

Valorisation des coproduits des IAA : la bioraffinerie en perspective

Stéphanie Guillotin et Delphine Pirot - CBB Capbiotek

Spécialiste du transfert de technologies en chimie et biotechnologies, CBB Capbiotek est régulièrement consulté, depuis près de 30 ans, sur des problématiques de valorisation des coproduits par des industriels bretons.

Preuve de l'intérêt croissant de la Bretagne pour le sujet, la Région a inscrit la valorisation des biomasses locales au cœur de sa Stratégie Régionale de Développement Economique, d'Innovation et d'Internationalisation (SRDEII) en soutenant la filière biotechnologies (volets agro-biotech et biotechnologies marines).

Ainsi, dans le cadre de l'animation du réseau des acteurs bretons, Capbiotek, des rencontres, études et projets dans ce domaine sont conduits sur le territoire.

Sur le territoire breton, les deux grandes productions que sont la production agricole d'une part, avec notamment l'élevage, le lait, les fruits et légumes, et la production maritime d'autre part avec la pêche et ses activités environnantes ont permis le développement de nombreuses industries agroalimentaires (IAA) qui transforment les produits bruts de ces secteurs. Ces IAA sont divisées en deux catégories : les industries agricoles réalisant la première transformation et les industries alimentaires qui transforment des produits bruts en ingrédients et denrées alimentaires.

Lors des procédés de transformation des denrées alimentaires, d'importants gisements de coproduits sont générés et deviennent des déchets s'ils ne sont pas valorisés : fanes, épiluchures, pépins, noyaux et peaux animales, carcasses, graisses, plumes, coquilles.

Depuis le 1^{er} janvier 2012 (Loi du 12 juillet dite Loi Grenelle 2), les producteurs ou détenteurs de quantités importantes de déchets composés majoritairement de biodéchets sont tenus de mettre en place un tri à la source et une valorisation organique (compostage, méthanisation...) selon l'article L 541-21-1 du Code de l'environnement. D'après les seuils fixés par l'arrêté du 12 juillet 2011, sont considérés comme « gros producteur », les producteurs ou détenteurs de plus de 10 tonnes par an de biodéchets ou de plus de 60 litres par an d'huiles alimentaires. Il est à noter que certains biodéchets d'origine animale sont exclus du champ des obligations selon les articles R543-225 à 227 du Code de l'environnement.

Ainsi, la valorisation des coproduits issus de l'agriculture ou des IAA, est un enjeu de taille pour le développement durable qui doit répondre à des attentes économiques et environnementales.

Lexique

Biodéchet : « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires » (article R. 541-8 du Code de l'environnement). Sont exclus de cette définition les déchets fermentescibles (ex : boues d'épuration) et les déchets de la production primaire (agriculture, sylviculture et pêche).

Biomasse : « fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers » (article L211-2 du Code de l'énergie, France).

Bioraffinerie : ensemble industriel, localisé sur un même site, qui traite et raffine des produits issus de la biomasse.

Coproduit : produit inévitable apparaissant lors d'un processus de production. Il répond à des spécifications définies. Il peut dans certaines filières être considéré comme un produit à part entière, disposant d'un marché et d'une cotation (ex : tourteau de colza, son de blé, pulpe de betteraves,...). Cette définition relève d'un consensus entre professionnels.

Déchet : « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » (Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975).

Sous-produit : produit (exploité ou non) généré dans le contexte d'une transformation de la matière première. C'est un résidu qui apparaît durant la fabrication ou la distribution d'un produit fini. Il est non-intentionnel ou accidentel. Ses qualités nutritionnelles sont variables et il peut nécessiter une préparation ou un traitement avant de pouvoir être valorisé (ex : produit déclassé, début et fin de production,...).¹

Valorisation : « toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets » (Article L-541-1 du Code de l'environnement).

Il est à noter que les termes de « coproduit » et de « sous-produit » ne sont pas définis dans la réglementation française. Afin de faciliter la lecture de l'article, la distinction entre ces deux termes ne sera pas effectuée dans ce texte.

1 Des coproduits variés issus des IAA

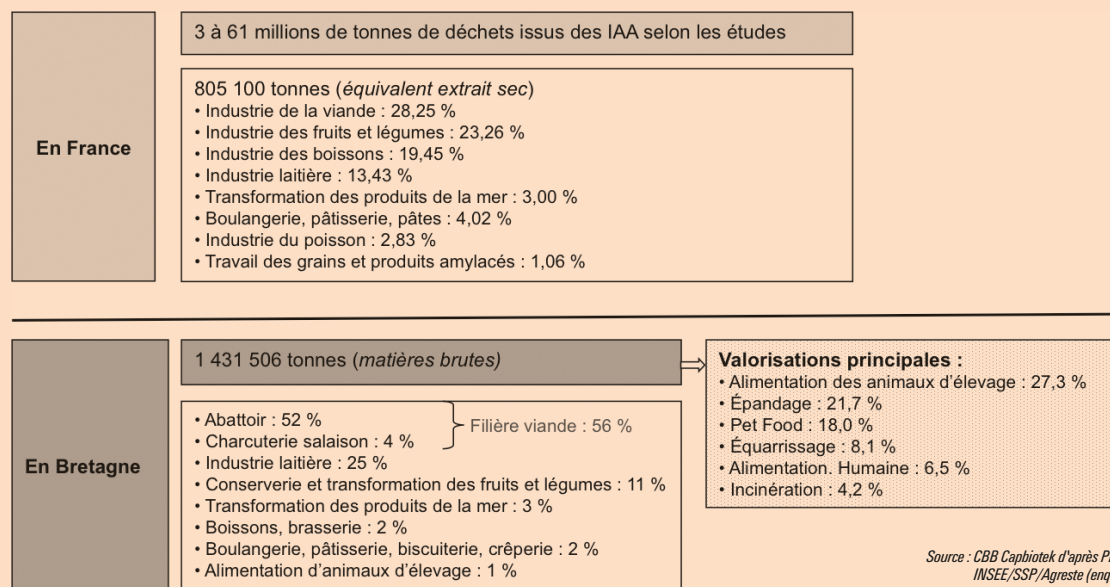
Le volume des coproduits issus des IAA sur le territoire français est difficile à évaluer. Les quantités de ces matières relevées dans différentes études varient de 3 à 61 millions de tonnes (ADEME 1994, 2002, 2012). Selon une autre enquête d'Agreste (service de la statistique et de la prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt), publiée en 2010, les IAA françaises ont généré, en 2008, plus de 800 000 tonnes (en équivalent extrait sec) de déchets organiques (hors boues et effluents), soit près de 93 % de la production nationale industrielle de ce type de déchets. Plus précisément, 339 000 tonnes de ces déchets organiques seraient d'origine animale, le reste (466 000 tonnes) serait constitué de déchets

végétaux et/ou de déchets comportant un mélange animal et végétal.

L'industrie de la viande représente la filière la plus productrice de déchets avec près de 30 % des volumes, suivie de la filière fruits et légumes (23 %), de la filière boissons (19,5 %) et de la filière lait (13,5 %). Ces quatre secteurs représentent près de 85 % de l'ensemble des déchets répertoriés.

Les IAA bretonnes sont à l'origine de 1 431 056 tonnes (matières brutes) de déchets et coproduits organiques², principalement issus de la filière animale (52 % de ces volumes proviennent des abattoirs, 4 % du secteur charcuterie salaison et 25 % de l'industrie laitière. Les secteurs de la conserverie et transformation des fruits et légumes, de la transformation des produits de la mer et des boissons et brasserie produisent moins de coproduits (respectivement de 11 %, 3 % et 2 %).

