



Guide

Des résidus agro-industriels à l'énergie



**Promotion de solutions de chauffage
utilisant des agrocombustibles en Europe**

2022



Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 818369

A PROPOS DE CE DOCUMENT

La publication "Des résidus agro-industriels à l'énergie", réalisée par l'Association espagnole de bioénergie (AVEBIOM) et le Centre de recherche et de technologie Hellas (CERTH), fait partie d'une série de guides faisant autorité préparés dans le cadre du projet AgroBioHeat et visant à fournir une connaissance systématique de l'utilisation de différentes ressources de type agrobiomasse.

En particulier, il se concentre sur certaines matières générées lors de différents process comme les résidus de produits agricoles issus de leur transformation, pressage, extraction par exemple. Les noyaux d'olive, les tourteaux d'olive, les coquilles de noix sèches, les coques de tournesol et autres ont un pouvoir calorifique assez élevé et des coûts suffisamment bas pour être des combustibles très attractifs pour une large gamme d'applications bioénergétiques, du chauffage domestique jusqu'à la production de chaleur ou d'électricité industrielle à grande échelle.

Le projet AgroBioHeat vise à déployer massivement des solutions de chauffage utilisant la biomasse agricole sur le marché européen. Les agro-combustibles représentent une ressource importante et sous-exploitée, qui peut venir en soutien de l'actuelle stratégie de planification européenne pour l'énergie et le climat tout en favorisant le développement rural, l'économie circulaire et l'emploi local. Le projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 818369.

Pour plus d'informations sur le projet, veuillez consulter:

www.agrobioheat.eu

Ce document ne reflète que le point de vue des auteurs. L'Agence exécutive européenne pour le Climat, les Infrastructures et l'Environnement (CINEA) n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'il contient.

Traduction par le partenaire français AILE.

Bénéficiaire principal
Principaux auteurs



Contributions

AVEBIOM

Pablo Rodero Masdemont

AVEBIOM

Daniel García Galindo

AVEBIOM

Alicia Mira Uguina

AVEBIOM

Manolis Karampinis

CERTH

Semeon Drahnev (UABIO)

Tetiana Zheliezna (UABIO)

Dépôt légal

DL VA 211-2022



Sommaire

ABRÉVIATIONS	4	CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT	
LISTE DES TABLEAUX	5	SONT-ILS UTILISÉS ?	38
LISTE DES IMAGES ET GRAPHIQUES	5	EXEMPLES DE RÉALISATION	40
INTRODUCTION: LES RÉSIDUS AGRO-INDUSTRIELS	8	Utilisation de coques d'amandes pour la production du paprika	40
RÉSIDUS, SOUS-PRODUITS OU DÉCHETS ?	11	Utilisation de coques d'amandes dans une serre de fleurs ornementales	41
NOYAUX D'OLIVE	12	DES CLÉS POUR L'UTILISATION DES COQUILLES	42
DESCRIPTION	12	COQUES DE TOURNESOL	43
POTENTIELS ET RÉPARTITION EN EUROPE	14	DESCRIPTION	43
EXEMPLES D'UTILISATION	18	POTENTIELS ET RÉPARTITION EN EUROPE	44
Des noyaux d'olives pour chauffer une école à Grenade	18	CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT	
Premier hôtel à Jaén, en Espagne, utilisant des noyaux d'olive comme combustible	19	SONT-ELLES UTILISÉES ?	47
TOURTEAU D'OLIVE		EXEMPLES DE RÉALISATION	49
<i>'GRIGNON D'OLIVE ÉPUISÉ'</i>	21	Utilisation de coques de tournesol pour l'extraction d'huile de tournesol et la production d'électricité en Ukraine	49
DESCRIPTION	21	Utilisation de granulés de coques de tournesol dans les chaudières domestiques à biomasse	50
POTENTIELS ET RÉPARTITION EN EUROPE	23	Chauffage de serres avec des granulés de coques de tournesol	50
CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT		Chauffage d'un centre commercial avec des granulés de coques de tournesol	50
SONT-ILS UTILISÉS ?	24	DES CLÉS POUR L'UTILISATION DES COQUES	51
EXEMPLES DE RÉALISATION	25	AUTRES RÉSIDUS	52
Gazéification des grignons d'olive séchés à Aceites Guadalentín	25	Poudre de pépins de raisin	52
VIOPAR S.A. - La plus grande et la plus récente centrale électrique à biomasse de Grèce	27	Marc de café usagé	54
DES CLÉS POUR L'UTILISATION DU TOURTEAU D'OLIVE	28	Noyaux de fruits	55
COQUES DE NOIX SÈCHES	29	Coques (balles) de riz	56
DESCRIPTION	29	Epis de maïs	56
Les coques d'amandes	30	Résidus agro-industriels importés	57
Les coques de pignons de pin	30	Résidus d'égrenage du coton	57
Les pommes de pin hachées	31		
Coquilles de noisettes	31		
Coques de pistaches	32		
Coquilles de noix	32		
Coques d'amande	33		



ABRÉVIATIONS

Abbréviation	Explication
a.r.	Tel que reçu
CHP	Chaleur et électricité combinées
CTN	Comité technique Normalisation
d.b.	Base sèche
EU	Union européenne
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
H2020	Programme de financement Horizon 2020
ha	Hectare
ICNF	Institut pour la conservation de la nature et des forêts (Portugal)
kWe	Kilowatts électriques
kWh	Kilowatt heure
Mha	Million d'hectares
MITECO	Ministère de la transition écologique (Espagne)
mm	millimètres
MW	Mégawatts
MWt	Mégawatts thermiques
NCV	Pouvoir calorifique inférieur
PM	Particules
RD	Arrêté royal
SGC	Marc de café usagé
t	tonne
UNE	Association espagnole de normalisation
UNI	Association italienne de normalisation



LISTE DES TABLEAUX

Table 1. Limites des principaux paramètres pour les noyaux d'olives selon BIOmasud® certification system	16
Table 2. Valeurs types pour le tourteau d'olive.....	24
Table 3. Production de coques d'amande par Pays en tonne/an.	33
Table 4. Potentiel théorique annuel des coques de pignons (en tonnes) par pays.	35
Table 5. Potentiel théorique annuel de pommes de pin hachées (en tonnes) par pays.....	35
Table 6. Potentiel théorique annuel des coques de noisettes (en tonnes) par pays.....	36
Table 7. Potentiel théorique annuel des coques de pistaches (en tonnes) par pays.	36
Table 8. Potentiel théorique annuel des coquilles de noix (en tonnes) par pays.	36
Table 9. Limites des principaux paramètres pour les coques de fruits secs.....	39
Table 10: Top-10 de la production de tournesol dans le monde.....	44
Table 11: Top-10 de la production de tournesol dans l'UE.....	45
Table 12: Composition indicative du combustible granulés de coques de tournesol.....	47
Table 13. Valeurs caractéristiques de la poudre de pépin de raisin.	53
Table 14. Pourcentage en poids de l'endocarpe de plusieurs fruits	55
Table 15. Valeurs caractéristiques du noyau de pêche.	55

LISTE DES IMAGES ET GRAPHIQUES

Figure 1. Les parties d'un fruit d'olivier.....	12
Figure 2. Noyaux d'olive valorisés, nettoyés et séchés.	13
Figure 3. Bilan de masse dans la production d'huile d'olive en deux phases	13
Figure 4. Répartition du potentiel théorique de noyaux d'olive dans l'UE + Turquie + Albanie (2019).	14
Figure 5. Potentiel théorique annuel des noyaux d'olive (en tonnes) par pays.	15
Figure 6. Noyaux d'olive broyés.	17
Figure 7 et 8. CES Ramón y Cajal et chaufferie .L.....	18
Figure 9. Hôtel Spa Sierra de Cazorla.....	19
Figure 10. Alternatives pour obtenir des biocombustibles (grignons d'olive, tourteaux d'olive et noyaux d'olive) dans les moulins à huile et les industries d'extraction d'huile de grignons d'olive.	22
Figure 11. Production de tourteaux d'olive (grignons d'olive épuisés) par pays en tonnes par an (2019)	23
Figura 12. Tourteau d'olives.....	24
Figura 13. Bassin d'Alpeorajo.	26
Figura 14. Unité de gazéification de tourteaux d'olives (4 MWt et 1 MWe)	26





Figure 15 et 16. Photo aérienne de la centrale électrique à biomasse de 5 MWe de VIOPAR S.A. in Volos, Greece.	27
Figure 17 Coques d'amandes: telles qu'obtenues lors de l'extraction des fruits.....	30
Figure 18. Coquilles d'amandes broyées.....	30
Figure 19. Coques de pignon de pin.	30
Figure 20. Bilan massique des coquilles de pignons de pin et des coquilles de pommes de pin.	31
Figure 21 y 22. Pommes de pin hachées: entière et bractées.	31
Figure 23. Coques de noisettes.....	32
Figure 24. Coques de pistache.	32
Figure 25. Coquilles de noix.	32
Figure 26. Production de coques d'amande par Pays en tonne/an.	33
Figure 27. Production de coques de pignons de pin par pays en tonne/an.	34
Figure 28. Production de pommes de pin hachées par pays en tonnes par an.	34
Figure 29. Coques de pignon de pin.	35
Figure 30. Production de coques de noisettes par pays en tonnes par an.	37
Figure 31. Production de coques de pistaches par pays en tonnes par an.....	37
Figure 32. Production de coques de noix par pays en tonnes par an.	37
Figure 33. À la coopérative Francisco Palao	40
Figure 34. Poivrons séchés	40
Figure 35. Chaudière de serre avec brûleur à biomasse de 1 MW (devant) et un autre de 2,5 MW (derrière)	41
Figure 36. Fleurs dans la serre (à droite).....	41
Figure 37. Anatomie de la graine de tournesol.....	43
Figure 38. Zone de production de tournesol en Europe.	44
Figure 39. Granulés de coques de tournesol.	45
Figure 40 . Évolution du rendement en graines de tournesol de 1961 à 2019.	46
Figure 41. Une installation de cogénération à la biomasse pour une usine ukrainienne de raffinage d'huile de tournesol.	49
Figure 42. Bilan de masse de la poudre de pépins de raisin.	52
Figure 43 y 44. Poudre de raisin et Poudre de raisin en pellets.....	53
Figure 45. Marc de café usagé. Source: AVEBIOM	54
Figure 46 et 47. Noyaux de pêche entiers et déchiquetés.	55
Figure 48. Coton grainé dans une usine d'égrenage de coton.....	57
Figure 49 Les résidus d'égrenage du coton alimentent une centrale de cogénération de 1 MWe.....	57



Introduction: les résidus agro-industriels

Les résidus agro-industriels proviennent de différents traitements des produits agricoles dans l'agro-industrie (industries de l'huile végétale, installations de traitement des noix sèches, et autres). Malgré une certaine utilisation locale dans de vieux appareils traditionnels, beaucoup d'entre eux étaient considérés comme un problème environnemental, car d'énormes quantités étaient accumulées sans traitement ni destination appropriés. Par exemple, jusqu'à il y a 20 ou 30 ans, le tourteau d'olive s'accumulait dans des bassins qui s'infiltraient dans les aquifères et, à part une utilisation locale dans les poêles traditionnels, il n'y avait aucune autre utilisation. D'autres, comme les coques d'amandes, étaient également utilisées localement dans les fourneaux traditionnels, mais les quantités qu'une installation de traitement des noix peut produire sur une courte période peuvent être considérables pour de telles utilisations.

Presque tous les résidus agro-industriels peuvent être exploités pour la production de bioénergie ou d'autres applications. Cependant, lorsqu'il s'agit d'utiliser ces résidus comme biocombustibles, certaines précautions sont à prendre telles que:

Teneur en humidité : de nombreux résidus agro-industriels ont une teneur en humidité élevée (bagasses, pelures, etc.). Bien qu'il soit possible de brûler ces fractions dans des installations spécialisées, il est plus fréquent de les utiliser comme matières premières pour la production de biogaz ou pour l'alimentation animale. Les assortiments de biomasse comme les cosses, les coquilles, les noyaux ou autres qui ont une teneur en humidité relativement faible

après un processus de séchage peuvent être plus facilement valorisés comme biocombustibles. De plus, leur faible taux d'humidité augmente leur densité énergétique, ce qui facilite le stockage et le transport.

Quantités : l'un des principaux avantages des biocombustibles agro-industriels est que les quantités produites sont importantes. Mais ce facteur est affecté à deux niveaux :

Le niveau macro (c'est-à-dire pays, région). Les résidus les plus utilisés de nos jours ont développé des marchés car il y avait une énorme production concentrée dans une région. Par exemple, les noyaux d'olive sont très couramment utilisés pour la bioénergie en Espagne car la production d'huile d'olive est massive et, évidemment, tôt ou tard, une solution a dû être trouvée pour les résidus issus de sa production. Dans d'autres pays ayant de petites productions d'huile d'olive le marché des noyaux d'olives n'est pas encore développé. Il y a quelques années dans ces régions ou pays à production massive, c'était un problème mais maintenant avec une valorisation et une technologie appropriée (dispositifs adaptés), c'est une source d'énergie renouvelable économique.

Au niveau de l'installation. Il est important que l'installation produise un certain niveau de quantités du sous-produit. Si les quantités sont faibles, il est difficile pour l'installation de



se projeter pour investir et s'engager dans un changement de pratique pour valoriser le sous produit différemment ce qui aura pour effet de ne pas inciter le consommateur à tendre vers une filière fragile et émergente, qui plus est si une modification est nécessaire pour l'utiliser en tant que particulier dans un appareil de chauffage classique.

Pas d'autres utilisations : généralement, si un résidu est utilisé comme biocombustible, c'est parce qu'il n'y a pas d'autre utilisation possible ou, du moins, l'utilisation alternative n'est pas capable d'absorber toutes les quantités produites. Par exemple, de nombreux résidus ont une faible teneur en protéines et une faible valeur nutritionnelle et ne sont donc pas pertinents pour leur utilisation en tant qu'aliments pour animaux. Les noyaux d'olive peuvent être utilisés par l'industrie cosmétique pour produire des crèmes gommantes/exfoliantes, mais il s'agit d'un marché de niche, utilisant des parts de marché extrêmement faibles de ce résidu. Si un marché alternatif, non énergétique, existe ou se développe, alors les producteurs de ces résidus peuvent obtenir des prix plus élevés et les privilégieront par rapport aux utilisations énergétiques.

L'Europe dispose d'un potentiel important de résidus agro-industriels pouvant être utilisés comme biocombustible, en raison de la diversité de ses cultures et des agro-industries qui les transforment. Des pays comme l'Espagne, l'Italie et la Grèce pour l'huile d'olive, la Russie et l'Ukraine pour l'huile de tournesol et la Turquie pour les noix sèches sont les

leaders mondiaux de la production de ces cultures et, par conséquent, de leurs résidus de transformation.

Selon les processus dont ils sont issus, les biocombustibles qui en résultent ont des qualités différentes. Les résidus qui n'ont subi qu'un traitement physique (séparation dans la plupart des cas) ont une bonne qualité de biocombustible assez régulière et conviennent même à un usage domestique dans de petites chaudières ou même des poêles. C'est le cas des noyaux d'olives, des coquilles de noix sèches, des noyaux de pêches, etc., pour lesquels il suffit d'ajuster l'humidité (ou simplement de les protéger de la pluie) et de modifier la taille des particules dans certains cas pour les homogénéiser (éliminer les fines, casser les grosses particules, etc.). Les biomasses provenant des processus d'extraction de l'huile (tourteaux d'olive, poudre de noyau de raisin) qui ont subi une extraction chimique à l'hexane et qui sont principalement composées de la chair pressée du fruit, ont généralement plus de cendres et d'autres caractéristiques (par exemple le chlore) qui ne les rendent pas adaptées aux petits systèmes de combustion ; les applications industrielles sont donc préférées.

Certains résidus agro-industriels ont déjà un marché assez bien développé, que ce soit pour des appareils industriels ou domestiques à des fins bioénergétiques ; c'est le cas du tourteau d'olive et des noyaux d'olive en Espagne. Pour d'autres résidus ou d'autres pays, la situation n'est pas la même. L'objectif de ce guide est de partager une partie des connaissances et de l'état de l'art en matière de valorisation de ces résidus,



en se basant sur les expériences des pays dont les marchés sont plus avancés et sur des cas concrets et exemplaires.

Comme le montre ce guide, le potentiel est important et les biocombustibles solides agro-industriels pourraient contribuer à la transition énergétique et aider l'Union européenne à atteindre les objectifs de décarbonisation pour 2030 et 2050 de manière rentable. Toutefois, il est essentiel de les utiliser avec les technologies appropriées et modernes, adaptées aux particularités du combustible, afin d'éviter les dysfonctionnements ou les émissions excessives.





Résidus, sous-produits ou déchets ?

Dans le langage courant, sur les marchés et parfois dans la littérature scientifique, des termes tels que "résidus", "déchets" ou "sous-produits" sont souvent utilisés de manière interchangeable pour décrire les types de biomasse générés par les agro-industries. Le problème est que - du moins dans le contexte juridique européen, tel que défini par la directive-cadre sur les déchets - ces termes ont des implications différentes.

Un **produit** est une matière délibérément créée dans un processus de production.

Un **résidu de production** est une matière qui n'est pas délibérément produite dans un processus de production. Il peut s'agir ou non d'un déchet.

Un **déchet** est une substance ou un objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire. Le détenteur de déchets doit remplir des obligations légales spécifiques.

Un **sous-produit** est un résidu de production qui n'est pas considéré comme un déchet si les conditions suivantes sont remplies :

- l'utilisation ultérieure de la substance ou de l'objet est certaine ;
- la substance ou l'objet peut être utilisé directement sans autre traitement que la pratique industrielle normale ;
- la substance ou l'objet est produit en tant que partie intégrante d'un processus de production ; et
- l'utilisation ultérieure est légale, c'est-à-dire que la substance ou l'objet répond à toutes les exigences pertinentes en matière de protection du produit, de l'environnement et de la santé

pour l'utilisation spécifique et n'entraînera pas d'effets négatifs globaux sur l'environnement ou la santé humaine.

La définition des critères de caractérisation d'un résidu de production en tant que "sous-produit" peut se faire soit au niveau européen (par des actes d'exécution de la Commission européenne), soit au niveau des États membres (à la suite d'une procédure de notification).

Le statut juridique des résidus agro-industriels est souvent compliqué par l'absence de tels actes, que ce soit au niveau européen ou au niveau des États membres. Au moment de la rédaction de ce guide, un processus est en cours en Espagne pour caractériser les grignons d'olive comme un "sous-produit", mais les actes juridiques nationaux contraignants ne sont pas encore en vigueur.

Les auteurs de ce guide considèrent que les types de biomasse couverts par celui-ci remplissent généralement les critères de caractérisation en tant que "sous-produits", du moins dans les États membres où leur production est concentrée. Toutefois, et afin d'éviter tout malentendu, le terme plus neutre de "résidu" est employé tout au long du guide



Noyaux d'olive

DESCRIPTION

Les noyaux d'olive sont un résidu de biomasse solide provenant des olives utilisées dans la production d'huile d'olive. Ce résidu est composé de l'endocarpe ("noyau" ou "os") de l'olive. Le noyau d'olive se trouve en morceaux broyés, car les olives sont préalablement broyées afin d'améliorer le processus d'extraction de l'huile d'olive par des méthodes physiques. La chair et la peau des fruits de l'olive ainsi que les noyaux constituent ce que l'on appelle le "grignon d'olive". Par conséquent, les noyaux d'olive sont produits comme une fraction distincte par les moulins à olives qui intègrent un processus physique pour séparer le noyau d'olive du grignon d'olive, généralement suivi d'une étape de séchage pour réduire leur teneur en humidité.

