

# ETUDE GRAMIX

PROPELLET EVENT

---

L'ENJEU DU FEUILLU DANS LE GRANULÉ

---





22 & 23 mai 2012  
Strasbourg  
Maison de la Région Alsace

ATELIER

## Innovations et bilan environnemental des filières granulés

Animé par Frédéric Douard, *Bioénergie Promotion*

- **Agro-pellets, granulés de feuillus et torréfaction**  
Matthieu Campargue, *RAGT*  
Etat de développement et perspectives de ces filières en France et en Europe.
- **La granulation à partir de bois forestiers**  
Antoine de Cockborne, *Biosyl*  
Projet de granulation de 120 000 t/an en Bourgogne à partir de bois forestiers de coopérative : ressources, qualité, process (mix feuillus-résineux et 100 % résineux). Approche de Biosyl sur la formulation à partir de plusieurs essences. Retour d'expérience sur l'utilisation de ressources feuillues au Canada, process et marketing.

Concernant les granulés à base de feuillus, RAGT poursuit ses recherches sur 15 essences différentes. Le feuillus représente en effet un potentiel de ressources importantes car une grande part de gisement en feuillus peut être mobilisée dans les pays Européens. A cela s'ajoutent, des expériences réussies au Canada. Aujourd'hui le feuillu en France représente les 2/3 des superficies de volume sur pied et la part du résineux dans le marché du granulé du bois représente 95 % du marché. L'objectif de RAGT est de produire un granulé bois feuillus standardisé pour une production constante. Les caractéristiques du feuillus sont variables, hétérogènes et différentes de celle du résineux mais elles sont, pour certaines ressources, acceptables.



- Croissance importante de la filière granulés bois depuis 15 ans
- Un granulé majoritairement produit à partir de ressources résineuses et presque « formaté » sur le résineux
- Peu de granulés 100% feuillus produit en France avec souvent un mix 30/70 Feuillus-Résineux
- Une ressource limitée en 100% résineux pour poursuivre notre développement
- 2/3 des surfaces françaises produisent du bois feuillus (vs 30/70% collectés)
- Des marchés à exploiter pour développer la filière
- Beaucoup de questions autour de la qualité des granulés bois feuillus :
  - Qualité produit
  - Qualité combustion
  - Granulation

# UNE EXPÉRIENCE ACQUISE DU BOIS FEUILLUS DANS LES GRANULÉS - FRANCE

H DE CHERISEY



## ▪ Quantités produites :

- 10 entreprises françaises produisent ≈ 175 Kt de granulé de bois mixte feuillus-résineux, avec 25 à 50 % de feuillus (chêne, hêtre, peuplier, charme, ...). **Toutes sont certifiées pour la classe A1 de la norme 17225-2.**
- 3 fabriquent ≈ 4500 t de granulé 100 % feuillus (chêne ; chêne dominant ; châtaignier). Deux certifiées A1.

## ▪ Matières premières :

- Le plus souvent des **connexes**. Les **sciures de feuillus sont meilleur marché** que celles de résineux mais avec une disponibilité limitée.
- Peu d'entreprises valorisent du rondin de feuillu (surcoûts de l'écorçage- broyage).
- Le respect de la classe A1, en particulier du taux de cendres, implique une **grande attention à la qualité des matières premières et à leur séchage**. Chacun a sa **recette de formulation**.

## ▪ Marché :

- L'acceptation par le marché, conditionné au "100 % résineux", demeure un facteur limitant alors que des clientèles fidèles valorisent les granulés mixtes et purs feuillus produits.
- La communication sur l'incorporation de bois de feuillu reste en conséquence discrète.

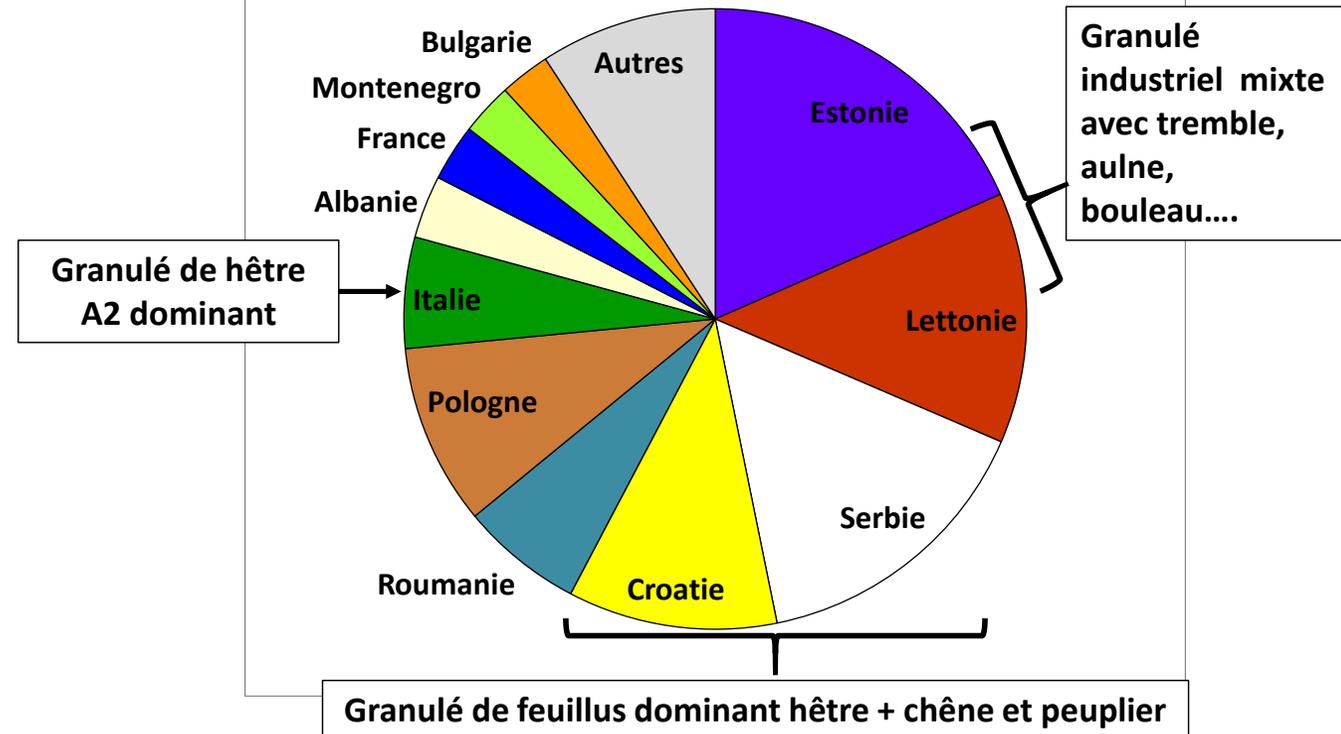
# L'EXPÉRIENCE ACQUISE DU BOIS FEUILLUS DANS LES GRANULÉS – EUROPE (1)

H DE CHERISEY



- Pas de statistiques sur l'incorporation de bois de feuillus
- Estimation pour 2020 : **2,6 à 2,8 millions de tonnes « d'équivalent feuillus »**, sur un total de 19,5 Mt pour l'UE + Balkans hors UE
- **Grande diversité de produits** : granulé mixte à usage résidentiel (A1 ou A2) ou industriel, granulé 100 % feuillus pour le chauffage résidentiel ou collectif

Répartition des tonnages produits "équivalents feuillus" dans l'UE + Balkans hors UE





## Contexte d'augmentation du prix des énergies fossiles lié à crise Ukrainienne

- ⇒ Favorable au développement de l'énergie biomasse
- ⇒ Points de vigilance ; éviter les tensions d'approvisionnement, renforcement de la mobilisation des bois en veillant à la gestion durable des forêts,
- ⇒ prélèvement en adéquation avec les gisements : Etude ADEME : disponibilités en biomasse forestière pour l'industrie et l'énergie estimée + **20 millions de m3/an d'ici 2035** avec **80% de la ressource supplémentaire en essences feuillues**

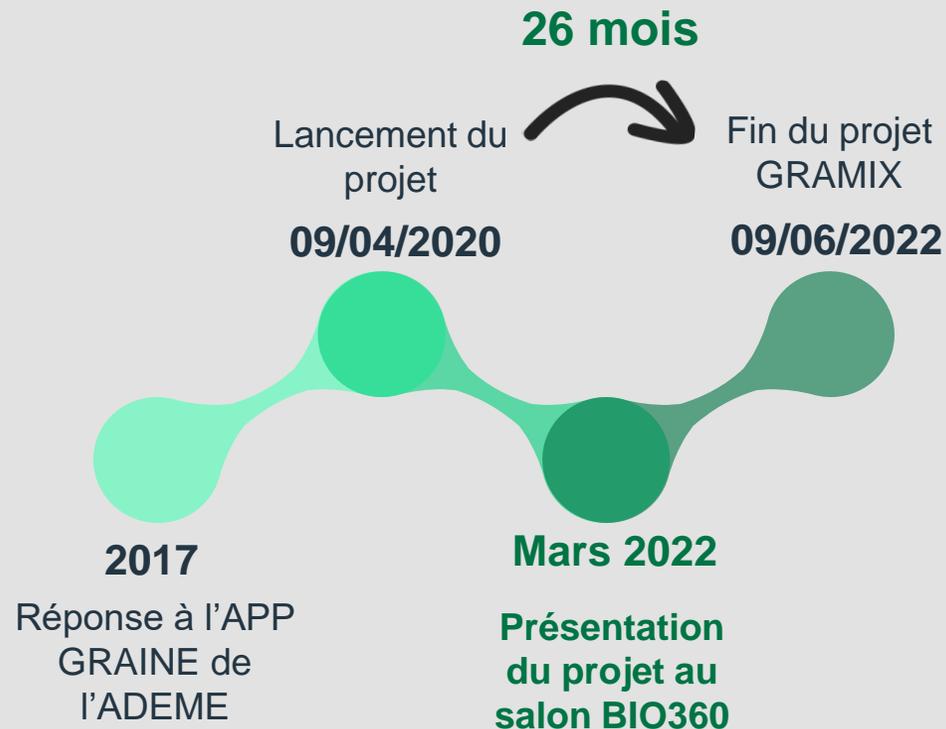
**L'ADEME souhaite le développement d'une filière granulés feuillus en adéquation avec ses gisements. Les résultats de l'étude effectuée dans le cadre du projet GRAMIX sont extrêmement encourageants et devraient permettre à la filière de s'emparer de ce sujet.**

