

Le recyclage des éoliennes : enjeux et perspectives



Débat animé par Jean-Antoine BORD,
Centrale Energies

Mardi 11 mars 2025

SciencesPo
ALUMNI

 **Centrale-Énergies**

HEC
PARIS
ALUMNI

Transition

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



De quel endroit vous êtes vous connectés ?

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Avant de commencer



Désactivez votre
micro



Désactivez la
camera à moins
que vous ne
preniez la parole



Cette conférence
est enregistrée



SCAN ME

Des questions? Merci
d'utiliser speak up

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



A quel mot associez-vous le "recyclage des éoliennes" ?

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Laurie GILBERT

Q Energy

Speaker



Q ENERGY en quelques chiffres



25 years
d'expérience



+ 270
employés



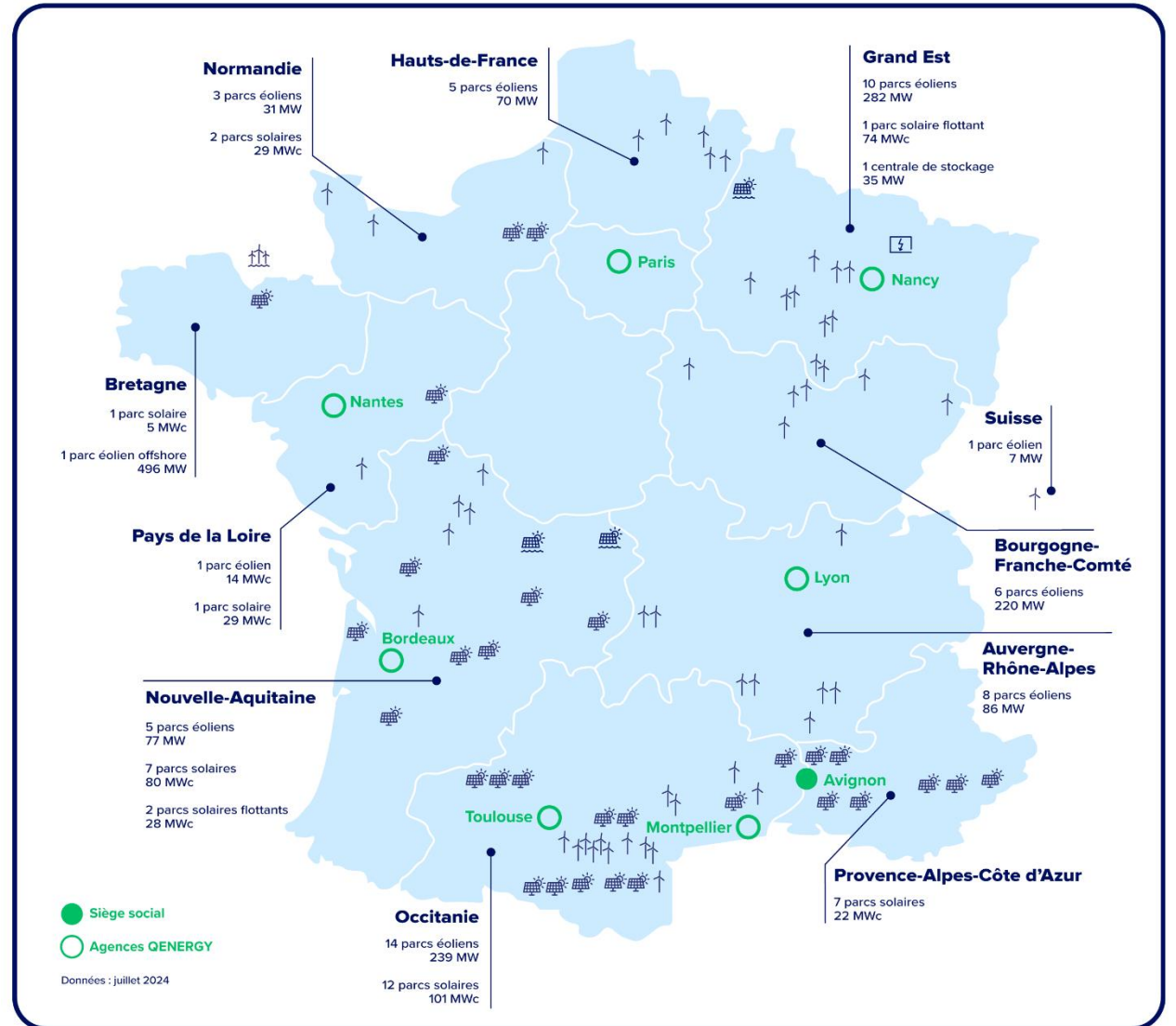
6.5 GW
projets en développement



1.9 GW
projets construits



5 technologies
Onshore, Offshore, Solaire, Hydrogène
et Stockage



Nos compétences Repowering



24MW en opération

1 projet



103MW prêts à construire

6 projets



69MW autorisés

1 projet

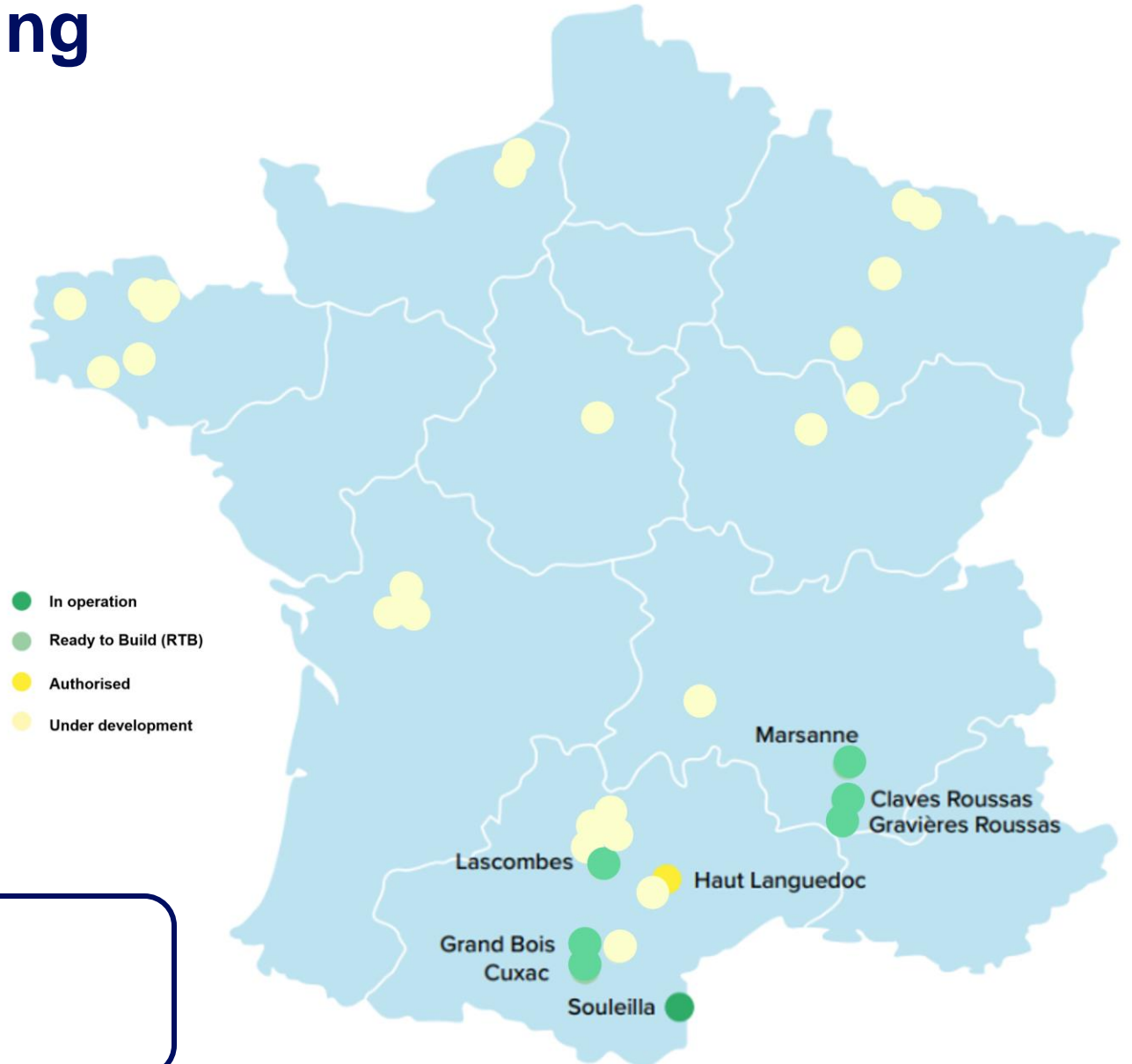