Figure 1 : quantités et répartition des déchets et sous-produits organiques générés par les IAA en France et sur le territoire breton



Point sur la réglementation des sous-produits animaux

La gestion des coproduits issus de la filière de transformation des produits d'origine animale dépend d'une réglementation stricte, qui a fortement évolué suite notamment à la crise de la vache folle (maladie de l'encéphalopathie spongiforme bovine).

Règles applicables aux sous-produits animaux non destinés à l'alimentation humaine et qui dépendent du règlement n°1069/2009

Un classement des sous-produits animaux (SPA) selon la réglementation européenne n°1774/2002 a été réalisé selon leur niveau de risque sanitaire et la réglementation européenne n°1069/2009 a assoupli ce classement :

- la catégorie 1 regroupe les matières premières présentant un risque au niveau des encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST) ou de substances interdites (hormones) ou dangereuses pour l'environnement (dioxines).

- la catégorie 2 regroupe les matières premières présentant un risque sanitaire vis-à-vis des maladies animales autres que celles de la catégorie 1 et vis-à-vis des résidus de médicaments vétérinaires (lisier, contenu digestif, cadavres non ruminants).

rinaires (lisier, contenu digestif, cadavres non ruminants).

- la catégorie 3 regroupe les matières premières provenant d'animaux dont la carcasse a été déclarée propre à la consommation humaine par l'inspection sanitaire (graisses, phanères, cornes, poils, soies, plumes, sang, déchets de découpe et protéiques divers, os crus et cuits, ovoproduits, coquilles d'œufs, tous les poissons sans signe de maladies, carapaces de crustacés et coquillages, avec chair, déchets de cuisine et table).

En 2013, l'utilisation des protéines animales transformées de non-ruminants est à nouveau autorisée dans l'alimentation d'animaux d'aquaculture.

Règles applicables aux matières propres à la consommation humaine qui dépendent du règlement n°852/2004 et 853/2004⁴

Abats et produits tripiers, coproduits alimentaires (sang, os et graisses animales) qui ne sont pas ingérables directement mais qui rentrent après transformation dans le circuit alimentaire, les peaux dont une fraction peut être destinée à la fabrication de gélatine.

1.1. Les coproduits de la filière viande

En 2007, l'industrie française de coproduits animaux aurait traité environ 1,8 million de tonnes de matières premières C3 et 1 million de tonnes de matières premières C1 et C2¹. Les coproduits animaux proviennent principalement des industries d'abattage et de découpe de porcs, ruminants, volailles, de poissons mais aussi d'élevages.

Les coproduits animaux de catégorie 3 constituent la majorité des déchets bretons (34 %) alors que les coproduits animaux de catégories 1 et 2 ne représentent que 4 et 5 % respectivement de ces déchets^{2,5}.

1.2. Les coproduits de la filière mer

En France en 2005, les coproduits des IAA de la filière mer étaient de 215 000 tonnes et les régions Nord/Normandie/Bretagne ont généré près de 77 % des coproduits de la filière française pêche et aquaculture. Près de 31 000 tonnes de coproduits des IAA bretonnes sont issus de la filière de transformation des produits de la mer² : déchet de filetage et d'éviscération (respectivement 30 et 60 % de l'animal), déchets de poissons cuits, carapaces de crustacés, coquilles, anciennes denrées alimentaires contenant des produits de la mer.

Les problématiques de cette filière marine résident dans la grande variabilité de la quantité et de l'espèce disponible des coproduits mais aussi dans la saisonnalité et la stabilité de ces derniers. La société Bioceval, site industriel de la SARIA, basé à Concarneau, est l'un des premiers collecteurs de coproduits de poissons en France et est notamment en charge de leur valorisation.

1.3. Les coproduits de la filière fruits et légumes

Concernant les légumes frais, il faut distinguer la filière de production légumière de celle de transformation (conserverie, surgélation...).

Les coproduits de l'industrie légumière sont des écarts de tri, des pelures, des morceaux, avec une typicité pour la Bretagne liée aux productions de haricots verts, petits pois, épinards, carottes, choux-fleurs et brocolis, artichauts, tomates, pommes de terre, oignons et échalotes⁷.

La filière industrielle de transformation des légumes frais collecte des matières premières avec la meilleure qualité possible pour réduire les volumes de déchets ou coproduits générés. Depuis quelques années, un accroissement de la demande pour des légumes le plus possible parés est observé, réduisant encore plus les volumes de coproduits générés. Cette tendance est à prendre en considération dans le contexte de la durabilité d'un gisement potentiel de coproduits.

Les productions de légumes frais génèrent, pour la plupart des légumes cultivés, des coproduits (essentiellement des feuilles et des racines) dans une proportion de l'ordre 1 kg de coproduit pour 1 kg de produit commercialisé. Toutefois, ces coproduits sont assez peu valorisables car ils sont le plus souvent :

- de piètre qualité (salissures, présence de maladie, dessèchement) ;
- de localisation éparpillée sur l'ensemble du territoire (coproduits abandonnés au champ pour le broyage/compostage) ;
- d'extraction difficile (enracinement profond, mécanisation non adaptée) ;
- de récolte obligatoirement en fin de culture (donc à un stade physiologique avancé et peu compatible avec un potentiel de valorisation)⁷.

Concernant les fruits, la globalisation actuelle du marché assure la disponibilité des fruits frais tout au long de l'année et une importante partie est soumise à différents processus de transformation. La valorisation des fruits sous forme de produits séchés, concentrés ou congelés conduit à l'apparition d'une gamme variée de coproduits et déchets composés notamment de pulpe de fruits, de peaux et de pépins.

Ainsi, de manière générale, les coproduits incluent une grande variété de matières :

- les écarts de tri de fruits et légumes ;
- les coproduits de la conserverie des légumes issus des usines de conserve et de congélation-surgélation : peaux, cosses, parties abîmées, pulpe ... etc. ;
- les coproduits de la transformation des fruits : pépins, noyaux, peaux.

En Bretagne, la majorité des coproduits de la filière fruits et légumes sont issus des résidus de la transformation des fruits et légumes : écarts de tri, déchets de parage comme, par exemple, les coupes de collets sur les carottes. Les coproduits restants sont plus spécifiques aux entreprises de seconde transformation (purée de pommes de terre, produits finis non conformes, déchets organiques contenant des produits carnés)^{7,8}.

1.4. Les coproduits de la filière boisson

En 2008, l'industrie française des boissons a généré 156 000 tonnes de déchets organiques représentant environ 19 % du volume total. En termes de déchets organiques végétaux, elle se situe à la deuxième place juste derrière l'industrie des fruits et légumes avec 34 % contre 40 % respectivement⁸. La filière boisson est représentée essentiellement dans le Grand Ouest par les cidreries, l'industrie du vin et aussi en moindre quantité par celle de la bière. Les cidreries ne génèrent que deux types de coproduits : le marc de pommes (humide ou sec) et les écarts de triage (pommes inutilisables pour la fabrication du cidre). Le marc de pomme est essentiellement disponible d'août à décembre, avec un pic de disponibilité en octobre et novembre.