# GRAMIX EN QUELQUES CHIFFRES

RAGT ENERGIE



## TIMELINE



## FINANCEMENT



## PARTENAIRES



1

Evaluation des gisements

2

Analyses et Formulation

3

Etude de faisabilité en granulation

4

Analyse de la qualité produit

5

Analyse économique

6

ACV



# GISEMENTS

*Etat des gisements de la ressource feuillue pour la production de granulés bois*

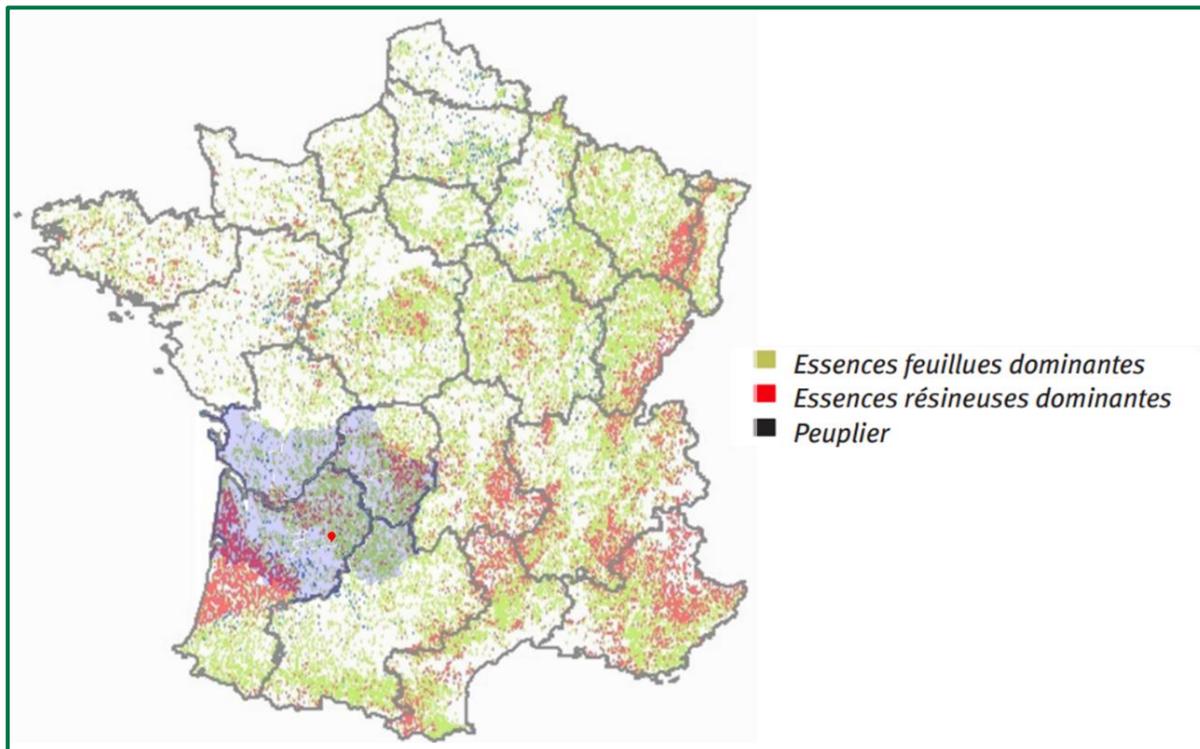
# DISPONIBILITÉ DES RESSOURCES FEUILLUES BASSIN D'APPROVISIONNEMENT DE GRASASA

FCBA

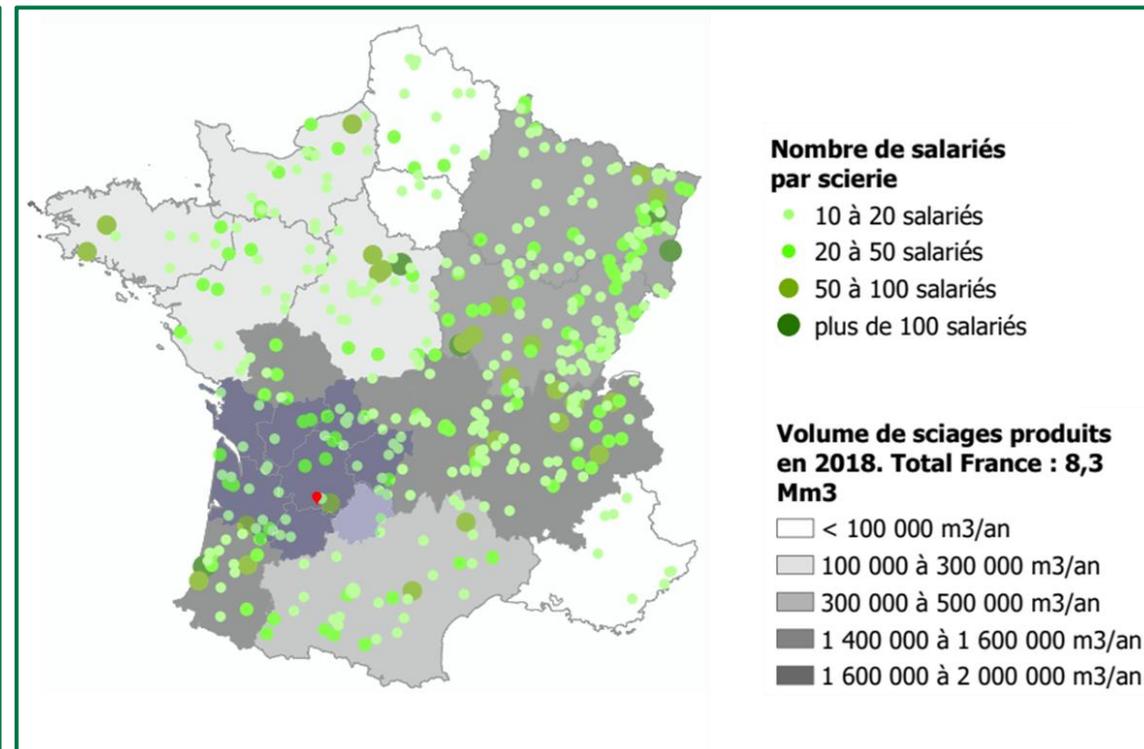


## APPROCHES UTILISÉES :

### Peuplements forestiers (Bois sur pied)



### Produits connexes de sciage



# DISPONIBILITÉ DE BOIS SUR PIED

FCBA



## ▪ Sources des données :

- Inventaire forestier (campagnes 2014-2018)
- Résultats de l'étude ADEME-FCBA-IGN 2016  
« Disponibilités forestières en énergie et matériaux à l'horizon 2035 »
  - ✓ Mise à jour en 2019 par l'étude FCBA-IGN FBF et MAA
  - ✓ Réestimation de la répartition du bois d'œuvre et du bois d'industrie dans la disponibilité.

## ▪ Considérations :

- Scénario de prélèvement dynamique progressif ; parmi les scénarii de l'étude, celui-ci correspond à une augmentation de la demande
- Période 2031-2035 : déterminer si la ressource sera toujours disponible dans le futur
- Volumes de bois d'industrie-énergie
  - ✓ Petits diamètres (jusqu'à 7 cm minimum ou de mauvaise qualité technologique pour bois d'œuvre)

## ▪ La disponibilité technico-économique

Au volume disponible en tenant compte de l'état des peuplements, des contraintes d'exploitation et de la volonté de commercialiser les bois par les propriétaires.

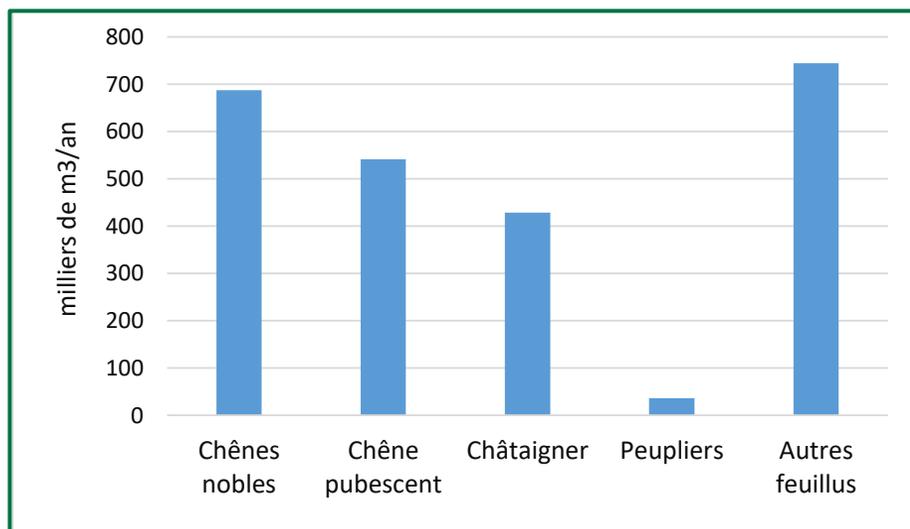
## ▪ La disponibilité supplémentaire en bois industrie-bois énergie (BIBE)

Calculée en retirant à la disponibilité technico économique la part déjà récoltée pour les usages courants ; cela correspond à la part disponible pour de nouveaux utilisateurs, sans concurrence d'usage.



# DISPONIBILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE BOIS SUR PIED

FCBA

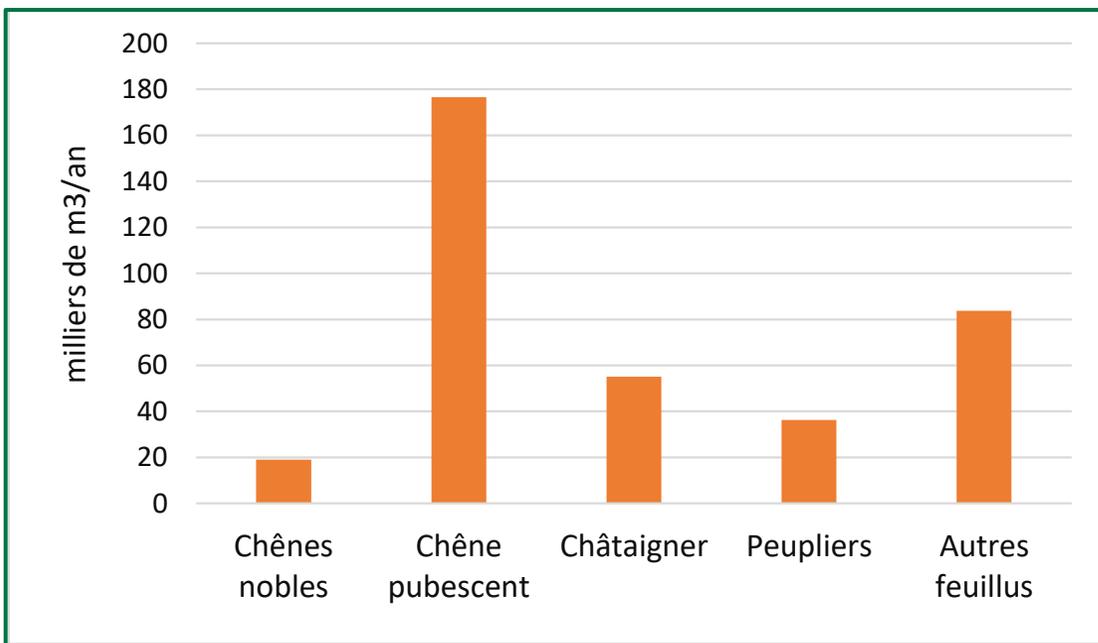


X 1000 m³/an	Chênes nobles	Chêne pubescent	Châtaigner	Peupliers	Autres feuillus	Total général
Dordogne	203	204	197	2	237	842
Charente	65	51	44	5	49	214
Charente-Maritime	40	35	34	4	46	159
Corrèze	86	4	36	0	92	218
Gironde	138	14	21	6	155	335
Lot	53	159	42	2	72	327
Lot-et-Garonne	50	75	23	17	54	219
Haute-Vienne	53	0	31	0	40	124
<b>Total bassin d'approvisionnement potentiel</b>	<b>687</b>	<b>541</b>	<b>429</b>	<b>36</b>	<b>744</b>	<b>2 438</b>
<b>France entière</b>	<b>10 202</b>	<b>1 522</b>	<b>2 027</b>	<b>583</b>	<b>15 448</b>	<b>29 782</b>

- Les chênes constituent la plus grosse partie de la disponibilité (10Mm3), suivi du châtaigner.
- A l'échelle nationale, près de 30 Mm3 de BIBE serait mobilisable

# DISPONIBILITÉ SUPPLÉMENTAIRE BOIS SUR PIED

FCBA

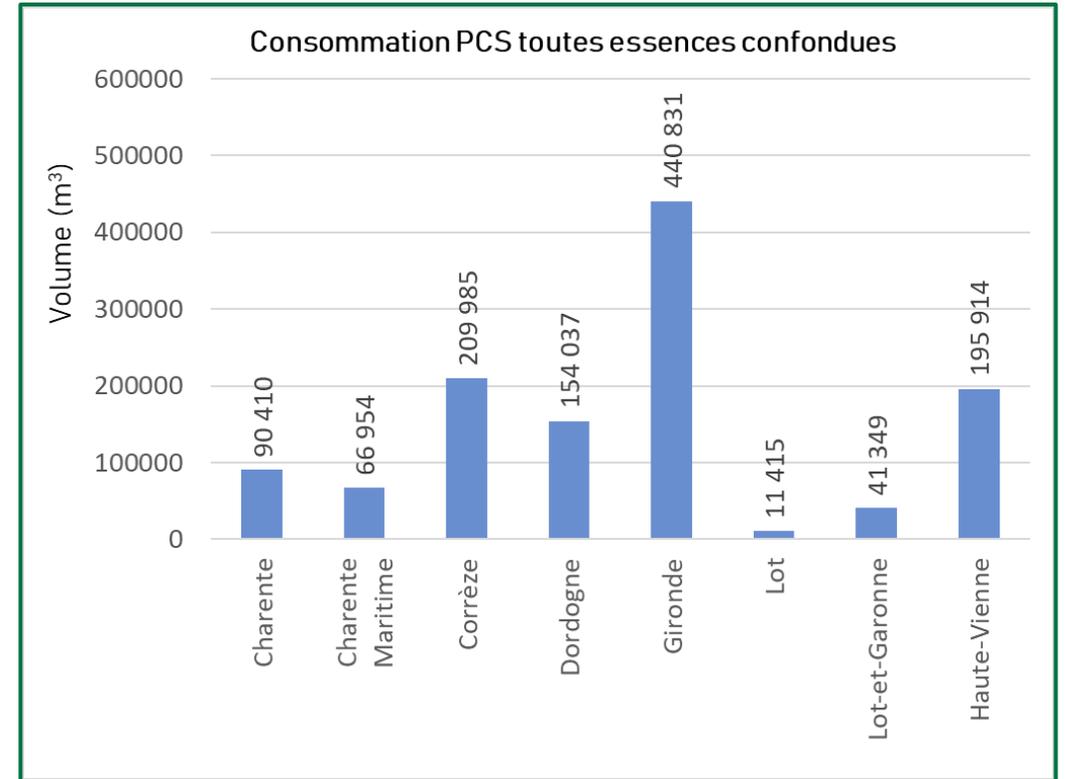
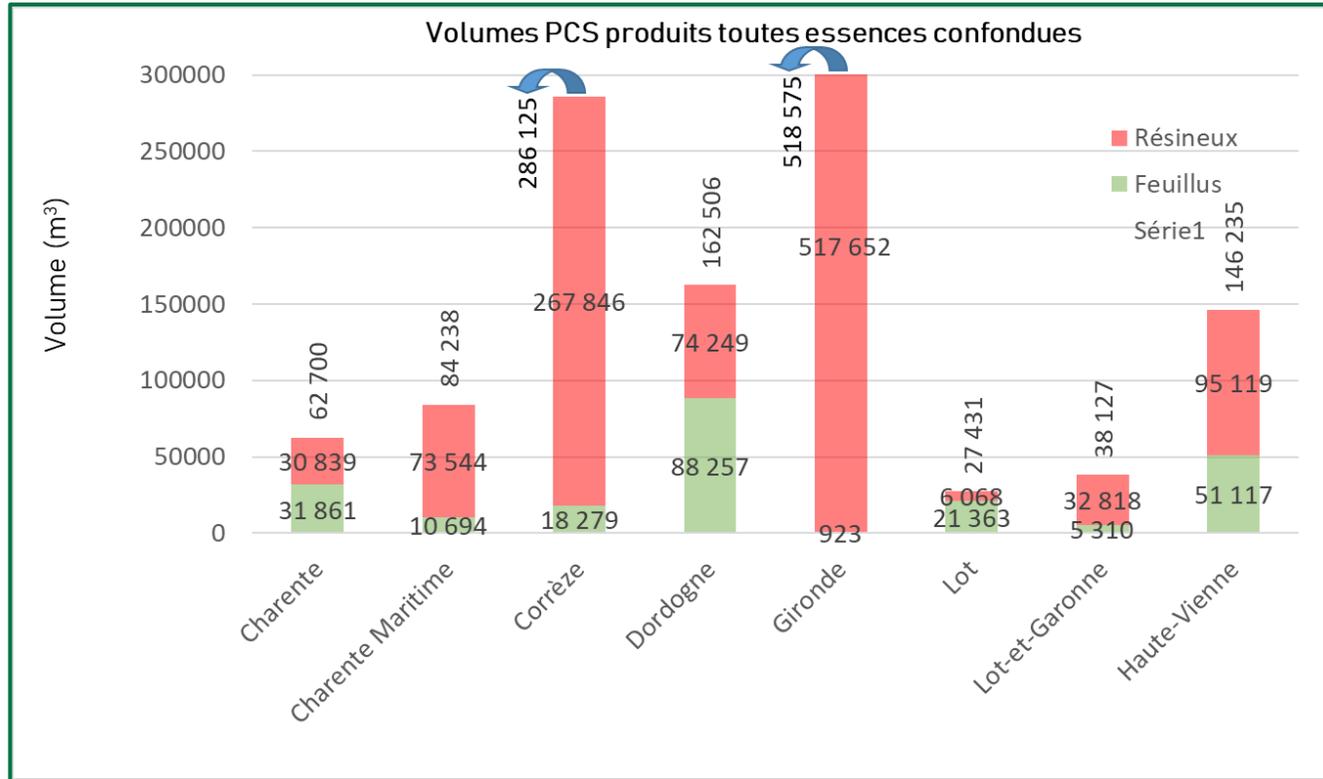


* 1000 m³/an	Chênes nobles	Chêne pubescent	Châtaigner	Peupliers	Autres feuillus	Total général
Dordogne	<0	19	19	2	18	50
Charente	25	19	16	5	18	84
Charente-Maritime	19	17	16	4	22	78
Corrèze	<0	<0	<0	0	<0	<0
Gironde	1	3	4	6	30	44
Lot	29	100	27	2	42	198
Lot-et-Garonne	3	21	7	17	15	63
Haute-Vienne	<0	0	<0	0	<0	<0
<b>Total bassin d'approvisionnement potentiel</b>	19	177	55	36	84	371
<b>France entière</b>	3 361	652	725	583	5 623	10 945

- La disponibilité supplémentaire en BIBE feuillus sur l'ensemble de la France est de de 34 % de la disponibilité technico économique, soit 11Mm3
- La disponibilité globale pourrait représenter 40Mm3/an mobilisable sans compter les gisements mobilisables tel que le châtaigner dépérissant qui a été étudié sur le projet

# PRODUCTION ET CONSOMMATION DE PRODUITS CONNEXES

FCBA



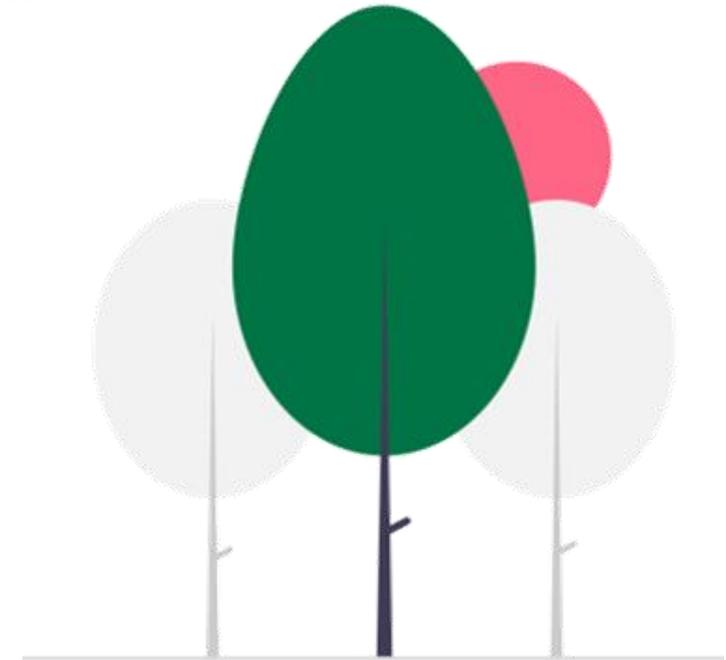
- 770 mil m³/a/an en consommation, 807 mil m³/a/an en production => 37 mil m³/a/an (différence)
- Plutôt que démontrer une disponibilité supplémentaire, l'analyse de ces valeurs montrent un très bon équilibre entre l'offre et la demande de PCS

