010 IAA - Agreste)

● Vapeur :

$$\text{Coût}_{\text{vap}} = C^{\text{t}}_{\text{vap}} \times \text{Prix tvap}$$

La consommation de vapeur nécessaire au fonctionnement est estimée pour chaque solution étudiée, elle est donnée en tonne vapeur.

Process d'épilage: 72,5 tvap/an nécessaires pour chauffer l'eau chaude (82°C) d'échaudage des masques et manchons dans l'échaudeuse-épileuse.

Process de thermopressage:

Niveau 1: Pas d'utilisation d'énergie thermique

Niveau 2: 160 t_{vap}/an pour la phase de thermopressage

Le prix de la tonne vapeur est estimé à 21,3€ (Enquête sur les consommations d'énergie dans l'industrie 2010 IAA - Agreste).

● Eau :

$$\text{Coût}_{\text{Eau}} = C_{\text{Eau}}^t \times \text{Prix m}^3$$

Hors production de vapeur, l'eau est utilisée dans le process pour refroidissement dans le process d'épilage et pour lavage des masques et manchons dans le process de thermopressage.

Process d'épilage: 2 100 m³/an

Process de thermopressage:

Niveau 1&2 : 300 m³/an

Le prix moyen retenu pour le m³ d'eau est de 3,39 €/m³ y compris assainissement (Enquête sur l'eau 2010 – Agreste).

● Personnel :

Process d'épilage: 0,25 ETP

Process de thermopressage: 1 à 2 ETP selon le niveau de process

4241.3 Coût de revient annuel

	Process « épilage »		Process thermopressage N1		Process thermopressage N2	
	€	€/tonne	€	€/tonne	€	€/tonne
Investissement	2 885	19,2	36 972	246,5	137 981	919,9
Fonctionnement	18 833	112,4	38 378	255,9	81 700	544,7
Fluides	11 231	61,7	5 923	39,5	13 430	89,5
<i>Electricité</i>	2 568	4,0	4 906	32,7	9 005	60,0
<i>Vapeur</i>	1 544	10,3	0	0,0	3 408	22,7
<i>Eau</i>	7 119	47,5	1 017	6,8	1 017	6,8
Entretien	170	1,1	2 730	18,2	8 820	58,8
Personnel	7 431	49,5	29 725	198,2	59 450	396,3
Total	21 719	144,8	75 350	502,3	219 680	1464,5

424.2 - Coût de collecte

Uniquement pour le proces de thermopressage et pour les outils d'abattage < 7000 T/an.

Il est estimé à 50€/tonne (données ADIV et CELENE)

424.3 - Coût des pratiques actuelles :

● Pour les outils d'abattage < 7000 T/an

Les déchets de cuirs sont stockés en chambre froide déchets (coût de traitement négligeable) et sont enlevés comme déchets par l'équarrisseur au coût minimum de 80 €/tonne.

	Valorisation	Coût traitement
Stockage en CF déchets	-80 €/t	négligeable

● Pour les outils d'abattage > 7000 T/an

Les déchets de cuirs sont salés puis stockés avec les cuirs et peaux en local spécifique réfrigéré.

Le coût de traitement est estimé à partir du coût de traitement des cuirs par salage-stockage en abattoir et se situe autour de 145 €/tonne traitée.

Ces déchets de cuirs sont valorisés aujourd'hui autour de 150 €/tonne soit autour du coût de production.

	Valorisation	Coût traitement
Salage et stockage	150 €/t	145 €/t

424.4 - Estimation de l'intérêt économique des différentes solutions étudiées:

Les nouvelles pratiques envisagées présentent un intérêt économique si les prix de valorisation des produits issus de ces process sont supérieurs ou égaux aux valeurs ci-après, calculées à partir des équations économiques données au point 42.2.

Matières premières : gisement chutes de cuirs (manchons, masques, oreilles)			Intérêt économique de ces voies de valorisation si :	Prix valorisation actuelle des produits sur le marché
Process « épilage »		Abattoir < 7 000 T/an	Prix valorisation « Mat 1ères pour gélatine » ≥ 65€/t	Achat par les gélatiniers à partir de 300€/tonne
		Abattoir > 7 000 T/an	Prix valorisation « Mat 1ères pour gélatine » ≥ 150€/t	
Process « thermopressage »	Niveau 1 stade « sciure »	Abattoir < 7 000 T/an	Prix valorisation « Sciure de cuir » ≥ 615 €/t	- Prix public de la sciure de bois pour litière ou manège à chevaux entre 20 et 60 €/tonne livrée - Prix public de la sciure de bois compressée en copeaux pour chauffage entre 180 et 350 €/tonne.
		Abattoir > 7 000 T/an	Prix valorisation « Sciure de cuir » ≥ 510 €/t	
Process « thermopressage »	Niveau 2 stade « Panneaux »	Abattoir < 7 000 T/an	Prix valorisation « Panneaux » ≥ 1580 €/t ou 8,5 €/plaque de 80x80x0,4 (13,2 €/m²)	- Prix public du panneau OSB3 12 mm 250x125 cm : 11,15 €/m² - Prix public du panneau contreplaqué extérieur 5 mm, 250x122 cm : 15,4€/m² - Prix public du panneau contreplaqué milieu humide 5mm, 250x122 cm : 6,20€/m²
		Abattoir > 7 000 T/an	Prix valorisation « Panneaux » ≥ 1470 €/t ou 7,9 €/plaque de 80x80x0,4 (12,3 €/m²)	