765MW en développement

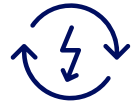
25 projets

**1GW
33 projets**

d'expérience Repowering



L'expertise repowering



> 1GW
En développement



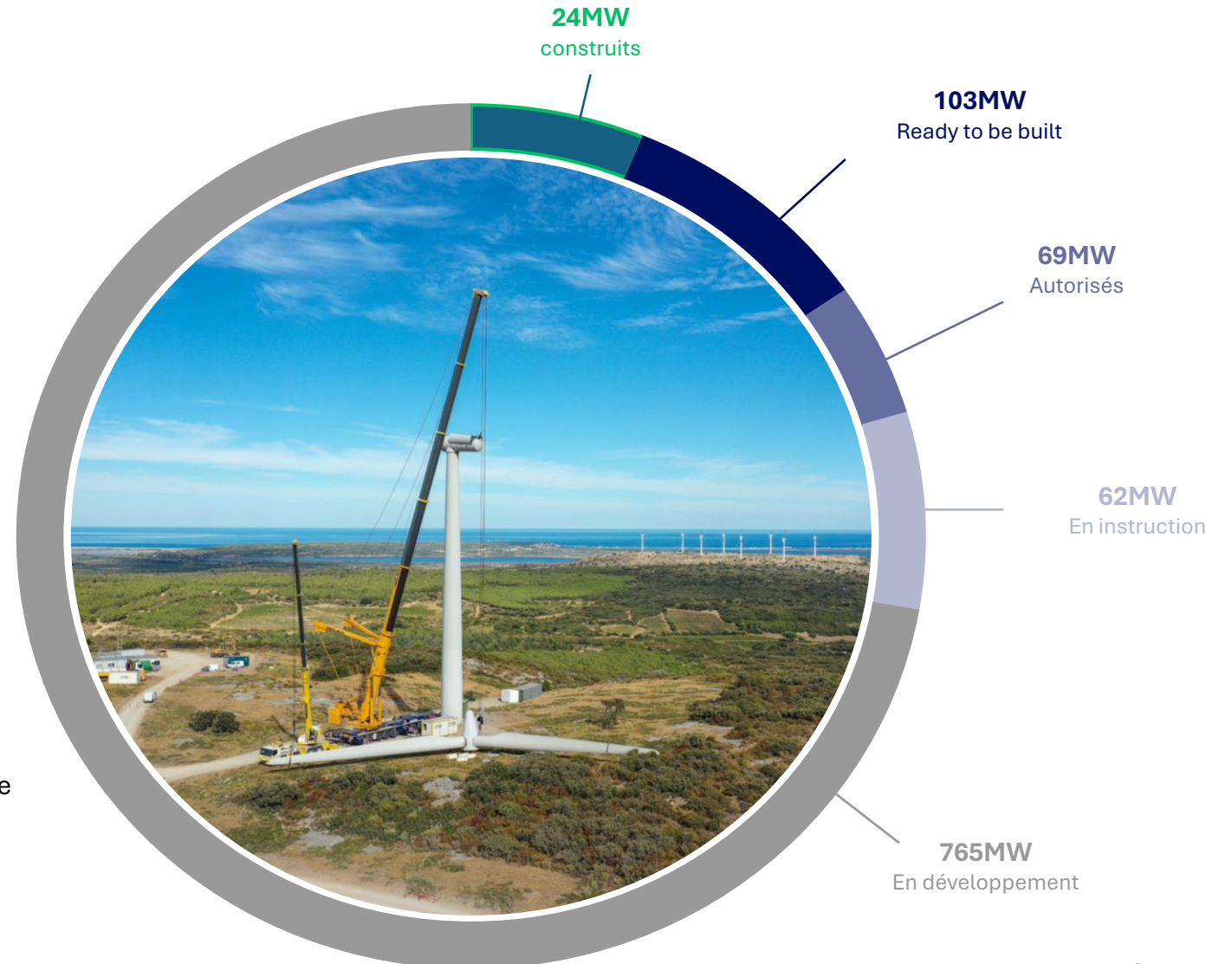
5 partenariats
Signés avec des propriétaires différents



2nd développeur
En termes de capacité autorisée



1st développeur
en termes de capacité autorisée pour le compte de tiers





Rachel RUAMPS

France Renouvelable

Speaker

France Renouvelables : qui sommes-nous ?

- Association de loi de 1901, France Renouvelables porte la voix de l'énergie éolienne en France depuis 1996.
- En 2023, l'association élargie sa mission à la promotion des **énergies renouvelables électriques** de portée industrielle et des solutions système associées.
- L'association rassemble plus de **370 membres**, professionnels de la filière EnR en France
- Nous représentons **l'ensemble de la chaîne de valeurs de l'éolien, du photovoltaïque grande puissance, du stockage et de l'hydrogène renouvelable** : développeurs, exploitants, constructeurs, investisseurs, bureaux d'études, agrégateurs, fournisseurs de services, avocats...