# CONCLUSIONS

FCBA



- Au niveau national, la disponibilité technico économique de feuillus est de **29,7 Mm<sup>3</sup>** tandis que la disponibilité supplémentaire BIBE est de **10,9 Mm<sup>3</sup>/an**
- Il existe des **gisements d'opportunités** comme le châtaignier dépérissant
- Les connexes de scierie feuillus peuvent être disponible et se négocie à des **prix inférieur aux résineux**
- Des scénarios de captation ont été proposés par FCBA pour alimenter les besoins en PCS de feuillus





# ECORÇAGE

*Essais comparatifs entre l'action d'un criblage de plaquettes avec écorces et l'action d'une écorceuse à rotor sur billons*



## IMPACT DE L'ÉCORCE

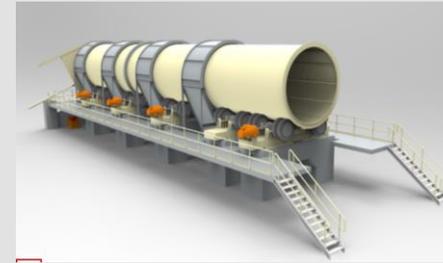
L'écorce est la partie qui concentre le plus de minéraux et donc le plus fort taux de cendres.

## OBJECTIF DES ESSAIS

Les essais menés ont pour but de comparer l'utilisation d'un crible rotatif sur des plaquettes non écorcées et l'utilisation classique d'une écorceuse à rotors sur des billons. L'utilisation d'un crible étant une possible solution alternative à l'écorçage classique, peu adapté aux feuillus.

## TECHNOLOGIES EXISTANTES

- Ecorceuses :



À tambour rotatif



À rotors

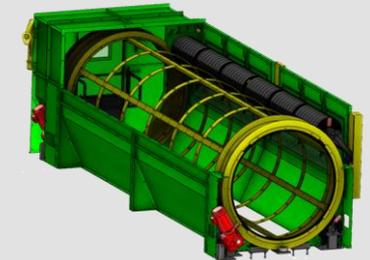
- Cribles :



Oscillants



Etoiles



Rotatifs

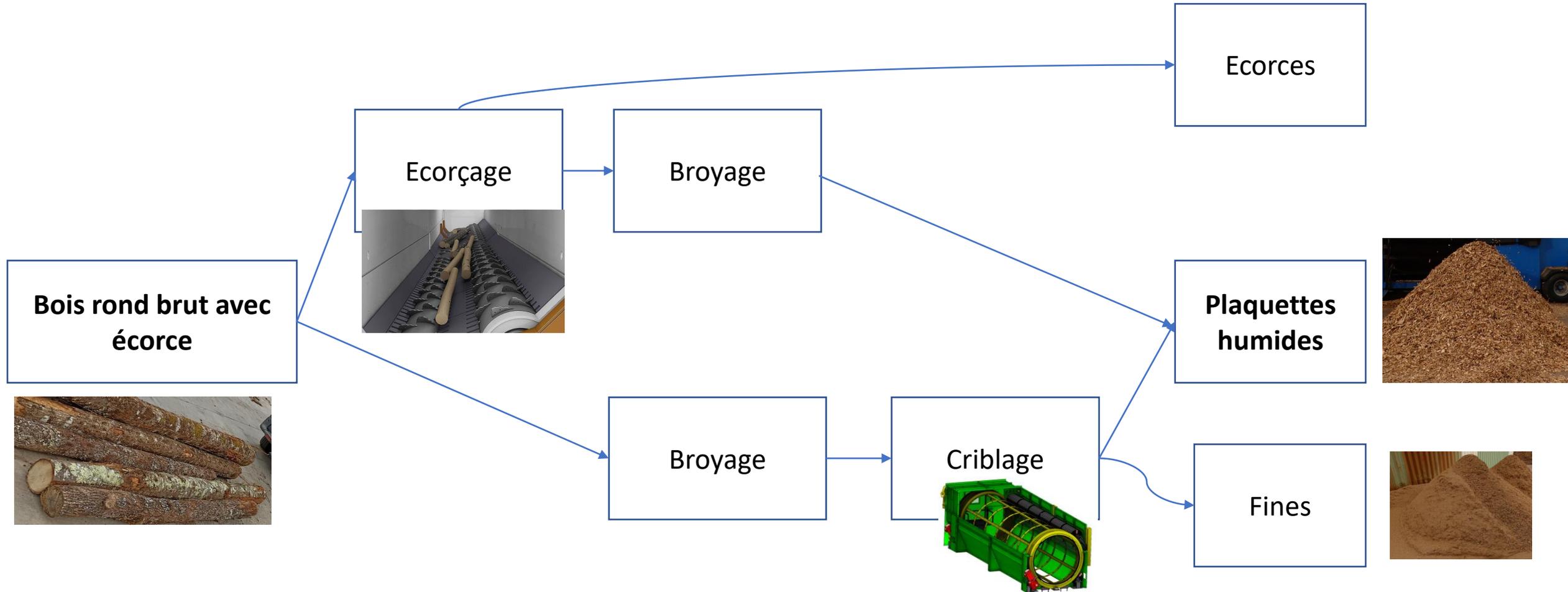
**Ces technologies ne paraissent pas adaptées au bois feuillu**

# ETUDE COMPARATIVE ECORCAGE/CRIBLAGE

RAGT



- **Objectif** : comparer les performances de préparation de la matière pour abaisser le taux de cendres



01/06/2022

GRAMIX  
PROPELLET EVENT



# RÉSULTATS DES ESSAIS

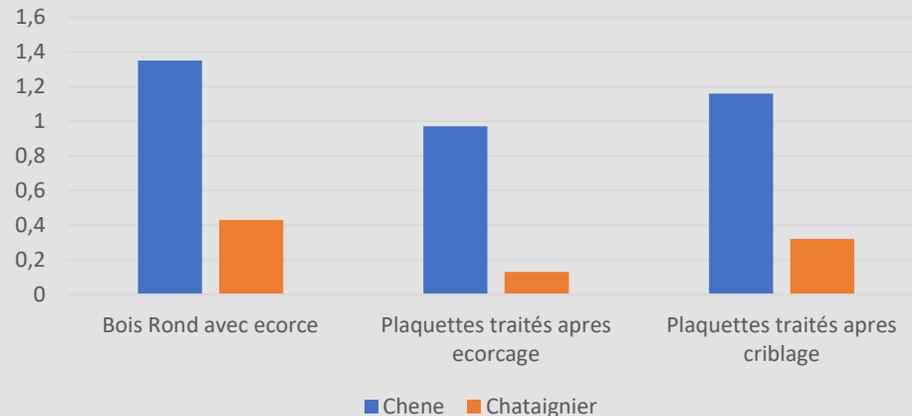
FCBA



## RÉSULTATS

Les teneurs en cendres des plaquettes criblées sont supérieures à celles des billons écorcés mais conformes aux seuils normatifs

Impact de l'écorticage et du criblage sur le taux de cendres



## CONCLUSION

Le criblage des plaquettes (non écorcées) peut s'avérer être une alternative aux écorceuses pour le bois feuillu mais a des performances limitées.



# FORMULATION

*Méthodologie pour la production de granulés bois à partir de ressource feuillue*

# SÉLECTION & CARACTÉRISATION



**Objectif :** définir par le mélange les mélanges de matières à réaliser pour atteindre les spécifications produits

## ESPÈCES RETENUES



Chêne  
(CHE)



Châtaignier  
(CHA)



Peuplier  
(PEU)



Résineux  
(RES)

## CARACTÉRISATION DES MATIÈRES PREMIÈRES

- **Préparation des matières :** connexes ou bois rond écorcés
- **Paramètres étudiés :**
  - Thermochimiques : taux de cendres, ...
  - Chimiques : teneur en Azote, en Chlore, ...
  - Physiques : masse volumique, ...
- **Comparaison normative :**

Echantillons	NF EN ISO 17225-2 A1	NF EN ISO 17225-2 A2
Chêne	✗	✓
Peuplier	✗	✗
Résineux	✓	✓
Châtaignier	✓	✓

Les analyses sont proches malgré un PCI légèrement inférieur sur le feuillus (5%)  
Les analyses du châtaignier et du résineux sont conformes aux normes tandis que le chêne et le peuplier ont des dépassements en terme de taux de cendres  
=> Une formulation est ainsi nécessaire.

# FORMULATION



## OBJECTIF

Définition de mélanges dont les caractéristiques théoriques permettent d'intégrer du feuillu et d'atteindre les seuils normatifs 17225-2 A1 et A2

## MÉTHODE

- Caractérisation des matières premières
- Etablissement des formules théoriques par calcul
- Comparaison aux seuils normatifs pour pré-sélection des formules

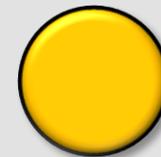
## LÉGENDE

- Résineux
- Châtaignier
- Chêne
- Peuplier

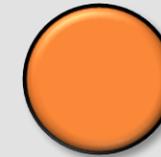
## FORMULES CONÇUES



CHA 100



CHE 100



PEU 100



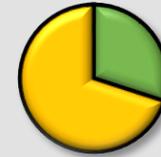
CHA 30 - CHE 70



RES 100



CHA 70 - RES 30



CHE 70 - RES 30



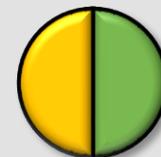
PEU 70 - RES 30



CHA 70 - CHE 30



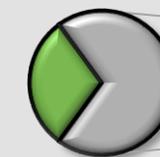
CHA 50 - RES 50



CHE 50 - RES 50



PEU 50 - RES 50



70 (CHA 70 - CHE 30) - 30 RES



CHA 30 - RES 70



CHE 30 - RES 70



PEU 25 - RES 75



30 (CHA 70 - CHE 30) - 70 RES



# GRANULATION

*Feuillus VS Résineux : quels enseignements ?*



## OBJECTIFS

- Etude du comportement en granulation des formules
- Etablissement des paramètres et conditions de granulation
- Sélection des formules pour changement d'échelle