Le marc de pommes sec constitue la majeure partie des coproduits des cidreries bretonnes. Le marc de pommes humide et les écarts de tri représentent donc une faible part de ces coproduits^{7,8}.

2 Des valorisations en développement

Le concept de valorisation des déchets est né de l'idée que l'entreprise doit considérer ses déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser. En effet beaucoup de matériaux sont réutilisables dans diverses applications après leur fin de vie attribuée.

Il existe différents modes de valorisation des déchets et coproduits des IAA : l'épandage direct ou après compostage, l'alimentation animale, la valorisation énergétique, la valorisation de molécules d'intérêt pour les industries cosmétiques, chimiques, pharmaceutiques etc... À noter que chacune de ces voies de valorisation doit répondre à une réglementation précise et des impératifs techniques et économiques différents.

La production d'ingrédients à partir de coproduits nécessite souvent la mise en œuvre de procédés de traitement plus ou moins complexes suivant la transformation envisagée et la valeur ajoutée du produit obtenu. D'autre part, certains coproduits animaux notamment ne peuvent pas être utilisés en l'état et doivent subir un traitement pour permettre une utilisation sécurisée dans cette filière. Ce sont les entreprises dites « intermédiaires » qui transforment ces coproduits par des traitements de déconditionnement, thermiques et/ou de déshydratation.

En Bretagne, comme indiqué dans la figure 1, les secteurs de valorisation des déchets organiques issus des IAA bretonnes sont en premier lieu l'alimentation animale puis l'épandage, le pet food, l'équarrissage, l'alimentation humaine, l'incinération, les engrais et amendements organiques, le compostage, la méthanisation et l'oléo-chimie², avec une moindre importance.

La valeur ajoutée des ingrédients obtenus est souvent fonction du marché visé comme indiqué en figure 2, et un tri des coproduits est souvent nécessaire avant fabrication d'un ingrédient à haute valeur ajoutée. On distingue ainsi les secteurs d'application à forte valeur ajoutée tels que la pharmacie, la nutraceutique, la cosmétique et les aliments fonctionnels, de ceux à valeur ajoutée intermédiaire tels que l'alimentation humaine et animale et à faible valeur ajoutée comme l'énergie et l'agronomie.

2.1. Utilisation des coproduits pour une valorisation à faible valeur ajoutée

Les coproduits de la filière fruits et légumes sont essentiellement valorisés en alimentation animale, tandis que les déchets sont destinés à l'épandage du fait d'une mauvaise qualité sanitaire ou nutritionnelle pour une utilisation en alimentation animale. Les volumes de coproduits sont quasiment tous destinés à la pectinerie (95 %)⁹. L'alimentation animale récupère 3,5 % de ces coproduits. Le reste est réparti entre du compostage et de l'épandage. Comme la plupart des marcs de fruits, le marc de pomme a un potentiel énergétique intéressant, notamment en méthanisation : 170 m³ de biogaz par tonne de matière fraîche¹⁰.

Environ 76 % des coproduits marins font l'objet d'une valorisation en masse et donc à faible valeur ajoutée. Les ingrédients produits (farines et huiles, hydrolysats de protéines, hachis congelé, pulpe de poisson, extraits et concentrés aromatiques etc...) sont principalement destinés à l'alimentation humaine ou animale (pet food et aquaculture).

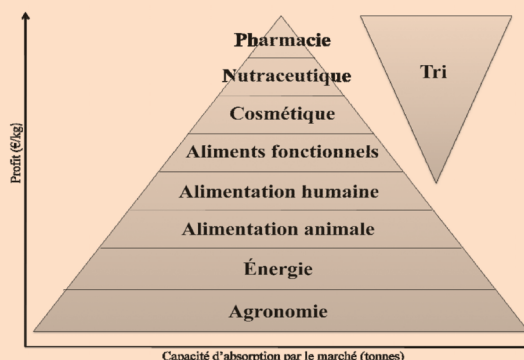
Tableau 1 : secteur de valorisation des coproduits des principales filières bretonnes

	Volumes utilisés en Bretagne	Valorisation	Coûts
Filière fruits, légumes et boissons	172 000 tonnes de sous-produits végétaux humides	Alimentation pour animaux d'élevage : 59,6 %	environ 8 €/T HT*
		Épandage : 39 %	environ 29 €/T HT*
		Compostage : 1 %	environ 82 €/T HT*
		Enfouissement : 0,4 %	-
Filière mer	30 898 tonnes de coproduits marins	Alimentation pour animaux d'élevage : 61 %	en moyenne 9 €/T*
		Pet food humide : 27 %	
		Alimentation humaine : 12 %	
Filière viande	487 855 tonnes de SPA C3	Pet food : 50 %	89 €/T HT*
		Alimentation humaine : 15 %	-
		Engrais et amendement organique : 11 %	78 €/T HT*
		Équarrissage : 10 %	-
		Hydrolyse : 4 %	-
		Non déterminée : 4 %	-
		Oléochimie : 2 %	-
		Compostage : 1 %	50 €/T HT*
		Cuir et peaux : 1,2 %	-
		Biocombustible : 0,5 %	-
		Alimentation d'animaux d'élevage : 0,05 %	-

* coût moyen de valorisation et d'élimination incluant le transport et le traitement

Source : Étude sur le gisement et la valorisation des déchets et sous-produits organiques des IAA bretonnes, Performance Bretagne Environnement, 2007.

Figure 2 : pyramide des valorisations



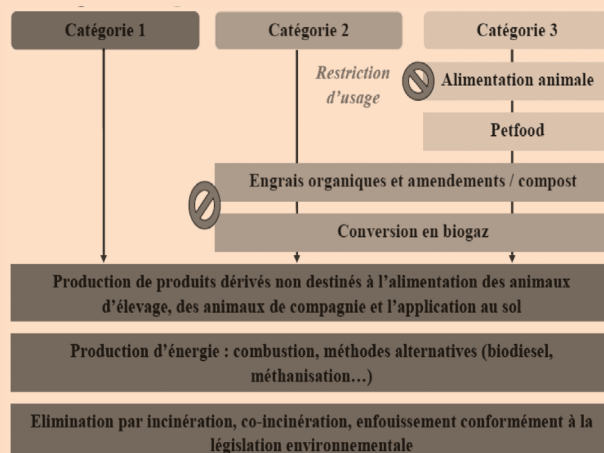
Source : Added values to fisheries wastes, Bergé, 2008.

En France, environ 75 000 tonnes de produits sont transformés en 15 000 tonnes de farine et 5 000 tonnes d'huile chaque année. La valorisation en pet food porte sur 30 000 tonnes¹⁰. La société Bioceval, implantée à Concarneau, récupère chaque année environ 50 à 60 000 tonnes de coproduits qui sont transformés en farine et d'huile¹¹. La gélatine, protéine purifiée des matières marines est, quant à elle, largement utilisée en alimentaire et pour les procédés de microencapsulation.