- Seul le process « d'épilage » paraît présenter un intérêt économique puisque les gélatiniers s'approvisionnent à partir de 300€ la tonne livrée pour ce type de matière première.
- Concernant le process de thermopressage et quel que soit le niveau pris en considération, la valorisation nécessaire du produit fini (sciure ou panneaux) pour intérêt économique est très nettement supérieure au prix de marché pour un produit concurrent.
 - sciure de bois pour litière ou manège à chevaux entre 20 et 60 €/tonne livrée, sciure de bois compressée en copeaux pour chauffage entre 180 et 350 €/tonne.
 - Panneau OSB3 12 mm 250x125 cm : 11,15 €/m² prix public magasin ; Panneau contreplaqué extérieur 5 mm, 250x122 cm : 15,4€/m² prix public magasin ; Panneau contreplaqué milieu humide 5mm, 250x122 cm : 6,20€/m²

4.3 - Calcul des « coûts » environnementaux

L'objectif est ici d'évaluer les principaux impacts environnementaux des nouvelles voies de valorisation des cuirs au niveau du périmètre abattoir afin de les positionner par rapport aux traitements actuels des cuirs au niveau de ce même périmètre. Seules sont étudiées, du point de vue des impacts sur l'environnement, les nouvelles pratiques économiquement intéressantes. Deux cas de figure sont donc distingués pour le calcul des coûts environnementaux :

- le process d'épilage pour les abattoirs < 7000 T/an,
- le process « d'épilage » pour les abattoirs > 7000 T/an.

43.1 - Méthode

L'évaluation environnementale des nouvelles voies de valorisation des cuirs est effectuée grâce à un logiciel d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) : SimaPro version 7.3.2.

Une Analyse de Cycle de Vie (ACV) prend en considération et quantifie plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux d'un « produit » depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie en passant par les phases de distribution et d'utilisation (source : ADEME - note de synthèse externe – mai 2005).

Dans le cas présent, l'évaluation environnementale est réalisée en considérant uniquement les paramètres qui varient entre les solutions de référence de traitement des cuirs au niveau du périmètre « abattoir » et les nouvelles solutions techniques envisagées au niveau de ce même périmètre.

Les paramètres concernés sont donc la consommation de sel et les consommations en fluides et énergies (électricité, gaz naturel, eau).

La méthode de calcul utilisée pour quantifier les indicateurs d'impact environnementaux est la méthode ReCiPe Midpoint (hierarchist).

Les indicateurs environnementaux retenus sont décrits dans le tableau ci-après.

Indicateur	Signification indicateur	Milieu concerné	Unité
Changement climatique	Cet indicateur donne l'approximation de l'effet de réchauffement dans le temps (à 100 ans) des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les gaz à effet de serre sont notamment les suivants : - le dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la combustion du charbon, du gaz et du pétrole, - le méthane (CH₄) issu de la décomposition anaérobie des molécules organiques ou de la pyrolyse des composés organiques, - le protoxyde d'azote (N₂O) provenant de l'utilisation d'engrais azotés, - les HFC, PFC et SF₆ qui sont des gaz réfrigérants.	Air	kg CO ₂ eq
Diminution des ressources fossiles	Cet indicateur représente la somme des consommations de toutes les sources d'énergie qui sont directement puisées dans les réserves naturelles fossiles telles que le gaz naturel, le pétrole, le charbon.	Sol	kg pétrole eq
Acidification	Cet indicateur concerne le dépôt d'acides dans le sol et dans l'eau. Les effets sont la diminution du pH, une baisse de la teneur en nutriments et l'augmentation de la teneur en éléments potentiellement toxiques. Ces modifications d'ordre chimique auront pour conséquence un certain nombre d'effets biologiques comme par exemple une diminution de biomasse.	Eau et sol	kg SO ₂ eq
Diminution des ressources en eau	L'indicateur épuisement des ressources en eau correspond aux différentes consommations d'eau. La consommation d'eau nécessaire pour la production d'électricité est donc comptabilisée avec cet indicateur.	Eau	m ³

Les indicateurs d'impacts environnementaux sont calculés pour **une tonne de déchet de cuir traité**.