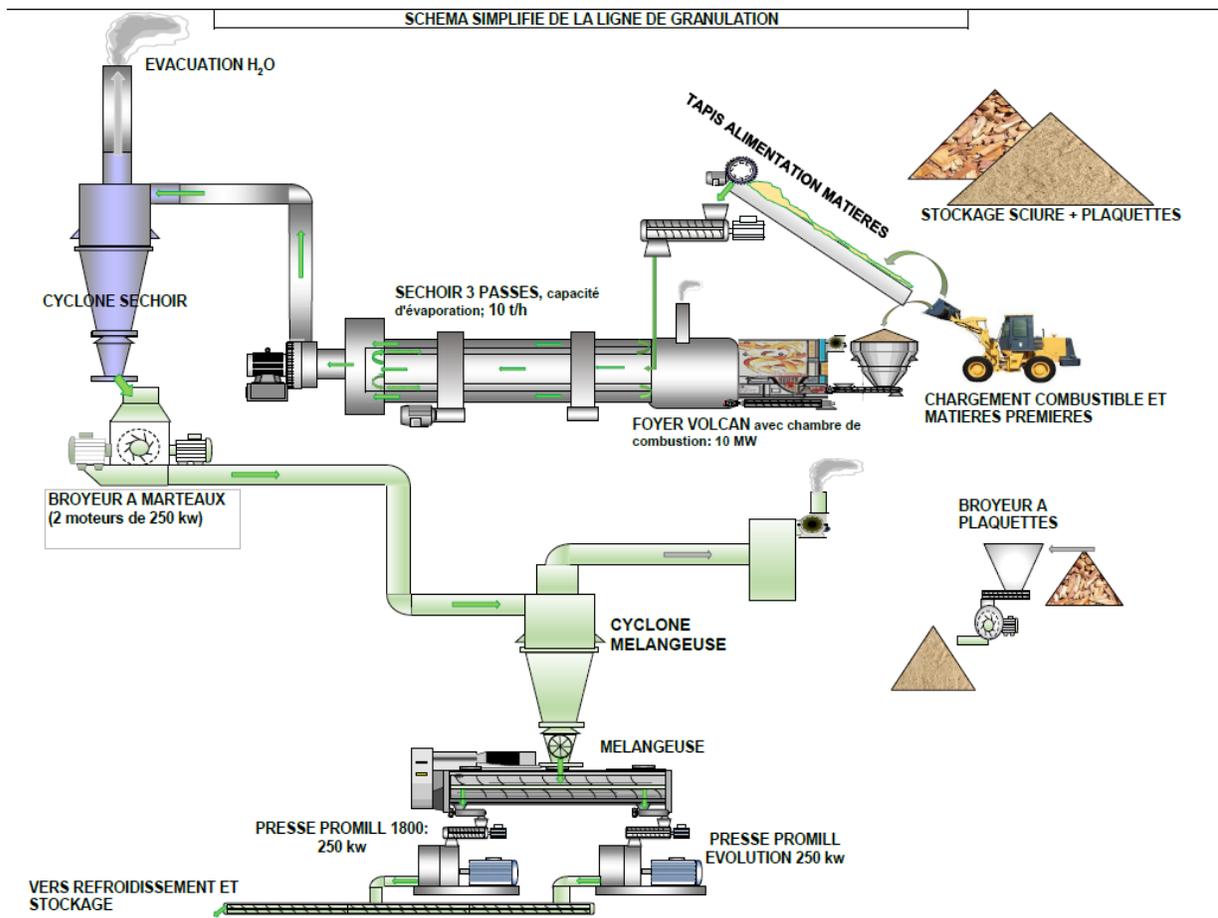
## MÉTHODE

- Prétraitement de la matière première
- Essai de granulation
- Définition des paramètres optimaux de granulation
- Caractérisation des granulés obtenus
- Comparaison aux seuils normatifs pour sélection

## MATÉRIEL

- Presse à granuler :
  - Filière plate
  - Puissance nominale : 3kW
  - Enregistrement automatique : puissance instantanée, température, consommation électrique, couple
- Filières :
  - 6/18
  - 6/21
  - 6/27
  - 6/30
  - 6/33
  - 6/36





## GRASASA

1969

Création de la coopérative agricole

- Déshydratation et granulation de Luzerne
- Granulation d'amendement organique
- Granulation de bois

2020

**Production**  
22 000t de granulés de bois

**Consommation**  
45 000t de connexes de scierie et plaquettes



# GRANULATION – ECHELLE PILOTE



REFERENCES		PARAMETRES-ET-CONDITIONS-DE-GRANULATION					CARACTERISTIQUES-DES-PRODUITS			VALIDATION			
Composition	Références	Paramètres Méthodes	Production de finis	Consommation- énergétique	Filière utilisée	Humidité du mélange pré- granulé	Granulométrie du broyat utilisé	Masse volumique apparente	Résistance mécanique	Humidité résorption	Conformité à la norme NF EN ISO 17225-2 A11	Conformité à la norme NF EN ISO 17225-2 A2a	Pour suite échelle industrielle
								BDI	DLR	Mo			
		Unités	3a	kWh/tonnet	50a	5a	Mma	kg/m <sup>3</sup> lit	Nm <sup>2</sup> lit	%mar			
100% Châtaignier	REX-20-005-F01-L01a		0,14a	84,04a	6/30a	12,53a	3a	695,64a	99,63a	8,23a	✓	✓	
	REX-20-005-F05-L02a		0,10a	79,60a	6/27a	12,53a	3a	691,29a	99,43a	8,41a	✓	✓	✓
	REX-20-005-F01-L03a		0,22a	60,65a	6/21a	12,53a	3a	643,86a	99,06a	8,79a	✓	✓	
100% Chêne	REX-20-005-F02-L01a		0,20a	80,51a	6/30a	13,03a	3a	699,93a	98,35a	7,94a	✓	✓	
	REX-20-005-F02-L02a		0,27a	64,69a	6/27a	13,03a	3a	673,43a	97,94a	8,28a	✓	✓	✗
	REX-20-005-F02-L03a		22,44a	57,93a	6/21a	13,03a	3a	548,69a	93,14a	9,31a	✗	✗	
100% Peuplier	REX-20-005-F03-L01a		0,33a	64,81a	6/30a	13,42a	3a	677,98a	98,16a	8,42a	✓	✓	
	REX-20-005-F03-L02a		0,18a	113,69a	6/36a	12,90a	3a	750,58a	98,48a	7,31a	✗	✗	✓
	REX-20-005-F03-L03a		0,25a	58,94a	6/27a	12,90a	3a	645,38a	97,88a	8,37a	✓	✓	
100% Peuplier	REX-20-005-F04-L02a		8,03a	52,36a	6/18a	13,25a	3a	522,45a	84,42a	8,83a	✗	✗	
	REX-20-005-F04-L03a		7,63a	54,25a	6/21a	13,25a	3a	535,28a	84,64a	8,82a	✗	✗	✗
	REX-20-005-F04-L04a		0,37a	67,52a	6/27a	13,25a	3a	668,20a	96,01a	7,94a	✗	✗	
30% Châtaignier - 70% Résineux	REX-20-005-F05-L01a		0,19a	76,41a	6/30a	13,43a	3a	691,24a	98,31a	8,18a	✓	✓	
	REX-20-005-F05-L02a		0,25a	69,99a	6/27a	13,43a	3a	679,34a	98,08a	8,52a	✓	✓	✓
	REX-20-005-F05-L04a		0,50a	46,40a	6/21a	13,43a	3a	572,79a	93,44a	8,76a	✗	✗	
50% Châtaignier - 50% Résineux	REX-20-005-F06-L01a		0,19a	68,69a	6/30a	13,20a	3a	680,19a	98,65a	8,54a	✓	✓	
	REX-20-005-F06-L02a		0,23a	60,13a	6/27a	13,20a	3a	654,14a	98,47a	8,98a	✓	✓	✗
	REX-20-005-F06-L04a		0,40a	51,41a	6/21a	13,20a	3a	580,95a	95,20a	9,17a	✗	✗	
70% Châtaignier - 30% Résineux	REX-20-005-F07-L01a		0,24a	83,02a	6/30a	13,15a	3a	677,37a	98,92a	8,77a	✓	✓	
	REX-20-005-F07-L02a		0,28a	85,20a	6/27a	13,15a	3a	651,19a	98,67a	8,94a	✓	✓	✓
	REX-20-005-F07-L04a		0,63a	72,17a	6/21a	13,15a	3a	564,04a	95,50a	9,27a	✗	✗	
30% Chêne - 70% Résineux	REX-20-005-F08-L01a		0,25a	65,42a	6/30a	13,10a	3a	654,39a	98,16a	9,98a	✓	✓	
	REX-20-005-F08-L02a		0,29a	86,03a	6/36a	13,10a	3a	678,00a	98,79a	9,95a	✓	✓	✓
	REX-20-005-F08-L04a		0,31a	85,96a	6/27a	13,10a	3a	636,26a	97,93a	9,37a	✓	✓	
50% Chêne - 50% Résineux	REX-20-005-F09-L01a		0,29a	94,15a	6/30a	13,01a	3a	732,93a	97,49a	7,68a	✗	✗	✗
	REX-20-005-F09-L02a		0,26a	67,85a	6/27a	13,01a	3a	691,09a	97,77a	8,38a	✓	✓	