Les coproduits de crustacés et coquillages tels que les carapaces et coquilles ne procurent qu'une très faible valeur ajoutée puisque la majorité de ces matières est utilisée comme amendement. Cependant, la société bretonne Usine de Kervellerin traite 4 000 tonnes par an de coquilles d'huîtres, non seulement pour la production d'engrais mais aussi pour deux applications innovantes :

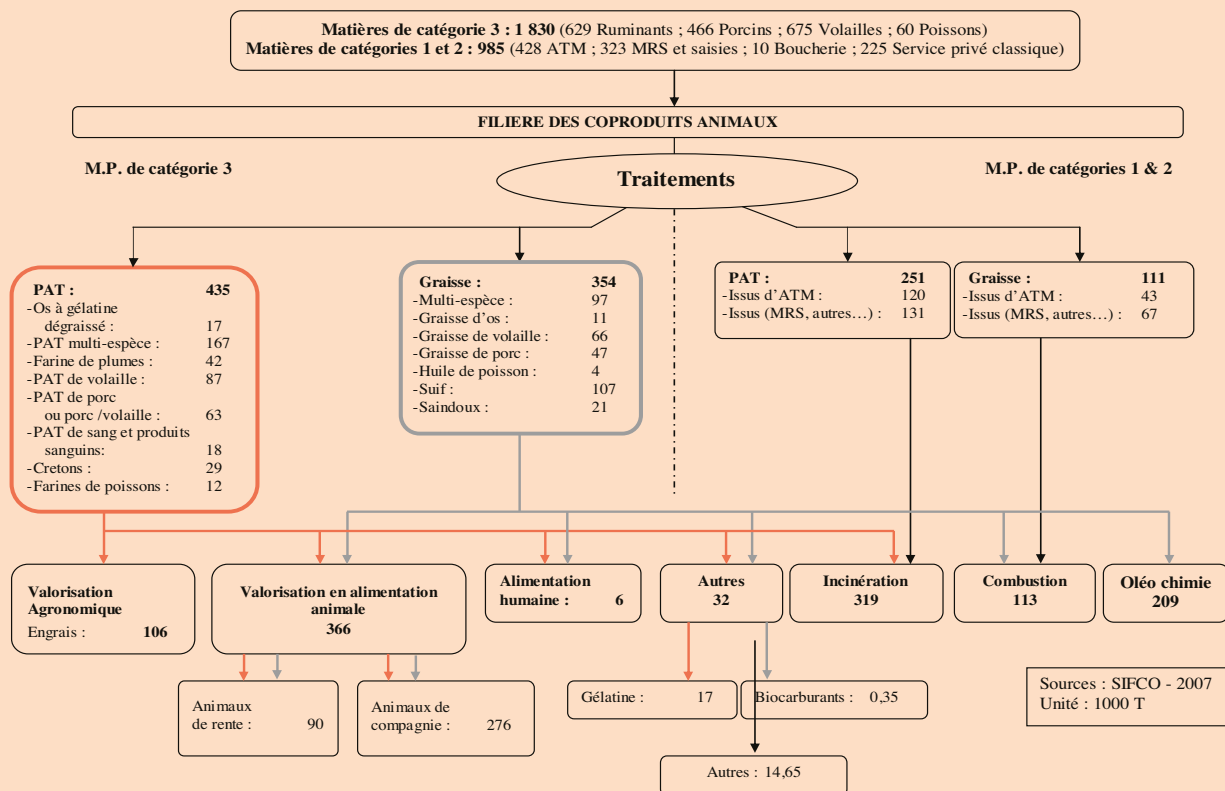
- la conception et l'élaboration d'une matière destinée aux imprimantes 3D pour permettre la création d'objets plastiques 100 % biodégradables, avec des propriétés mécaniques paramétrables,
- la fabrication d'une peinture (à base de poudre calcaire d'huîtres) pour des marquages au sol plus résistants et plus réfléchissants. L'incorporation de cette poudre permet aux producteurs de peinture de réduire l'utilisation d'ingrédients issus du pétrole tout en conservant le même niveau de résistance.

Figure 3 : voies de valorisation des coproduits animaux



Source : information sur le règlement européen CE 1069-2009, Leboucher A., AILE 2011.

Figure 4 : schéma de valorisation des sous-produits animaux (C1, C2, C3) par l'industrie



Source : Enquête sur les gisements et la valorisation des coproduits issus de l'agro-industrie, ADEME, RESEDA, 2008

D'autre part, l'école normande d'ingénieurs ESICT a développé un pavé drainant « VECOP » (béton aéré, alvéolé, léger, poreux et filtrant) à partir de coquilles de crépidules. Ce nouveau matériau est actuellement en test.

Les valorisations des coproduits animaux sont identifiées dans les figures 3 et 4. Les SPA de catégorie 3 sont traités dans des sites de valorisation différents des sites d'équarrissage pour être majoritairement transformés en protéines animales transformées (PAT, 24 %) et en corps gras (CGA, 19 %)¹. Les effluents représentent la matière restante (57 %) de C3.

Les PAT de porcs et de volailles sont principalement utilisées en pet food ou pour la fabrication d'engrais et amendements organiques, alors que les PAT multi-espèces (ruminants et monogastriques) sont dirigées vers l'industrie de la fertilisation et l'incinération. Les farines de plumes hydrolysées, les PAT de sang et les farines de poissons sont principalement valorisées en alimentation animale. Les PAT sont également utilisées comme engrais organiques et pour une très faible part transformées en énergie.

Les huiles de poissons, suif, saindoux sont issus des corps gras. Ces graisses sont destinées à 59 % à l'oléochimie (graisse multi-espèces et suif), 19 % en pet food (grasses de volailles, porc et saindoux), 16 % en alimentation animale, 1,5 % en alimentation humaine et 0,5 % en combustible. Les graisses issues de C3 pourraient aussi entrer dans la production des biocarburants de deuxième génération comme source d'EMHA (ester méthylique d'huile animale).

Focus sur les coproduits valorisés en compostage

Le compostage est un procédé permettant de fermenter des déchets (matières fermentescibles) notamment ceux issus des IAA. Ce procédé est réalisé en aérobic à l'aide de microorganismes dans des conditions contrôlées et met en jeu de nombreux processus (biologique, physique, chimique et thermique) interdépendants. Le compost mûr est obtenu au bout de quatre à six semaines.

Il a plusieurs objectifs : stabiliser le déchet, diminuer sa masse et produire un amendement organique utilisable sur les sols agricoles (compost). Il peut être utilisé comme amendement, pour entretenir ou augmenter le stock de matière organique du sol, ainsi qu'en tant que fertilisant. En effet, le compost apporte des éléments nécessaires à la croissance des végétaux comme de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K).

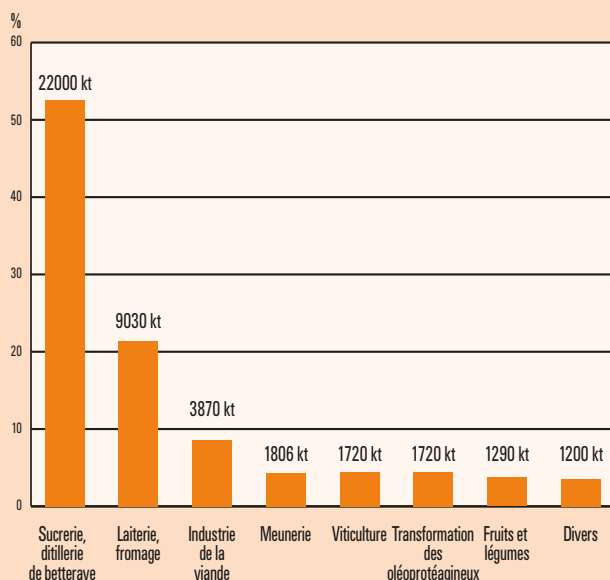
Il faut savoir que le compostage permet une réduction de la masse initiale des déchets de 50 à 60 % en matière sèche. Les composts peuvent trouver un débouché en terreau pour les jardineries mais la valorisation agricole reste le principal marché avec près de 80 % selon l'ADEME.