43.2 - Données utilisées

L'analyse porte uniquement sur le process « d'épilage » (seul process économiquement intéressant) et toute chose égale par ailleurs. Ainsi, le stockage en chambre froide présent dans les process actuels et nouveaux n'est pas pris en considération lorsqu'il est équivalent en consommation d'électricité.

● Pour les outils d'abattage < 7000 T/an

<u>Pratique actuelle :</u>	<u>Nouvelle voie :</u>
Stockage en CF déchets (consommation électricité)	Process d'épilage
	9 625 kWh électrique/an
	59 705 kWh PCI gaz/an
	2 100 m ³ eau/an
	Stockage en CF (consommation électricité)
Bilan environnemental nouvelle voie / pratique actuelle au niveau du périmètre abattoir :	
+ 9 625 kWh électrique/an, soit 64,2 kWh électrique/T de déchet de cuir traité	
+ 59 705 kWh PCI gaz/an, soit 398 kWh PCI gaz/T de déchet de cuir traité	
+ 2 100 m ³ eau/an, soit 14 m ³ eau/T de déchet de cuir traité	

● Pour les outils d'abattage > 7000 T/an

<u>Pratique actuelle :</u>	<u>Nouvelle voie :</u>
Salage et stockage en salle réfrigérée (10/12°C)	Process d'épilage
6 774 kWh électrique/an	9 625 kWh électrique/an
75 tonnes de sel/an	59 705 kWh PCI gaz/an
4,5 m ³ eau/an	2 100 m ³ eau/an
	Stockage en CF
	10 000 kWh électrique/an
Bilan environnemental nouvelle voie / pratique actuelle au niveau du périmètre abattoir :	
+ 12 851 kWh électrique/an, soit 85,7 kWh électrique/T de déchet de cuir traité	
+ 59 705 kWh PCI gaz/an, soit 398 kWh PCI gaz/T de déchet de cuir traité	
+ 2 095,5 m ³ eau/an, soit 14 m ³ eau/T de déchet de cuir traité	
- 75 tonnes de sel/an, soit - 0,5 tonnes de sel/T de déchet de cuir traité	

43.3 - Impacts environnementaux liés aux nouvelles pratiques

Les valeurs des indicateurs d'impacts environnementaux des deux cas de figures étudiés sont données dans le tableau ci-dessous.

Il est important de rappeler que ces impacts correspondent aux impacts additionnels par rapport aux pratiques actuelles de traitement des cuirs au niveau du périmètre abattoir.

Indicateurs d'impacts	Process « d'épilage » pour les outils d'abattage < 7 000 T/an	Process « d'épilage » pour les outils d'abattage > 7 000 T/an
Changement climatique (kg CO ₂ eq/T de déchet de cuir traité)	115	117
Acidification (kg SO ₂ eq/T de déchet de cuir traité)	0,119	0,129
Diminution des ressources fossiles (kg pétrole eq/T de déchet de cuir traité)	45	45,6
Diminution des ressources en eau (m ³ /T de déchet de cuir traité)	14,4	14,8

Les différences entre les indicateurs d'impacts des deux catégories d'outils sont relativement faibles. Les indicateurs légèrement plus élevés pour les outils d'abattage > 7 000 T/an s'expliquent par une consommation d'électricité plus élevée (85,7 kWh d'électricité/tonne de déchet de cuir traité contre 64,2 kWh d'électricité/tonne de déchet de cuir traité pour les outils d'abattage < 7000 T/an).

Concernant les outils > 7 000 T/an, un fractionnement jusqu'au stade « peau dépilée » au niveau de l'abattoir permet d'éviter l'utilisation et l'impact potentiel du sel (pratique actuelle qui utilise 0,5 tonne de sel/tonne de déchet de cuir traité), qui peut se retrouver en partie dans les eaux usées. Les rejets salins peuvent générer des problèmes sur le milieu naturel car les outils de traitement sont soit inefficaces, soit perturbés par l'excès de sel. Le fonctionnement d'une station d'épuration peut être fortement perturbé si la salinité est supérieure à 2 g/l. Une salinité élevée peut présenter une toxicité aiguë ou chronique pour les organismes aquatiques des eaux superficielles.

5 - CONCLUSION

Le panorama général des filières cuirs et peaux au niveau mondial, montre que la consommation de viande augmentera à moyen terme, d'où une disponibilité croissante de cuirs et peaux. Au niveau national, le constat est inverse. Le gisement de cuirs et peaux aura tendance à diminuer compte tenu de l'érosion de la production de viande.