70% Chêne - 30% Résineux	REX-20-001-F09-L01a	0,56a	48,53a	6/21a	13,01a	3a	563,19a	90,17a	9,00a	✗	✗	
	REX-20-001-F10-L01a	0,24a	80,90a	6/30a	13,07a	3a	716,39a	98,16a	8,22a	✓	✓	
	REX-20-001-F10-L02a	0,22a	64,67a	6/27a	13,07a	3a	693,22a	98,16a	8,59a	✓	✓	✓
30% Châtaignier - 70% Chêne	REX-20-001-F11-L01a	0,29a	71,76a	6/30a	13,03a	3a	704,68a	98,95a	8,16a	✓	✓	
	REX-20-001-F15-L02a	0,85a	118,99a	6/33a	13,03a	3a	746,80a	97,66a	6,12a	✓	✓	✗
	REX-20-001-F11-L03a	0,20a	65,75a	6/27a	13,03a	3a	685,44a	98,74a	7,69a	✓	✓	
70% Châtaignier - 30% Chêne	REX-20-001-F12-L01a	0,34a	65,28a	6/27a	12,90a	3a	669,44a	98,36a	8,26a	✓	✓	
	REX-20-001-F12-L02a	0,44a	131,19a	6/33a	12,90a	3a	768,82a	97,43a	6,76a	✗	✗	✗
	REX-20-001-F12-L03a	0,24a	81,27a	6/30a	12,90a	3a	722,86a	98,50a	7,80a	✓	✓	
25% Peuplier - 75% Résineux	REX-20-001-F13-L01a	0,25a	96,50a	6/30a	12,86a	3a	720,95a	98,08a	7,72a	✓	✓	
	REX-20-001-F13-L02a	0,27a	68,67a	6/27a	12,86a	3a	726,93a	98,50a	7,61a	✓	✓	✓
	REX-20-001-F13-L03a	0,20a	127,65a	6/33a	12,86a	3a	684,96a	98,52a	8,83a	✓	✓	
50% Peuplier - 50% Résineux	REX-20-001-F14-L01a	0,22a	86,82a	6/33a	13,14a	3a	692,56a	98,60a	8,41a	✓	✓	
	REX-20-001-F14-L02a	0,31a	79,90a	6/30a	13,14a	3a	666,91a	98,33a	8,72a	✓	✓	✗
	REX-20-001-F14-L03a	0,31a	69,61a	6/27a	13,14a	3a	661,01a	98,14a	8,83a	✓	✓	
70% Peuplier - 30% Résineux	REX-20-001-F15-L01a	0,27a	88,75a	6/30a		3a	698,96a	98,13a	8,22a	✓	✓	
	REX-20-001-F15-L02a	0,28a	72,64a	6/27a		3a	676,91a	98,14a	8,85a	✓	✓	✗
	REX-20-001-F15-L03a	0,22a	102,62a	6/33a		3a	723,86a	98,15a	7,45a	✓	✓	
30% Châtaignier - 70% Chêne - 70% Résineux	REX-20-001-F16-L01a	0,21a	99,23a	6/33a		3a	724,51a	98,50a	7,89a	✓	✓	
	REX-20-001-F16-L02a	0,28a	78,01a	6/30a		3a	707,21a	98,60a	8,25a	✓	✓	✗
	REX-20-001-F16-L03a	0,35a	66,92a	6/27a		3a	682,76a	98,55a	8,67a	✓	✓	
70% Châtaignier - 30% Chêne - 30% Résineux	REX-20-001-F17-L01a	0,30a	64,57a	6/27a		3a	659,61a	98,83a	9,27a	✓	✓	
	REX-20-001-F17-L02a	0,17a	75,02a	6/30a		3a	675,46a	99,07a	8,95a	✓	✓	✗
	REX-20-001-F17-L03a	0,21a	118,69a	6/33a		3a	750,11a	98,06a	7,35a	✗	✗	

17 formules,  
57 essais en granulation,  
228 analyses de caractérisation réalisées

# DÉBITS DE GRANULATION



Chaque lot a été produit sur une masse de 15t de mélange

Formules	Débit (t/h)	Perte débit	Consommation kWh/t
RES 100 (étalon)	4,4		57
CHE 30 - RES 70	4,3	-2%	58
CHE 70 - RES 30	3,2	-27%	78
CHA 30 - RES 70	3,7	-16%	68
CHA 70 - RES 30	3,1	-30%	81
CHA 100	2,6	-41%	96
PEU 25 - RES 75	4,3	-2%	58



**Les débits sont réduits et la consommation énergétique augmentent avec l'incorporation de feuillus.**

**Le débit est supérieur en chêne qu'en châtaignier, directement lié au taux de cendres.**

# QUALITÉ DES PRODUITS INDUSTRIELS

RAGT



Lots	Formulation granulé	Début production	Fin production	Humidité initiale (%)	Humidité sortie sécheur (%)	Humidité granulé (%)	Débit moyen (tons/h)	Quantité produite(kg)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Durabilité (%)
Lot 1	RES 75 / PEU 25	30/09/2020 22h33	01/10/2020 02h13	51,3 % / 51,8 %	9,48	5,36 6,47	3,9	14 200	670	99,2
Lot 2	RES 70 / CHE 30	01/10/2020 02h13	01/10/2020 6h06	51,3 % / 48,7 %	10,32	7,74 7,26	4,2	14 300	654	99,3
Lot 3	RES 30 / CHE 70	01/10/2020 6h06	01/10/2020 11h50	51,3 % / 48,7 %	10,13	6,34 5,34	3,6	14 400	694	
Lot 4	RES 70 / CHA 30	01/10/2020 11h50	01/10/2020 16h00	51,3 % / 24,3 %	12,88	6,69 6,33	3,6	12 100	660	
Lot 6	RES 30 / CHA 70	06/01/2021	06/01/2021	46,6 %	10,27	7,64 7,37	4,0		664	98,5
Lot 5	CHA 100	01/10/2020 16h00	01/10/2020 21h00	24,3 %	11,2	7,29 8,45	2,8	12 500	657	
Lot 5bis	CHA 100	06/01/2021	06/01/2021	24,3 %	11,2	7,29 8,45	2,8	12 500	657	
Lot 7	RES 100	06/01/2021	06/01/2021	56,31 %	11,1	6,10 6,45	4,2		656	97,8

Tableau 5 : Récapitulatifs des données de caractérisation des granulés produits industriellement.

Référence	Paramètre	Taux de cendres sur sec	PCI sur anhydre	Humidité réception	Teneur en fines	Résistance mécanique	Masse volumique apparente	Teneur en Azote	Teneur en Soufre	Teneur en Chlore	Conformité à la norme NF EN ISO 17225-2 A1	Conformité à la norme NF EN ISO 17225-2 A2
	Méthode	A	M	F	DU	BD	N	S	Cl			
	Unité	%ms	MJ.kg <sup>-1</sup>	%mar	%m <sub>ar</sub>	%m <sub>s,15</sub>	kg/m <sup>3</sup> <sub>ar</sub>	%ms	%ms	%ms		
RES 100		0,34	5,30	7,19	0,21	98,24	624,90	0,11	< 0,011	< 0,011	✓	✓
CHA 100		0,73	5,01	8,40	0,10	99,47	648,16	0,12	< 0,010	< 0,010	✗	✓
CHA 70 – RES 30		0,70	5,06	6,54	0,13	99,23	667,91	0,09	< 0,010	< 0,010	✓	✓
CHA 30 – RES 70		0,53	5,35	6,39	0,13	99,21	656,31	0,15	0,011	< 0,010	✓	✓
CHE 70 – RES 30		0,55	5,11	5,44	0,19	99,10	704,30	0,13	< 0,010	< 0,010	✓	✓
CHE 30 – RES 70		0,49	5,31	6,38	0,30	99,17	663,72	0,14	0,013	< 0,011	✓	✓
PEU 25 – RES 75		0,8	5,28	6,25	0,12	99,06	672,18	0,12	0,012	< 0,011	✗	✓

La qualité des produits est conforme en terme de durabilité, taux de fines.  
Les masses volumiques sont plus élevés que sur l'échantillon de référence

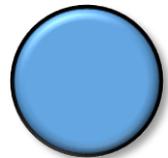


	AVANTAGES DU FEUILLU	INCONVÉNIENT DU FEUILLU
<b>GISEMENT</b>	Gisement local et disponible	Préparation plus complexe si bois rond
<b>GRANULATION</b>	Atteinte des spécification produit Débit et consommation électrique mélanges feuillus-résineux similaire au granulés bois résineux Taux de compression à adapter	Débit inférieur pour les granulés 100% feuillu et Consommation supérieure
<b>COÛT DE LA MATIÈRE PREMIÈRE</b>	Matière première (sciure) moins couteuse que le résineux	



## OBJECTIF

Confirmer les résultats de caractérisation des granulés produits à échelle pilote et les tendances observées



CHA 100



CHA 100



CHA 70 - RES 30



CHA 70 - RES 30



CHA 30 - RES 70



CHA 30 - RES 70



CHE 70 - RES 30



CHE 70 - RES 30



CHE 30 - RES 70



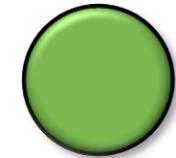
CHE 30 - RES 70



PEU 25 - RES 75



PEU 25 - RES 75



RES 100



RES 100



# QUALITÉ DES GRANULÉS



## OBJECTIFS

Valider les caractéristiques physiques et chimiques de la production en les comparant aux seuils normatifs

## PARAMÈTRES ÉTUDIÉS

- Thermochimiques : *taux de cendres, pouvoir calorifique, humidité à réception...*
- Chimiques : *teneurs en azote, soufre, chlore, métaux lourds, ...*
- Physiques : *résistance mécanique, masse volumique, taux de fines, ...*

## CONCLUSIONS

Echantillons	NF EN ISO 17225-2 A1	NF EN ISO 17225-2 A2
PEU 25 – RES 75	-	✓
CHE 30 – RES 70	✓	✓
CHE 70 – RES 30	✓	✓
CHA 30 – RES 70	✓	✓
CHA 100	✓	✓
CHA 70 – RES 30	✓	✓
RES 100	✓	✓

Les granulés produits sont conformes physiquement et thermochimiquement à la norme et aux certifications

- **Formulation validée**
- **Granulés feuillus respectant les normes et certifications**
- **Productions industrielles confirment les tendances observées à échelle pilote**



## OBJECTIFS

Valider les granulés produits en conditions réelles sur des outils de combustion du marché

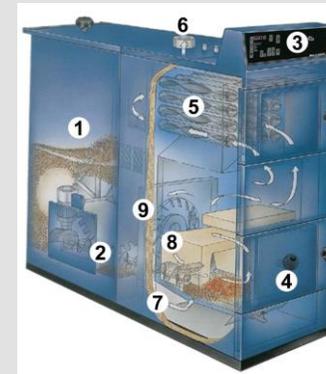
## PARAMÈTRES ÉTUDIÉS

- Comportement des cendres : *taux de cendres, granulométrie des cendres, densité, mâchefer ou cendres contractées...*
- Emissions : *teneurs en CO, Nox, SOx*
- Physiques : *résistance mécanique, masse volumique, taux de fines, ...*

## 3 Outils



Poêle



Chaudière individuelle



Chaudière collective sur réseau de chaleur



2015

## Création du protocole poêle RAGT Energie

### OBJECTIFS

Aller au-delà de la norme et de ses critères en développant l'aspect combustion et proposer une solution comparative



### PRINCIPE

#### PROTOCOLE ISO PARAMÉTRIQUE



Seule variation du protocole  
+  
Résultats comparés à un étalon



2017

Création de l'indicateur de combustion poêle RAGT Energie

Base de données  
établie sur plus de  
300 échantillons



Productions françaises

+ Portugal, Espagne, Allemagne, Belgique

## OBJECTIFS

- Réaliser un suivi de la qualité de production
- Permettre de répondre en cas de litiges ou de retours clients négatifs