60 installations de compostage pour le traitement des déchets fermentescibles hors OM (ordures ménagères) ont été recensées en Bretagne pour 2014. 175 200 tonnes de déchets ont été traitées par les sites suivis (19 sites) donnant 119 400 tonnes de flux sortants, avec en majorité une valorisation organique (94 %) et une valorisation énergétique de l'ordre de 1 %. Entre 2012 et 2014, le traitement par compostage a évolué de 1 %^v.

Focus sur la valorisation énergétique

L'ADEME considère que les déchets des IAA en termes de biomasse énergétique en France représentent environ 43 millions de tonnes chaque année.

Répartition de la biomasse issue des différentes filières des IAA pour une valorisation énergétique



Source : Valorisation énergétique des déchets de biomasse d'origine végétale, Etude Record 08-0231/1A, 2010.
kt : kilotonne

Dans la catégorie Divers se trouvent les huiles des industries agroalimentaires et les huiles de la restauration, au fort pouvoir calorifique mais au gisement modeste, représentant de 100 à 150 000 tonnes. Seules 25 000 tonnes seraient collectées chaque année.

Les biocarburants

Les huiles alimentaires usagées, les graisses animales fondues de catégories C1 et C2 et les coproduits de la vinification (marcs, lies et bourbes) sont notamment des sources envisageables pour la production de biocarburants. Ces matières peuvent participer à l'atteinte des objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement qui sont d'augmenter la part des énergies renouvelables à 23 % du mix énergétique global, avec l'ambition d'en fournir 50 % à partir de la biomasse¹⁰.

Le développement de filières de production de biocarburants à partir de ces coproduits pose, néanmoins, des questions sur les potentiels conflits d'usages vis-à-vis des filières de valorisation déjà en place, ainsi que sur la faisabilité technique, économique et réglementaire d'une telle production, et ce aux différentes échelles géographiques, et notamment à l'échelle locale.

Le biogaz

La méthanisation est particulièrement adaptée à des déchets issus d'un tri à la source ou d'une collecte sélective, dont la production et la composition sont constantes dans le temps (déchets industriels ou co-digestion de mélange). Ce procédé peut être appliqué à différents types de déchets : graisses, déchets de conserveries de légumes, de poissons, boues de stations d'épuration urbaines ou industrielles, lisiers, eaux résiduaires des distilleries vinicoles ou de betteraves.

La méthanisation est un procédé biologique naturel permettant de traiter des déchets et des coproduits fermentescibles tout en produisant notamment une énergie renouvelable. Il existe deux grandes voies de valorisation du biogaz à savoir la cogénération (électricité et chaleur) et la valorisation du biogaz en biométhane destiné à l'injection en réseau ou à la production de bio-GNV (Bio-Gaz Naturel Véhicule).

Le biogaz est produit par méthanisation. Il s'agit d'un procédé proche du compostage qui traite des déchets organiques et des boues par fermentation en absence d'oxygène. Elle permet à la fois de produire de l'énergie et de stabiliser les déchets. En effet, ce processus aboutit à la production d'un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisé appelé digestat et d'un biogaz, mélange gazeux composé d'environ 50 à 70 % de méthane (CH₄), de 20 à 50 % de gaz carbonique (CO₂) et de quelques gaz traces (ammoniac, azote, sulfure d'hydrogène). De la même manière que pour le compostage, la biodégradation de la matière organique est due à l'activité de microorganismes.

Un épandage direct du digestat est possible en respectant la procédure des plans d'épandage qui considère à la fois les caractéristiques du produit à épandre, celles du sol récepteur et la quantité apportée qui doivent toutes satisfaire certains seuils. Le digestat reste alors statutairement un déchet. Si le digestat subit une phase de maturation par compostage, il peut selon sa composition (critères agronomiques et d'innocuité) satisfaire les prescriptions envisagées par la norme NF U 44-051 (ou NF U 44-095) et être alors considéré comme un amendement organique. Le digestat devient alors statutairement un produit, au même titre que tout autre produit cédé ou commercialisé.

Le Conseil régional de Bretagne et l'ADEME soutiennent le développement de la méthanisation en Bretagne à travers le plan Biogaz Bretagne - Pays de la Loire. Ce plan vise l'émergence de projets de méthanisation à la ferme ou multi-partenariale en codigestion, insérés dans leur territoire.

Au 31 décembre 2014, la Bretagne comptait 42 installations de méthanisation de déchets (447 au niveau national) dont six situées sur des stations d'épuration urbaines et quatre au sein d'IAA pour le traitement de leurs effluents peu chargés¹². Il y avait donc 32 installations multi-déchets dont 88 % sur des exploitations agricoles. Plus de 40 % de ces installations se situaient dans les Côtes d'Armor, 25 % en Ille-et-Vilaine, 18,8 % dans le Morbihan et 15,6 % dans le Finistère. 47 % des installations multidéchets fonctionnaient sous le régime de la simple déclaration et ne pouvaient par conséquent accueillir que des effluents agricoles, des matières stercoraires, des matières végétales brutes, des déchets. Six installations (19 % du parc régional multidéchets) recevaient des coproduits animaux de catégorie 3 comme les biodéchets issus de la restauration¹². Il s'agit des sites disposant d'un processus d'hygiénisation ou d'une autorisation FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Tableau 2 : inventaire non exhaustif des molécules et ingrédients issus des coproduits des filières mer, viande et fruits et légumes

	Coproduits générés	Molécules/ ingrédients d'intérêt	
Filière fruits, légumes et boissons	Pelures d'oignons, de pommes, de pommes de terre Tomates et pépins Résidus de fruits et légumes	Antioxydant, flavonoïdes, acides organiques (acides citriques, lactique, acétique, succinique) Huile, lycopène, caroténoïdes Enzymes (amylolytique, lignocellulolytique, pectinolytique, tannase, protéase, lipase, invertase), acides gras (pommes et pommes de terre)	
	Pulpe de pomme de terre, de betterave Résidus de carottes et céleri Marc de pommes	Protéines d'origine unicellulaire Pectine Enzymes (cellulase, hemicellulase, lignolytique, amylase, pectinase, polygalacturonase), arômes, xanthane, composés phénoliques, bioéthanol, protéines d'origine unicellulaire, acides organiques (citrique, fumarique, lactique), pigments, éthanol	
	Artichaut Chou-fleur, brocoli Petit pois, lupin Shiitaké	Flavonoïdes, sesquiterpènes, acides phénoliques (cynarine) Glucosinolate, sulphoraphane Protéines Lentinane, éritadénine, glucanes	
Filière mer	Écailles Poisson, moules, coquillages	Kératine Acides aminés, taurine, acides organiques (acides lactique, succinique, hyaluronique), protéines et hydrolysats, lipides	
	Poissons, tête et chair sur arêtes Crustacés (tête et carapaces), crevette	Huile, phospholipides, EPA, DHA (riche dans tête de thon), squalène (huile de foie de requin) Hydrolysats protéiques, acides aminés, enzymes (chitinase, chitosanase), vitamines, chitine, chitosan, astaxanthine, caroténoïdes	
	Peaux de poissons, écailles, arêtes, nageoires Cartilages, tendons/ligaments, poumon/foie Algues, crustacés Requin et raie	Collagène et hydrolysats, élastine, gélatine, hydroxyapatite, chondroïtine sulfate, minéraux Protéoglycane, glycosaminoglycane, chondroïtine sulfate Astaxanthine, polysaccharides d'algues (laminarine, fucane, cellulose ...), acide succinique (algues)	
	Viscères et déchets de poissons, foie Pulpe de poisson, chair de crépidule Coquille de moules et huîtres	Peptones Huile, enzymes Créatine Carbonate de calcium (calcite, aragonite, hydroxyapatite), byssus	
Filière viande	Plumes Peaux Poils, onglons de bovins et soies de porc Muscle Sang Abats Os, cartilage Graisses animales	Farines de plumes hydrolysées, protéines, acides aminés (cystéine, tyrosine etc...), enzymes Cuirs, protéines, glycosaminoglycane, acides aminés Soies de porc, acides aminés, kératine et protéines associées Protéines et hydrolysats, phospholipides, triglycérides Farines de sang (de non ruminants), farine de cruor, hémoglobine, peptides, protéines, cruor, farine de sang Protéines et hydrolysats, peptides, enzymes, glycosaminoglycane, lipides Hydroxyapatite, collagène, hydrolysats de collagène, élastine, gélatine, glycosaminoglycane, farine Acides gras (acide oléique, palmitique et stéarique etc...), huile brute ou raffinée, glycérol, esters méthyliques d'acides gras, saindoux, suif, esters méthyliques d'huiles animales	
	Mucus de l'intestin de porc Viscères de volaille Têtes, pattes et sang de volaille	Héparine, glycosaminoglycane Hydrolysats protéiques, enzymes, lipides Hydrolysats protéiques	