L'analyse des pratiques de traitement des cuirs et peaux et les schémas de valorisation actuelles montrent que les cuirs et peaux de qualité déclassée ne constituent pas un gisement intéressant dans la perspective de nouvelles voies de valorisation. Leurs volumes diminuent grâce à l'amélioration continue des pratiques de dépouille. De même, les déchets de parage des cuirs et peaux générés au niveau des centres de tri pour les grosses structures d'abattage ou chez les négociants, qui collectent les cuirs et peaux des petites unités d'abattage, ne constituent pas un gisement suffisant pour justifier de nouvelles voies de valorisation. Il est estimé à 550 T/an.

Seul le gisement « chutes de cuirs », cuir extrait des masques, manchons, oreilles, semble réellement pertinent à considérer et retenir en perspective de nouvelles voies de valorisation pour un volume de 14 500 T/an.

Au niveau de la filière ovine, aucun gisement alternatif aux peaux brutes n'a été identifié et la quantité de peaux déclassées entières est également en forte baisse grâce à l'amélioration des pratiques de dépouille.

Une analyse de la composition des cuirs bruts salés de bovins et de leurs propriétés physiques montre que ceux-ci sont essentiellement composés de poils et de collagène. L'analyse de la bibliographie montre que les voies de valorisation de collagène sont extrêmement diversifiées : ingrédient pour l'industrie agroalimentaire, la médecine, les cosmétiques, l'environnement (agent floculant), la photographie, les colles,... Or, les procédés à mettre en œuvre pour extraire le collagène des peaux dépilées sont complexes et lourds à mettre en œuvre et sont déjà maîtrisés par les gélatiniers. A ce titre, les abatteurs ne peuvent se positionner que comme des fournisseurs de ces matières premières dépilées et non comme des transformateurs producteurs de gélatines plus ou moins élaborées. Ainsi,

les solutions de traitements alternatifs des cuirs et peaux brutes, utilisables à court terme, pour les abattoirs concernent :

- la production de chutes de cuirs bruts non épilées ou à destination de l'export, ou épilées à destination de l'industrie gélatinière,
- la production de poils qui pourrait être valorisée en isolants, pinceaux, support agronomique, liant pour plâtre.

Par ailleurs, l'analyse de la bibliographie a montré que la production de matériaux à partir de cuirs est peu développée et que la production d'agents adhésifs (colles) à partir de cuirs ou peaux nécessite des opérations d'épilage chimique et d'hydrolyse, effectuées à l'aide d'agents chimiques peu respectueux de l'environnement. Deux voies de valorisation à plus long terme ont donc été explorées : la production de matériaux à partir de cuirs bruts salés. Il s'agit de plaques thermopressées en alternative aux plaques de bois agglomérées utilisées dans le secteur de la construction ou de colles animales sur la base d'un procédé plus respectueux de l'environnement (absence d'agents chimiques).

Les plaques thermopressées issues de cuirs bruts salés de bovins présentent des caractéristiques rhéologiques comparables à celles de panneaux de particules de bois. Elles pourraient donc les concurrencer en qualité de matériau de construction : fabrication de cloisons, de palettes, de supports,.... Il reste toutefois à améliorer leur stabilité microbiologique et mécanique en conditions humides.

Il est à noter que les lanières de cuir séchées issues du lavage, séchage et broyage des cuirs bruts et utilisées comme matières premières du procédé de thermopressage en vue de la production des plaques, ressemblent à des copeaux séchés. Elles représentent un matériau intéressant pour la filière équitation dans les manèges à chevaux en substitution de la sciure de bois trop abrasive pour les sabots des chevaux. Les procédés d'élaboration des plaques et copeaux sont simples à mettre en œuvre tout comme les équipements nécessaires.

En ce qui concerne les hydrolysats et collagène, le procédé développé est plus complexe à piloter, notamment l'opération de dépilage effectuée de manière enzymatique. Les performances de ces hydrolysats en qualité de colle naturelle s'avèrent insuffisantes et de grosses adaptations du procédé s'avèrent nécessaires. De plus, il semble nécessaire d'effectuer des batteries de tests larges pour quantifier précisément l'ensemble des

propriétés de ces hydrolysats (pouvoir collant, pouvoir gélifiant, ...) et ainsi identifier de nouvelles applications. Enfin, le produit qui est issu du procédé est en concurrence avec les produits proposés par la filière gélatine, filière constituée de gros groupes industriels et dont les marchés sont, aujourd'hui, bien implantés. A ce titre, la prise en charge d'un procédé de production d'hydrolysats de collagène par des abatteurs semble commercialement et techniquement très délicate.