Présentation France renouvelables

Les missions de l'association



En s'appuyant sur les **retours de terrain et l'expertise de ses membres**, France Renouvelables :

- Formule des **prises de position** au **nom de la filière** ;
- Sert **d'interlocuteur** auprès des pouvoirs publics, des élus, de la presse, des autres acteurs économiques et de la société civile pour défendre les intérêts de la filière ;
- **Informe** les professionnels sur l'évolution des politiques publiques liées aux énergies électriques renouvelables ;
- **Produit** du contenu pédagogique et marché pour le grand public sur le secteur des ENR (observatoire de l'éolien, paroles d'élus, livrets EnR et biodiversité...);
- Assure un **rôle de fédérateur** afin que ses **membres se rencontrent** et **échangent** entre eux.



Mes missions au sein de France renouvelables

- Analyser les sujets économiques et fiscaux impactant les filières éoliennes, solaire, stockage et H2 renouvelables (mécanismes de soutien ou autres modes de commercialisation) ;
- Produire des propositions d'évolutions et les porter en plaidoyer ;
- Animer la Commission Economie sous le pilotage de 2 administrateurs ;
- Organiser des webinaires et produire des contenus pédagogiques sur les sujets économiques et industriels
- Animer le GT Industrie (exemple : les consultations NZIA) et répondre aux enjeux d'économie circulaire des filières



Nos publications



Observatoire de l'éolien 2024, Observatoire des EnR électriques, Eolien et biodiversité (V2), Photovoltaïque et biodiversité...

A retrouver sur notre site :