En outre, les noyaux d'olive peuvent également être obtenus dans les industries d'extraction d'huile de grignons d'olive. Dans ce cas, le noyau d'olive est généralement obtenu à partir des grignons d'olive avant l'extraction chimique de l'huile de grignons d'olive, de sorte que les noyaux d'olive ne sont pas mélangés aux produits chimiques et que leur qualité est meilleure. En Espagne, il est maintenant courant de séparer les morceaux de noyaux d'olive avant l'extraction chimique de l'huile, ce qui fait que la teneur en noyaux d'olive contenus dans le tourteau

d'olive a diminué ces dernières années, avec des conséquences sur le bilan de masse et la qualité du tourteau d'olive. En Grèce, la séparation des noyaux d'olive des grignons d'olive n'est pas encore une pratique répandue.

Alternativement, dans certains cas, le noyau d'olive peut être obtenue à partir du grignon d'olive épuisé (tourteau d'olive) après l'extraction chimique. Cette séparation consiste en un processus de séparation physique ; il n'est plus nécessaire d'effectuer un séchage supplémentaire des noyaux d'olive, car ils ont déjà une faible teneur en eau. Un résumé des opérations à partir desquelles le noyau d'olive peut être obtenu dans l'industrie de l'huile d'olive et de l'huile de grignons d'olive est présenté dans la **figure 10**.

La teneur en eau du noyau d'olive, obtenu soit au moulin à huile, soit dans les installations d'extraction des grignons d'olive, est assez élevée - environ 22 à 25 % en poids. En outre, la capacité de séparation de l'endocarpe du tourteau d'olive est limitée, et les fractions les plus petites restent donc dans le tourteau.

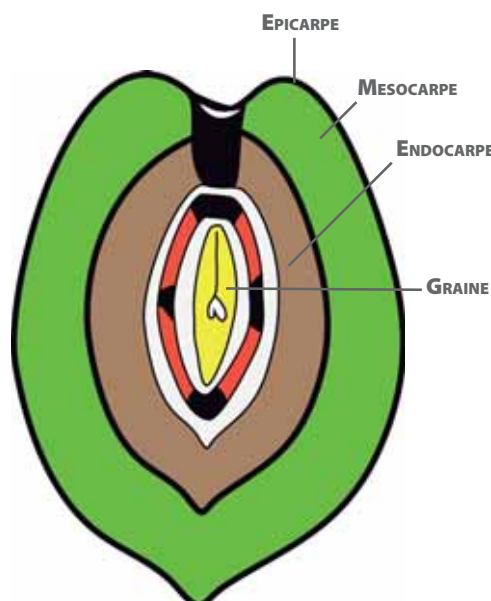


FIGURE 1

Les parties d'un fruit d'olivier. Source: AVEBIOM



L'extraction de l'huile d'olive peut se faire par différents procédés, mais les plus répandus en Europe sont les procédés de centrifugation de l'huile d'olive à deux et trois phases. Le procédé à deux phases est considéré comme le plus moderne et le plus efficace, et il détient aujourd'hui la plus grande part du marché. Le bilan de masse d'un procédé à deux phases est présenté à la figure 3 ; comme on peut le constater, chaque tonne d'olives produit environ 8,3 % de noyaux d'olive (en poids à la réception, par rapport au poids des olives traitées) ; le rendement réel peut varier en fonction de la variété d'olive et des configurations techniques des procédés.

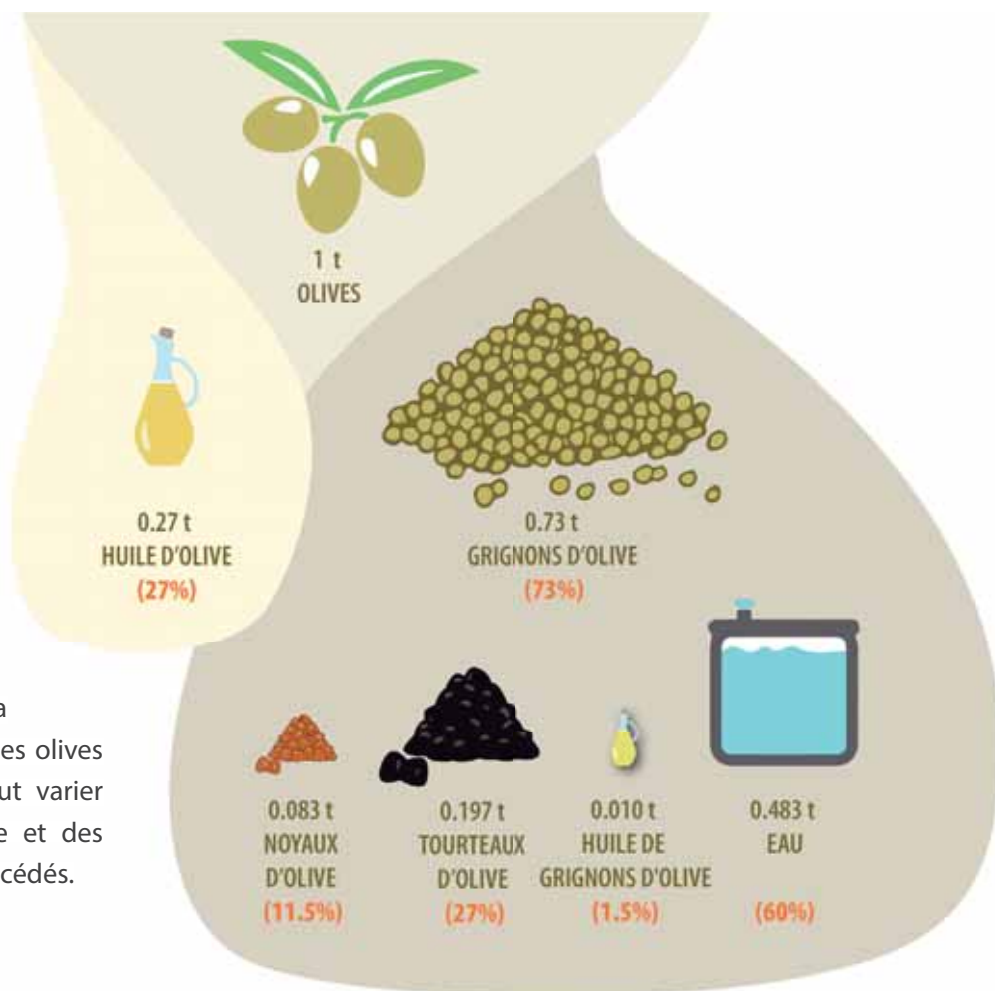


FIGURE 3

Bilan de masse dans la production d'huile d'olive en deux phases.
Source: AAE 2013

FIGURE 2

Noyaux d'olive valorisés, nettoyés et séchés. Source: AVEBIOM





POTENTIELS ET RÉPARTITION EN EUROPE

La disponibilité des noyaux d'olives est liée à la culture de la production d'huile d'olive, et donc en Europe est principalement dans les pays méditerranéens. La surface totale consacrée à la culture de l'olive selon les données de la FAO (<http://faostat.fao.org>) est d'environ 10,5 Mha (2019).

L'Espagne est le premier producteur mondial d'huile d'olive et, par conséquent, le premier producteur mondial de noyaux d'olive. En Espagne, la culture de l'olive s'étend sur 2,6 Mha (2019). La deuxième plus grande surface cultivée se trouve en Tunisie, avec environ 1,6 Mha (2019). Cependant, il est remarquable qu'en Espagne le rendement moyen de l'olive soit 5 fois plus important qu'en Tunisie (2,8 t/ha contre 0,5 t/ha). La production européenne d'huile

d'olive représente plus de 70 % de la production mondiale.

Les autres pays européens ayant une production importante d'huile d'olive sont l'Italie, le Portugal et la Grèce. Les autres pays non européens producteurs d'huile d'olive se trouvent principalement dans le bassin méditerranéen : la Tunisie, la Turquie, le Maroc, l'Égypte, l'Algérie ou la Syrie, par exemple.

La production d'olives est soumise à de fortes variations annuelles dues aux conditions météorologiques, car une grande partie des terres sont cultivées sans irrigation, et dans des climats présentant des variations annuelles du régime des précipitations. En outre, le caractère alternatif des

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE NOYAUX D'OLIVE PAR PAYS (moyenne 2010-2019)

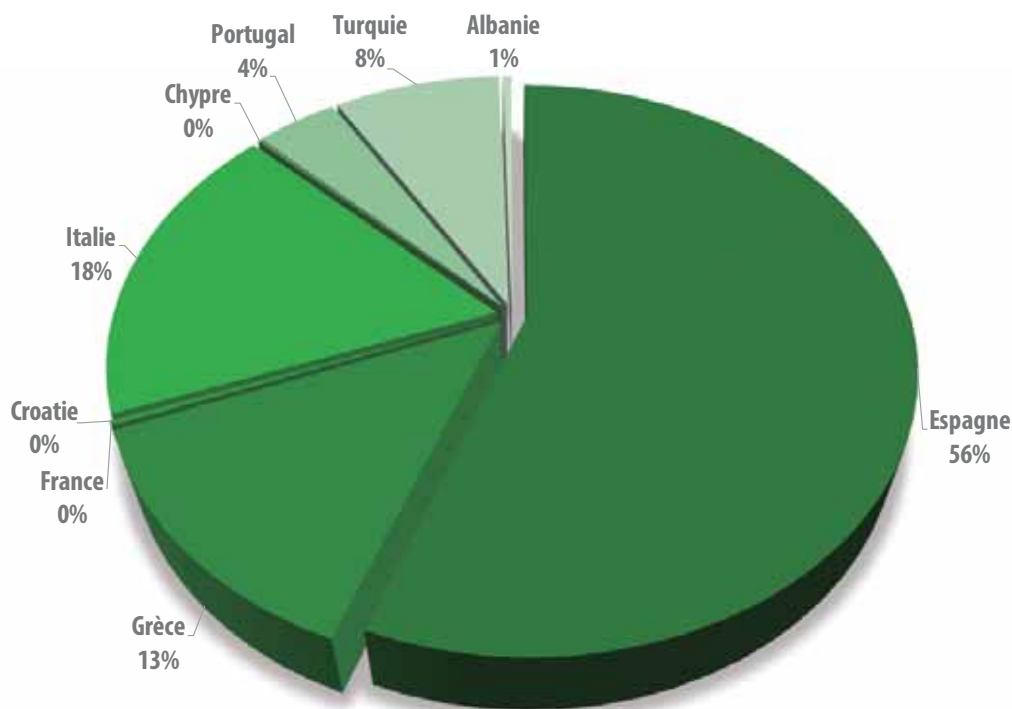


FIGURE 4

Répartition du potentiel théorique de noyaux d'olive dans l'UE + Turquie + Albanie (2019). Source : Élaboration AVEBIOM avec les données FAOstat



espèces d'oliviers a un impact sur les rendements de la production d'olives et, par conséquent, sur la production d'huile d'olive et la disponibilité des noyaux d'olive.

Les **figures 4 et 5** présentent une estimation des quantités de noyaux d'olive produites en Europe. L'estimation est basée sur la production annuelle d'olives pour la production d'huile d'olive. Ces quantités représentent un potentiel théorique, car la disponibilité réelle dépend : a) de la quantité réelle de tourteaux d'olive traités pour séparer le noyau d'olive ; b) de l'efficacité de ces systèmes (il faut noter que si des systèmes de séparation inefficaces sont déployés dans le moulin à huile ou dans les installations d'extraction, une partie non négligeable du noyau d'olive restera non séparée dans le tourteau d'olive).

En conséquence, une estimation de la quantité de noyau d'olive disponible par pays ou par zone devrait se baser sur la gestion réelle des tourteaux d'olive en pratique.

En ce qui concerne la prospective du potentiel des noyaux d'olive, on s'attend à une croissance de leur disponibilité sur le marché pour deux raisons principales : 1) la pratique de la séparation des noyaux d'olive du tourteau d'olive (avant l'extraction chimique de l'huile dans les installations d'extraction) est de plus en plus répandue ; par conséquent, le tourteau d'olive contient moins de noyaux ; et 2) la superficie des oliveraies s'étend, se modernise et fournit des systèmes d'irrigation, de sorte que la production tend à augmenter.

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE NOYAUX D'OLIVES (t/a)

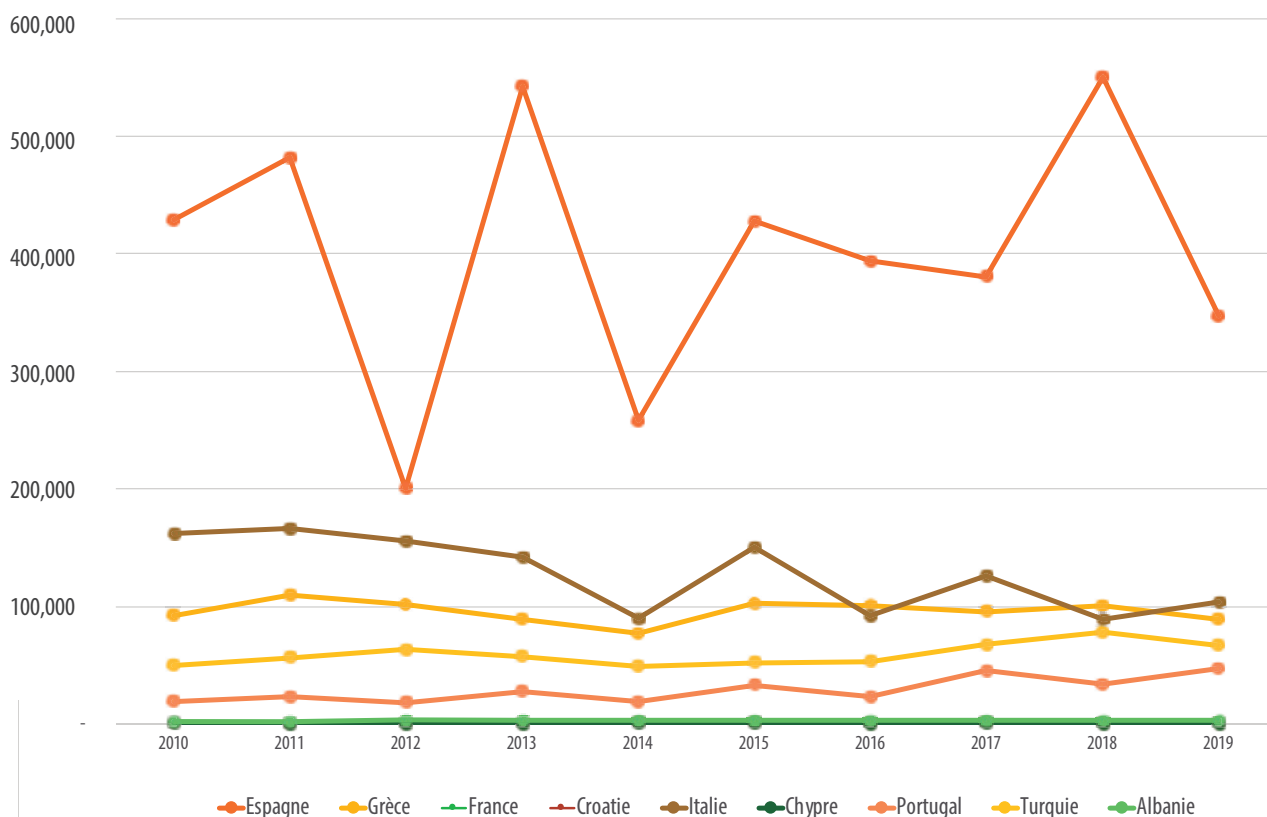


FIGURE 5

Potentiel théorique annuel des noyaux d'olive (en tonnes) par pays.

Source: AVEBIOM élaboration avec FAOstat data



CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT SONT ILS UTILISÉS ?

Les olives sont broyées dans les moulins à huile pour améliorer l'efficacité du processus et, par conséquent, les noyaux sont également broyés. Le produit est granulaire avec des tailles comprises entre 2 et 4 mm environ. Grâce aux travaux de normalisation du projet Biomassud (SUDOE - Interreg) et Biomassud Plus (H2020), il existe en Espagne une norme de qualité UNE 164003:2014 qui établit les principales caractéristiques physiques et chimiques du biocombustible solide. Cette norme est en cours de mise à jour par le comité espagnol (CTN-164) avec quelques légères modifications des seuils et devrait être approuvée début 2022. Elle est également en cours de reproduction avec des différences mineures par le comité analogue en Italie (la norme sera nommée UNI 1609270).

Lorsqu'ils sont séparés, les noyaux d'olive ont une teneur en humidité de 20 à 22 % et contiennent une quantité assez importante de fines qui nuisent à leur qualité de biocombustibles. Il est possible de mettre en œuvre un processus de valorisation qui

consiste essentiellement en deux étapes : réduction de l'humidité et élimination des fines par tamisage. Le processus peut être facilement intégré dans les installations des moulins à huile ou des extracteurs de grignons d'olive, ou bien dans des installations séparées de sociétés tierces.

Les noyaux d'olive ont une faible teneur en cendres et peuvent donc être utilisés dans tous les types d'appareils, des plus petits (poêles et chaudières individuelles domestiques) aux chaudières industrielles. Aujourd'hui, l'utilisation des noyaux d'olive sans aucune valorisation (séchage et nettoyage des fines) est encore très courante (soit environ 70-80 % en Espagne). Dans ces conditions, la plupart des noyaux d'olive sont consommés dans des installations industrielles qui, si elles sont équipées de technologies avancées de combustion et d'épuration des gaz, peuvent utiliser le noyau d'olive sans problèmes de combustion ni impacts environnementaux. Des problèmes surgissent lorsque ce n'est pas le cas, par exemple lorsque des

PARAMÈTRE	CLASSE DE QUALITÉ			UNITÉ
	A1	A2	B	
HUMIDITÉ	≤ 12	≤ 12	≤ 16	m-% s.r.
CENDRES	≤ 0.7	≤ 1.0*	≤ 1.3*	m-% b.s.
TENEUR EN HUILE	≤ 0.6	≤ 1.0	≤ 1.5	m-% b.s.
FINES (F<2MM)	< 15	< 15	< 25	m-% s.r.
VCN	≥ 15.7	≥ 15.7	≥ 14.9	MJ/kg (s.r.)
AZOTE	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.6	m-% b.s.
SOUFRE	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.05	m-% b.s.
CHLORE	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.05	m-% b.s.

TABLE 1

Limites des principaux paramètres pour les noyaux d'olives selon BIOMassud® certification system

*Les valeurs de teneur en cendres de la norme espagnole (UNE 164003) ont été mises à jour par le comité CTN-164 au début de 2022 et la valeur sera fixée à 1,2 % pour A2 et 2,0 % pour B. La norme italienne (UNI 1609270) sera également publiée au premier semestre de 2022 et les valeurs seront très probablement les mêmes : 1,2 % pour A2 et 2,0 % pour B.



noyaux d'olive non valorisés (non nettoyés) sont utilisés dans des poêles ou des chaudières obsolètes dans les villes, générant des émissions, des problèmes de fumée et d'odeur, ce qui est incompatible avec la qualité de l'air.

Lorsqu'ils sont valorisés, les noyaux d'olive constituent un biocombustible solide de très haute qualité, dont les caractéristiques sont très proches de celles des granulés de bois de bonne qualité, et qui peut donc être utilisé dans le secteur domestique et tertiaire. Le **Table 1** ci-dessous présente les principales spécifications des noyaux d'olive valorisés (selon le système de certification BIOmasud®).

Déjà, plusieurs fabricants de chaudières à biomasse produisent des modèles de chaudières adaptés à ce combustible, obtenant d'excellents résultats en matière de rendement et de limites d'émissions atmosphériques. De plus, de nombreux appareils à granulés de bois peuvent également utiliser les noyaux d'olive avec quelques adaptations nécessaires étant donné la différence de taille entre les granulés de bois et les noyaux d'olive broyés (système d'alimentation, pot de combustion, grille, régulations d'air à adapter).