Compte tenu des expérimentations conduites, de l'analyse de la bibliographie et de l'analyse des schémas de valorisation actuels, 3 voies de valorisation alternatives ont été étudiées au niveau économique et environnemental :

- La production de chutes de cuirs épilés à destination de l'industrie gélatineuse. Cette voie de valorisation nécessite toutefois l'obtention d'un agrément spécifique pour lever des chutes de qualité alimentaire.
- La production de plaques thermo-pressées en concurrence aux panneaux de bois agglomérés.
- La production de copeaux de cuirs en concurrence à la sciure de bois en filière équitation.

Seul le process « d'épilage » paraît présenter un intérêt économique puisque les gélatiniers s'approvisionnent à partir de 300 € la tonne livrée pour ce type de matière première.

Concernant la production de copeaux de cuirs ou de plaques thermopressées, la valorisation nécessaire des produits finis pour avoir un intérêt économique est très nettement supérieure au prix de marché des produits concurrents tels que la sciure de bois pour litière ou manège à chevaux (20 et 60 €/tonne livrée) ou les panneaux de particules (Panneau OSB3 12 mm 250x125 cm : 11,15 €/m² prix public magasin par exemple).

Compte tenu de son intérêt économique, seul l'impact du procédé « épilage » a été quantifié. Or, le recours à ce procédé a un intérêt environnemental puisque son impact (consommation d'énergie en eau) est faible et qu'il peut permettre d'éviter l'emploi de sel et donc de générer des effluents « salés ».

6 - BIBLIOGRAPHIE

ADEME. *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.* 2010; Available from: <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15555>

Agreste – « *Mémento de la statistique agricole France* » - [en ligne] – Edition 2010 – [<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/reperes/memento-de-la-statistique-agricole/>]

Barbero, E. *Génèse d'un projet de valorisation des co-produits animaux.* in Réunion-débat : "Traitement et valorisation des sous-produits". 2008. ENITA, Clermont-Ferrand.

Barone, J.R., W.F. Schmidt, and C.F.E. Liebner, *Thermally processed keratin films.* J. Appl. Polym. Sci. 2005. 97 (4): 1644-1651.

Barry, R.H., *Depilatories.* Cosmet., Sci. Technol., 2nd Ed. 1972. 2: 39-72

Bedingfield, G., K.C. Drew, and R. Fowen, *Degreasing of skins method and apparatus.* 1979. GB1554559.

Benito-Ruiz P., Camacho-Zambrano M.M., Carrillo-Arcenales J.N., Mestanza-Peralta M.A., Vallejo-Flores C.A., Vargas-López S.V., Villacís-Tamayo R.A., Zurita-Gavilanes L.A. *A randomized controlled trial on the efficacy and safety of a food ingredient, collagen hydrolysate, for improving joint comfort.* International Journal of Food Science and Nutrition. 60 (Suppl2) (2009). p99-113.

Berkhout, H.J. and J.R. Garcia Del Rio, *Process for degreasing and/or drying animal skins.* 2005. WO2005059184

Bockisch, M., *Fats and Oils Handbook.* 1998, Hamburg: AOCS Press. 838.

Brandelli, A., D.J. Daroit, and A. Riffel, *Biochemical features of microbial keratinases and their production and applications.* Appl. Microbiol. Biotechnol. 2010. 85: 1735-1750

Brown, E.M., et al., *The effect of ultrasound on bovine hide collagen structure.* Journal of the American Leather Chemists Association. 2006. 101 (7): 274-283

Bucevski, M.D., M. Colt, and L. Chiriac, *Composites based on collagen and glycosaminoglycans (GAG's) with semi-IPN configuration for soft contact lenses.* ECCM-8, European Conference on Composite Materials: Science, Technologies and Applications, 8th, Naples, June 3-6, 1998. 1998. 1: 639-645.

Canamero J., Giraldo J. *Hide laminating and method of construction the same.* (2002) Brevet US 2003/0118808

Centre technique du cuir - [<http://www.ctc.fr/>] et documents papiers.

Chagne, V., *Étude d'un nouveau procédé de tannage par les sels de chrome en milieu solvant organique immiscible à l'eau. Son extension à l'échelle pilote industriel, à divers types de fabrication et différents agents tannants*. INPT, Université de Toulouse, 1994

Christner, J., et al., *Methods for leather processing including enzyme formulation*, R. GmbH. 1992. US5102422

Collombel C., Damour O., Gagnieu C. , Poinsignon F., Echinard C., Marichy J. *New biomaterials based on mixtures of collagen, chitosan, and glycosaminoglycans, process for manufacturing them, and their application in human medicine*. Brevet WO/1988/010123

Comte A., Huc A. *Recherche, mise au point et développement de biomatériaux d'origine animale*. Rapport (1984), numéro rapport INIST : FRT-83 H 1136

Conseil national du cuir [<http://www.lemondeducuir.org/>] et documents papiers.