<https://www.france-renouvelables.fr/documentation-et-rapports/>

Ronan GUERMEUR

Suez

Speaker



SUEZ en France et dans le monde

9 Mds€ de chiffre d'affaires

40 000 collaborateurs

+ 1 600 brevets

9 centres de R&D en France et en Asie

RÉPARTITION PAR ACTIVITÉS

60 %
Déchets



40 %
Eau

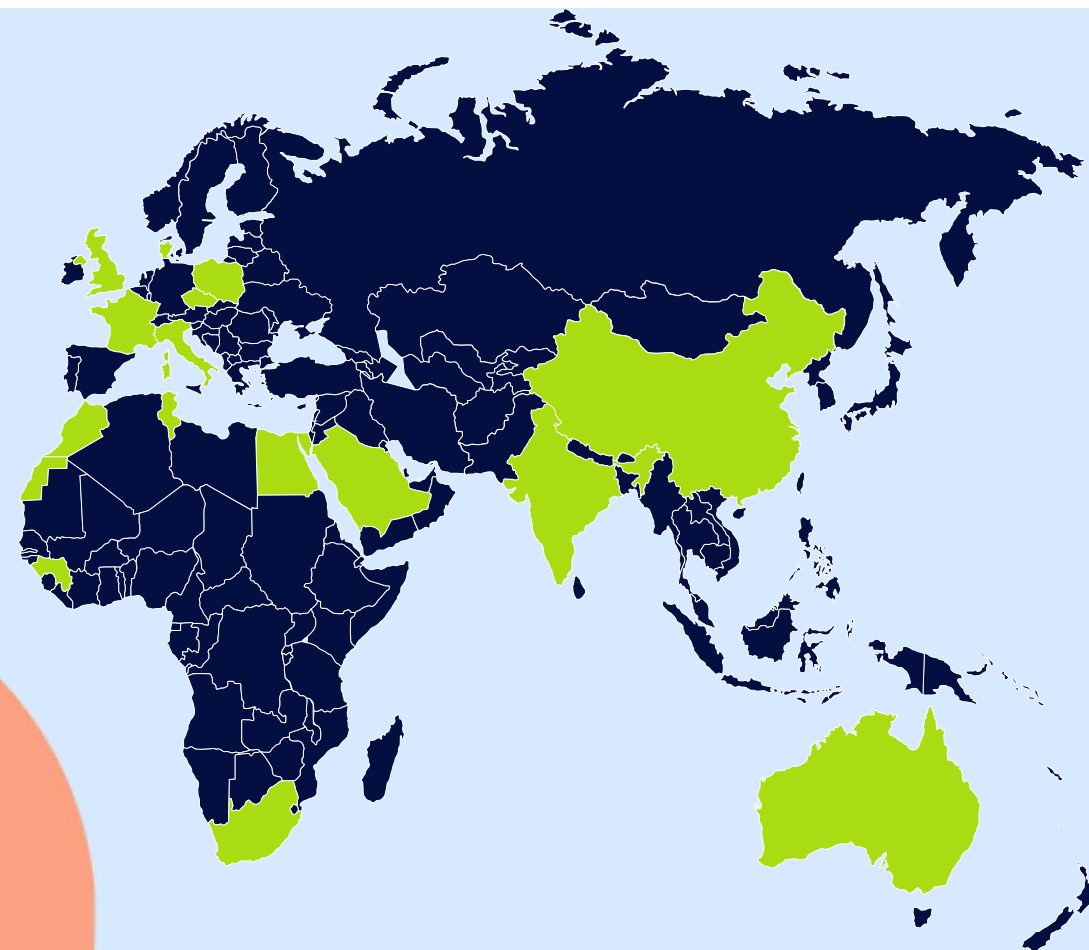


RÉPARTITION PAR GÉOGRAPHIES

70 %
France



30 %
International



SUEZ Expertise Démantèlement



VHU

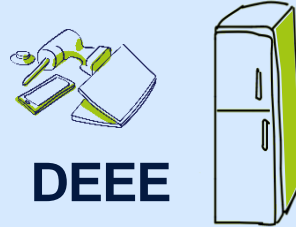
JOINT VENTURE

INDRA



RENAULT

+ 95 % de valorisation



DEEE

25 KT par an
95 % de valorisation



Eolien

50 Eoliennes en 5 ans
+ 99 % de valorisation



Avion

JOINT VENTURE

TARMAC

AIRBUS

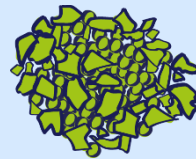
SAFRAN

+ de 100 avions recyclés en 10 ans



Train

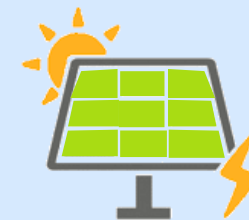
Désamiantage
+ 85 % de valorisation



**Fibres de
carbone**
X-crusher



Batterie
Voiture électrique



**Panneau
Photovoltaïque**



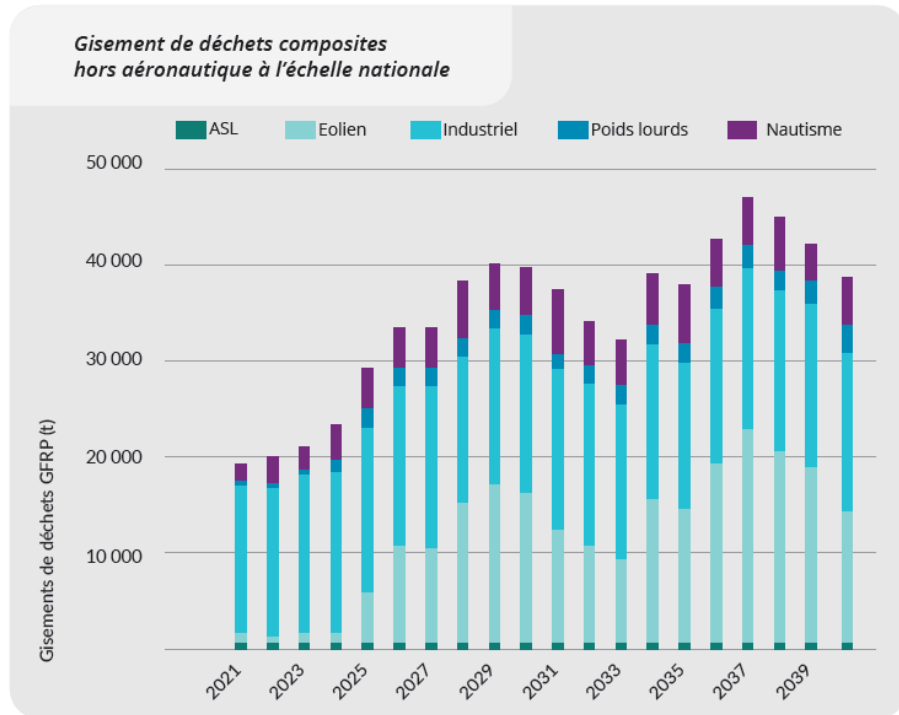
Romain AGOGUE



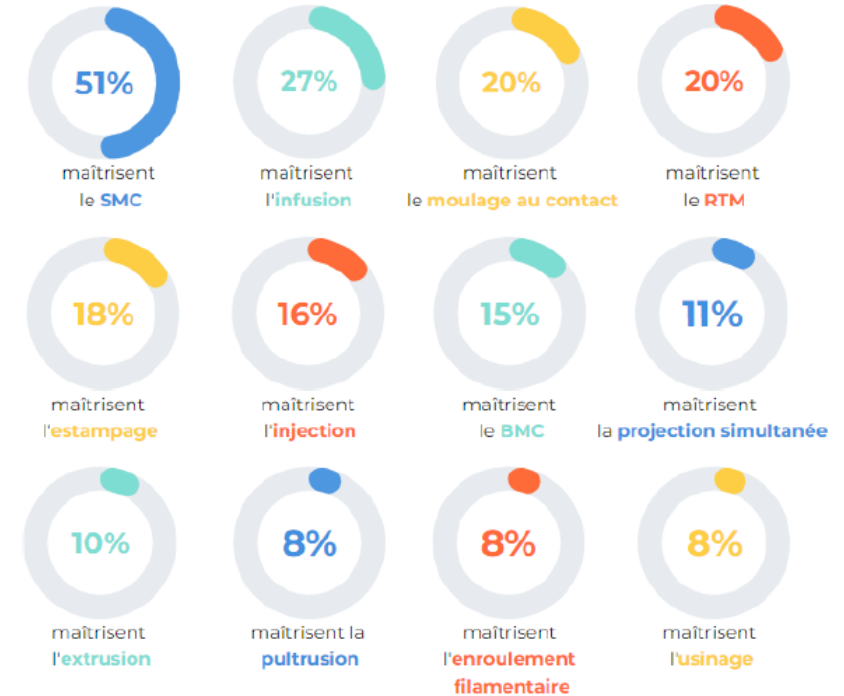
Centre Technique Industriel
de la Plasturgie et des Composites

Speaker

Filière des composites – le constat IPC/Polyvia



Un **gisement français des déchets** de composites qui devrait doubler entre **2023 et 2030**



Une filière atomisée

- Marchés variés
- Technologies/procédés
- Matières transformées



Contrat Stratégique de la Filière
Chimie et Matériaux
2023/2027



PROJET N°3 :

« *Développer en France une filière de collecte et de recyclage des composites* »

OBJECTIFS DU PROJET :

- ✓ Lancer des projets pilotes en France.
- ✓ Accélérer l'intégration dans le marché des composites de produits intégrant des fibres recyclées.

OBJECTIFS TRANSVERSES :

- ✓ Contribuer à l'harmonisation de la filière
- ✓ Accélérer les initiatives en cours en apportant des données filières
- ✓ Encourager la mutualisation des initiatives spécifiques par marché
- ✓ Encourager la coopération des parties prenantes

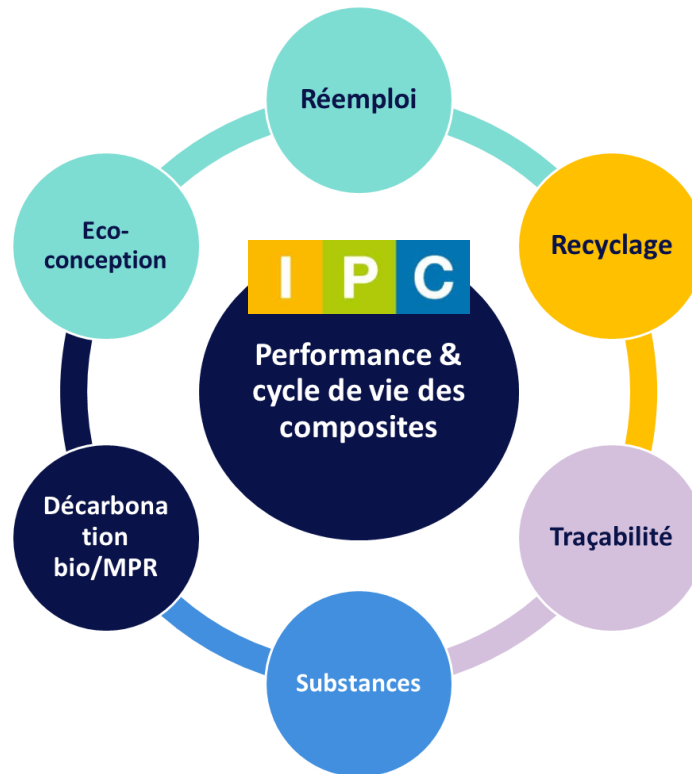
Éléments de feuille de route IPC



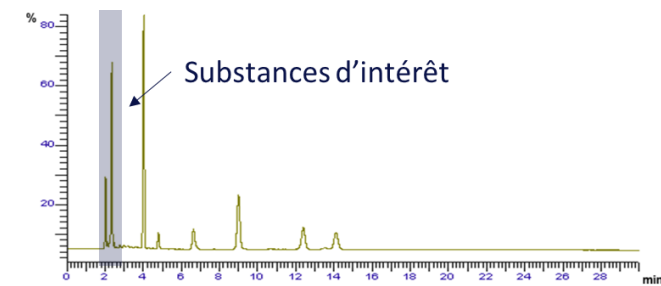
projet EU REWIND & ADEME
Ecoconception composites