Comme les autres types d'agrobiomasse, les noyaux d'olive ne sont pas hors du champ d'application du règlement 2015/1189 de la Commission fixant les exigences d'écoconception applicables aux chaudières à combustible solide. Dans le cadre du

projet AgroBioHeat, les performances de combustion des noyaux d'olive - ainsi que de plusieurs autres assortiments de combustibles d'agrobiomasse - ont été étudiées dans une série de tests. Les tests ont été réalisés dans des conditions de laboratoire, en utilisant des chaudières à biomasse de pointe et une procédure de test commune suivant la norme de test des chaudières EN 303-5.

En particulier, les noyaux d'olive ont été brûlés dans une chaudière de 49 kW qui utilise une technologie de combustion à grille mobile, associée à un système ESP pour le contrôle des émissions de particules. Les émissions saisonnières de CO, d'OGC, de NOx et de PM se sont révélées inférieures aux limites du règlement sur l'écoconception pour les combustibles issus de la biomasse ligneuse. Cela montre comment un tel assortiment de biomasse peut être utilisé dans un système de chaudière moderne, en obtenant des émissions équivalentes à celles de la biomasse ligneuse.

Plus d'information:

Brunner, T., Nowak, P., Mandl, C., Obernberger, I. (2021) *Assessment of Agrobiomass Combustion in State-of-the-Art Residential Boilers*. *Actas de la 29th European Biomass Conference and Exhibition*, páginas 379 - 388. DOI: 10.5071/29thEUBCE2021-2AO.5.1. Disponible para su descarga, previa inscripción, en el siguiente sitio web: <http://www.etaflorence.it/proceedings/>



FIGURE 6

Noyaux d'olive broyés. Source: AVEBIOM



EXEMPLES D'UTILISATION

DES NOYAUX D'OLIVES POUR CHAUFFER UNE ÉCOLE À GRENADE

Le centre d'enseignement secondaire CES Santiago Ramón est un établissement d'enseignement qui comprend l'enseignement secondaire obligatoire, le baccalauréat et divers diplômes de formation professionnelle, situé dans la partie occidentale de la ville de Grenade en Espagne. Il est très proche de l'une des principales entrées du centre-ville et du campus universitaire de Fuentenueva, où se trouvent la plupart des diplômes en sciences et en ingénierie de l'université de Grenade.

L'installation de biomasse du CES Ramón y Cajal de Grenade a été réalisée en 2018. Elle fait partie d'un projet de réhabilitation énergétique avec le soutien de l'IDAE (Institut pour la diversification et les économies d'énergie), dans le cadre du programme PAREER-CRECE.

Le bâtiment du CES Ramón y Cajal date de 1983, avec une surface construite de 7.602 mètres carrés. Au moment de l'amélioration énergétique, sa cote énergétique était de C.

Avant l'installation de la chaudière à biomasse, une chaudière à mazout était utilisée avec une puissance nominale de 476 kW et un rendement saisonnier de 52 %. La consommation de fioul domestique était d'environ 13.767 litres par an.

La nouvelle installation de biomasse dispose d'une chaudière multicomcombustible de la marque ITB, modèle INV-9245050, d'une puissance de 450 kW, accompagnée d'un réservoir tampon de 4.000 litres (une puissance légèrement inférieure pourrait être installée en raison de l'amélioration des fenêtres et du contrôle du système de climatisation, tous encadrés dans le projet d'amélioration énergétique), avec un rendement saisonnier de 82,80 %. Le système est alimenté par un silo vertical de 38 mètres cubes, qui

est masqué de manière à ne pas affecter l'esthétique du bâtiment. Ce système est également connecté au système de télésurveillance PRETEL de l'IDAE.

Le passage du fioul domestique à la biomasse a permis de réaliser des économies annuelles sur les coûts de combustible de plus de 48 % (prix de 2019). Avec les prix actuels, et compte tenu de la stabilité des noyaux d'olive, qui est le combustible le plus utilisé, les économies de coûts seraient plus importantes. En outre, l'abandon progressif du fioul domestique a permis de réduire les émissions de CO₂ de plus de 180 tonnes par an



FIGURE 7 ET 8

CES Ramón y Cajal et chaufferie. Source: Intecbio S.L.



PREMIER HÔTEL À JAÉN, EN ESPAGNE, UTILISANT DES NOYAUX D'OLIVE COMME COMBUSTIBLE

Dès 2006, l'hôtel Spa Sierra de Cazorla, situé à La Iruela, Jaén, en Espagne, a décidé de renoncer aux énergies fossiles et est devenu l'un des premiers hôtels à énergie durable d'Espagne et le premier à utiliser des noyaux d'olive comme combustible. Bien qu'aujourd'hui cette solution puisse être considérée comme logique puisque la région de Jaén est un leader mondial dans la production d'huile d'olive - et donc de résidus dérivés - jusqu'à cette époque, les noyaux d'olive n'étaient utilisés que dans des appareils traditionnels et obsolètes. L'utilisation de noyaux d'olive dans une chaudière moderne était un défi car il n'y avait pas de norme et les conditions entre les fournisseurs étaient parfois différentes. Après de nombreuses années de fonctionnement réussi, il est possible de dire que cette expérience a passé l'épreuve du temps et peut être considérée comme un bon exemple.

L'installation, d'une capacité totale de 800 kW, comprend deux chaudières HERZ Biomatic de 400 kW et a été réalisée par son partenaire espagnol Termosun Energías S.L. Ces chaudières, même si elles ont 15 ans de vie utile, atteignent toujours des rendements de plus de 95 %. Elles disposent d'une "unité à processus multiples" pour

le contrôle automatique de la chaleur, l'épuration des gaz de combustion et le contrôle des particules, et elles modulent également la chaleur. De même, les chaudières sont équipées de dispositifs automatiques de sécurité contre les incendies et de collecte automatique des cendres. Les noyaux d'olive sont alimentés par deux silos d'une capacité de 45 tonnes chacun. La chaleur produite par la chaudière est utilisée pour l'eau chaude sanitaire, le chauffage des locaux, le spa et la salle de sport. Les jours d'hiver, lorsque les chaudières fonctionnent à pleine puissance, environ 1 300 kg de noyaux d'olive par jour sont consommés, tandis que la consommation quotidienne moyenne annuelle est d'environ 730 kg de noyaux d'olive (fonctionnant onze mois par an principalement pour le spa et la production d'eau chaude).

FIGURE 9

Hôtel Spa Sierra de Cazorla.

Source: Termosun Energías S.L.





DES CLÉS POUR L'UTILISATION DES NOYAUX D'OLIVE

L'utilisation des noyaux d'olive pour le chauffage dans les applications de chauffage à petite et moyenne échelle est possible. Pour assurer une performance efficace et environnementale, quelques clés sont à retenir :

VALORISATION. Disposer de noyaux d'olive de haute qualité est une étape cruciale pour améliorer la qualité du combustible. Le processus de valorisation comprend des opérations de séchage et d'élimination des fines. Ce processus de valorisation permet d'obtenir un biocombustible de bonne qualité, adapté même aux plus petits appareils domestiques.

Le **TEMPS DE COMBUSTION** de la grille (dans le cas de grilles mobiles avec un nettoyage continu) ou les intervalles de nettoyage de la grille (dans le cas d'un nettoyage discontinu) doivent être ajustés au temps de combustion du charbon de bois des noyaux d'olive afin d'obtenir une conversion élevée du carbone et, par conséquent, une faible teneur en carbone des cendres de la grille¹.

L'utilisation des noyaux d'olives ne pose pas de problèmes en ce qui concerne la manipulation et l'alimentation du combustible. Cependant, compte tenu de la **PETITE TAILLE DES PARTICULES DE COMBUSTIBLE** des noyaux d'olive broyés par rapport aux granulés par exemple, une grille spécialement conçue est nécessaire afin d'éviter que le combustible ne glisse par les ouvertures de la grille directement dans le cendrier¹.

¹ Source: Biomass Plus project deliverable 5.5 "Guidelines for assessment of appropriate performance conditions of small domestic heating appliances with relevant Mediterranean solid biofuels"

La **CERTIFICATION INDÉPENDANTE** de la qualité par des tiers avec un système tel que BIOmasud® est de plus en plus nécessaire.

Les noyaux d'olive valorisés de bonne qualité garantissent des propriétés de combustible plus constantes et appropriées, à l'intérieur de la fourchette des normes, et donc une meilleure performance des poêles et des chaudières déjà réglés et optimisés pour ces normes de combustible.

Le noyau d'olive certifiée est un gage de confiance. D'une part, pour les clients, qui font davantage confiance au combustible et au fournisseur. D'autre part, pour les décideurs et les autorités, qui considèrent qu'un combustible certifié est la preuve d'un bon fonctionnement de la chaudière, et donc de faibles émissions atmosphériques et de la compatibilité avec la qualité de l'air. En ce sens, de plus en plus d'appels d'offres publics exigent ou accordent des points supplémentaires à la biomasse certifiée, voire subordonnent l'obtention de financements et de subventions à la certification du combustible (par exemple, la loi espagnole RD 477).



Tourteau d'olive *'grignon d'olive épuisé'*

DESCRIPTION

Le tourteau d'olive (également appelé grignon d'olive épuisé) est un résidu produit à partir du grignon d'olive obtenu dans les moulins à olives après le processus d'extraction de l'huile d'olive. Le grignon d'olive est composé des restes de l'endocarpe (noyau), du mésocarpe (pulpe) et de l'épicarpe (pelure) de l'olive après l'extraction physique de l'huile.

Les grignons d'olive conservent une quantité non négligeable d'huile résiduelle qui peut être valorisée par un traitement supplémentaire. Dans certains pays, une deuxième extraction physique appelée "repaso" (repasse/reprocess) est effectuée pour réduire la teneur en huile résiduelle de 6 - 7 % à 1,5 % (telle que reçue) au moyen d'un processus de centrifugation pour extraire l'huile d'olive (méthode d'extraction physique) dans un "décanteur". L'huile supplémentaire peut être encore réduite par des méthodes d'extraction chimique, employées dans des installations connues sous le nom de moulins à grignons d'olive. Dans les pays où le processus de "repaso" n'est pas répandu, les moulins à grignons d'olive traitent des grignons d'olive contenant des quantités plus importantes d'huile résiduelle. La matière première des moulins à grignons d'olive peut être soit des grignons d'olive humides bruts, soit des grignons d'olive humides avec une moindre teneur en noyaux d'olive broyés, si cette séparation a été appliquée au préalable.

Les moulins à grignons d'olive effectuent le séchage des grignons d'olive entrants (matière première) afin de réduire leur teneur en eau, puis appliquent l'extraction chimique. Leur principal produit est l'huile de grignons d'olive brute, qui peut être raffinée en huile de grignons d'olive pour le marché. Leur principal résidu est le tourteau d'olive ("tourteau d'olive épuisé"), qui est une matière très sèche et granulée. Aujourd'hui, de nombreuses installations d'extraction - notamment en Espagne - séparent l'endocarpe restant du grignon d'olive avant l'extraction chimique, car il est plus précieux. Cependant, il n'est pas possible de parvenir à une séparation complète de tout l'endocarpe, et les plus petites fractions restent dans le tourteau d'olive à traiter, et donc, dans les grignons d'olive épuisés.

La **figure 10** décrit les chemins alternatifs pour obtenir les différents biocombustibles dans la chaîne de gestion des grignons d'olive. Le schéma est simplifié et ne reprend que les principales options. Il ne fournit pas le détail des opérations internes (différentes étapes d'ajout et de récupération de l'eau, centrifugation et décantation). Les fractions liquides résiduelles et les déchets ne sont pas non plus représentés.

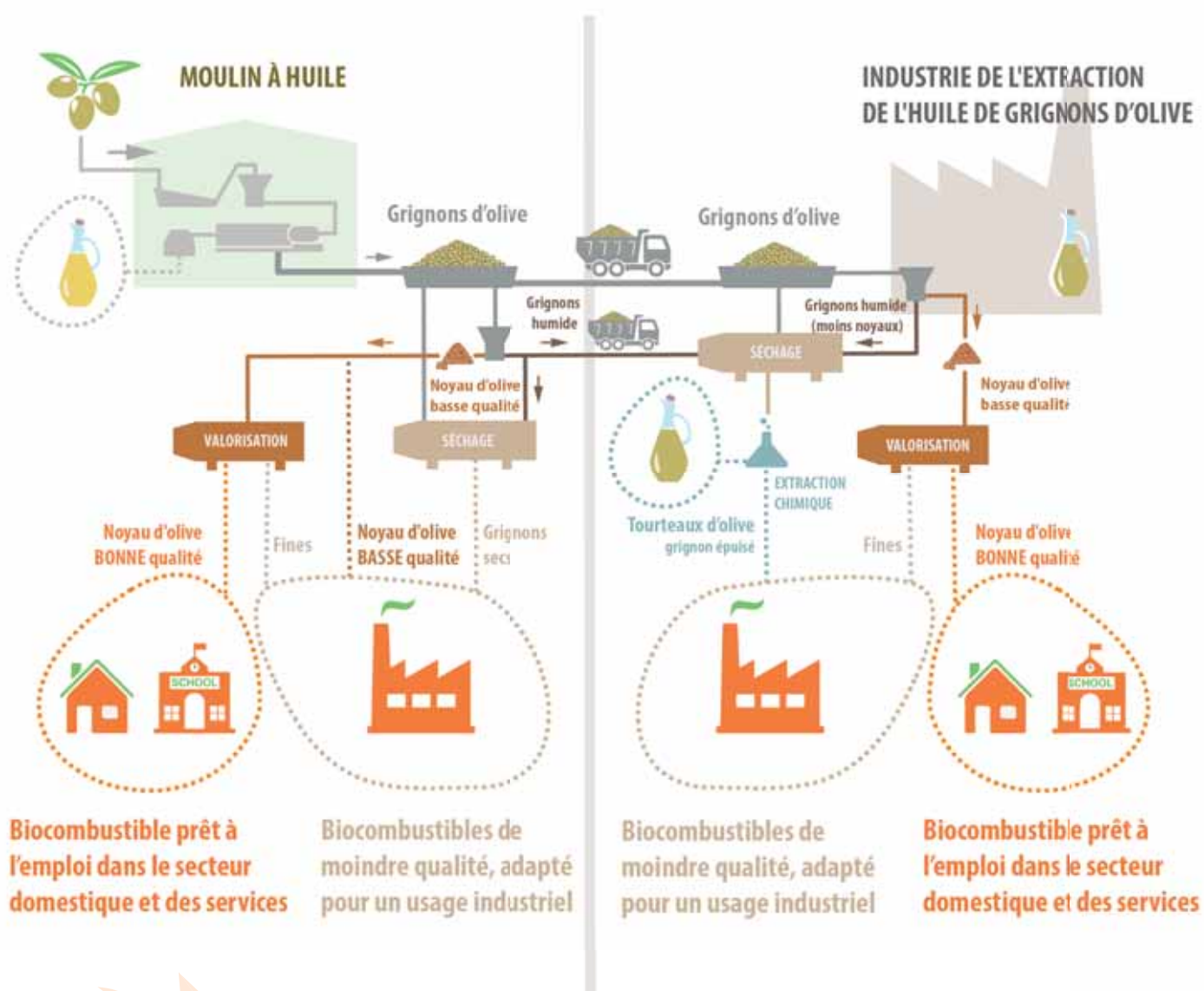


FIGURE 10

Alternatives pour obtenir des biocombustibles (grignons d'olive, tourteaux d'olive et noyaux d'olive) dans les moulins à huile et les industries d'extraction d'huile de grignons d'olive. Source: AVEBIOM.



POTENTIELS ET RÉPARTITION EN EUROPE

Comme les noyaux d'olive, la répartition du tourteau d'olive est liée à la culture de l'olivier. Les grignons d'olive se trouvent principalement à l'état brut dans les moulins des pays ou des zones à faible production, où les installations d'extraction chimique ne sont généralement pas disponibles. Dans les zones denses de production d'huile d'olive, il est habituel que le grignon d'olive brut fasse l'objet d'une extraction chimique, puis que le tourteau d'olive soit produit (grignon d'olive épuisé). Les principaux producteurs en Europe sont l'Espagne, la Grèce, l'Italie et le Portugal.

Une estimation de la production de tourteaux d'olive avec le bilan massique de la **Figure 3** a été réalisée dans la **Figure 11**. En moyenne, 0,197 t de tourteaux

d'olive sont générées pour chaque tonne d'olives traitées pour l'extraction d'huile d'olive (environ 20%).

Une partie des quantités de tourteaux d'olive est autoconsommée dans le processus de production d'huile de grignons d'olive, car il faut de la chaleur pour sécher les grignons d'olive humides et de la vapeur pour l'extraction chimique. Dans certains pays, il est également courant de produire la chaleur du processus à partir d'unités de cogénération au gaz naturel. La **Figure 11** présente le potentiel théorique du tourteau d'olive ; pour connaître le potentiel commercial disponible, il faut soustraire le tourteau d'olive déjà utilisé en autoconsommation pour produire de la chaleur dans les usines de broyage de grignons d'olive

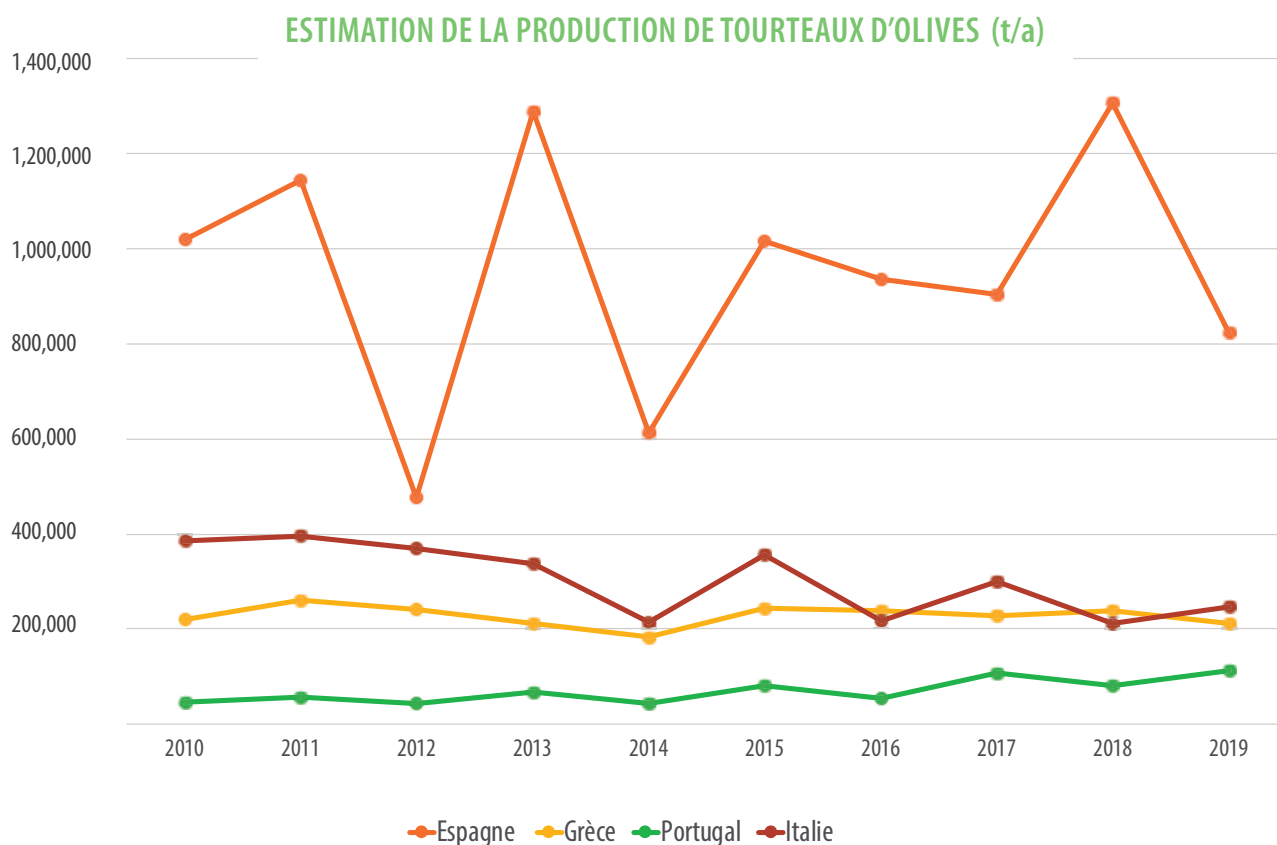


FIGURE 11

Production de tourteaux d'olive (grignons d'olive épuisés) par pays en tonnes par an (2019)

Préparé par AVEBIOM avec les données de FAOstat.



CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT SONT-ILS UTILISÉS ?

Il n'existe pas de norme spécifique pour le tourteau d'olive en tant que biocombustible ; toutefois, des valeurs indicatives sont présentées dans la norme ISO 17225-1. Le format est granulaire et il peut être facilement granulé. Il est déjà assez dense (600-650 kg/m³), de sorte que la granulation, plutôt que d'améliorer le coût du transport, peut être une option pour améliorer l'alimentation ou minimiser les pertes.

Son taux d'humidité est d'environ 20 % après le processus d'extraction, mais il est ensuite séché naturellement de manière progressive et il est généralement possible de le trouver à des taux d'humidité inférieurs (environ 15 %).

En tant que combustible, les principales caractéristiques chimiques à prendre en compte sont la teneur élevée en cendres - potentiel plus de 10 fois supérieur à celui des granulés de bois ou des noyaux d'olive - l'azote, le soufre et le chlore. Le **Table 2** résume les propriétés types du tourteau d'olive épuisé comme biocombustible. L'UE établit un maximum de 3% de teneur en huile dans les échanges de tourteaux d'olive à des fins bioénergétiques, une teneur plus élevée implique une taxe car on considère que son utilisation sera destinée à l'alimentation animale. Les lois nationales peuvent réglementer la teneur maximale en huile résiduelle du tourteau d'olive.

PARAMÈTRE	PLAGE TYPE	VALEUR TYPE	UNITÉ
HUMIDITÉ	12 – 18	15	w-% a.r.
CENDRES	5 – 10	7.2	w-% d.b.
VCN	15.0 – 16.2	15.7	MJ/kg (a.r.)
TENEUR EN HUILE	< 2	1.3	w-% a.r.
DENSITÉ APPARENTE	600 – 650		kg/m ³
AZOTE	1.0 – 2.0	1.2	w-% d.b.
SOUFRE	0.07 – 0.15	0.08	w-% d.b.
CHLORE	0.12 – 0.40	0.2	w-% d.b.

TABLE 2

Valeurs types pour le tourteau d'olive. Source: AVEBIOM propre élaboration

En raison de ces caractéristiques, le tourteau d'olive est clairement un biocombustible plus adapté à des fins industrielles. En tant que tel, il nécessite des équipements capables de faire face à la production de cendres, dans les simples chauffages domestiques, il peut causer à l'utilisateur une pratique peu conviviale, car l'utilisateur devant s'occuper du nettoyage dans les appareils sans système de nettoyage automatisé.

D'autres paramètres comme les fines, l'azote ou le chlore rendent difficile son utilisation dans les appareils domestiques en raison des émissions, de la corrosion des composants métalliques des appareils, etc. La plupart des tourteaux d'olive sont utilisés dans des activités industrielles (autoconsommation dans les moulins à grignons d'olive, les briqueteries, les fours à ciment, comme combustible de co-combustion dans les centrales à charbon ou comme combustible dédié aux centrales à biomasse, etc.) Cependant, certaines quantités sont encore brûlées dans des appareils obsolètes comme appareils domestiques dans certaines régions, car le tourteau d'olive a un prix très compétitif par rapport à la plupart des alternatives fossiles ou de biomasse.

FIGURA 12

Tourteau d'olives. Source: AVEBIOM





EXEMPLES DE RÉALISATION

GAZÉIFICATION DES GRIGNONS D'OLIVE SÉCHÉS À ACEITES GUADALENTÍN

Pour les moulins à huile, le traitement des grandes quantités de grignons d'olive qu'ils produisent en tant que résidu est un problème majeur qui nécessite une gestion durable sur le plan environnemental et économiquement réalisable. Dans les régions où la production d'huile d'olive est importante, les grignons d'olive sont généralement fournis aux moulins à grignons d'olive, qui procèdent à l'extraction chimique de l'huile de grignons d'olive brute. Cependant, les oliveraies situées dans des zones dépourvues de moulins à grignons d'olive doivent trouver des méthodes de traitement alternatives.

Dans de nombreuses régions, les relations entre les moulins à huile et les moulins à grignons d'olive ont subi des changements au cours des dernières années. Le passage à la production d'huile d'olive à deux phases entraîne la production de grignons d'olive beaucoup plus humides, avec un taux d'humidité dépassant souvent 70 % (contre environ 55 % dans le système à trois phases). Plusieurs moulins à huile effectuent une séparation des noyaux d'olive en tant que fraction distincte, et d'autres mettent en œuvre une extraction physique secondaire de l'huile d'olive ("repaso"). Ces changements obligent les moulins à grignons d'olive à entreprendre de nouveaux investissements dans des bassins pour leur stockage et à augmenter leurs coûts de transformation, en particulier l'énergie, ce qui, dans des situations de faible prix de l'huile de grignons d'olive (leur principal produit) et du tourteau d'olive (leur principal sous-produit), génère un stress économique important. Cette situation a conduit à un cadre instable et difficile pour les extracteurs, et à la création de plus de tensions entre les deux types d'industries,

bien que toutes deux soient finalement obligées de coexister et de se comprendre, puisqu'elles sont fondamentales dans la chaîne de valeur de l'huile d'olive.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le cas du projet promu par l'entreprise familiale Aceites Guadalentín, S.L. située à Pozo Alcón (province de Jaén). Ce producteur d'huile d'olive (moulin à huile) gère un bassin d'alpeorajo (grignons d'olive) d'une capacité d'environ 65.000 tonnes, tant pour sa propre production que pour les quantités produites par les moulins voisins. Sa gestion représente un coût important, entre autres en raison de sa situation éloignée de toute industrie de grignons d'olive. L'entreprise qui traite les grignons d'olive humides pour en extraire l'huile ("repaso", une deuxième extraction physique) a une grande consommation électrique hors réseau, et produit un grignon d'olive séché (humidité < 15 %, teneur en huile résiduelle d'environ 1,5 %), qui ne fait plus l'objet d'une extraction chimique.

L'origine de l'affaire vient de l'intention des Aceites Guadalentín d'inverser la pratique actuelle, de transformer la pratique linéaire actuelle en économie circulaire, et de transformer les problèmes actuels en une opportunité de nouveaux revenus et d'économies, avec une bien meilleure performance environnementale.

Le cœur du projet est un nouveau gazéificateur pour le tourteau d'olive ou les grignons d'olive séchés. Le gazéificateur consomme environ 970 kg/h de grignons d'olive séchés, produisant 2.615 kg/h de gaz de synthèse (avec un PCI d'environ 5,6 MJ/Nm³) et 146 kg/h de biochar (avec une teneur en carbone d'environ 66,58 %). Le gaz de synthèse est brûlé dans des moteurs d'une capacité électrique combinée de 1 MWe (2 x 500 kWe), tandis que 1,88 MWt de chaleur



est disponible (provenant de la réfrigération et des gaz d'échappement) - le rendement total du système est d'environ 62,5 %. L'électricité est utilisée pour l'autoconsommation, en remplacement de celle fournie par un groupe électrogène à huile, tandis que la chaleur est utilisée pour le séchage et d'autres besoins internes.

L'installation a commencé à fonctionner en décembre 2021. L'investissement total s'élève à 3 millions d'euros (travaux de génie civil compris), dont 40 % sont soutenus par l'Agence andalouse de l'énergie. Le système permet d'économiser environ 200.000 litres de mazout par an, utilisés auparavant pour la production d'électricité hors réseau. Des revenus supplémentaires sont générés par le fait

que les noyaux d'olive séparés des grignons d'olive peuvent maintenant être vendus sur le marché (la chaleur du gazéificateur remplace la chaleur d'une chaudière à noyaux d'olive utilisée dans le processus de repaso) ; Aceites Guadalentín mettra en œuvre un système de nettoyage et de séchage pour produire des noyaux d'olive propres à cette fin. Des revenus supplémentaires peuvent être générés par la valorisation du biochar (par exemple, comme agent d'amendement des sols), tandis qu'une unité de production d'hydrogène pourrait être mise en place à l'avenir. Le système de gazéification entraîne une réduction drastique des émissions de CO₂, mais aussi une réduction des émissions de poussière qui se seraient produites si le tourteau d'olive avait été brûlé.



Le système employé par Aceites Guadalentín pourrait être reproduit par d'autres moulins à olives, de plus ou moins grande taille, puisque les processus et les moteurs de gazéification peuvent être de tailles diverses, ou appliqués en modules. Le modèle peut également être transféré aux moulins à grignons d'olive qui pourraient alors consommer leur tourteau d'olive dans la gazéification. Ce type d'installation pourrait changer la donne pour l'industrie de l'huile d'olive et contribuer à réduire considérablement ses émissions. Les attentes sont grandes et de nombreuses administrations, décideurs et extracteurs attendent avec impatience de voir l'évolution et les performances constantes de cette installation pilote unique.

FIGURA 13

Bassin d'Alpeorajo.

Source: AVEBIOM

FIGURA 14

Unité de gazéification de tourteaux d'olives (4 MWt et 1 MWe) Source: AVEBIOM





VIOPAR S.A. - LA PLUS GRANDE ET LA PLUS RÉCENTE CENTRALE ÉLECTRIQUE À BIOMASSE DE GRÈCE

Avec une puissance installée de 5 MWe, la centrale à biomasse de VIOPAR S.A. est actuellement à la fois la plus grande et la plus moderne des unités de ce type en activité en Grèce. Les principales étapes de l'histoire de l'entreprise ont été l'achèvement de la procédure d'autorisation en 2016, sa fusion avec le groupe Ravago en 2017 et le début de la construction de la centrale en 2018. La construction s'étant achevée en 2019, l'exploitation complète a débuté en 2020.

L'usine est située dans la 2e zone industrielle de Volos, à proximité du port (17 km) et des zones agricoles de Thessalie (environ 30 km), ce qui permet une certaine flexibilité dans l'exploitation des combustibles de biomasse nationaux et importés. La centrale est autorisée à fonctionner en utilisant comme combustibles des tourteaux d'olive épuisés, des granulés de coques de tournesol ou des résidus d'égrenage du coton. La consommation annuelle de combustible est d'environ 38 000 tonnes.

Actuellement, l'usine utilise principalement des tourteaux d'olives de deux variétés : "ordinaire", qui présente une distribution granulométrique plus

typique, et "poudre", qui est un matériau plus fin, plus difficile à manipuler par les systèmes de combustion conventionnels. VIOPAR utilise un four à grille mobile ainsi qu'un système d'injection pneumatique séparé pour le combustible en poudre. L'usine utilise la technologie du cycle organique de Rankine (ORC), qui offre de multiples avantages (réduction de la consommation d'eau, absence de nuisances visuelles), et est entièrement équipée de mesures antipollution (précipitateur électrostatique, mesures anti-SOx et anti-NOx), ce qui ramène ses émissions dans les limites fixées par les directives européennes.

L'exploitation de l'usine apporte également de multiples avantages à l'économie locale : 7 emplois permanents pour l'exploitation de l'usine, 120 personnes employées pendant la construction, 200.000 € par an de contributions à la municipalité locale, plus de 230.000 € par an de revenus au port de Volos et au moins 200.000 € par an aux fournisseurs locaux (transporteurs, équipes de maintenance, fournisseurs de consommables, etc.) VIOPAR participe aussi activement à des activités de recherche et développement technologique, en cherchant des moyens de fournir la chaleur résiduelle de sa production aux réseaux locaux de chauffage urbain ou de valoriser les résidus de cendres de combustion.



FIGURE 15 ET 16. Photo aérienne de la centrale électrique à biomasse de 5 MWe de VIOPAR S.A. in Volos, Greece. Source: 27 VIOPAR



DES CLÉS POUR L'UTILISATION DU TOURTEAU D'OLIVE

L'utilisation du tourteau d'olive pour le chauffage est possible, notamment dans les applications industrielles. Il s'agit d'un combustible complexe, et les clés pour une utilisation appropriée en tant que biocarburant solide sont donc les suivantes :

QUALITÉ : Bien que le tourteau d'olive soit un combustible industriel, il y a certains paramètres qui doivent être contrôlés comme :

HUMIDITÉ / TEMPÉRATURE : juste après l'installation d'extraction peut avoir un taux d'humidité plus élevé qui, avec le temps, les transports et les déplacements, diminue jusqu'à sa moyenne de 15%, mais généralement il est stocké dans des cours de stockage sans aucun type de protection du toit. L'humidité peut être problématique dans les chaudières mais aussi dans la logistique et le stockage. Un taux élevé d'humidité peut entraîner un problème d'autocombustion.

TEMPÉRATURE : Il est important de surveiller la température car une auto-combustion dans le stockage peut se produire si l'humidité est suffisamment élevée et augmentée avec de hautes températures extérieures. Les tas stockés doivent être surveillés et des mesures doivent être mises en place en cas d'augmentation des températures (ambiante et du tas). Une inspection appropriée doit être faite en ouvrant le tas ; les inspections visuelles de la surface ne sont pas suffisantes puisque l'auto-combustion commence généralement à l'intérieur.

CHLORE : Le tourteau d'olive a déjà naturellement une teneur en chlore assez élevée. Certaines biomasses similaires, comme les résidus de la production d'olives de table, sont parfois mélangées et, en raison des processus qu'elles subissent (c'est-à-dire l'ajout de sel et d'autres additifs), la teneur en chlore peut être encore plus élevée. Cela a des conséquences sur le système de combustion (corrosion) et sur les émissions (HCl). Les matériaux de la chaudière doivent être suffisamment résistants pour supporter le contenu de cette biomasse et éviter la corrosion.

CENDRES : La teneur en cendres du tourteau d'olive est en soi assez élevée. Le tourteau d'olive peut être mélangé à des fractions de biomasse dont les paramètres de qualité sont encore plus mauvais ou qui sont contaminées par des matériaux inertes exogènes (sable, terre, pierres), ce qui augmente encore la teneur totale en cendres. Si l'on considère également la composition des cendres (par exemple, une concentration accrue d'alcalis), il y a plusieurs implications pour le fonctionnement de tout système de combustion : fréquences de nettoyage accrues, scories, émissions de particules plus élevées, etc. Lors de l'utilisation du tourteau d'olive comme combustible, il convient de prêter attention à ces paramètres.

En raison de cette qualité industrielle et de la teneur relativement élevée en azote, chlore, cendres, etc., des **TECHNOLOGIES APPROPRIÉES** (filtres, injection d'urée,...) pour une combustion optimale doivent être mises en place pour éviter de dépasser les seuils d'émissions de la législation (HCl, particules, NOx).



Coques de noix sèches

DESCRIPTION

Il existe certains arbres à noix sèches dont les coques des fruits peuvent être utilisées comme biomasse à des fins énergétiques. Les fruits à coque sont transportés dans des agro-industries où la noix est séparée et les coquilles restent à part. En général, elles sont stockées et vendues localement comme source d'énergie. La période de traitement des noix étant assez courte, de gros volumes sont produits en peu de temps et de grandes surfaces de stockage sont nécessaires.

Le concassage est le principal procédé utilisé pour séparer la chair de la noix de sa coquille. Les coquilles obtenues sont constituées de fragments dont la taille n'est pas homogène. Afin d'améliorer l'alimentation et la combustion dans les appareils et de convertir ces coquilles en biocombustibles normalisés, certaines valorisations sont recommandées, telles que le broyage en fragments plus petits et le tamisage pour éliminer les fines (< 2 mm) afin d'obtenir une granulométrie homogène.

L'humidité naturelle des coquilles après le broyage est suffisamment faible pour permettre la combustion. Cependant, comme les coques sont

souvent stockées à l'extérieur sans toit pour les raisons susmentionnées, le taux d'humidité peut être plus élevé.

Il existe une norme de qualité pour les coques de fruits secs en Espagne (UNE 164004:2014) qui inclut les coques de pignons, les coques d'amandes, les coques de noisettes et les pommes de pin hachées. Cette norme a été élaborée par le comité espagnol CTN-164, principalement à partir des données du projet BIOmasud. Cette norme est en cours de révision et, outre quelques légères modifications des seuils, la principale différence est l'incorporation des coques de pistaches et de noix. La révision, qui en est au stade final, devrait être publiée dans le courant de l'année 2022.

Il existe de nombreuses sortes de fruits secs, mais certaines sont fréquemment utilisées comme biocombustibles en raison de leur utilisation traditionnelle ou de leur facilité d'utilisation. Ce sont: les coques d'amandes, les coques de pignons de pin, les pommes de pin hachées, les coquilles de noisettes, les coques de pistaches et les coquilles de noix.



LES COQUES D'AMANDES

Elles sont l'une des plus utilisées pour l'énergie. Elles sont couvertes par la norme espagnole UNE 164004 et par le système de certification BIOmasud®. Les coques des amandes peuvent représenter entre 62 et 78 % du poids de l'amande entière, selon la variété. Une moyenne de 70 % a été prise en compte pour les estimations de la **Figure 26**.

FIGURE 17 Coques d'amandes: telles qu'obtenues lors de l'extraction des fruits.
Source AVEBIOM



FIGURE 18
Coquilles d'amandes broyées

COQUES DE PIGNONS DE PIN

Elles sont l'un des biocombustibles solides les plus utilisés pour l'énergie. Elles sont couvertes par la norme espagnole UNE 164004 et par le système de certification BIOmasud®.

En ce qui concerne le bilan massique, la teneur en humidité des pommes de pin est élevée (32 - 38 %), les pommes de pin sont séchées au cours du processus d'obtention des pignons. 100 kg de pommes de pin contiennent environ 5 à 20 kg de pignons de pin avec leur coque. Sur ces 5 à 20 kg, environ 25 % sont constitués par la noix elle-même et le reste par les coquilles.

Malheureusement, la production de pignons de pin a été drastiquement réduite depuis 2013, principalement en Espagne mais aussi au Portugal. Les deux pays ont été gravement touchés par l'invasion d'un certain insecte (*Leptoglossus occidentalis*) qui



FIGURE 19
Coques de pignon de pin.
Source: AVEBIOM

affecte les pommes de pin en les suçant et en les asséchant. Avant 2013, ce fléau permettait d'obtenir environ 200 kg de pignons avec leur coque à partir d'une tonne de pommes de pin (non séchées); depuis 2014, on n'en obtient plus que 80 kg environ. En conséquence, ces dernières années, les entreprises espagnoles achètent et transforment la plupart des pins portugais (80-90 %) (et par conséquent toutes ces coquilles restent en Espagne).