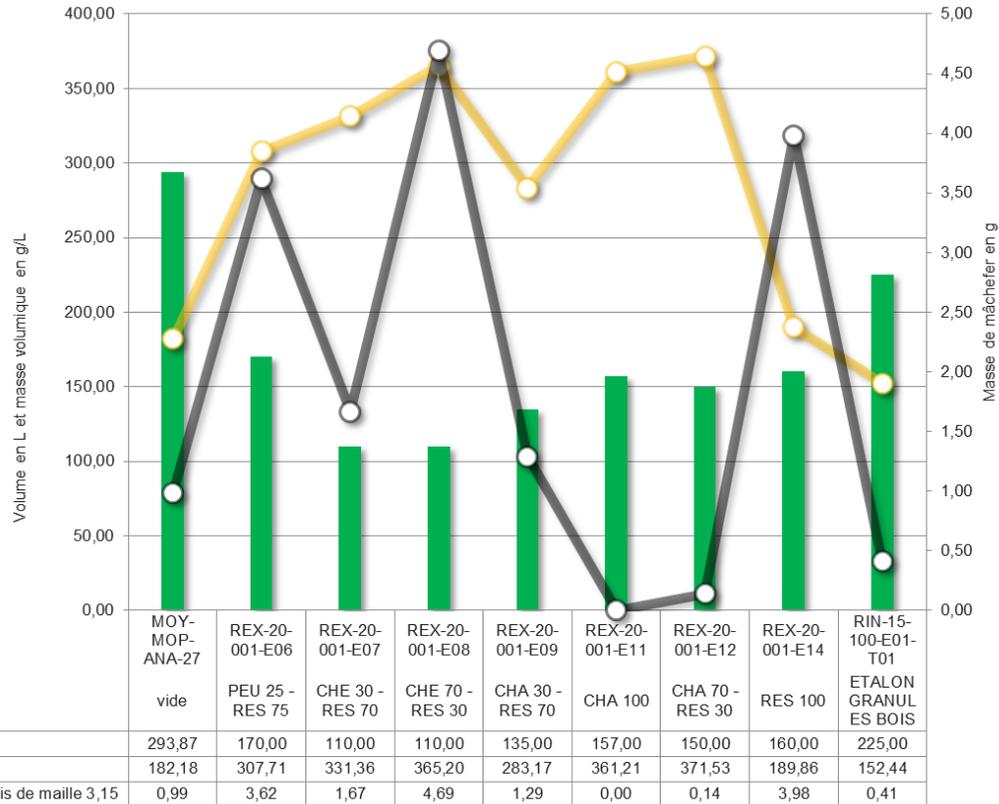
## PARAMÈTRES

- Taux de cendres sur poêle
- Contraction dans le creuset
- Volume de cendres
- Imbrûlés
- ...



# COMBUSTION SUR POÊLE

RAGT

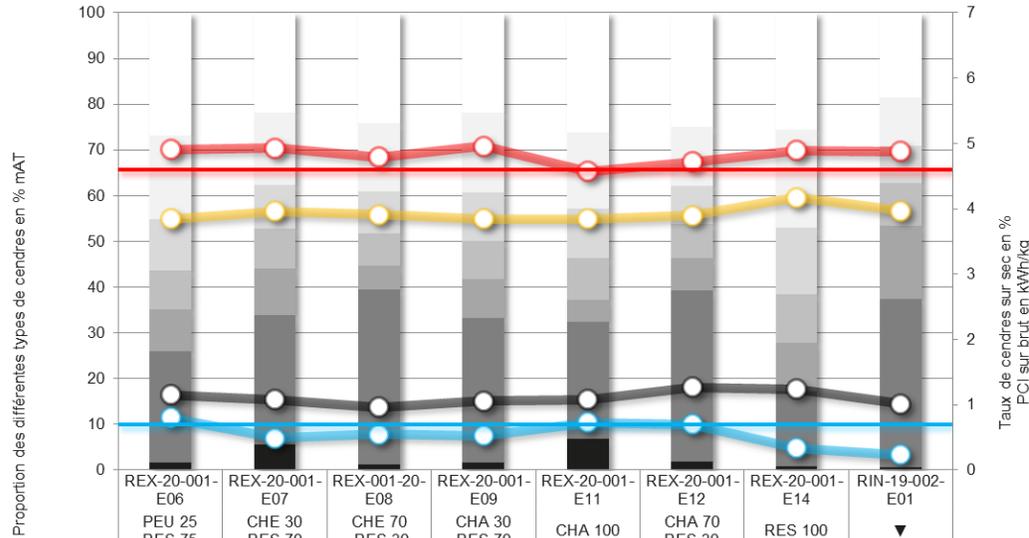


- **Volume de cendres similaires**
- **Densité de cendres légèrement plus élevée**
- **Moins de cendres contractés sur les échantillons à base de châtaignier vs résineux et chene**
- **Emissions similaires en CO et légèrement supérieure en NOx**

<sup>a</sup> Cendres contractées caractérisées selon le protocole RAGT Energie (taille > 8 mm)

# COMBUSTION SUR CHAUDIÈRE DOMESTIQUE

RAGT



Taux de cendres sur sec en %  
PCI sur brut en kWh/kg



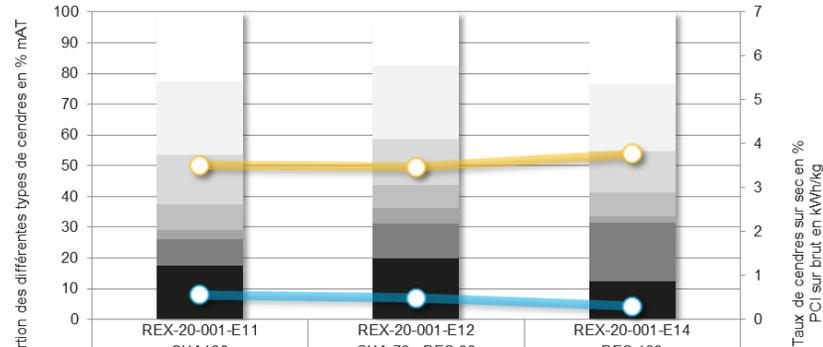
Proportion fraction FA0	26,83	21,77	24,17	21,77	26,30	24,91	25,60	18,42
Proportion fraction FA0,2	18,24	15,91	14,93	17,46	16,49	12,97	21,45	10,79
Proportion fraction FA0,5	11,24	9,57	9,11	10,58	10,86	8,33	14,58	8,03
Proportion fraction FA1	8,59	8,62	7,16	8,44	9,23	7,38	10,55	9,44
Proportion fraction FA2	9,09	10,24	5,05	8,53	4,76	7,14	10,68	15,83
Proportion fraction FA3,15	24,35	28,25	38,26	31,54	25,46	37,48	16,39	36,81
Proportion fraction F8	1,66	5,64	1,32	1,68	6,89	1,79	0,75	0,69
Taux de cendres sur sec chaudière	1,15	1,08	0,96	1,06	1,08	1,27	1,24	1,01
Taux de cendres sur sec laboratoire	0,80	0,49	0,55	0,53	0,73	0,70	0,34	0,24
Taux de cendres [granulés de bois] NF EN ISO 17 225-2 A1 // DIN+ // En+ // NF	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Quantité d'énergie dégagée par la matière sur brut	3,85	3,96	3,91	3,85	3,85	3,90	4,17	3,97
PCI sur brut laboratoire	4,91	4,93	4,79	4,96	4,57	4,72	4,89	4,88
PCI [granulés de bois] NF EN ISO 17 225-2 A1 // DIN+ // En+ // NF	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6

- Quantité d'énergie délivrée similaire
- Emissions similaires en CO et légèrement supérieure en NOx
- Volume de cendres similaires
- Pas de différence en terme d'encrassement chaudière
- Aucun problème de fusion de cendres

<sup>a</sup> Cendres contractées caractérisées selon le protocole RAGT Energie (taille > 8 mm)

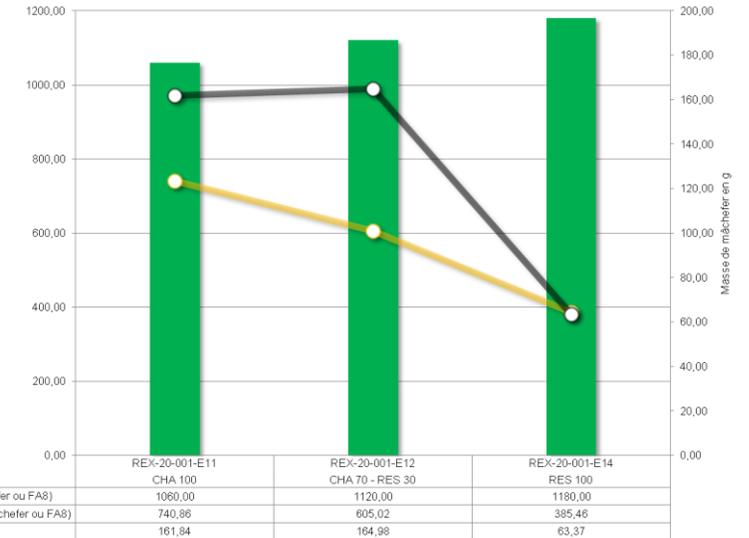
# COMBUSTION SUR CHAUDIÈRE COLLECTIVE

RAGT

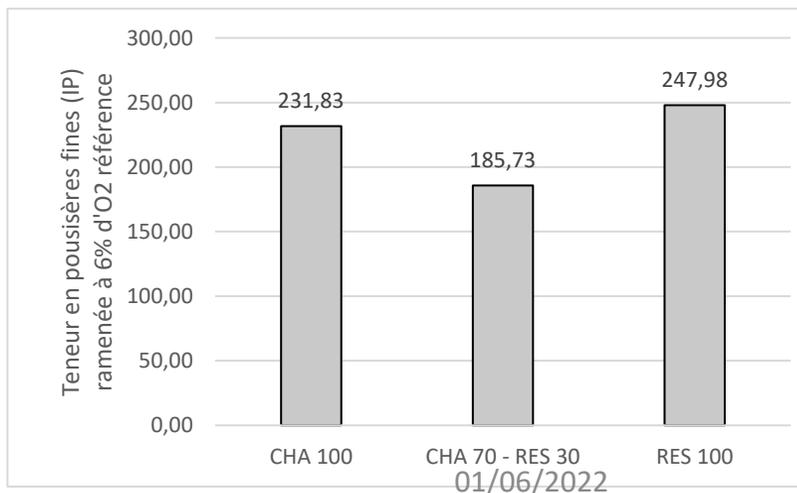


	REX-20-001-E11 CHA100	REX-20-001-E12 CHA 70 - RES 30	REX-20-001-E14 RES 100
Proportion fraction FA0	22,55	17,65	23,46
Proportion fraction FA0,2	23,90	23,80	21,80
Proportion fraction FA0,5	16,25	14,91	13,40
Proportion fraction FA1	8,26	7,46	7,76
Proportion fraction FA2	2,98	4,88	2,12
Proportion fraction FA3,15	8,56	11,47	19,17
Proportion fraction F8	17,51	19,84	12,29
Taux de cendres sur sec chaudière	0,56	0,48	0,30
Quantité d'énergie dégagée par la matière sur brut	3,51	3,47	3,77