Source : CBB Capbiotek

2.2. Utilisation des coproduits pour une valorisation à valeur ajoutée intermédiaire

La transformation en ingrédient alimentaire (pet food ou alimentation humaine) permet de générer une valeur ajoutée plus forte que pour les produits cités précédemment, tout en étant fortement consommatrice de volume de coproduits, contrairement à des secteurs tels que la cosmétique.

Certains coproduits peuvent ainsi servir d'additifs pour augmenter la teneur en protéines, les propriétés gustative ou d'appétence, ou encore améliorer les propriétés texturantes des aliments.

Les produits sanguins sont transformés en plasma, en sang entier sec, en globules rouges. Ainsi, dans les Côtes d'Armor, la société Vapran valorise les protéines de sang notamment de porc pour leurs propriétés fonctionnelles multiples en alimentation animale et humaine.

Des coproduits issus la transformation des viandes peuvent également être revalorisés dans des produits de charcuterie ou de saucisserie (apport de protéines animales dans des produits de type knacks par exemple). La société VALMEAT basée à Baud propose, aux indus-

triels de la charcuterie et des plats cuisinés, des protéines de volailles crues aux propriétés fonctionnelles et nutritionnelles préservées. Certains produits jugés non conformes (défauts visuels par exemple) sont également aujourd'hui valorisés en tant que PAI (Produits alimentaires intermédiaires).

Les coproduits marins peuvent être valorisés sous forme d'hydrolysats protéiques de poissons, plus riches en protéines que les farines classiques et présentant une très bonne digestibilité ainsi qu'une appétence élevée très recherchées en alimentation animale et dans le pet food. Les extraits et concentrés aromatiques de coproduits marins (têtes et arêtes de poissons, têtes et carapaces de crustacés) sont également utilisés pour la fabrication de plats cuisinés, soupe etc... Certains déchets de filetage sont aussi employés pour la fabrication du surimi. La Compagnie des Pêches Saint-Malo a, par exemple, mis en place une filière de traitement de ses coproduits directement sur le bateau de pêche.

D'autres part, plusieurs pistes de valorisation de coproduits sous forme de matériaux ou additifs biosourcés ont également vu le jour telles que la valorisation de carapaces de crustacés en chitine (floculant, support de culture) ou de kératine pour des produits antifeu.

2.3. Utilisation des coproduits pour une valorisation à forte valeur ajoutée

La valorisation de niche aboutit généralement à l'obtention de produits à forte valeur ajoutée de faibles tonnages et de qualité élevée (cf. figure 2). Ces actifs nécessitent l'utilisation de faibles volumes de coproduits spécifiques et sont destinés aux secteurs professionnels restreints tels que la pharmacie, cosmétique, nutraceutique et les aliments fonctionnels. En France et plus particulièrement en Bretagne, il existe un grand nombre d'exemples de réussites industrielles comme indiqué ci-après.

Le secteur des produits de la mer est une source très riche de molécules d'intérêt à haute valeur ajoutée pour les secteurs de la cosmétique, la nutrition et la santé : huiles riches en oméga-3 (EPA et DHA principalement), alkylglycérols ou vitamines, peptides bioactifs, collagène marin, sulfate de chondroïtine, lécithine marine, chitine et protéines purifiées. La crise de la vache folle et le renforcement de la réglementation en 2002 sont à l'origine du développement de la valorisation du collagène marin au détriment du collagène bovin. Ce collagène marin peut notamment être utilisé pour des applications médicales (greffes de peau, implants chirurgicaux, injections).

Les huiles de poissons riches en EPA (acide eicosapentaénoïque), DHA (acide docosahexénoïque) et en oméga-3 présentent des débouchés principalement en aquaculture mais aussi en alimentation humaine et santé. La société bretonne Polaris extrait ces huiles enrichies à partir de têtes congelées de thon et des acides gras polyinsaturés issus de têtes et poissons éviscérés.

Plusieurs acteurs régionaux travaillent également à la valorisation alimentaire de coproduits marins sous forme d'arômes (Mane Lyrax à Quéven) ou d'actifs nutraceutiques (peptides bioactifs des sociétés Compagnie des Pêches Saint-Malo Santé, Abyss Ingrédients et Copalis).

Les coproduits animaux tels que les plumes permettent la production d'acides aminés d'intérêt pour la pharmacie, la nutrition humaine, animale et végétale. BCF Life Sciences valorise, à titre d'exemple, la kératine des plumes en produisant des acides aminés purifiés tels que la tyrosine et la cystine qui est également valorisée sous forme de carbocystéine (antitussif).

Les glycosaminoglycannes sont aussi des molécules actives recherchées et peuvent être extraits de coproduits marins et/ou animaux : chondroïtine sulfate, dermatane sulfate, keratane sulfate, héparine, acide hyaluronique dans les secteurs pharmaceutique, cosmétique et nutraceutique. Sanofi produit depuis 1981 de l'héparine issue du mucus des intestins de porc. Cet actif est utilisé pour la fabrication d'un anticoagulant injectable (le Lovenox). Le site de production de Sanofi est implanté à Ploërmel, à proximité des usines d'abattage de porc de l'Ouest. Cette société recueille 15 à 20 000 tonnes de mucus et le rendement de production de la molécule à très forte valeur ajoutée est de 1,5 kg d'héparine brute pour 10 tonnes de mucus.