Projet RECOMPOSE (FR 2030)
Incorporation fibres recyclées dans BMC/SMC



Tri et séparation : Qualité des gisements



Projet PCSUR (FR2030)
Conformité règlementaires recyclage (REACH, etc.)

Avant de continuer



Désactivez votre
micro



Désactivez la
camera à moins
que vous ne
preniez la parole



Cette conférence
est enregistrée



SCAN ME

Des questions? Merci
d'utiliser speak up

Les composants d'une éolienne – grandes masses



slido

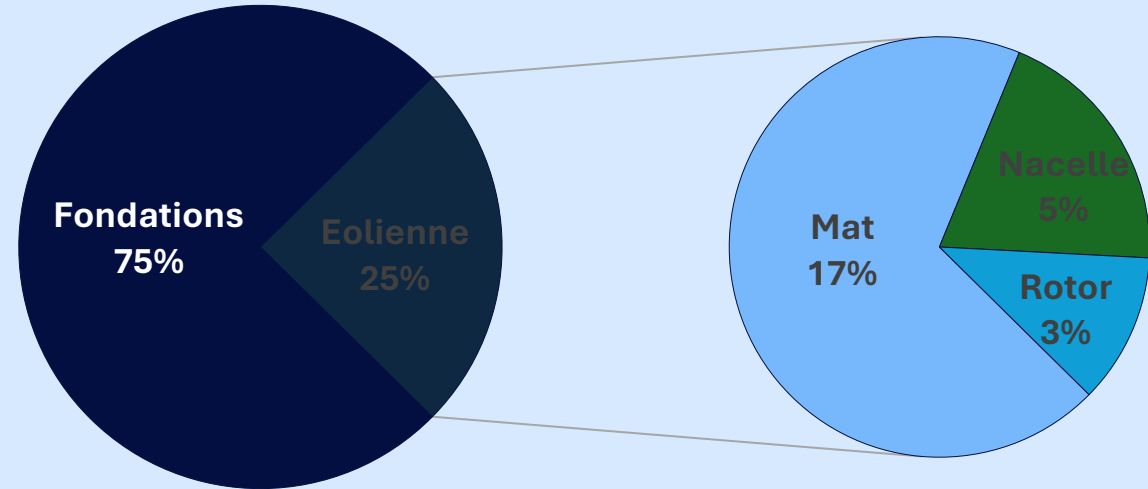
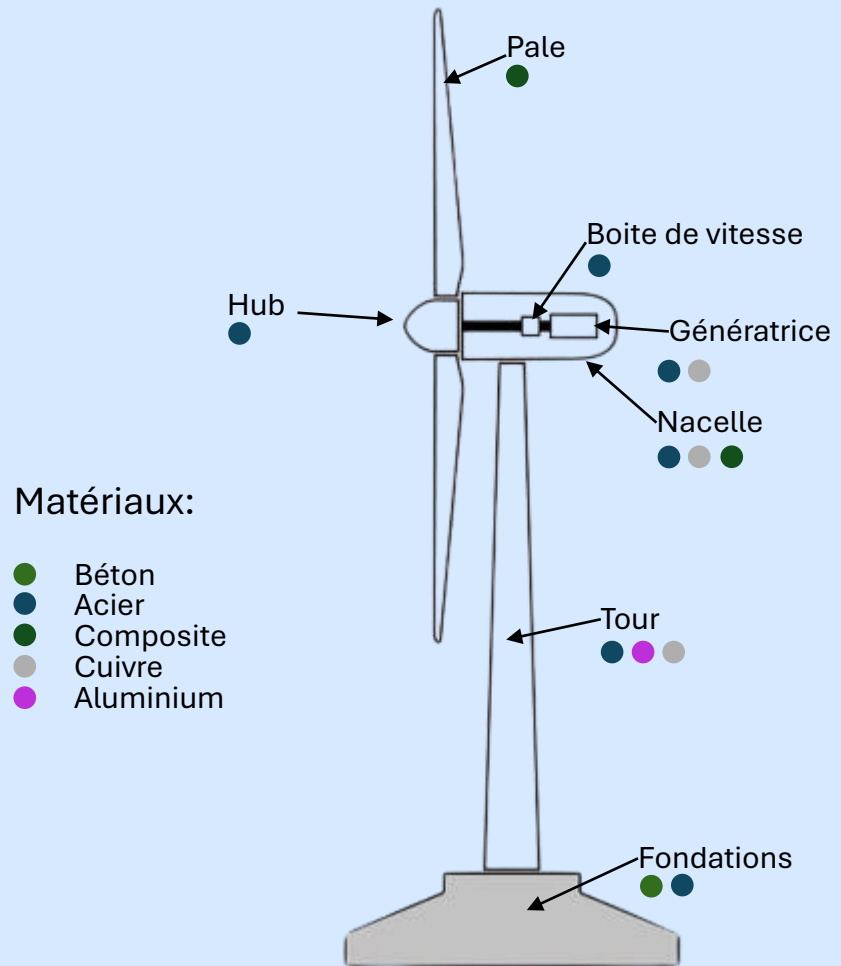
Please download and install the Slido app on all computers you use



**Les fondations des éoliennes sont en béton armé.
Pour une éolienne de 3MW, le poids des fondations
correspond au poids de combien de maisons ? (une
maison de 100 m², pesant environ 2,8T/m² soit
280T)**

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Une éolienne en matériaux



Répartition des masses entre les différents éléments (exemple d'une Nordex N90)