Conseil National du cuir – « Les échanges mondiaux de la Filière Cuir » - Edition 2010

Defarge, C. *Extraction des protéines et des graisses des sous-produits animaux in Réunion-débat : "Traitement et valorisation des sous-produits"*. 2008. ENITA, Clermont-Ferrand.

Deng-Cheng Liu. *Better Utilization of by-Products from the Meat Industry*. (2002) On-line : <http://www.agnet.org/library/eb/515/>

Dettmer, A., M.A.Z. Ayub, and M. Gutierrez, *Hide unhairing and characterization of commercial enzymes used in leather manufacture*. Brazilian Journal Of Chemical Engineering. 2011. 28 (3): 373-380

Donovan, R.G. and S.F. Wolf, *Enzymic unhairing of hides*. 1972. US3679548

Didato, D.T., et al., *Recent developments in the short-term preservation of cattle hides*. J. Am. Leather Chem. Assoc. 2008. 103 (11): 383-392.

Dubois, M., *Collagène in Actifs et additifs en cosmétologie (2e édition)*, Tec&Doc, Editor. 1999: Paris. p. 91-116.

Embaby, A.M., T.I. Zaghloul, and A.R. Elmahdy, *Optimizing the biodegradation of two keratinous wastes through a Bacillus subtilis recombinant strain using a response surface methodology*. Biodegradation. 2010. 21 (6): 1077-1092.

Eremeev, N.L., et al., *Enzymatic hydrolysis of keratin-containing stock for obtaining protein hydrolysates*. Appl. Biochem. Microbiol. 2009. 45 (6): 648-655.

Fakhfakh, N., et al., *Total solubilisation of the chicken feathers by fermentation with a keratinolytic bacterium, Bacillus pumilus A1, and the production of protein hydrolysate with high antioxidative activity*. Process Biochem. 2011. 46 (9): 1731-1737.

FAO – [en ligne] - [<http://faostat.fao.org/default.aspx>]

FAO, « Recueil de statistiques mondiales sur les cuirs et peaux bruts et préparés et les chaussures de cuir 1990-2009 » - Edition 2010

Flageul G., Aharoni C. Collagène injectable. Annales de chirurgie plastique esthétique. Vol 49 (5). p460-464

FranceAgriMer – (Décembre 2010) – « La consommation des produits carnés en 2009 » - Edition décembre 2010

FranceAgriMer – (Avril 2011) – « Le commerce français de cuirs et peaux de bovins, regard historique sur les volumes et les flux » - Numéros 6 : Les synthèses de FranceAgriMer

FranceAgriMer – (Juin 2010) – « Le marché des produits laitiers, carnés et avicoles en 2009 » France – Union Européenne – Monde – Edition 2010

Friess W. Collagen - Biomaterial for drug delivery. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 45 (1998) p113-136

Galarza, B.C., et al., Fungal biotransformation of bovine hair: assessment of structural changes. *J. Soc. Leather Technol. Chem.* 2007. 91 (6): 229-232.

Gamarino, R., et al., Process and compositions for wet degreasing of pelts, skins, hides, leather intermediate products and non-finished leather. 2006. WO2006024629.

Gehring, A.G., et al., Unhairing with proteolytic enzymes derived from *Streptomyces griseus*. *Journal of the American Leather Chemists Association.* 2002. 97 (10): 406-411

GME, La gélatine alimentaire : production et applications, in *Techniques de l'Ingénieur F4800.* Gelatin Manufacturers of Europe

Godawa, C., M. Delmas, and A. Gaset, Process and apparatus for degreasing of raw hides. 1987. FR2594141

Gomez-Guillen, M.C., et al., Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids.* 2011. 25 (8): 1813-1827.

Guillermine, F., et al., Hydrolyzed collagen improves bone metabolism and biomechanical parameters in ovariectomized mice: An in vitro and in vivo study. *Bone.* 2010. 46 (3): 827-834

Gupta, R. and P. Ramnani, Microbial keratinases and their prospective applications: an overview. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2006. 70: 21-33

Hendriks K.B., Lesser B., Stewart J., Nishimura D. Properties and Stability of Gelatin Layers in Photographic Materials.

On-line : <http://albumen.conservation-us.org/library/c20/hendriks1.html>

Huang, H., Preparation of protein filling for making leather bu animal hair, S. University. 2008. EP2284177.

Hickman D., Sims T.J., Miles C.A., Bailey A.J., De Mari M., Koopmans M. Isinglass/collagen: denaturation and functionality. *Journal of Biotechnology.* Vol 79 (3) (2000), p245-257

Idris, A., K. Saed, and Y.-T. Hung, Animal glue production from skin wastes. *Handbook of Environmental Engineering.* 2011. 11: 685-697

International Council of Tanners – “Statistics and sources of information”– [en ligne] – 2007
[\[http://www.tannerscouncil.org/statistics.htm\]](http://www.tannerscouncil.org/statistics.htm)

Jacques, C., *Étude de la valorisation des déchets d'origine kératinique par voie thermo-mécano-chimique en vue de l'obtention de filaments continus : cas spécifique de la laine*. Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, 2003.