**FIGURE 21 Y 22**

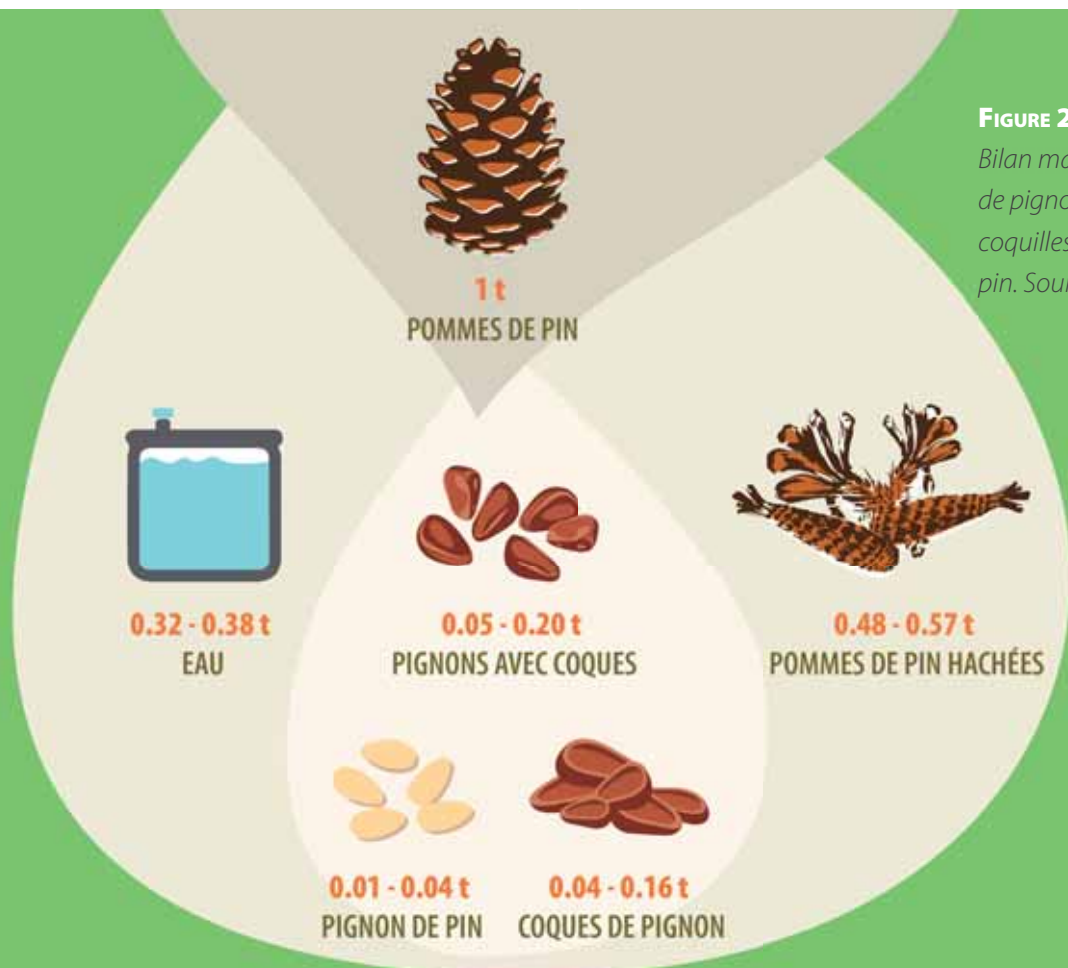
Pommès de pin
hachées. Sur ces lignes:
entière. Droite : bractées.
Source: AVEBIOM

LES POMMES DE PIN HACHÉES

Elles ne sont pas "en soi" une noix mais une fructification contenant les pignons. Sur 100 kg de pommès de pin, après les avoir séchées, on obtient environ 48 à 57 kg de pommès de pin hachées.



Elles sont généralement hachées et parfois utilisées mélangées à des pignons de pin car cela améliore la combustion. Parfois, le centre de la pomme de pin est retiré et seules les bractées sont utilisées comme combustible. Ce type de biocombustible est couvert par la norme espagnole UNE 164004 et par le système de certification BIOmasud®.

**FIGURE 20**

Bilan massique des coquilles de pignons de pin et des coquilles de pommès de pin. Source: AVEBIOM



COQUILLES DE NOISETTES

Elles sont couvertes par la norme espagnole UNE 164004 et par le système de certification BIOmasud®. Les coques de noisettes peuvent représenter entre 53 et 55 % du poids de la noisette entière, selon la variété. Une moyenne de 54 % a été prise en compte pour les estimations du **Tableau 6**.

COQUES DE PISTACHES

Elles ne sont pas couvertes par la norme espagnole UNE 164004 mais elles ont été étudiées dans le cadre du projet Biomassud Plus et leur inclusion dans la norme est actuellement en cours (l'approbation de la norme actualisée est prévue pour 2022). Cependant, les coques de pistaches sont déjà couvertes par le système de certification BIOmasud®. Les pistaches sans coques représentent 50 à 60 % du fruit entier (séché et sans l'enveloppe), la fraction des coques est donc de l'ordre de 40 à 50 %.



FIGURE 23

Coques de noisettes. Source: AVEBIOM

FIGURE 24

Coques de pistache. Source: CIEMAT

FIGURE 25

Coquilles de noix. Source: CIEMAT

COQUILLES DE NOIX

Elles ne sont pas couvertes par la norme espagnole UNE 164004 mais elles ont été étudiées dans le cadre du projet Biomassud Plus et leur inclusion dans la norme est en cours (l'approbation de la norme actualisée est prévue pour 2022). Elles sont couvertes par le système de certification BIOmasud®. La noix sans coque représente entre 45 et 55% du fruit entier. Pour les estimations du graphique ci-dessous, un rendement moyen de 50 % a été considéré (voir **tableau 8**).



POTENTIEL ET REPARTITION EN EUROPE

Logiquement, la production de coques de fruits secs est liée à l'origine de leurs cultures respectives qui sont différentes pour chaque espèce mentionnée. En outre, les statistiques trouvées concernent généralement les récoltes et non les coques, de sorte que pour estimer la production de coques, on utilise

un rapport entre le poids avec et sans coques. Ce rapport dépend des conditions de l'année et de la variété. Les pages suivantes donnent un bref aperçu de la production et de la distribution en Europe des principales sortes de coques de noix sèches utilisées pour la bioénergie :

COQUES D'AMANDE

L'Espagne est le premier producteur européen d'amandes, et le deuxième producteur mondial, loin du premier, les USA (l'Espagne produit environ 10 fois moins que les USA). En Europe, le deuxième producteur est la Turquie, suivie de plusieurs pays méditerranéens.

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE COQUES D'AMANDE (kton/an)

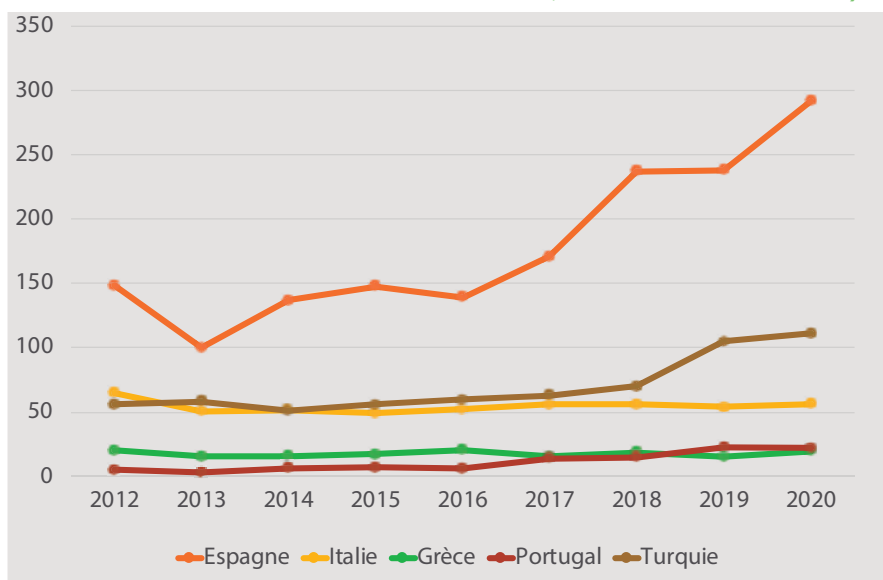


FIGURE 26

Production de **coques d'amande** par Pays en tonne/an.

Source: AVEBIOM élaboration avec Eurostat data

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ESPAGNE	148,218	100,156	136,990	147,756	139,139	170,716	237,321	238,294	291,865
ITALIE	64,785	50,806	51,814	49,280	52,206	55,720	55,860	54,110	56,364
GRÈCE	20,293	15,414	15,946	17,157	20,426	15,498	18,697	15,365	19,768
PORTUGAL	5,026	3,115	6,321	7,063	6,097	14,098	15,148	22,610	22,127
TURQUIE	56,000	58,100	51,100	56,000	59,500	63,000	70,000	105,000	111,300

TABLE 3

Production de coques d'amande par Pays en tonne/an. Source: AVEBIOM élaboration avec Eurostat data



PIGNONS DE PIN ET POMMES DE PIN HACHÉES

Il existe de nombreuses espèces de pins à pignons comestibles, mais en Europe, elles sont peu nombreuses et la plus importante est le *Pinus pinea*, en raison de sa valeur culinaire et de sa production, qui pousse principalement dans les pays méditerranéens.

Le Portugal et l'Espagne possèdent environ 500 000 hectares de *Pinus Pinea*, ce qui représente 75% de la distribution mondiale de cette espèce qui est également présente dans d'autres pays du bassin méditerranéen.

La production annuelle de pignons/cônes de pin présente une forte variation due au fait que l'espèce est à port alterné et très sensible à l'influence des facteurs climatiques, principalement aux sécheresses sévères et prolongées. De plus, comme mentionné précédemment, depuis 2013, la production en Espagne et au Portugal a été sérieusement affectée par le *Leptoglossus occidentalis*.

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE COQUES DE PIGNONS DE PIN (t/a)

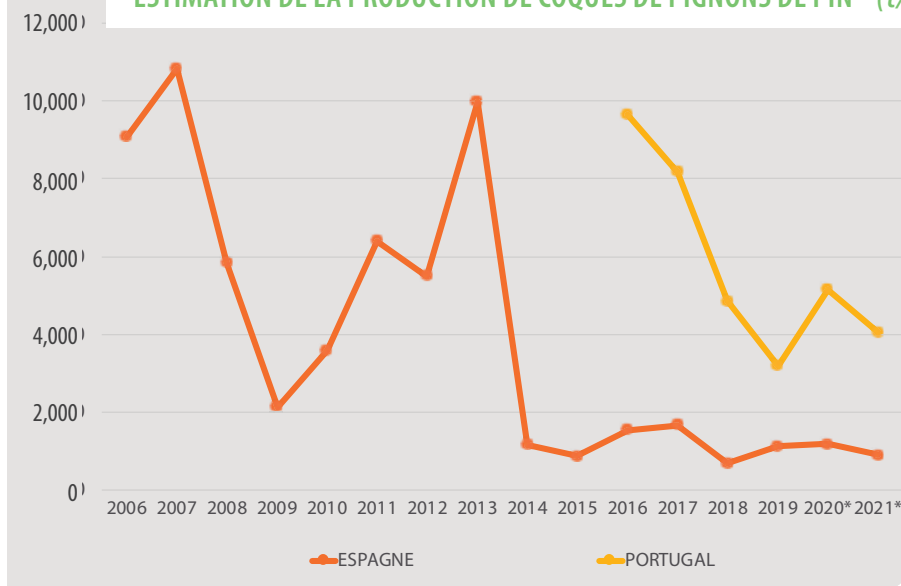


FIGURE 27

Production de **coques de pignons de pin** par pays en tonne/an.

Source: AVEBIOM élaboration with MITECO (Spain) and ICNF (Portugal) data. (* estimation)

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE POMMES DE PIN HACHÉES (t/a)

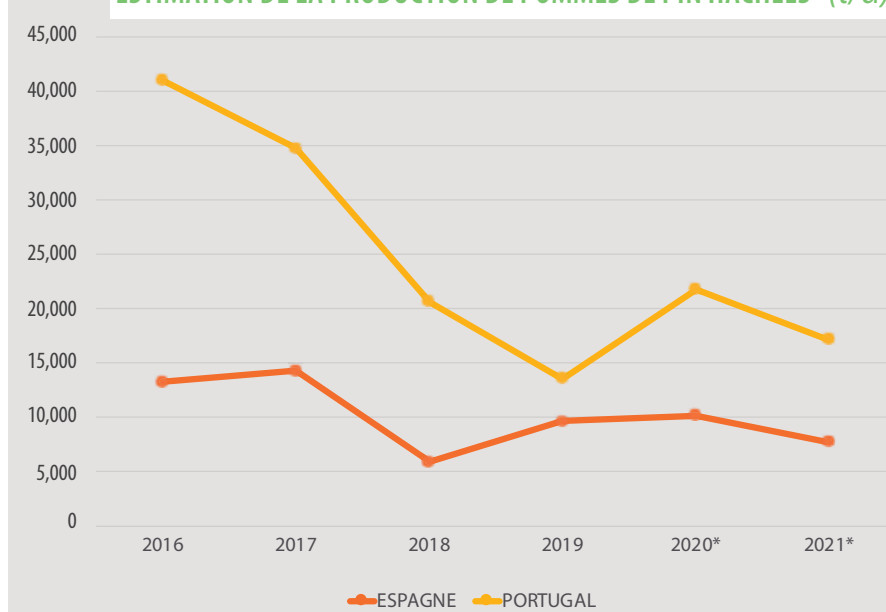


FIGURE 28

Production de **pommes de pin hachées** par pays en tonnes par an.

Source: AVEBIOM élaboration with MITECO (Spain) and ICNF (Portugal) data. (* estimation)

ANNÉE	ESPAGNE	PORTUGAL
2006	9,076	
2007	10,828	
2008	5,843	
2009	2,126	
2010	3,588	
2011	6,407	
2012	5,502	
2013	9,985	
2014	1,163	
2015	864	
2016	1,537	9,648
2017	1,660	8,170
2018	689	4,855
2019	1,121	3,186
2020*	1,184	5,157
2021*	896	4,043

TABLE 4

Potentiel théorique annuel des **coques de pignons** (en tonnes) par pays. Source: AVEBIOM elaboration with MITECO (Spain) and ICNF (Portugal) data. (* estimation)

ANNÉE	ESPAGNE	PORTUGAL
2016	13,255	41,002
2017	14,318	34,723
2018	5,941	20,635
2019	9,667	13,539
2020*	10,212	21,791
2021*	7,728	17,182

TABLE 5

Table 5. Potentiel théorique annuel de **pommes de pin hachées** (en tonnes) par pays. Source: AVEBIOM elaboration with MITECO (Spain) and ICNF (Portugal) data. (* estimation)

**FIGURE 29**

Coques de pignon de pin. Source: Biomosas Herrero



COQUES DE NOISETTES

La Turquie est le plus grand producteur en Europe et dans le monde. Le deuxième producteur mondial est l'Italie. Dans l'UE les pays ont une plus petite production, entre 3.000 et 10.000 t de fruits, Espagne, France et Pologne.

TABLE 6

Potentiel théorique annuel des **coques de noisettes** (en tonnes) par pays. Source: AVEBIOM élaboration avec Eurostat data

ANNÉE	ESPAGNE	FRANCE	ITALIE	POLOGNE	TURQUIE
2012	7,906	5,416	58,671	2,268	356,400
2013	8,262	4,374	60,831	2,754	296,460
2014	7,312	5,967	40,748	2,970	222,480
2015	6,167	4,806	54,886	2,916	348,840
2016	5,135	6,907	65,108	2,986	226,800
2017	5,665	6,512	70,891	2,500	364,500
2018	4,336	8,456	71,658	3,586	278,100
2019	6,680	6,296	53,206	2,938	419,040
2020	2,943	5,233	75,902	4,104	359,100

COQUES DE PISTACHES

En Europe, les plus grandes productions de pistaches sont dans les pays du bassin méditerranéen, ce n'est pas pour rien que la plante était déjà connue à l'époque de l'Empire romain. La zone de culture est restée plus ou moins stable jusqu'à la première décennie de l'an 2000. Depuis lors, sa production a progressivement augmentée en quantités grâce à la modernisation et à la culture intensive. Les principaux pays producteurs de pistaches sont la Turquie, la Grèce, l'Italie et, depuis quelques années, l'Espagne où la culture s'est développée dernièrement. Les Etats-Unis sont le leader mondial de la production de pistaches, suivis par la Chine et l'Iran.

ANNÉE	ESPAGNE	GRÈCE	ITALIE	TURQUIE
2012	1,206	3,598	424	67,500
2013	1,120	3,205	1,452	39,870
2014	1,182	3,855	1,600	36,000
2015	1,170	4,385	1,741	64,800
2016	2,528	5,069	1,642	76,500
2017	3,395	5,326	1,743	35,100
2018	n.a.	n.a.	n.a.	108,000
2019	n.a.	n.a.	n.a.	38,250

TABLE 7

Potentiel théorique annuel des **coques de pistaches** (en tonnes) par pays. Source: AVEBIOM élaboration with FAO data.

COQUILLES DE NOIX

La Turquie est le premier producteur d'Europe et le 4ème au monde derrière la Chine, les USA et l'Iran. En Europe, la production est plus modeste avec une présence principalement en Roumanie, France, Grèce, Espagne et Italie.

ANNÉE	GRÈCE	ESPAGNE	FRANCE	ITALIE	ROUMANIE	TURQUIE
2012	12,105	6,820	18,040	n.a.	14,195	101,500
2013	12,615	7,125	17,755	n.a.	14,785	106,000
2014	11,205	7,795	17,385	n.a.	14,685	90,500
2015	12,610	7,160	21,140	n.a.	15,660	95,000
2016	14,025	7,460	20,235	6,080	15,970	97,500
2017	13,960	7,870	16,520	6,075	21,860	105,000
2018	15,930	7,590	18,845	6,225	27,000	107,500
2019	15,520	8,770	17,475	5,400	24,790	112,500
2020	18,200	8,555	17,850	7,745	24,175	143,500

TABLE 8

Potentiel théorique annuel des **coquilles de noix** (en tonnes) par pays. Source: AVEBIOM élaboration avec Eurostat data.



ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE COQUES DE NOISETTES (t/a)

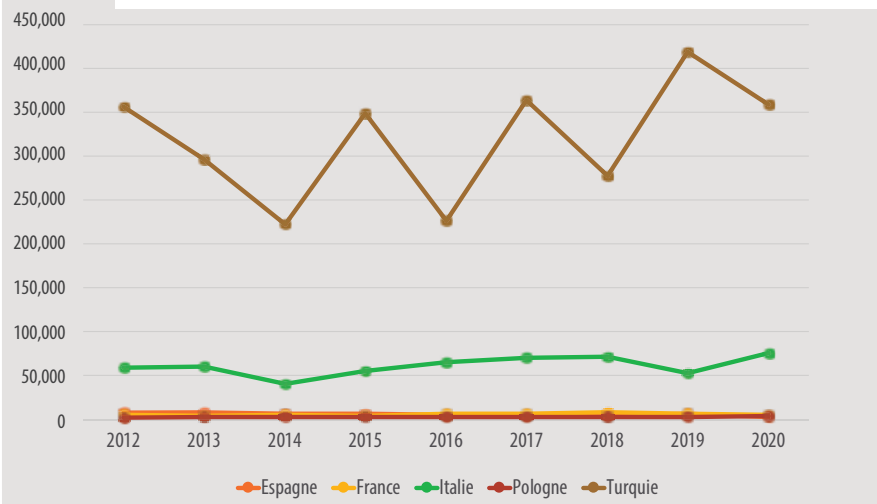


FIGURE 30

Production de **coques de noisettes** par pays en tonnes par an. Préparé par AVEBIOM avec des données d'EUROSTAT.

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE COQUES DE PISTACHES (t/a)

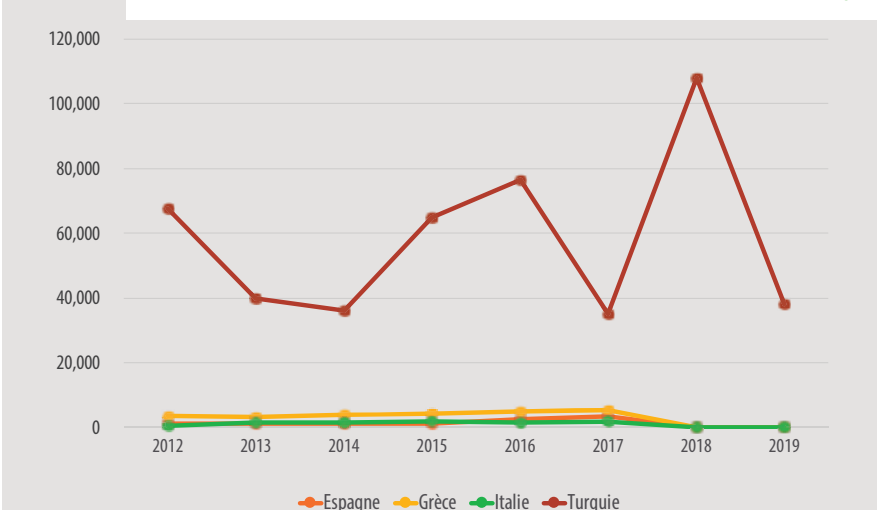


FIGURE 31

Production de **coques de pistaches** par pays en tonnes par an. Préparé par AVEBIOM avec des données de la FAO.