Grandes masses

slido

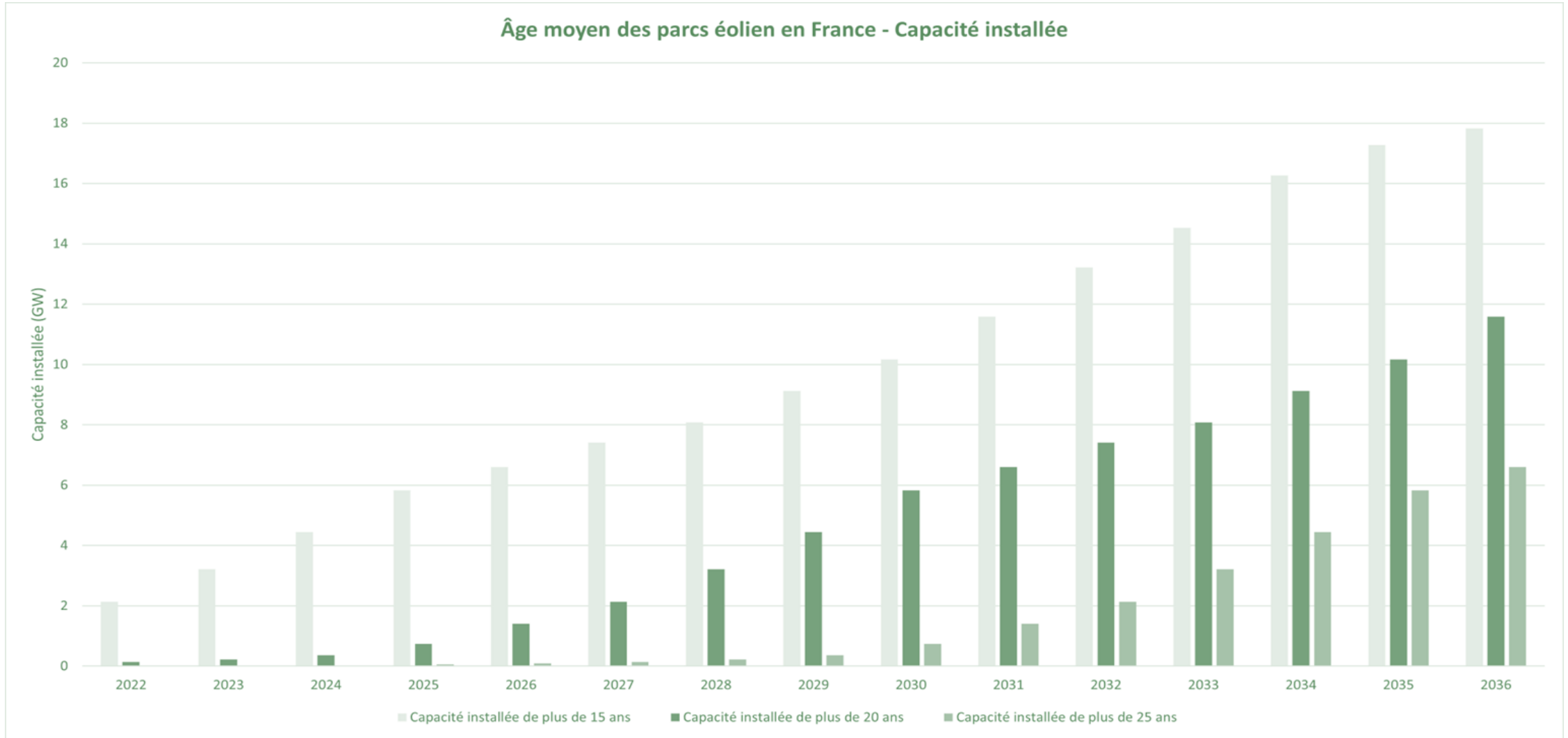
Please download and install the Slido app on all computers you use



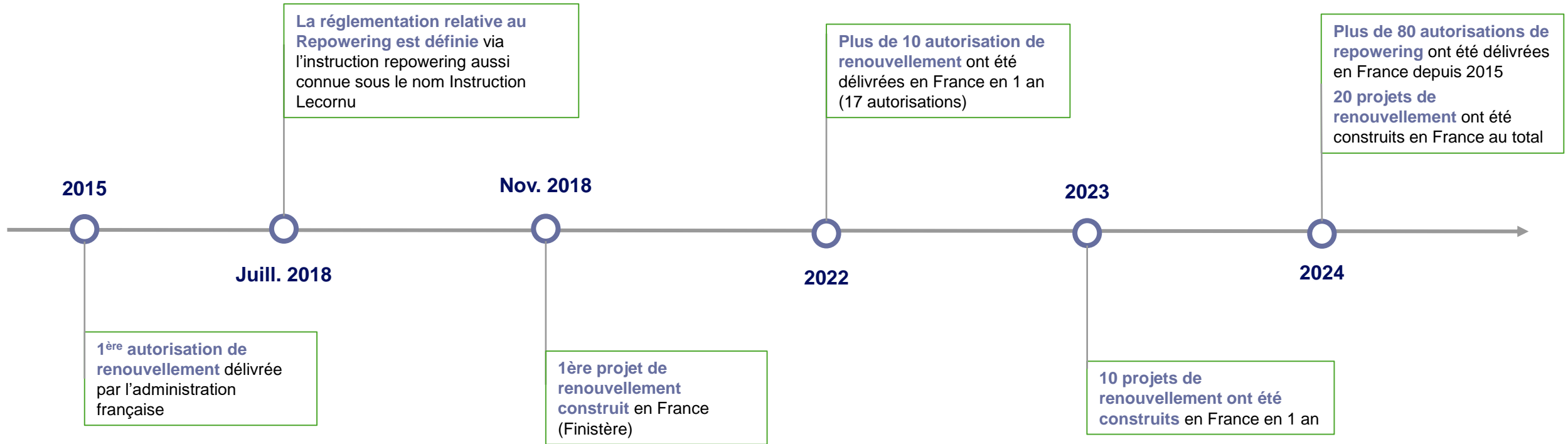
**Quelle est la durée de vie
d'une éolienne ?**

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Potentiel Repowering



Histoire du Repowering en France



Le Repowering en France fin 2024



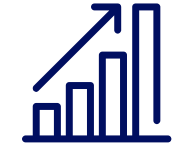
Environ **80 autorisations** de renouvellement ont été attribuées par l'administration française (**700MW**)



Depuis **2020**, une **quinzaine d'autorisations** de renouvellement sont desservies chaque année



90% des renouvellements sont considérés comme **non-substantiels**



Le repowering non-substantiel le plus **ambitieux autorisé** présente une augmentation totale de plus de **49%**