Taux de cendres sur sec en %  
PCI sur brut en kWh/kg



	REX-20-001-E11 CHA 100	REX-20-001-E12 CHA 70 - RES 30	REX-20-001-E14 RES 100
Volume Total Cendres (sans mâchefer ou FA8)	1060,00	1120,00	1180,00
Masse volumique cendres (sans mâchefer ou FA8)	740,86	605,02	385,46
Masse fraction FA8	161,84	164,98	63,37



- **Quantité d'énergie délivrée similaire**
- **Emissions similaires en CO et légèrement supérieure en NOx**
- **Volume de cendres similaires mais densité cendres feuillus plus élevée**
- **Teneur en particules fines légèrement inférieure pour le feuillus**

# CONCLUSION COMBUSTION

RAGT



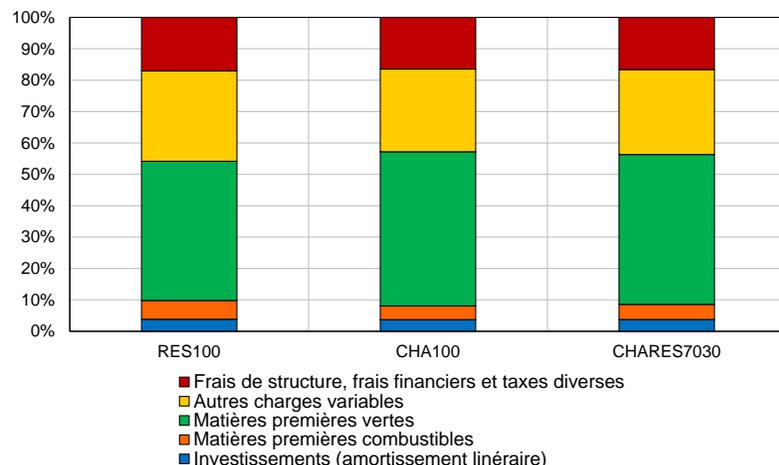
- Quantité d'énergie délivrée similaire
- Emissions similaires en CO et légèrement supérieure en NOx
- Cendres :
  - Volume similaire
  - Densité des cendres feuillus légèrement supérieure
  - Pas de problème de formation de mâchefer
- Encrassement similaire
- Emissions de particules légèrement plus faibles avec du feuillus

# ANALYSE ECONOMIQUE

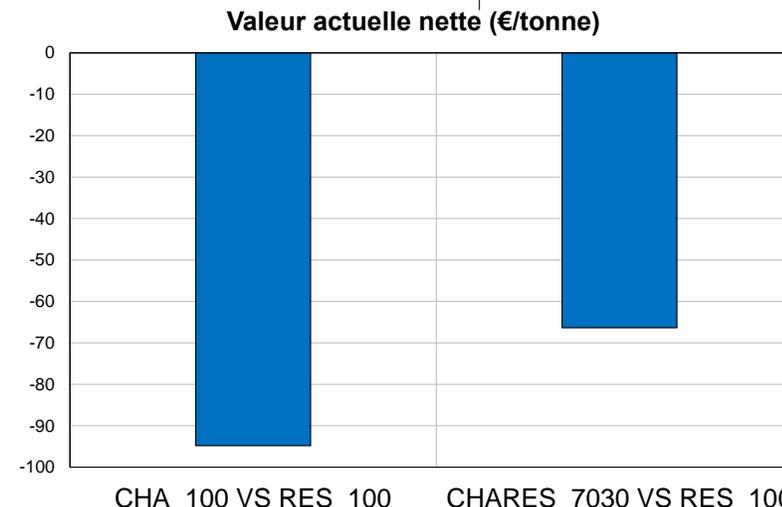
## PRINCIPE

L'évaluation technico-économique consiste à comparer les coûts de production des scénarios retenus et évaluer la rentabilité économique du projet

Coût de production total par tonne de granulé produite ( en % )



FCBA



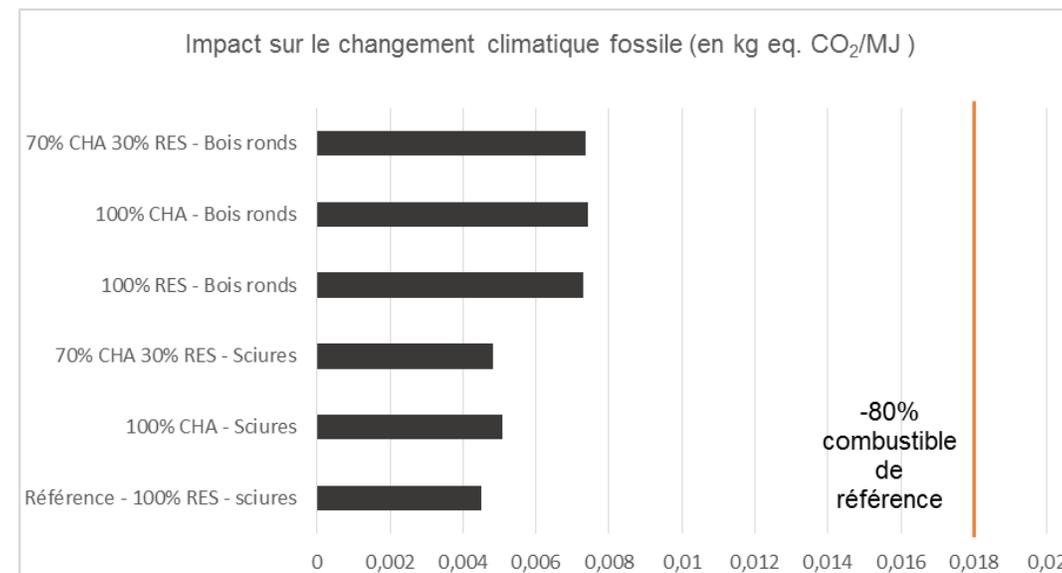
**Les résultats dans le contexte actuel, montrent un léger surcoût dans la production de granulés bois feuillus, qui peut être minoré si l'on traite du châtaignier dépérissant.**

**Etant donné la visibilité sur la disponibilité de la ressource et les augmentations actuelles sur la matière première, le projet de granulés feuillus est une bonne alternative au résineux**

**Enfin, l'environnement macroéconomique favorise aussi un plus grand recours au granulés bois en mixte feuillu/résineux (disponibilité de la ressource et hausse des prix des énergies fossiles)**



- On compare l'impact de « produire 1 MJ de chaleur utile en chaudière domestique » à partir de **6 types de granulés** potentiellement ou réellement produits par GRASASA :
  - Des granulés en 70% châtaignier et 30% résineux produits à partir de bois ronds ou de sciures,
  - Des granulés en 100% châtaigner produits à partir de bois ronds ou de sciures,
  - Des granulés en 100% résineux produits à partir de bois ronds ou de sciures.
- **On peut constater que les 6 scénarios étudiés respectent les exigences de la directive enr 2018.**





Il n'y a pas de différence marquée entre les scénarios feuillus ou résineux sur le changement climatique



Si l'on regarde les indicateurs associés à la pollution de l'air (production d'oxydants photochimiques, acidification, poussières), le scénario mixte feuillu résineux est le plus favorable,

- Moindres émissions de NOx et de poussières lors de la combustion du granulé



Le scénario mixte feuillu résineux est également le plus favorable pour l'impact d'eutrophisation terrestre,

- Moindres émissions de NOx lors de la combustion du granulé



L'indicateur d'occupation des sols est plutôt favorable au scénario 100% résineux,

- Production de bois ramenée à l'année supérieure par hectare



L'indicateur de consommation de ressources fossiles est en faveur du scénario 100% résineux

- Consommation électrique inférieure pour le 100% résineux pour la granulation

# SYNTHÈSE DU PROJET GRAMIX

RAGT ENERGIE



## ▪ Gisement :

Le gisement en ressources feuillues est **disponible**, sur la disponibilité en biomasse forestière pour l'industrie et l'énergie estimée + 20 millions de m<sup>3</sup>/an d'ici 2035, **80% de la ressource supplémentaire en essences feuillues** (ADEME). Il reste à le mobiliser correctement

## • Préparation bois :

- il existe un réel **enjeu technique** à travailler du bois rond de feuillus et à **l'écorcer** correctement pour respecter les taux de cendres demander par la classe A1
- La solution de criblage peut être une solution mais restera moins efficace que l'écorçage

## • Granulation :

La granulation de feuillus est **plus énergivore** que le résineux et le mélange avec du résineux permet d'atténuer cette différence

## ▪ Caractéristiques produit:

**La formulation joue un rôle majeur** dans la production de granulés bois feuillus

**Qualité produit proche du granulé résineux** avec une vigilance à avoir sur le taux de cendres et la teneur en Azote.

Granulés conformes à la norme et de **bons résultats en combustion** comparables au résineux.

## ▪ Etude économique :

Dans un contexte actuel et sur le producteur concerné, la rentabilité est légèrement dégradée sur feuillus (débit, coûts d'approche MP) mais étant donnée les évolutions actuelles sur les matières et le coût de l'énergie, **le feuillu va devenir de plus en plus compétitif** pour construire une filière d'avenir

## ▪ ACV :

Impacts environnementaux **légèrement dégradés mais très dépendants de la préparation** de la ressource (sciure ou bois rond)



- Des expériences existantes en France
- Un potentiel important pour le développement du marché
- Des solutions techniques existantes sur toute la chaîne de valeur
- Des gisements mobilisables
- Un intérêt économique immédiat sur les connexes de scierie et un intérêt sur le bois rond avec la nécessité de bien préparer la matière (écorçage)
- Un marché national de plus en plus « prêt » à accepter du granulé mix feuillus/résineux



MERCI  
DE VOTRE ATTENTION