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE COQUES DE NOIX (t/a)

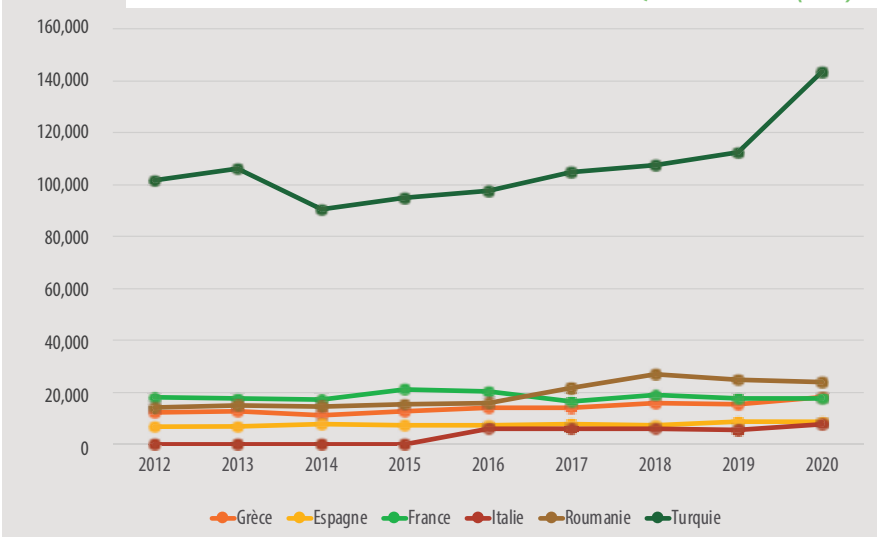


FIGURE 32

Production de **coques de noix** par pays en tonnes par an. Préparé par AVEBIOM avec des données d'EUROSTAT.



CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT SONT-ELLES UTILISÉES ?

Habituellement, les coquilles sont utilisées localement dans les fermes, les serres et autres installations similaires, directement sans aucun processus de valorisation. Cependant, comme nous l'avons déjà dit, si l'on procède à un traitement minimal pour homogénéiser leur granulométrie en tamisant les fines et en les écrasant pour éliminer les parties les plus grosses, on peut obtenir un biocombustible solide de bonne qualité, qui convient même aux petits appareils. Le taux d'humidité ne devrait pas être élevé s'il est stocké dans de bonnes conditions, mais bien souvent, les agro-industries où ces sous-produits sont générés ne peuvent pas les stocker selon leurs besoins, car une grande quantité est produite en même temps. Par conséquent, ce résidu est généralement stocké à l'extérieur, sans toit, ce qui explique pourquoi les coquilles ne sont souvent pas suffisamment sèches sur le marché.

Dans certaines régions, il y a eu une utilisation traditionnelle en raison de l'abondance de ce biocombustible dans la région (par exemple, les coquilles de noix de pin/pommes de pin hachées dans la région de Valladolid/Ségovie (Espagne) où il y a une énorme concentration de la production de noix de pin et donc de sous-produits. Malheureusement, les chaudières ou les poêles ne sont pas toujours avancés technologiquement et une rénovation devrait être encouragée afin d'améliorer les performances et de réduire les émissions. D'un autre côté, en raison de son utilisation traditionnelle, les gens connaissent bien les possibilités du combustible et même ils l'utilisent mélangé (coquilles de pignons et pommes de pin hachées), ce qui améliore le comportement dans leurs combustions en combinant les éléments suivants

PARAMÈTRE	MATIÈRE	CATÉGORIE DE QUALITÉ			UNITÉ
		A1	A2	B	
HUMIDITÉ		≤ 12	≤ 12	≤ 16	w-% a.r.
CENDRES					
	Coques d'amandes	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	w-% d.b
	Coques de noisettes	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	w-% d.b
	Coques de pignons de pin	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 2.0	w-% d.b
	Coques de pistaches	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	w-% d.b
	Coques de noix	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	w-% d.b
	Pomme de pin hachée	≤ 0.8	≤ 1.1	≤ 1.5	w-% d.b
TENEUR EN HUILE		≤ 0.6*	≤ 1.0*	≤ 1.5*	w-% d.b.
FINES (F < 2 MM)		< 2.0	< 2.0	< 4.0	w-% a.r.
POUVOIR CALORIFIQUE NET					
	Coques d'amandes	≥ 15.0	≥ 15.0	≥ 14.0	MJ/kg (a.r.)
	Coques de noisettes	≥ 15.0**	≥ 15.0**	≥ 14.0**	MJ/kg (a.r.)
	Coques de pignons de pin	≥ 16.0	≥ 16.0	≥ 15.0	MJ/kg (a.r.)
	Coques de pistaches	≥ 15.0	≥ 15.0	≥ 14.0	MJ/kg (a.r.)
	Coques de noix	≥ 16.0	≥ 16.0	≥ 15.0	MJ/kg (a.r.)
	Pomme de pin hachée	≥ 15.8	≥ 15.8	≥ 14.9	MJ/kg (a.r.)



PARAMÈTRE	MATIÈRE	CATÉGORIE DE QUALITÉ			UNITÉ
		A1	A2	B	
DENSITÉ					
	Coques d'amandes	≥ 450	≥ 300	≥ 270	kg/m3 (a.r.)
	Coques de noisettes	≥ 300	≥ 300	≥ 270	kg/m3 (a.r.)
	Coques de pignons de pin	≥ 470	≥ 470	≥ 450	kg/m3 (a.r.)
	Coques de pistaches	≥ 300	≥ 300	≥ 270	kg/m3 (a.r.)
	Coques de noix	≥ 250	≥ 200	≥ 200	kg/m3 (a.r.)
	Pomme de pin hachée	≥ 400	≥ 350	≥ 300	kg/m3 (a.r.)
AZOTE					
	Coques d'amandes	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	w-% d.b
	Coques de noisettes	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	w-% d.b
	Coques de pignons de pin	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	w-% d.b
	Coques de pistaches	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	w-% d.b
	Coques de noix	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	w-% d.b.
	Pomme de pin hachée	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.6	w-% d.b
SOUFRE					
	Coques d'amandes	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	w-% d.b.
	Coques de noisettes	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	w-% d.b.
	Coques de pignons de pin	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	w-% d.b.
	Coques de pistaches	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	w-% d.b.
	Coques de noix	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	w-% d.b.
	Pomme de pin hachée	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.04	w-% d.b.
CHLORE					
	Coques d'amandes	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	w-% d.b.
	Coques de noisettes	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	w-% d.b.
	Coques de pignons de pin	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.5	w-% d.b.
	Coques de pistaches	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	w-% d.b.
	Coques de noix	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	w-% d.b.
	Pomme de pin hachée	≤ 0.05	≤ 0.07	≤ 0.10	w-% d.b.

NOTE: La norme espagnole UNE 164004 sera publiée au début de 2022 et certaines valeurs peuvent différer légèrement.

* Ne s'applique pas aux pommes de pin hachées

TABLA 9

Limites des principaux paramètres pour les coques de fruits secs selon BIOmasud®Certification System

Comme on peut le voir dans le **tableau 9**, de nombreuses coquilles de noix sèches présentent des caractéristiques physiques et chimiques assez similaires et c'est ce qui a motivé la normalisation espagnole des biocombustibles après les travaux réalisés dans le cadre du projet Biomassud Plus pour

les regrouper dans une norme (UNE 164004). Après la révision en 2022, la norme mise à jour regroupera également de nombreux paramètres communs, à l'exception de certains comme le pouvoir calorifique net et la densité qui sont les moins similaires.



EXEMPLES DE RÉALISATION

UTILISATION DE COQUES D'AMANDES POUR LA PRODUCTION DU PAPRIKA

La région de Murcie est l'une des principales zones de production de paprika en Espagne. Plus précisément, la vallée de Guadalentín produit environ 4 millions de kg chaque année. Située dans la ville de Totana, la coopérative Francisco Palao exploite l'un des plus grands séchoirs à poivrons rouges d'Espagne - au cours de la saison 2020, environ 1.200 tonnes ont été traitées - principalement des variétés "Bola" et "Americano" - à partir desquelles est ensuite obtenu le paprika à appellation d'origine protégée "Pimentón de Murcia". La saisonnalité de la campagne, qui s'étend du 25 août au 31 décembre, implique que tous les poivrons doivent être séchés en 4 mois, ce qui représente un processus très intensif en main-d'œuvre et en énergie et une part importante des coûts de production. L'installation de séchage de la coopérative comprend cinq séchoirs à bande, dont la chaleur est fournie par la combustion de la biomasse.

Récemment, la coopérative a remplacé ses anciens brûleurs à biomasse par un nouveau système à flamme horizontale de 1,5 MW, fourni par le fabricant espagnol Natural Fire. La coopérative estime que l'efficacité énergétique s'est améliorée de 20 à 30 % grâce à ce nouveau système. L'air est chauffé jusqu'à 90 °C grâce à la combustion des coquilles d'amande. Le poivron arrive avec une humidité d'environ 80 % et, après environ cinq heures de séjour dans le séchoir, il en ressort avec 9-10 %. La consommation annuelle du séchoir est d'environ 1.500 tonnes de coques d'amandes. Les brûleurs et la chambre de combustion doivent être nettoyés une fois par semaine.

FIGURE 33

À la coopérative Francisco Palao : Juan Tudela, président de la coopérative, Pedro Sánchez, commercial de Natural Fire, Perfecto Forte, directeur général de Natural Fire et opérateur de l'installation de séchage.



FIGURE 34

Poivrons séchés





UTILISATION DE COQUES D'AMANDES DANS UNE SERRE DE FLEURS ORNEMENTALES

La serre de fleurs ornementales de Besgastriflor, à Cehegín, en Espagne, produit 10 000 paquets de 5 tiges de marguerites fraîches par semaine sur une superficie d'un hectare.

Pour obtenir une température ambiante de 20 °C à l'intérieur de la serre, un tuyau aérien avec de l'eau à 85 °C passe par les lignes de plantation, distribuant la chaleur. L'énergie pour chauffer l'eau provient d'une chaudière à mazout rénovée, actuellement équipée d'un brûleur à biomasse de 1 MW fourni par le fabricant espagnol Natural Fire.

Le brûleur est alimenté par des coques d'amanDES, un biocombustible très abondant dans la région. Pour couvrir les besoins énergétiques actuels, la chaudière consomme entre 1 200 et 1 400 kg de coques d'amanDES par jour. Selon le directeur de la serre, les alternatives au diesel ou au gaz naturel

auraient rendu la rentabilité de la serre irréalisable ou très incertaine. Avec un prix de gros de 110 à 150 €/t (livré à la serre), les coques d'amanDES permettent de réaliser des économies d'environ 250 €/jour par rapport au fioul domestique (dont le prix est de 0,8 €/litre).

L'entreprise prévoit de doubler la superficie de la serre et, par la suite, de l'augmenter de 17 000 m². Pour desservir cette zone, elle installera une nouvelle chaudière, qui se trouve déjà dans ses installations, équipée d'un brûleur à biomasse de 2,5 MW.

La chaudière et les trois pompes qui desservent les différents secteurs de la serre sont régulées automatiquement, en fonction de la température requise, et peuvent être gérées à distance. Le nettoyage de la chaudière et du brûleur est effectué manuellement tous les 4 à 7 jours. Le fabricant souligne qu'un entretien régulier des équipements est indispensable pour prolonger leur durée de vie.

Le coût d'une installation de ce type - une chaudière diesel existante modernisée avec un nouveau brûleur à biomasse - peut être une option très compétitive par rapport à l'installation d'une nouvelle chaudière à biomasse.



FIGURE 35 ET 36

Chaudière de serre avec brûleur à biomasse de 1 MW (devant) et un autre de 2,5 MW (derrière) et fleurs dans la serre (à droite).





DES CLÉS POUR L'UTILISATION DES COQUILLES

Comme mentionné précédemment, il est très important de maintenir un faible taux **D'HUMIDITÉ** dans ce combustible pour permettre une combustion adéquate dans les chaudières et les poêles. Par conséquent, un stockage adéquat est impératif afin d'éviter que la pluie n'augmente la teneur en eau.

L'HOMOGENÉISATION est également essentielle pour une bonne combustion, principalement à cause des fines, et pour éviter les dysfonctionnements et le colmatage des systèmes d'alimentation en raison des fractions plus importantes



Coques de tournesol

DESCRIPTION

Les tournesols sont cultivés dans plusieurs régions du monde et peuvent être divisés en deux variétés principales. Les oléagineux, représentent la grande majorité de la production mondiale de tournesol. Ils contiennent en moyenne environ 50 % d'huile et 20 % de protéines et sont principalement utilisés pour la production d'huile végétale. Les restes de la graine après extraction de l'huile sont connus sous le nom de tourteau de tournesol et, en raison des protéines restantes, ils constituent une matière précieuse pour l'alimentation animale. Les graines non oléagineuses, également connues sous le nom de tournesol de confiserie, sont principalement utilisées pour l'alimentation humaine et des oiseaux.

Dans les deux variétés, l'amande du tournesol est entourée d'une coque. La coque est généralement de couleur foncée pour les variétés oléagineuses (grisâtre dans certaines variétés spéciales) et plus étroitement attachée au grain. Les variétés non oléagineuses ont des coques de couleur plus blanche et plus lâchement attachées au grain. Les coques représentent environ 20 à 30 % du poids total de la graine et sont principalement constituées de fibres de faible valeur et à très faible teneur en protéines, ce qui les rend inutilisables comme farine animale.

La présence de coques pendant l'extraction de l'huile de tournesol a un impact négatif sur la qualité de l'huile et du tourteau, car elle augmente la concentration de cires dans la première et réduit la teneur en protéines dans le second. Par conséquent, le processus de décortiquage est souvent mis en œuvre comme l'une des premières étapes dans de nombreuses usines de transformation du tournesol. Le décortiquage est précédé d'une étape de séchage, qui facilite la séparation de la coque et de l'amande.

Les coques de tournesol (alternativement appelées "cosses de tournesol") sont donc le résidu solide du processus de décortiquage employé par les usines de traitement du tournesol. Les coques de tournesol ont un contenu énergétique élevé, une teneur moyenne en cendres et un prix relativement bas, ce qui en fait un biocombustible très apprécié pour diverses applications. Lorsqu'elles ne sont pas utilisées sur place dans les usines de transformation du tournesol, les coques de tournesol sont généralement transformées en granulés avant d'être vendues sur le marché (voir **figure 38**).



FIGURE 37

Anatomie de la graine de tournesol. Source : AVEBIOM



POTENTIELS ET RÉPARTITION EN EUROPE

Par rapport à d'autres cultures oléagineuses, les graines de tournesol ont une faible densité apparente, ce qui limite les distances sur lesquelles elles peuvent être transportées de manière économique avant d'être transformées. Par conséquent, les sites de production de coques de tournesol sont généralement étroitement liés aux zones de culture du tournesol.

La Russie et l'Ukraine ont une part presque égale de la production mondiale, mais les rendements sont meilleurs en Ukraine. L'UE (dans son ensemble) est le troisième plus grand producteur de tournesol au monde, avec environ 15,9 % de la surface cultivée et 18,3 % de la production. La production est également importante en Argentine, en Chine, en Turquie, aux États-Unis, au Kazakhstan, en Moldavie et en Serbie (**Table 10**).



FIGURE 38

Zone de production de tournesol en Europe. Source: US Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, International Production Assessment Division.

TABLE 10

Top-10 de la production de tournesol dans l'UE. (FAOSTAT, 2019).

PAYS	SURFACE (HA)	PART/ GLOBAL (%)	PRODUCTION (T)	PART/ GLOBAL (%)
RUSSIE	8,414,731	30.75	15,379,287	27.43
UKRAINE	5,958,900	21.77	15,254,120	27.20
UNION EUROPÉENNE	4,338,740	15.85	10,281,250	18.34
ARGENTINE	1,875,938	6.85	3,825,750	6.82
CHINE	850,000	3.11	2,420,000	4.32
TURQUIE	751,693	2.75	2,100,000	3.75
USA	503,640	1.84	881,530	1.57
KAZAKHSTAN	815,288	2.98	838,710	1.50
MOLDAVIE	357,082	1.30	811,442	1.45
SERBIE	219,404	0.80	729,079	1.30
RESTE DU MONDE	3,283,350	12.00	3,551,578	6.32
TOTAL	27,368,766	100.00	56,072,746	100.00



Au sein de l'UE, environ 90,4 % de la production est concentrée dans cinq pays : la Roumanie, la Bulgarie, la Hongrie, la France et l'Espagne. Quatre autres pays - la Grèce, l'Italie, la Slovaquie et la Croatie - représentent environ 8 % de la production de l'UE, tandis que les autres pays ne jouent qu'un rôle marginal (**Table 11**).

En général, le tournesol jouit d'une popularité croissante en tant que culture en raison de sa polyvalence, des préférences des consommateurs et des marchés. Les rendements de production ont également tendance à augmenter, notamment en Europe de l'Est.

PAYS	SURFACE (HA)	PART/ GLOBAL (%)	PART/EU (%)	PRODUCTION (T)	PART/ GLOBAL (%)	PART / UE (%)
ROUMANIE	1,282,700	4.69	29.56	3,569,150	6.37	34.72
BULGARIE	815,560	2.98	18.80	1,937,210	3.45	18.84
HONGRIE	564,110	2.06	13.00	1,706,850	3.04	16.60
FRANCE	603,920	2.21	13.92	1,298,140	2.32	12.63
ESPAGNE	701,770	2.56	16.17	782,290	1.40	7.61
GRÈCE	100,720	0.37	2.32	298,960	0.53	2.91
ITALIE	118,520	0.43	2.73	294,730	0.53	2.87
SLOVAQUIE	48,550	0.18	1.12	129,670	0.23	1.26
CROATIE	35,980	0.13	0.83	106,560	0.19	1.04
AUTRICHE	21,250	0.08	0.49	64,540	0.12	0.63
RESTE DE L'UE-27	45,660	0.17	1.05	93,150	0.17	0.91
TOTAL UE-27	4,338,740	15.85	100.00	10,281,250	18.34	100.00

TABLE 11

Top-10 de la production de tournesol dans l'UE. (FAOSTAT, 2019).

FIGURE 39

Granulés de coques
de tournesol. Image
source: CETH





Le potentiel théorique de biomasse des coques de tournesol peut être calculé à partir des valeurs ci-dessus, en considérant que les coques représentent environ 20 à 30 % du poids de la graine, tout en tenant compte du fait que la teneur en eau standard des graines de tournesol est de 9 %. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que le potentiel théorique dans le monde se situe entre 10,21 et 15,31 millions de tonnes (matière sèche), tandis que le potentiel de l'UE est d'environ 1,87 à 2,81 millions de tonnes (matière sèche).

Le potentiel technique des coques de tournesol est inférieur au potentiel théorique pour deux raisons principales. La première est que toutes les usines de transformation du tournesol n'appliquent pas un processus de décortiquage. La seconde est que le décortiquage complet n'a pas lieu à l'échelle industrielle pour des raisons techniques et économiques. Sur le plan technique, une graine entièrement décortiquée est difficile à pré-comprimer ; le tourteau pré-comprimé a une mauvaise percolation pendant l'étape d'extraction par solvant.

D'un point de vue économique, un taux plus élevé d'élimination des coques entraîne également des pertes d'huile qui ne peuvent être compensées par la valeur plus élevée du tourteau. La difficulté de l'extraction des coques varie également en fonction de la variété de tournesol. Différentes sources indiquent que le niveau des coques qui restent dans la graine se situe entre 8 et 15 % du poids de la graine traitée.