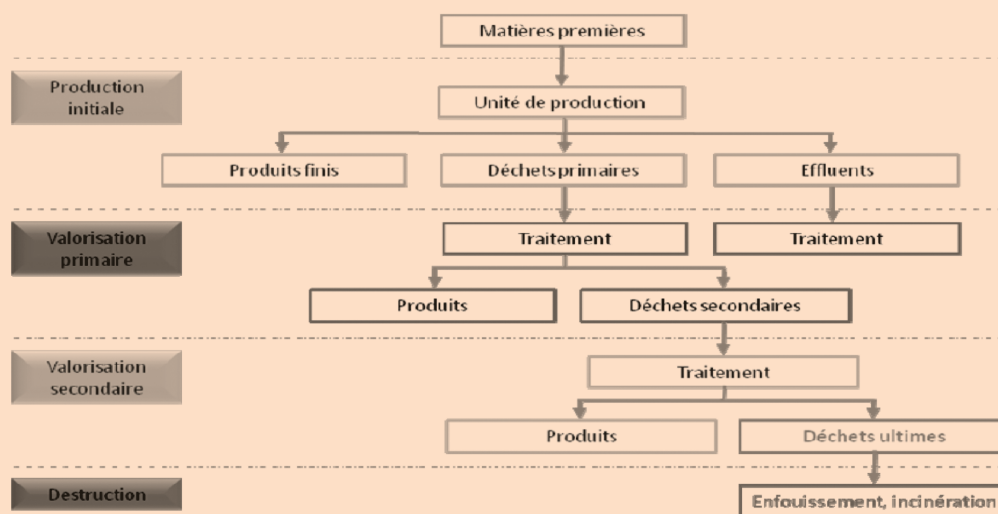
Plusieurs coopératives bretonnes se sont lancées ces dernières années dans des projets de valorisation de leurs coproduits, à l'instar de la SICA de Saint-Pol de Léon à travers sa filiale Agrival ou plus récemment de Savéol et son projet de valorisation de coproduits de tomate en partenariat avec la société Oligonov, ou enfin la Cooperl Arc Atlantique qui vient de créer une business unit dédiée à la valorisation de ses coproduits d'abattage. La multiplicité de ces initiatives confirme l'intérêt grandissant des entreprises bretonnes pour la valorisation de leurs coproduits et plus largement pour l'économie circulaire avec une évolution vers une valorisation complète des coproduits à travers la mise en place de bioraffineries.

3 Vers le principe de la bioraffinerie

Le modèle de développement économique actuel, principalement basé sur des ressources finies, amorce une transition vers un modèle plus durable s'appuyant notamment sur des ressources renouvelables. Le principe inhérent à la bioraffinerie est l'optimisation de l'utilisation des ressources et plus précisément de la biomasse. La bioraffinerie fait appel à une méthodologie identique à celle utilisée en industrie pétrochimique. Il s'agit en effet de traiter et transformer la matière organique (principalement végétale ou animale) afin de séparer les constituants de la biomasse et de produire un maximum de produits (si possible à haute valeur commerciale).

Différents procédés peuvent être utilisés afin de tendre vers une valorisation de l'ensemble des constituants de la matière organique. Dans un premier temps, la biomasse est fractionnée (cracking) en

Figure 5 : exemple des différentes étapes de valorisation et de traitement des déchets

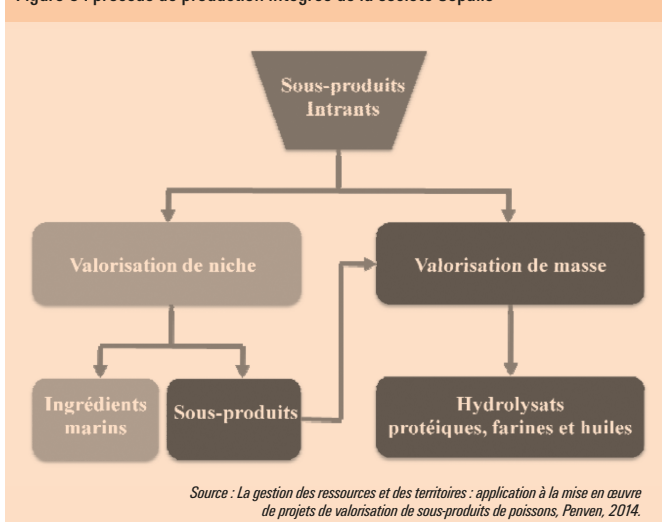


Source : La gestion des ressources et des territoires : application à la mise en œuvre de projets de valorisation de sous-produits de poissons, Penven, 2014.

composants moléculaires via des procédés biotechnologiques (enzymologie et fermentation), chimiques, mécaniques ou thermiques. Dans un second temps, les intermédiaires peuvent être eux-mêmes transformés en produits d'intérêt par des étapes de purification (filtration, centrifugation, décantation...), de synthèses (chimiques ou biotechnologiques) et de séchage (atomisation, lyophilisation...).

Le positionnement géographique des acteurs fournissant les coproduits peut impacter le mode de fonctionnement et la stratégie des transformateurs de coproduits. À titre d'exemple, la localisation dispersée des industriels de produits de la mer dans le Grand Ouest, engendre une problématique logistique non négligeable et impacte ainsi les choix de valorisation mis en œuvre ou en développement chez Bioceval¹³. Cette multitude d'acteurs fournissant des sous-produits à Bioceval est aussi à l'origine de différentes pratiques. L'entreprise fabrique ainsi principalement deux produits de masse : la farine issue de la phase solide, l'huile émanant de la phase liquide car ces deux produits ne requièrent pas le tri des matières premières à l'entrée¹⁰. L'un de ses concurrents Copalis, du fait notamment d'une proximité plus importante du gisement, propose quant à lui des produits de masse (hydrolysats, farines et huiles) mais aussi de niche. Cette double activité est nécessaire pour que la valorisation de niche soit viable¹³.

Figure 6 : procédé de production intégrée de la société Copalis



On considère qu'il existe aujourd'hui deux modèles de bioraffinerie selon le mode d'approvisionnement en biomasse : la bioraffinerie portuaire avec importation de la biomasse et/ou des intermédiaires (exemple du site de Ghent Bioenergy Valley en Belgique) et la bioraffinerie territoriale, implantée en zone rurale (fortement intégrée à un bassin de production). Si le premier modèle est fortement inspiré de l'économie du raffinage pétrolier, basé sur le traitement de gros volumes, le second modèle, choisi par la Bretagne, prend en compte la notion d'économie circulaire, et adapte les procédés aux caractéristiques des matières premières locales. Dans l'Ouest, l'industrie laitière est particulièrement en pointe dans la valorisation du lait et de tous ses composants à travers un ensemble de procédés de fractionnement.

La bioraffinerie tire ainsi profit de tous les composants et intermédiaires et maximise la valeur qui est dérivée des opérations de raffinage. Ayant vocation à produire une diversité de produits offrant les meilleures valorisations, les bioraffineries n'obéiront pas à un modèle unique ni à des typologies prédéfinies. Elles impliqueront d'ailleurs

une réglementation, une gestion, une utilisation, une valorisation et une écologie industrielle particulière. Par exemple, une source de biomasse donnée peut entrer dans la voie de valorisation en énergie, (production de biocarburants, électricité et chaleur), les résidus du procédé pouvant être réintroduits en alimentation animale ou valorisés comme produits à haute valeur ajoutée optimisant ainsi l'ensemble du modèle (bio)économique. A l'inverse, lorsque la biomasse brute est fractionnée en de multiples produits biobasés avec une valeur ajoutée maximale, l'utilisation des résidus du procédé pour la production de chaleur et/ou d'électricité permet d'améliorer l'impact environnemental et le modèle économique.

Ce concept de bioraffinerie a un caractère structurant dont le prérequis est l'obtention d'une relation harmonieuse et durable entre les générateurs de coproduits, les transformateurs et les utilisateurs.