Kanagaraj, J., et al., *Solid wastes generation in the leather industry and its utilization for cleaner environment-a review*. Journal of Scientific & Industrial Research. 2006. 65 (7): 541-548

Karim, A.A. and R. Bhat, *Gelatin alternatives for the food industry: recent developments, challenges and prospects*. Trends in Food Science & Technology. 2008. 19 (12): 644-656.

Karleskind, A., *Oils and Fats Manual*. Vol. 1. 1992, Paris: Lavoisier Publishing

Kell H.L., hills C., harriman L.A., Roberts A.G. *Hide glue manufacture*. (1951) Brevet N° 243,378

Kornilowicz-Kowalska, T. and J. Bohacz, *Biodegradation of keratin waste: Theory and practical aspects*. Waste Management. 2011. 31 (8): 1689-1701.

Lafargue D. *Étude et élaboration de films à base de polysaccharides pour la fabrication de gélules pharmaceutiques*". Thèse (2007)

Lee, C.H., A. Singla, and Y. Lee, *Biomedical applications of collagen*. International Journal of Pharmaceutics 2001. 221 (2): 1-22.

Lyon, L.R., *Process for obtaining oil from animal hides*, Lycoil. 1967. US3338931

Lyon, L.R., *Process for separating and recovering fats and oils*, Lycoil. 1967. US3352841

Madera T.J., Aguilar M.J., Marquez A., Vazquez F., Richardson M.O.W, Cruz J.L. *production of leather-like composites using short leather fibers. II.Mechanical characterization*. Polymer composites. (2002) 23 (6) p 991-1002

Maffia G.J., Seltzer M.A., Cooke P.H., Brown E.M. *Collagen processing*. Journal of American leather Chemists Association. 99(4) (2004) p164-169

Magro, C., *Valorisation des pailles de blé par fractionnement thermo-mécano-chimique dans un réacteur bi-vis*. Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agroressources, Toulouse, 1995.

Maréchal, P., *Analyse des principaux facteurs impliqués dans le fractionnement combiné de pailles et sons de blé en extrudeur bi-vis : obtention d'agro-matériaux*. Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agroressources, Toulouse, 2001.

Meyer, M., R. Muehlbach, and D. Harzer, *Solubilization of cattle hide collagen by thermo-mechanical treatment*. Polymer Degradation and Stability. 2004. 87 (1): 137-142.

Ministère de l'économie de l'industrie et de l'emploi – (Août 2009) – « La filière industrielle des cuirs et peaux » CHAPELLE et Bénard

Morera, J.M., et al., *Minimization of the environmental impact in the unhairing of bovine hides*. Chemosphere. 2008. 72 (11): 1681-1686

Monsheimer, R. and E. Pfeleiderer, *Method for preparing tannable pelts from animal skins and hides*, R. GmbH. 1976. US3966551

Monsheimer, R. and E. Pfeleiderer, *Enzymatic method for hair recovery with concurrent opening of hide structure*, R. GmbH. 1981. US4294087

Mukherjee, R. and G. Mukherjee, *Application of microbial enzymes in the leather industry reduces pollution*. Household and Personal Care Today. 2008 (3): 60-63

Nashy, E.H.A., et al., *Enzymatic bacterial dehairing of bovine hide by a locally isolated strain of Bacillus licheniformis*. Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. 2005. 89 (6): 242-249.

Neklyudov, A.D., et al., *Collagen fractions obtained by water-salt extraction from raw materials of animal origin*. Applied Biochemistry and Microbiology. 2003. 39 (4): 426-430.

Neonene, A.Y., *Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à partir de colle d'os, de tannin ou de mucilage*. Sciences des Agroressources, Université de Toulouse, 2009.

OCDE/FAO – « Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2011-2020 » - 2010

Ockerman, H.W. and C.L. Hansen, *Animal By-Product Processing*, ed. E. Horwood. 1988, Chichester (England): VCH Publishers

OLVA. 2011; Available from: <http://www.olva-adour.com/page-1.html>.

Pabst, G., et al., *Degreasing animal hides by use of ultra-low interfacial tension*. 2004. DE10300479.

Pfeleiderer, E., T. Taeger, and G. Wick, *Enzymatic unhairing method*. 1986. US4636222

Potter, W. and R.P. Clayton, *Method and system for processing waste products generated in an animal dehairing operation*, Monfort. 2001. US2001/0014579

Rangel-Serrano, A., M. Maldonado-V, and K. Kusters, *Characterization of waste materials in tanneries for better ecological uses*. J. Am. Leather Chem. Assoc. 2003. 98 (2): 43-48.