La disponibilité sur le marché des coques de tournesol dépend également du niveau d'autoconsommation des industries de transformation du tournesol. La plupart des usines de transformation du tournesol utilisent une part importante de ce résidu pour couvrir leurs propres besoins en chaleur. Récemment, plusieurs des plus grandes usines ont investi dans des systèmes de cogénération à partir de la biomasse pour couvrir également en partie leur consommation d'électricité. En outre, comme c'est le cas pour tous les produits agricoles, le niveau de production est également influencé par les conditions météorologiques et d'autres facteurs.

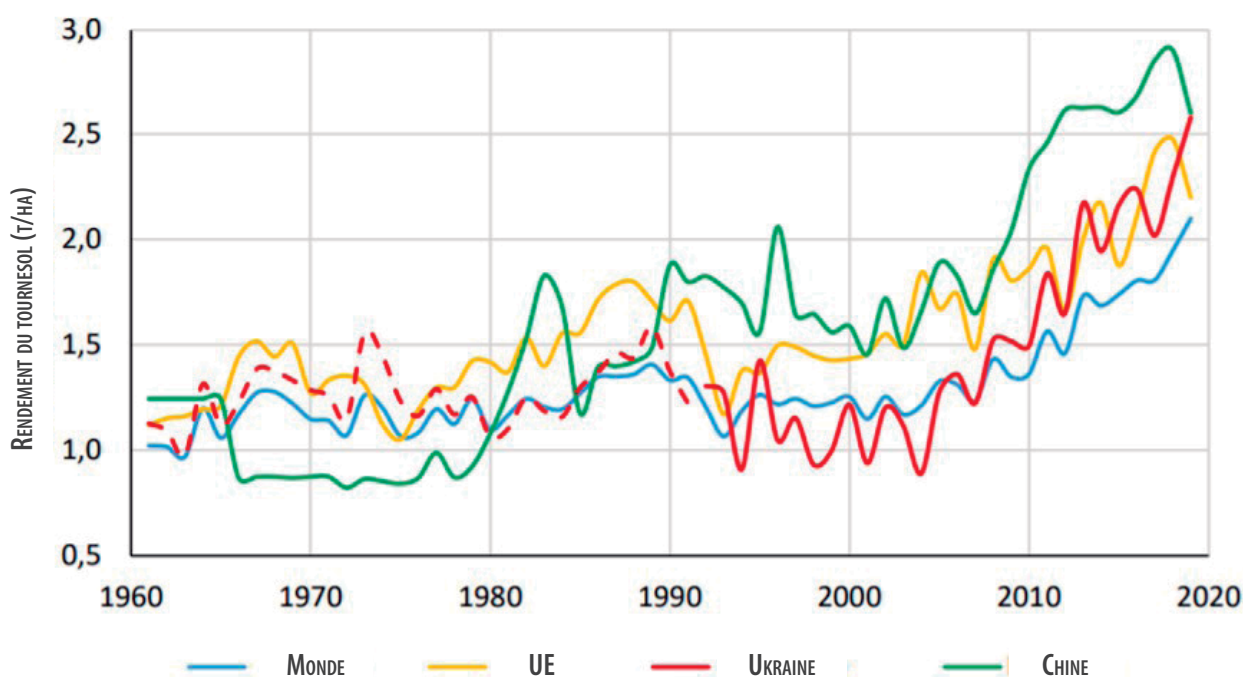


FIGURE 40

Évolution du rendement en graines de tournesol de 1961 à 2019. (Source: FAOSTAT, UABIO)



CARACTÉRISTIQUES : OÙ ET COMMENT SONT-ELLES UTILISÉES ?

La production d'huile de tournesol est un processus à forte intensité énergétique. La consommation d'électricité serait de l'ordre de 96,6 à 198 kWh par tonne d'huile et la consommation de chaleur (sous forme de vapeur) de l'ordre de 348 à 1184 kWh par tonne d'huile. Comme indiqué précédemment, les huileries de tournesol brûlent une part importante des résidus de coques de tournesol pour couvrir leurs besoins en chaleur. Les plus grandes huileries de tournesol ukrainiennes autoconsommement environ 46 à 48 % de leur production de coques pour la production de vapeur. Les plus grandes usines qui ont adopté des systèmes de cogénération à la biomasse utilisent un pourcentage encore plus élevé de leur production de coques - une valeur de 57,8 % est citée pour un système de 12,3 MWe / 26,7 MWth en Ukraine (anciennement *Kirovogradoliya LLC*, actuellement *Kropyvnytskyi Oil Extraction Plant PrAT*).

Les quantités de coques de tournesol qui ne sont pas autoconsommées sont généralement mises sur le marché après une étape de granulation (ou,

PROPRIÉTÉ	VALUE	UNITÉ
HUMIDITÉ	10	w-% a.r.
CENDRE	4.0	w-% d.b.
POUVOIR CALORIFIQUE NET	15.7	MJ/kg a.r.
DENSITÉ APPARENTE	550	kg/m ³ a.r.
DENSITÉ ÉNERGÉTIQUE	2.40	MWh/m ³ a.r.
AZOTE	0.8	w-% d.b.
SOUFRE	0.1	w-% d.b.
CHLORE	0.06	w-% d.b.
CALCIUM	5.000	mg/kg d.b.
POTASSIUM	11.000	mg/kg d.b.
SODIUM	50	mg/kg d.b.
SILICE	600	mg/kg b.s.

TABLE 12

Composition indicative du combustible granulés de coques de tournesol. Source: AgroBioHeat

plus rarement, de briquetage). La densification est nécessaire, car sinon les coques ont une densité volumique/énergétique très faible pour être transportées et stockées de manière économique.

Le **table 12** présente une composition indicative du combustible des granulés de coques de tournesol. Il convient de noter que les caractéristiques réelles peuvent varier en fonction de l'origine et des étapes de prétraitement - la norme ISO 17225-1 présente un aperçu plus détaillé de la gamme de composition du combustible pour les coques de tournesol. En général, les points principaux suivants peuvent être faits concernant les granulés de coques de tournesol en tant que biocombustibles:

- Sa faible teneur en humidité et son bon pouvoir calorifique, associés à son prix relativement bas, en font un combustible très attractif et compétitif pour de nombreuses applications.
- La teneur en cendres est assez élevée par rapport aux sortes de combustibles ligneux typiques utilisés pour la production de bioénergie. Les cendres de coques de tournesol sont riches en potassium, ce qui réduit la température de fusion des cendres, contribue à la formation accrue de scories et de dépôts d'encrassement ainsi qu'à l'augmentation des émissions de particules pendant la combustion.
- La teneur en azote, en soufre et en chlore est également plus élevée que celle des combustibles ligneux typiques. Pendant la combustion, il faut s'attendre à une augmentation des émissions de NO_x et de SO₂. Le soufre et le chlore peuvent également contribuer à la formation de problèmes de corrosion.



Compte tenu de leurs propriétés, les granulés de tournesol sont le plus souvent utilisés dans des systèmes à moyenne et grande échelle, utilisant généralement la technologie des grilles mobiles, pour la production de chaleur et/ou d'électricité.

Le coût relativement faible des coques de tournesol en fait également un combustible intéressant pour les utilisateurs finaux disposant de systèmes à plus petite échelle : chauffage domestique, secteur commercial et petites industries. En raison des contraintes de coût, beaucoup de ces appareils utilisent des systèmes de combustion simples à lit fixe ou ont été équipés de brûleurs à granulés. Les briquettes de coques de tournesol sont même parfois utilisées dans de petits poêles. En général, ces systèmes affichent des performances médiocres en matière d'émissions.

Il faut également s'attendre à des nettoyages internes plus fréquents en raison de la teneur en cendres plus élevée du combustible par rapport à la biomasse ligneuse. Cependant, avec un système de combustion moderne et bien conçu, il est possible d'obtenir une combustion efficace et peu polluante des granulés de coques de tournesol, même dans les systèmes à petite échelle



EXEMPLES DE RÉALISATION

UTILISATION DE COQUES DE TOURNESOL POUR L'EXTRACTION D'HUILE DE TOURNESOL ET LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN UKRAINE

Comme indiqué précédemment, les producteurs d'huile de tournesol autoconsomment les coques de tournesol pour leurs propres besoins énergétiques. En Ukraine, il existe plus de 60 installations de ce type qui produisent de la vapeur de traitement à partir de coques de tournesol. Un exemple récent est la société Agrotrade-2000, qui a investi dans une chaudière à vapeur de 4,5 t/h et d'une pression de 14 kg/cm². La chaudière a été conçue et construite par le fabricant ukrainien Kriger.

En Ukraine également, 7 centrales de cogénération et de production d'électricité à partir de la biomasse utilisent des coques de tournesol et des granulés de coques de tournesol ; leur capacité totale est de 55 MWe. La plus grande installation de ce type à ce jour est la centrale "Ajax - Dnipro" qui a une capacité de 16 MWe. La centrale a été mise en service en 2020, après une période de mise en œuvre de 2 ans. Elle comporte deux chaudières à vapeur de 35 t/h chacune et des paramètres de vapeur de 40 kg/cm² et 440 °C

Des installations similaires ont été mises en place dans d'autres régions du monde où l'on produit de l'huile de tournesol. Une chaudière à coque de tournesol adaptée permet aux producteurs de réduire leurs coûts énergétiques et leurs émissions de gaz à effet de serre, tout en évitant l'élimination des résidus dans les décharges

Plus d'informations :

Vidéo AgroBioHeat sur l'utilisation des résidus de coques de tournesol en Ukraine: <https://www.youtube.com/watch?v=mVuXyjjro9U>

Havrysh, V., Kalinichenko, A., Mentel, G., Mentel, U., Vasbieva, D.G. (2020) Systèmes d'alimentation de coque pour les usines d'huile de tournesol. *Energies* 2020, 13(2), 361; <https://doi.org/10.3390/en13020361>.

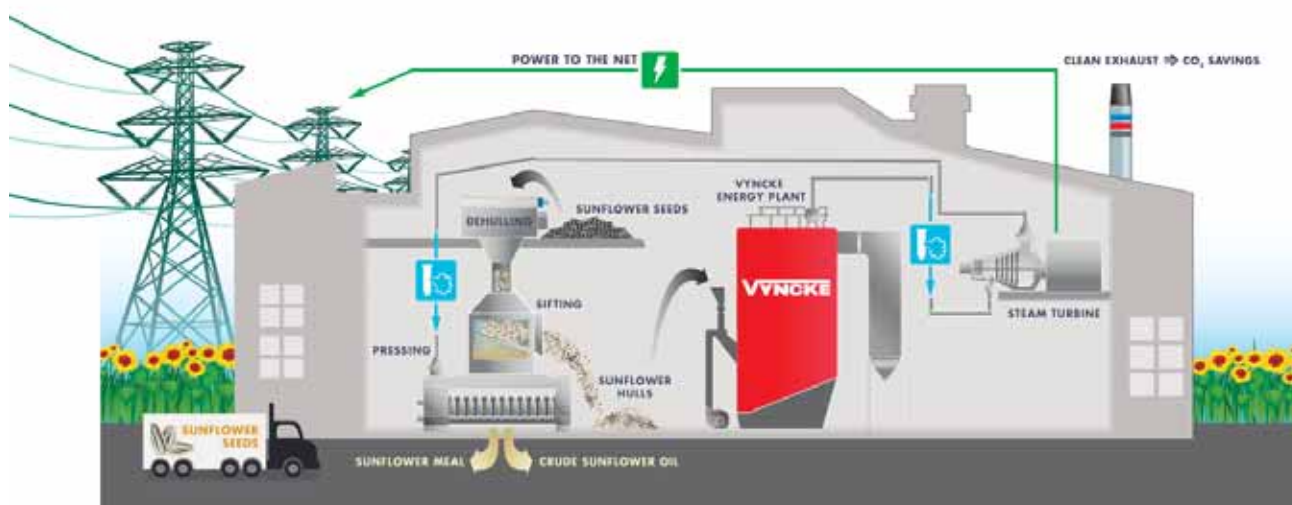


FIGURE 41

Une installation de cogénération à la biomasse pour une usine ukrainienne de raffinage d'huile de tournesol. Source: Vyncke



UTILISATION DE GRANULÉS DE COQUES DE TOURNESOL DANS LES CHAUDIÈRES DOMESTIQUES À BIOMASSE

Dans le cadre du **projet AgroBioHeat**, les performances de combustion des granulés de coque de tournesol - ainsi que de plusieurs autres combustibles à base d'agrobiomasse - ont été étudiées dans une série de tests. Les tests ont été réalisés dans des conditions de laboratoire, en utilisant des chaudières à biomasse de pointe et une procédure de test commune suivant la norme de test des chaudières EN 303-5.

En particulier, des granulés de coques de tournesol ont été brûlés dans une chaudière de 45 kW qui utilise le concept innovant d'étagement extrême de l'air. À l'exception des émissions de NOx - qui sont liées à la teneur en azote du combustible - les émissions de CO, d'OGC (composés gazeux organiques) et de PM (particules) mesurées sont bien inférieures aux limites actuelles du règlement sur l'écoconception, telles qu'elles s'appliquent aux combustibles issus de la biomasse ligneuse. On peut également s'attendre à de bons résultats avec un four à grille mobile correctement conçu - avec deux remarques supplémentaires : a) la chaudière doit présenter une bonne performance en matière d'émissions même en cas de fonctionnement à charge partielle, car cela affecte le facteur d'émission saisonnier du règlement sur l'écoconception, b) un système secondaire, tel qu'un ESP, serait nécessaire pour le contrôle des émissions de particules dans ce cas.

Plus d'information :

Brunner, T., Nowak, P., Mandl, C., Obernberger, I. (2021) Assessment of Agrobiomass Combustion in State-of-the-Art Residential Boilers. Actas de la 29th European Biomass Conference and Exhibition, páginas 379-388. DOI: 10.5071/29thEUBCE2021-2AO.5.1. Télécharger: <http://www.etaflorence.it/proceedings/>

CHAUFFAGE DE SERRES AVEC DES GRANULÉS DE COQUES DE TOURNESOL

Les avantages concurrentiels de l'utilisation de granulés de coques de tournesol sont clairement démontrés par le cas d'AGRIS S.A. dans le nord de la Grèce. L'entreprise exploite une pépinière sous serre couvrant une superficie de plus de trois hectares. Le chauffage des espaces représente jusqu'à 13 % des coûts de production de l'entreprise. AGRIS a installé huit chaudières à biomasse (d'une capacité totale de 9,28 MW en 2012 afin d'utiliser une alternative moins coûteuse que le fioul. Utilisant initialement du tourteau d'olive épuisé, AGRIS est passée aux granulés de coque de tournesol, considérés comme un combustible supérieur sans problème d'odeur. Les granulés de coque de tournesol sont importés de Bulgarie, transportés par camion jusqu'à l'entreprise et déchargés dans une zone de stockage couverte. AGRIS estime que le passage aux combustibles issus de la biomasse a permis de réduire la facture annuelle de chauffage de 20 à 30 %.

Plus d'information:

Stroia, C., Jansen, J. (2019) Competitiveness of corporate sourcing of renewable energy. Annex A.4 to part 2 of the study on the competitiveness of the renewable energy sector, Case study: AGRIS S.A. DOI: 10.2833/561885. <https://op.europa.eu/s/vdNy>

CHAUFFAGE D'UN CENTRE COMMERCIAL AVEC DES GRANULÉS DE COQUES DE TOURNESOL

Les pellets de coques de tournesol offrent des avantages similaires à ceux des pellets de bois, ce qui leur permet d'être utilisés dans des applications plus limitées en termes d'espace disponible. Un tel exemple peut être trouvé dans le centre commercial ACADEM-CITY à Kyiv, en Ukraine. Deux chaudières à biomasse (500 kW et 320 kW) alimentées par des granulés de coques de tournesol assurent le chauffage du bâtiment, qui est situé dans un environnement purement urbain. Un système de cyclone est utilisé pour réduire les émissions de particules dans l'atmosphère.

Plus d'information:

Karampinis, M. (2020) AgroBioHeat Deliverable 3.1: Report on identified cases: https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/10/AgroBioHeat_D3.1_agrobiomass-heating-facilities_v1.0-1.pdf



DES CLÉS POUR L'UTILISATION DES COQUES

D'une manière générale, les coques de tournesol constituent une option intéressante pour la production de bioénergie à différentes échelles : des systèmes à petite et moyenne échelle jusqu'aux grandes centrales de cogénération et de production d'électricité. L'un des principaux avantages de cet assortiment de combustibles est qu'il arrive déjà sur le marché sous forme de granulés, ce qui facilite le transport, le stockage, la manutention et l'alimentation.

Quelques aspects clés concernant l'utilisation efficace des granulés de coques de tournesol:

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES PELLETS DE COQUES DE TOURNESOL.

Un paramètre qui semble affecter le prix du marché est la résistance mécanique. Certains pellets de coques de tournesol semblent être plus résistants et ont moins tendance à se briser en petites particules lors de la manipulation. Enfin, les utilisateurs finaux devraient prendre note le fait que les granulés de coque de tournesol ont généralement un diamètre de 8 mm, au lieu des 6 mm des granulés de bois, car cela peut avoir un impact sur leur système d'alimentation en combustible.

SYSTÈME DE COMBUSTION DE LA BIOMASSE.

En général, les coques de tournesol doivent être brûlées dans des systèmes à grille mobile correctement conçus plutôt que dans des systèmes à lit fixe en raison de leur teneur élevée en cendres.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES GRANULÉS DE COQUES DE TOURNESOL.

La teneur en soufre, en azote et en cendres des coques de tournesol est plus élevée que celle de la biomasse ligneuse. L'utilisateur final doit donc en tenir compte et se demander si son système de chauffage est capable de traiter ce combustible tout en maintenant les émissions de SO₂, NOx et particules dans les limites des exigences légales de sa région.

FOURNISSEURS DIGNES DE CONFIANCE.

Pour l'instant, il n'existe pas de système de certification indépendant de la qualité des coques de tournesol. Par conséquent, les consommateurs doivent compter sur le développement de relations de confiance avec les fournisseurs de combustible. Les plus grands fournisseurs de combustibles fournissent généralement des spécifications au moins sur quelques propriétés physiques et chimiques : généralement, le pouvoir calorifique, le diamètre, l'humidité, la teneur en cendres et en soufre. Sur cette base, les utilisateurs finaux peuvent évaluer si une livraison est compatible avec les spécifications de leur système de chauffage à la biomasse.





Autres résidus

POUDRE DE PÉPINS DE RAISIN

Le tourteau de raisin complet (ou bagasse de raisin) est un résidu de la production de vin. Une tonne de tourteau de raisin complet est obtenue avec une production de vin de 3.333,33 l et est composée d'un mélange de rafles, de pulpe et de noyaux de raisin (pépins) dans des proportions variables (25, 55 et 20 % en moyenne respectivement). Leurs caractéristiques varient sensiblement en fonction du type de vin produit, du cépage et du procédé de séparation utilisé.

Le tourteau de raisin est le tourteau complet de raisin dont on a séparé les rafles. La pulpe est obtenue en séparant les noyaux du moût de raisin.

Les noyaux de raisin sont composés d'un tégument ou d'une enveloppe hautement lignifiée et d'un albumen riche en lipides. Les pépins de raisin ont une teneur en huile de 14 à 18 %, qui peut être extraite pour produire de l'huile de pépins de raisin, une huile commerciale de grande valeur utilisée principalement dans l'industrie cosmétique. L'huile peut être extraite du noyau de raisin soit par extraction mécanique, soit par extraction chimique/solvant, en utilisant les méthodes Soxhlet et l'hexane dans un processus similaire à celui de l'extraction de l'huile de grignons d'olive. Afin de faciliter l'extraction, les noyaux de raisin peuvent être broyés et transformés en boulettes. Le résidu de ce processus est appelé poudre de pépins de raisin et peut être utilisé comme combustible de biomasse, mais possède également de bonnes propriétés pour être utilisé comme alimentation animale.