Dans l'Ouest, la bioraffinerie doit donc se concevoir comme une installation proche de la ruralité, des gisements de matière mais doit également prendre en compte l'ensemble de l'écosystème (parfois fragile) existant autour de ces gisements. Une telle évolution passe par une phase de concertation entre les différents acteurs industriels de la valorisation, monde agricole et alimentaire en prenant en compte les besoins et contraintes de chacun en évitant ainsi une compétition sur les possibles applications et par voie de conséquence, l'accès aux gisements. Plusieurs freins au développement de la bioraffinerie et plus largement à la démarche de valorisation des coproduits sont aujourd'hui identifiés (cf. tableau 3).

Tableau 3 : principaux freins au développement des bioraffineries

Freins sociétaux	La gestion des coproduits : les coproduits sont encore trop souvent considérés (et traités) comme des déchets dans l'esprit des transformateurs
	Le développement de nouveaux métiers/compétences/ au sein de l'entreprise : la valorisation de coproduits sous forme d'ingrédients ou d'énergie induit souvent une expertise technique différente du métier initial voire des débouchés sur des marchés nouveaux
	Le risque de modification du modèle économique de l'entreprise : dans certains cas, la valeur générée par le coproduit peut devenir plus forte que celle générée par le métier historique de l'entreprise et induire des changements majeurs dans l'entreprise
Freins liés à la ressource	L'impact des priorités politiques et des nouvelles réglementations : nécessité de traiter les coproduits, réglementation sur les sous-produits animaux, réglementation sur le transport des déchets, réglementation REACH
	La forte dispersion géographique des gisements
	La diversité des pratiques liées au nombre élevé de transformateurs
	La taille et répartition variable des gisements
Freins économiques	La nature très variée des coproduits
	La saisonnalité et durabilité (dans le temps) de l'accès à la ressource
	La raréfaction des biomasses peut conduire à des tensions sur les prix (forte demande en protéines aujourd'hui par exemple)
	Les coûts liés au tri ou à la stabilisation des coproduits (prétraitement, stockage...)
Freins économiques	Le montant des investissements : le développement d'un nouveau procédé de valorisation des coproduits induit des investissements matériels et immatériels parfois coûteux
	L'équilibre entre les marchés visés : la production de fractions à forte valeur ajoutée peut être limitée par la gestion des autres fractions

Source : CBB Capbiotech

4 Conclusion / Perspectives

La valorisation des coproduits des IAA répond aux enjeux sociétaux actuels tels que l'optimisation des ressources et l'économie circulaire (bioéconomie), l'innovation (développement de nouvelles technologies, molécules ou applications de produits biosourcés), la réduction de l'empreinte environnementale et le développement économique (et des emplois sur un territoire).

Selon les résultats d'enquêtes menées dans le Grand Ouest, 30 % des entreprises interrogées s'intéressent au sujet dans le but de réaliser des économies, seulement 5 % s'en préoccupent pour des raisons liées à l'environnement alors que 10 % ne sont pas attirés par ce type de valorisation¹⁰. L'intérêt des industriels, notamment des IAA, pour leurs coproduits et leurs possibles valorisations connaît aujourd'hui un véritable essor en lien avec la demande croissante en protéines ou les récentes évolutions réglementaires.

Toutefois, il est important de souligner que cette démarche se heurte encore à de nombreux verrous (logistiques, économiques, techniques, réglementaires, sociétaux...) que les acteurs se doivent de prendre en compte avant de s'engager. De même, une analyse de l'écosystème existant autour de la matière à valoriser est nécessaire sous peine de sous-estimer l'impact de la mise en place d'une nouvelle voie de valorisation sur les débouchés actuels des coproduits et de déséquilibrer des systèmes en place (valorisation énergétique au détriment de la valorisation en alimentation animale par exemple). Il convient donc pour cela de capitaliser sur les différentes expériences conduites en France ou à l'étranger, en particulier sur les exemples de réussites industrielles et les

nombreux projets récemment soutenus tels que le programme européen de 2014 « WASTE » pour la réduction, le recyclage et la réutilisation des déchets, le projet CARBIO (2011) « biopolymère dérivés d'hydrates de carbone », le projet européen Whey2value (2015-2017) pour la valorisation du lactosérum en produits à plus haute valeur ajoutée, le projet BlueEcoPHA (2015-2017) pour la production de PHA à partir de coproduits et rejets industriels ou encore le projet européen TRANSBIO « Biotransformation of byproducts from fruit and vegetable processing industry into valuable byproducts » (2011-2015).

La Bretagne, qui dispose d'un accès à une ressource en termes de coproduits, actuellement sous exploitée, s'est emparée du sujet en soutenant un plan BIOGAZ ou en l'inscrivant dans ses axes de développements prioritaires de la filière biotechnologies (et de ses volets agro-biotech et biotechnologies marines qui concernent la valorisation des bioressources locales). Aujourd'hui, la région Bretagne soutient de nombreuses initiatives industrielles privées et des projets de recherche sur cette thématique avec en perspective la notion de bioraffinerie.

En effet, cette approche plus globale de la valorisation des coproduits peut non seulement permettre de leur trouver des débouchés à plus forte valeur ajoutée que les solutions actuelles mais aussi de prendre en compte la gestion de l'ensemble des fractions générées lors de la transformation des coproduits. Cette perspective nouvelle nécessite néanmoins que l'ensemble des acteurs concernés (monde agricole, IAA, industriels de la transformation, logisticiens, chercheurs, investisseurs, instances publiques etc...) travaillent de concert pour assurer un développement pérenne d'une bioéconomie génératrice de valeur pour le territoire et ses différentes composantes.

Références bibliographiques

- (1) Enquête sur les gisements et la valorisation des coproduits issus de l'agro-industrie, ADEME, RESEDA, 2008.
- (2) Étude sur le gisement et la valorisation des déchets et sous-produits organiques des IAA bretonnes, Performance Bretagne Environnement, 2007.
- (3) Déchets des industries agroalimentaires - Insee-Agreste, 2008, Agreste Primeur, 2010.
- (4) Étude sur la valorisation du 5ème quartier des filières bovine, ovine et porcine en France, Blézat Consulting, FranceAgriMer, 2013.
- (5) Focus Valorial « Valorisation des coproduits d'origine animale », Zoopôle développement, 2007.
- (6) La filière française des coproduits de la pêche et de l'aquaculture : état des lieux et analyses, OFIMER, 2004.
- (7) Focus Valorial « EVALOVEG », BBV et CBB, 2009.
- (8) Valorisation des coproduits des industries agroalimentaires bretonnes. Rapport d'étude. Roy H. et Desnoux T. Chambres d'agriculture de Bretagne, 2013.
- (9) Des coproduits agro-industriels bien valorisés, Rouillé B, Terra, 2015.
- (10) L'observatoire national des ressources en biomasse - Évaluation des ressources disponibles en France, FranceAgriMer, 2015.
- (11) La valorisation des coproduits du poisson, CBB, Blanchard G et Morel P., La Revue de l'Observatoire des IAA en Bretagne, N°95, 2009.
- (12) Source : Focus Valorial « La valorisation des coproduits des industries agroalimentaires par fermentation », CBB Capbiotek, 2016 (146 pages).
- (13) La gestion des ressources et des territoires : application à la mise en œuvre de projets de valorisation de sous-produits de poissons, Penven, 2014.