Rasmussen, L., et al., *Enzymic degreasing of skins or hides with specific lipases, preferably in the absence of a surfactant at pH 6-13*. 2008. WO2008122640

Rose, C., et al., *Process for lime- and sulfide-free unhairing of skins or hides using animal and/or plant enzymes*. 2004. US20040006825.

Saravanabhavan, S., et al., *Silicate Enhanced Enzymatic Dehairing: A New Lime-Sulfide-Free Process for Cowhides*. Environmental Science and Technology. 2005. 39 (10): 3776-3783

Saravanabhavan, S., et al., *Sodium Metasilicate Based Fiber Opening for Greener Leather Processing*. Environmental Science & Technology. 2008. 42 (5): 1731-1739

Schlup J. *Process for formation of epoxy resine/hide composite materials obtained*. (1998) Brevet US 5817428

Sedel L., Janot C. Biomatériaux (Rapport). On-line : <http://averousl.free.fr/Document.html>

SIFCO. *Syndicat des Industries Françaises des Co-produits Animaux.* 2010; Available from: www.sifco.fr.

Shea, F.T., *Depilatories and epilatories.* Chemistry and Manufacture of Cosmetics (3rd Edition). 2000. 2: 245-276

Depilating and softening hides. 1927. GB284719

Sivasubramanian, S., et al., *Ecofriendly lime and sulfide free enzymatic dehairing of skins and hides using a bacterial alkaline protease.* Chemosphere. 2008. 70 (6): 1015-1024

Soerensen, N.H., W. Frendrup, and S. Rydin, *Enzymatic unhairing of hides or skins using a carboxylic acid and a carboxylase enzyme.* 1990. WO9012118.

Spence A., Lev M., Reddie W.A. *Method of making hide glue.* (1951) brevet N°240,264

Steinert, P.M. and W.W. Idler, *The polypeptide composition of bovine epidermal alpha-keratin.* Biochem. J. 1975. 151: 603-614

Thanikaivelan, P., et al., *Biointervention makes leather processing greener: An integrated cleansing and tanning system.* Environmental Science & Technology. 2003. 37 (11): 2609-2617

Triboulot M.C., Garceta A., Minart M.A., Pizzi A. *Les colles animales : des colles anciennes à redécouvrir.* Science et industries du bois. Colloque n°4. (1996) p179-186

Utzig J. The technical side of animal hide glue. On-line: <http://mfds.org/thetechnicalsideofanimalhideglue.aspx>

Vesela, M. and J. Friedrich, *Amino acid and soluble protein cocktail from waste keratin hydrolysed by a fungal keratinase of Paecilomyces marquandii.* Biotechnol. Bioprocess Eng. 2009. 14 (1): 84-90.

Walker S. L., Camarena M. C., and Freeman G, Alternatives to Isinglass for Beer Clarification, Journal of the Institute of Brewing. 113(4) (2007), 347–354, 2007

Wang, R., et al., *Enzyme unhairing - an eco-friendly biotechnological process.* J. Soc. Leather Technol. Chem. 2009. 93 (2): 51-55.

Wang, X., et al., *Thermoplastic film from superfine wool powder.* Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2009. 17 (2): 82-86.

Wang, X., W. Xu, and X. Wang, *Characterization of hot-pressed films from superfine wool powder.* Journal of Applied Polymer Science. 2008. 108 (5): 2852-2856.

Wei, D. and C. Su, *Microsphere-immobilized composite enzyme, and method for producing edible gelatin by hide enzymolysis.* 2009. CN101665784

Wisser D., Steffes J. Skin replacement with a collagen based dermal substitute, autologous keratinocytes and fibroblasts in burn trauma. Journal of the International Society for Burn Injuries 29(4) (2003), p375-380

Zaghloul, T.I., A.M. Embaby, and A.R. Elmahdy, *Biodegradation of chicken feathers waste directed by Bacillus subtilis recombinant cells: Scaling up in a laboratory scale fermentor.* Bioresource Technology. 2011. 102 (3): 2387-2393.

<http://www.prozym.fr/prozym/prozym-produit-lamelle-collagene-a-macher.html>

<http://www.mikalo.com/friandises-pour-chien-/1182-prozym-canin-s-lamelles-a-macher.html>

<http://www.gelatine.org/fr.html>

<http://artdec.ca/boutique/colle-de-peau-animale-extra-fine>

<http://www.anti-age-guide.fr>

<http://www.redmeatinnovation.com.au/innovation-areas/value-adding/co-products/mla-newsletters>

<http://astelier-medieval-du-cuir.over-blog.com/categorie-463580.html>.

<http://french.alibaba.com/products/halal-cow-skin-gelatin.html>

<http://integralife.com/>

<http://www.genacol>