Le format de la poudre de pépins de raisin est granulaire, semblable au tourteau d'olive, bien qu'il soit courant de la granuler pour améliorer la densité et la logistique car elle est assez poudreuse.

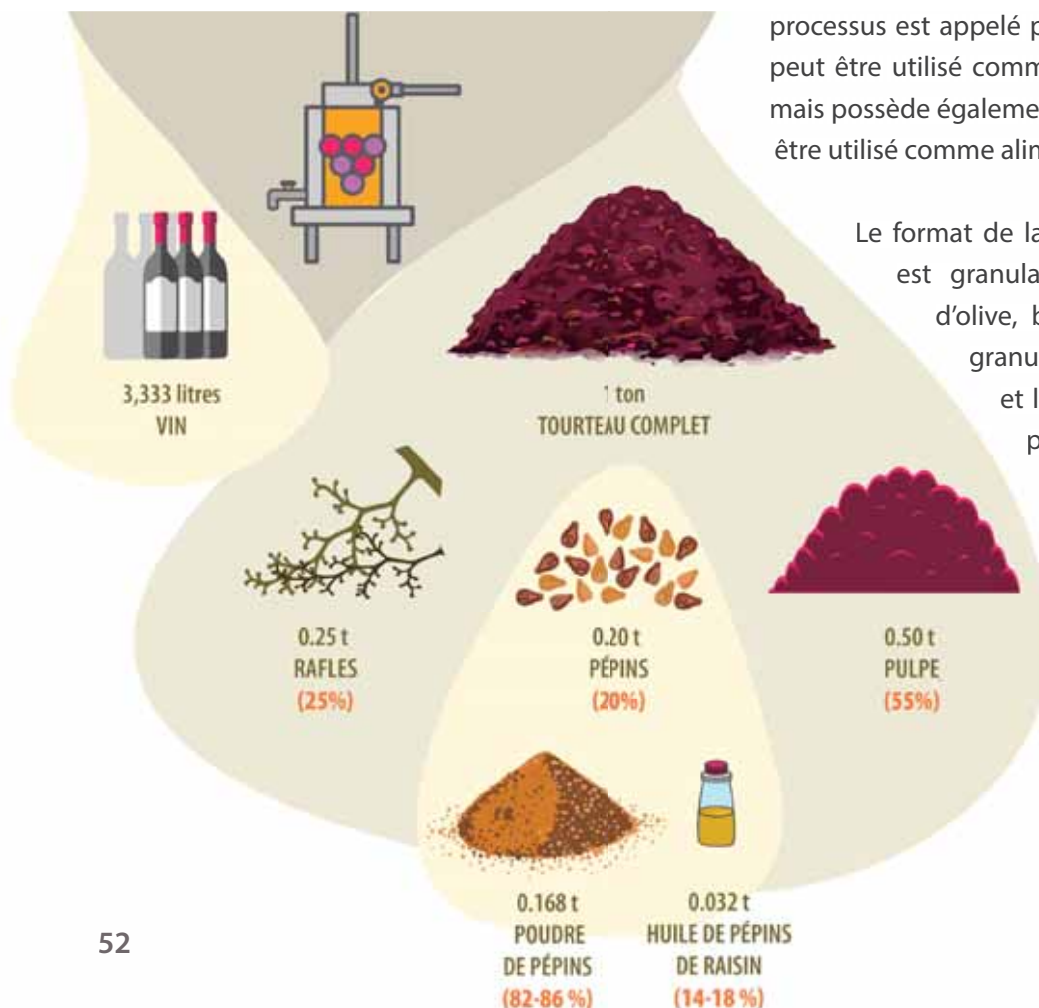


FIGURE 42

*Bilan de masse de la
poudre de pépins
de raisin.*

Source: AVEBIOM



PARAMÈTRE	PLAGE TYPE	VALEUR TYPE	UNITÉ
HUMIDITÉ	7 – 15	10	w-% a.r.
CENDRE	3.5 - 5	4	w-% d.b.
POUVOIR CALORIFIQUE NET	> 16.7	17.4	MJ/kg (a.r.)
DENSITÉ APPARENTE (NON-PELLETISÉ)		450	kg/m ³
AZOTE	1.5 – 2	1.7	w-% d.b.
SOUFRE	< 0.2	0.12	w-% d.b.
CHLORE	< 0.1	0.06	w-% d.b.

TABLE 13

Valeurs caractéristiques de la poudre de **pépin de raisin**.

Source: AVEBIOM

Si l'on considère que la production de vin de l'UE en 2019 a atteint 15,8 milliards de litres, le potentiel théorique de la poudre de pépins de raisin dans l'UE pourrait atteindre près de 800 000 tonnes selon le bilan massique de la **figure 39**. Cependant, le potentiel réel est beaucoup plus faible pour diverses raisons.

Premièrement, les résidus de la production de vin ne sont pas tous utilisés pour la production d'huile de pépins de raisin. Bien qu'il n'existe pas de données complètes sur le marché, le marché de l'huile de pépins de raisin semble être assez faible par rapport à son potentiel théorique. Deuxièmement, une partie de la production d'huile de pépins de raisin a lieu dans des usines à très petite échelle, qui ont des possibilités limitées de valoriser efficacement les résidus. Troisièmement, même parmi les plus gros producteurs d'huile de pépins de raisin, un grand pourcentage de la poudre de pépins de raisin produite

est utilisé soit comme alimentation animale, soit pour les besoins de l'autoconsommation dans les installations d'extraction. Pour l'instant, la poudre de pépins de raisin reste une biomasse de niche pour les marchés extérieurs.

**FIGURA 43 y 44**

Poudre de raisin et Poudre de raisin en pellets. Source: AVEBIOM



MARC DE CAFÉ USAGÉ

Le marc de café usagé est le résidu généré par la préparation du café. Si l'on considère que moins de 1 % des composés du café sont extraits pendant la préparation et le volume de café consommé dans le monde, il est clair que d'énormes quantités de marc de café sont produites chaque année. Certaines quantités de marc sont utilisées comme engrais après compostage et l'utilisation de cette matière première dans le cadre plus large de la bioéconomie, par exemple pour l'extraction de composés précieux, suscite un intérêt croissant. À l'heure actuelle, l'utilisation alternative la plus populaire est l'utilisation comme combustible pour la production de chaleur.

La méthode de valorisation du marc dépend fortement de leur lieu et de leur méthode de production. Les grandes industries qui produisent du café instantané génèrent des volumes importants sur place. Plusieurs d'entre elles ont pris des mesures pour installer des chaudières à biomasse spéciales qui utilisent le marc de café et si ce n'est pas suffisant, d'autres fractions de la biomasse également - pour produire de la vapeur ou des gaz propres chauds pour leur processus. La forte teneur en humidité du marc de café est un facteur important qui doit être pris en compte dans la conception de la chaudière.

Pour les petits utilisateurs finaux de café - cafétérias et ménages – le marc de café est davantage considéré comme "déchets alimentaires" que résidus de processus et il est beaucoup plus difficile de les collecter

et de les valoriser en raison de la dispersion des petits volumes. Cependant, diverses initiatives ont vu le jour à cet effet. Bio-bean (www.bio-bean.com) est probablement l'exemple le plus connu : une entreprise basée au Royaume-Uni qui collabore avec des centaines de cafétérias pour le recyclage du marc de café. En 2021, l'entreprise en a collecté 6.400 tonnes. L'entreprise a lancé plusieurs lignes de produits différentes et étudie des voies de valorisation alternatives. Deux de ses principaux produits sont les bûches de café, une briquette de marc qui est vendue par divers détaillants comme alternative au bois de chauffage, et les granules de café, un produit qui cible principalement le secteur des entreprises. En Grèce, "Kafsimo" (www.incommon.gr/kafsimo) est un projet communautaire de l'organisation non gouvernementale InCommOn qui vise à collecter le marc dans les cafétérias du nord de la Grèce et à les transformer en granulés de biomasse.

Les granulés fabriqués à partir de marc présentent généralement un pouvoir calorifique légèrement supérieur à celui des granulés de bois standard. Leur teneur en cendres est généralement d'environ 2 % en poids (base sèche), ce qui est relativement faible par rapport à d'autres biocombustibles industriels.

Cependant, pour obtenir une meilleure durabilité mécanique, le marc doit être mélangé à un additif ou à une autre matière première lignocellulosique.

En outre, ces granulés présentent généralement des teneurs en soufre et en chlore plus élevées que les granulés de bois.



FIGURE 45

Marc de café usagé. Source: AVEBIOM



NOYAUX DE FRUITS

Les fruits à noyau - également connus sous le nom de drupes - comprennent les variétés de fruits dont l'endocarpe est un "noyau" dur qui contient la graine. Cette catégorie de fruits comprend les amandes et les olives, mais aussi les pêches, les abricots, les prunes, les cerises, etc. Dans cette section, nous nous concentrons sur ce dernier groupe, dont le noyau peut être extrait par les agro-industries qui produisent des confitures, des compotes ou des jus.



Comme le noyau peut représenter un pourcentage significatif du poids total du fruit, ces agro-industries accumulent des volumes importants de ces noyaux pendant leurs périodes de production et peuvent ensuite les valoriser comme biocombustibles. En théorie, il serait également possible d'utiliser les noyaux générés par les fruits à noyau consommés sur le marché alimentaire, mais leur dispersion ne rend pas ce concept économiquement viable.

Les noyaux de fruits peuvent être trouvés sur le marché sous forme de noyaux "entiers" (**Figure 46**) et peuvent être utilisés dans des chaudières plus industrielles avec des systèmes d'alimentation suffisamment importants. Ils peuvent également être broyés (**Figure 47**) et être utilisés dans des chaudières plus petites, mais en raison de leur valeur calorifique élevée, le rythme d'alimentation doit être réduit.

DRUPE	% EN POIDS DE L'ENDOCARPE (NOYAU)
Abricot	10%
Cerise	8%
Pêche	15%
Prune	4%

TABLE 14

Pourcentage en poids de l'endocarpe de plusieurs fruits

Source: "Global Bioenergy potential from high-lignin agricultural residue". Mendu et al. Universidad de California, Berkeley, CA. 2012. <https://www.pnas.org/content/109/10/4014.short>

PARAMETRE	PLAGE TYPE	VALEUR TYPE	UNITÉ
HUMIDITÉ	< 18	14	w-% a.r.
CENDRE	< 3	1.8	w-% d.b
VCN	> 16,750	18,840	KJ/kg (a.r.)
AZOTE		0.8	w-% dry
SOUFRE		0.035	w-% dry

TABLE 15

Valeurs caractéristiques du noyau de pêche. AVEBIOM avec des données de Muns Agroindustrial et Phyllis

La Grèce est un leader européen dans la production de compote de pêches. Les noyaux de pêche sont produits en grande quantité par les conserveries de pêches et, par le passé, ils étaient disponibles sur les marchés locaux en tant que biocombustibles solides. Cependant, la plupart des plus grandes conserveries ont maintenant installé des chaudières à biomasse qui visent à couvrir - dans une large mesure - leurs besoins en chaleur industrielle. Par conséquent, la quasi-totalité des noyaux de pêche sont désormais autoconsommés par les conserveries et seules des quantités limitées - voire inexistantes - peuvent être trouvées sur le marché.

FIGURE 46 ET 47

Noyaux de pêche entiers et déchetés.

Source: Muns Agroindustrial



COQUES (BALLES) DE RIZ

La coque ou balle de riz est l'enveloppe extérieure des grains de riz - également appelés riz paddy - et est retirée lors de l'usinage. En moyenne, l'enveloppe représente environ 20 % du poids du grain de riz. Après l'usinage, le riz brun peut faire l'objet d'un traitement supplémentaire pour l'élimination de la couche de son, qui représente encore 10 % du grain de riz paddy. Le son est principalement utilisé pour l'alimentation animale, tandis que la balle de riz est de plus en plus exploitée pour la production d'énergie.

Avec une production mondiale estimée à 758 millions de tonnes de riz paddy, il est clair que le potentiel de ce résidu agro-industriel est énorme. La grande majorité de la production mondiale de riz se trouve dans les pays asiatiques. La production annuelle de riz paddy de l'UE est d'environ 2,8 millions de tonnes, soit environ 1,7 million de tonnes d'équivalent riz usiné. La production est principalement en Italie, mais il existe également des lieux de culture en Espagne, en Grèce, au Portugal et dans quelques autres pays européens.

EPIS DE MAÏS

Parfois, le maïs grain est récolté avec l'épi, dont il est séparé dans des installations plus ou moins grandes. Les épis de maïs peuvent donc constituer un résidu de biomasse pertinent issu d'une pratique agro-industrielle dans ces environnements. Dans ce cas, il peut être utilisé sur place, par exemple pour sécher le grain de maïs, et les quantités restantes peuvent être mises à la disposition du marché.

La teneur en cendres des rafles de maïs est assez faible (environ 2 % en poids sur base sèche), ce qui en fait à première vue un combustible très intéressant.

Les balles de riz sont une source d'énergie évidente pour les rizeries, qui ont besoin d'énergie thermique sous forme d'eau chaude ou de vapeur pour deux processus principaux : le séchage saisonnier du riz paddy et l'étuvage continu. Les quantités produites peuvent en fait répondre à la demande d'énergie thermique d'une rizerie typique et les quantités restantes peuvent être vendues sur le marché comme biocombustibles ou même trouver d'autres applications non énergétiques.

Par rapport aux autres résidus agro-industriels abordés dans ce guide, les balles de riz présentent deux caractéristiques distinctes. Premièrement, elles ont une teneur en cendres très élevée, qui peut atteindre jusqu'à 18 à 20 % en poids (base sèche). Deuxièmement, la plupart des cendres de la balle de riz sont composées principalement de silice. La concentration élevée de silice, ce qui donne à la balle de riz sa dureté distincte, cause des problèmes dans les machines de traitement, comme les convoyeurs et les moulins. D'un autre côté, cela donne une valeur économique à la cendre de balle de riz, qui peut être utilisée comme matière première pour les industries du béton et de l'acier, ainsi que pour d'autres applications potentielles.

Cependant, le problème principal est la teneur très élevée en potassium dans les cendres, qui abaisse la température de fusion des cendres et peut créer de graves problèmes de scorification. Sur les systèmes à moyenne échelle, la combustion des rafles de maïs est possible grâce à l'application de technologies spécifiques qui atténuent ces problèmes. Vous trouverez plus d'informations sur les propriétés des combustibles à base de rafles de maïs et sur les particularités de la combustion dans le guide dédié du projet AgroBioHeat intitulé *"Résidus de maïs pour l'énergie"*



RÉSIDUS AGRO-INDUSTRIELS IMPORTÉS

Outre les différents résidus agro-industriels générés en Europe, les agro-industries situées sur d'autres continents traitent différents produits agricoles et produisent de grandes quantités de résidus. Parmi les plus importants, citons les **coques de palme** (PKS) et la **presse de palme** (PKE), deux résidus de l'industrie de l'huile de palme, les **coques de cacao**, résidu de la transformation du cacao, et la **bagasse de canne à sucre**, résidu de l'industrie de la canne à sucre.

Ces résidus étant générés hors d'Europe, ils ne sont pas considérés de manière approfondie pour ce guide. Il convient toutefois de noter que de nombreux produits de ce type suscitent l'intérêt en Europe, en Asie et ailleurs, principalement comme combustible pour remplacer le charbon dans les applications industrielles et la production d'électricité.

RÉSIDUS D'ÉGRENAGE DU COTON

La production de coton de l'UE ne représente qu'1 % (environ 340 000 t en 2018) de la production mondiale. Toutefois, le coton est une culture très importante au niveau régional, principalement en Grèce - 80 % de la production de l'UE - et dans certaines régions d'Espagne et de Bulgarie.

Après la récolte, le coton graine est transporté vers des usines d'égrenage, qui séparent les fibres des graines. La graine de coton peut être utilisée directement comme aliment pour animaux, mais elle peut également être transformée pour la production d'huile de coton et de farine de coton ; la première peut être utilisée pour diverses applications, notamment la production de biodiesel, tandis que la seconde est utilisée comme aliment pour animaux.

Environ 10 % du poids du coton graine reste sous forme de résidu fibreux dans les usines d'égrenage du coton. Ce matériau a une teneur élevée en cendres (15 w-% de base sèche ou plus), mais il est suffisamment sec pour être exploité comme biocombustible, avec un VNC d'environ 14,6 MJ/kg (teneur en humidité d'environ 13 %).

Plusieurs usines d'égrenage de coton en Grèce autoconsomment ce résidu pour la production de vapeur, utilisée dans divers processus de l'usine (séchage du coton, production d'huile de coton, etc.). En 2014, une centrale de cogénération à la biomasse de 1 MWe a été construite dans le nord de la Grèce, utilisant comme combustibles des résidus d'égrenage de coton et autres types de biomasse locaux.

FIGURE 48

Coton grainé dans une usine d'égrenage de coton

(Source: G&P Cotton Ginners S.A.)



FIGURE 49

Les résidus d'égrenage du coton alimentent une centrale de cogénération de 1 MWe. Source: PHILIPPOPOULOS ENERGY TECHNICAL S.A.





Le consortium AgroBioHeat



CERTH
CENTRE FOR
RESEARCH & TECHNOLOGY
HELLAS

Centre for Research and Technology Hellas (CERTH) est l'un des principaux centres de recherche en Grèce. Parmi ses domaines d'expertise, on compte les activités relatives aux sources d'énergie renouvelables, à la production et à l'utilisation de biocarburants solides, aux économies d'énergie et à la protection de l'environnement.

www.certh.gr



AVEBIOM est l'association espagnole de bioénergie qui représente toutes les entreprises de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement de la bioénergie en Espagne.

www.avebiom.org



BIOS est une société autrichienne de R&D et d'ingénierie qui possède plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de l'utilisation de la biomasse énergétique.

www.bios-bioenergy.at



Bioenergy Europe (anciennement connu sous le nom d'AEBIOM) est la voix de la bioénergie européenne. Elle vise à développer un marché durable de la bioénergie basé sur des conditions commerciales équitables.

www.bioenergyeurope.org



Food & Bio Cluster
Denmark

Food & Bio Cluster Denmark est le cluster national danois pour l'alimentation et les bioressources. Nous encourageons une coopération accrue entre la recherche et les entreprises et offrons à nos membres un accès unique aux réseaux, aux financements, au développement commercial, aux projets, aux installations et à divers services de conseil.

www.foodbiocluster.dk



RESEARCH CENTRE
FOR ENERGY RESOURCES
AND CONSUMPTION

Centre technologique fondé en Espagne en 1993, cherchant à fournir des solutions innovantes dans le domaine de l'énergie pour un développement durable.

www.fcirce.es



Le consortium AgroBioHeat



INASO-PASEGES est une organisation civile sans but lucratif, créée en 2005 à Athènes par la Confédération panhellénique des unions de coopératives agricoles (PASEGES).

www.neapaseges.gr



The Green Energy Cooperative (ZEZ) a été créé en 2013 dans le cadre du projet "Développement des coopératives énergétiques en Croatie" mis en œuvre par le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) en Croatie.

www.zez.coop



L'objectif principal du Cluster est de développer le secteur de la bioénergie en Roumanie et de susciter l'intérêt pour la production et l'utilisation de la biomasse.

www.greencluster.ro



UABIO a été créée en 2013 en tant qu'organisation publique. Le but de l'activité de l'association est de créer une plateforme commune de coopération sur le marché de la bioénergie de l'Ukraine.

www.uabio.org



AILE travaille sur les énergies renouvelables et les économies d'énergie dans les zones agricoles et rurales de l'Ouest de la France.

www.aile.asso.fr



White Research est une entreprise de recherche sociale et de conseil spécialisée dans le comportement des consommateurs, l'analyse de marché et la gestion de l'innovation, basée à Bruxelles.

www.white-research.eu



Agronergy est un fournisseur de services énergétiques français dédié au chauffage renouvelable.

www.agronergy.fr



Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 818369