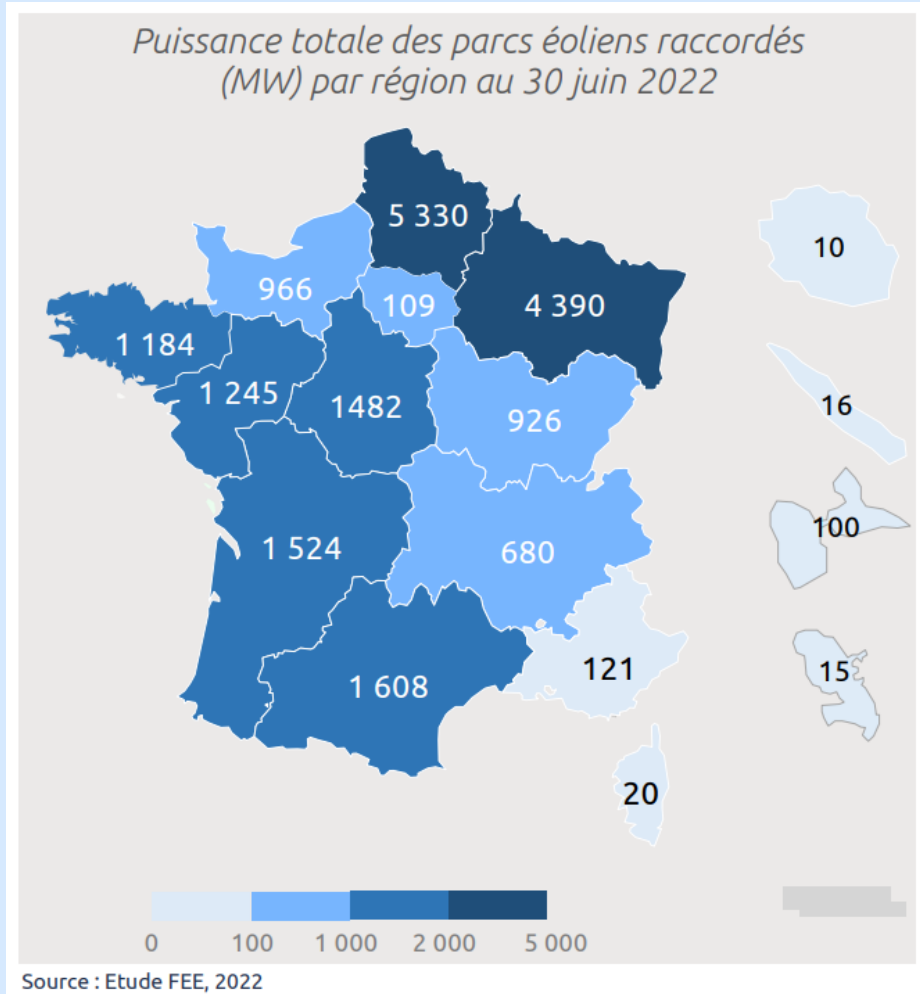


Environ **20 projets** de renouvellement ont été **mis en service** en France métropolitaine



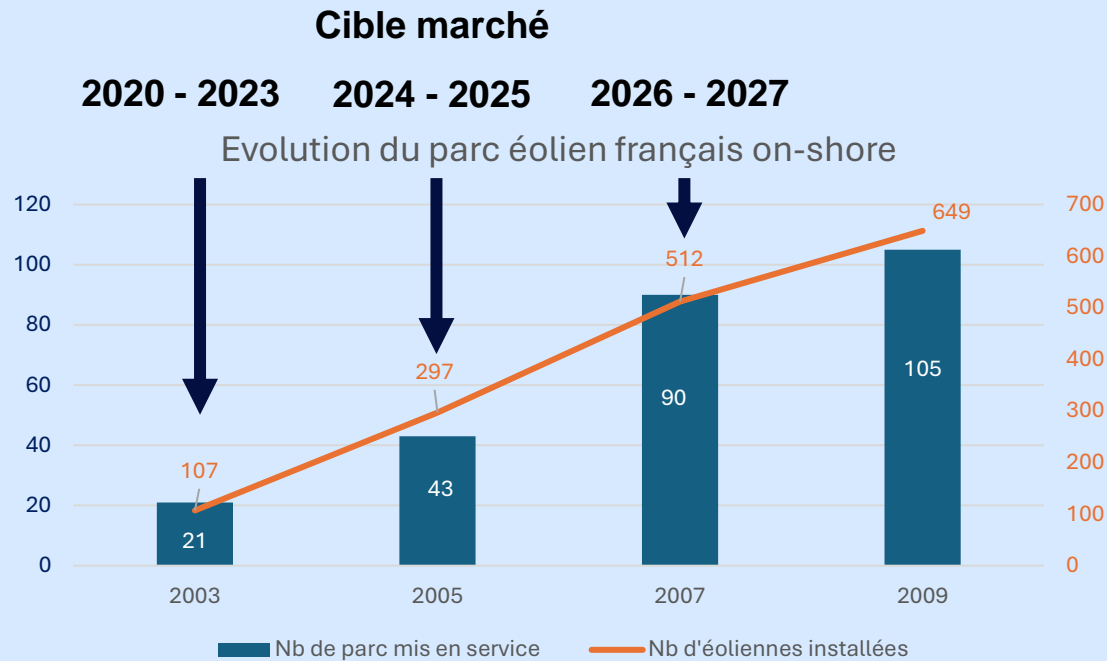
Environ **1.7GW** actuellement en opération sont en cours d'**investigation repowering**

Le marché de l'éolien en France



- **2 grandes régions productrices**
 - Grand-Est
 - Hauts-de-France
- **1400 parcs en fonction pour 9000 éoliennes en 2021**

Volume à recycler



Source: FIELD LISTING FOR UDI WORLD ELECTRIC POWER PLANTS DATA BASE (WEPP)

Remplacement des éoliennes:

- Contrat rachat électricité
 - 15 à 20ans avec RTE
 - spot PPA ensuite (industriel)
- Usure machine
- Evolution de la technologie (meilleur rendement)

Une forte augmentation

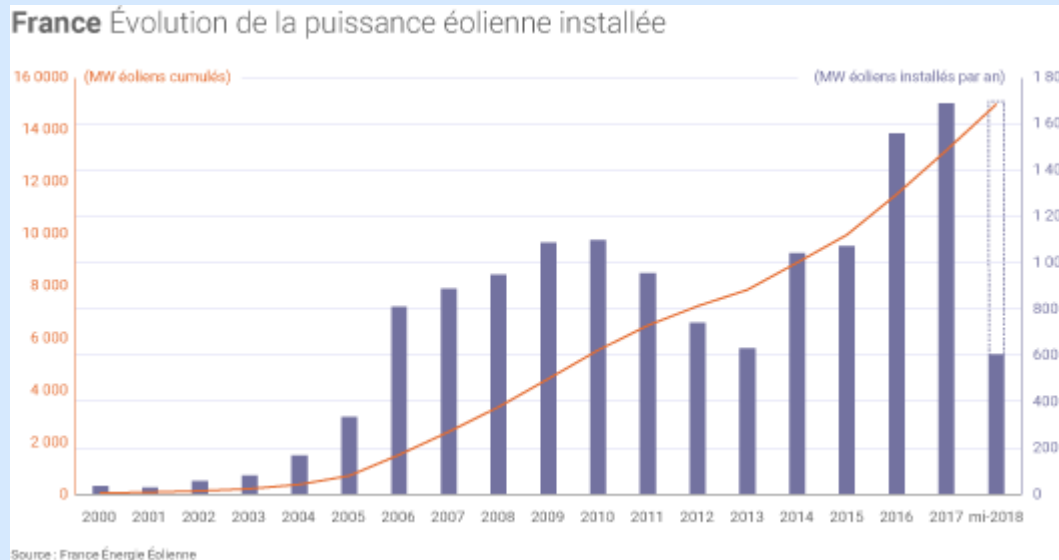
En l'espace de 5 ans:

- 2003 : 21 parcs installés pour 107 éoliennes
- 2009 : 105 parcs installés pour 649 éoliennes

5X plus
de parcs
installés

6X plus
d'éoliennes
installées

Volume à recycler



« 10 000 à 15 000 tonnes de composites issus du secteur éolien seront à traiter chaque année à partir de 2028 en France. (source Ademe) »

En termes de tonnage, sur le traitement des pales d'éolienne, nous allons assister à une montée en puissance :

- De 2024 à 2025 : 1 000 à 5 000 t / an
- 2025 à 2028 : 3 000 à 10 000 t / an
- A partir de 2028 : 10 000 à 15 000 t / an

Récapitulatif des hypothèses :

MW → Eoliennes → nb de pales → tonnage de pale

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



Dans la réglementation française, quel est le taux minimum de recyclage ou réutilisation des éoliennes en pourcentage de la masse?

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Eolien terrestre : obligation de recyclage

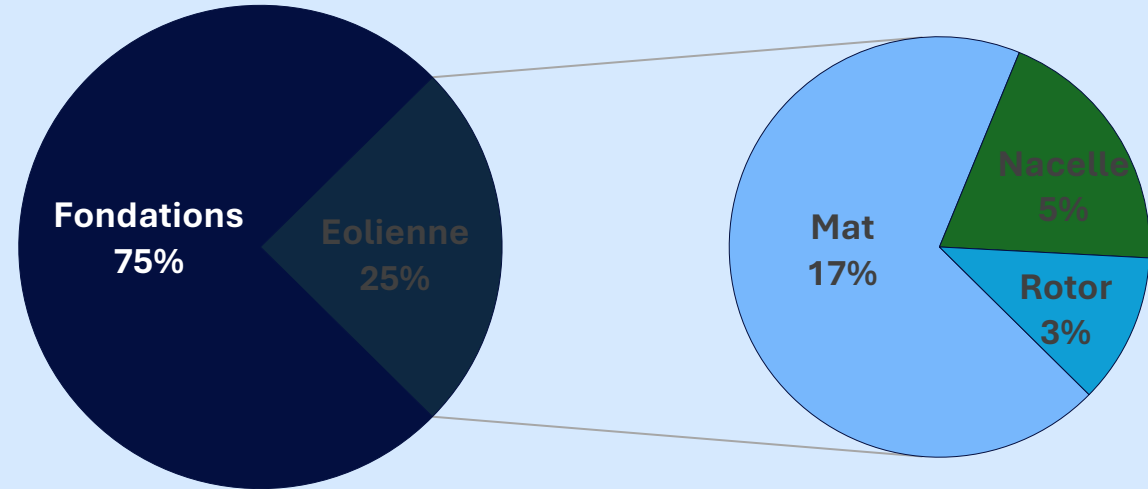
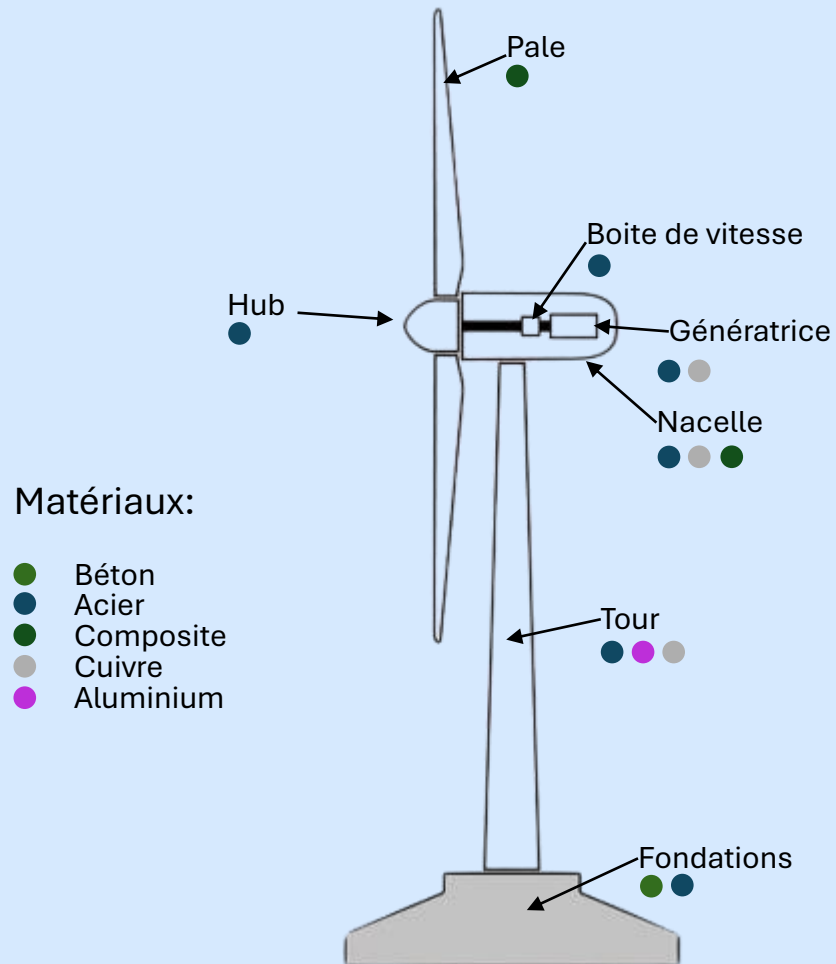
- Les éoliennes sont classées, depuis 2011, parmi les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et soumise à des réglementations spécifiques ;
- Des obligations de recyclabilité sont prévues dans la loi via les Arrêtés Ministériels de Prescriptions Générales (AMPG) : [Arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement - Légifrance](#)

Les aérogénérateurs dont le dossier d'autorisation complet est déposé après les dates suivantes ainsi que les aérogénérateurs mis en service après cette même date dans le cadre d'une modification notable d'une installation existante, doivent avoir au minimum :

*après le 1er janvier 2024, **95 % de leur masse totale**, tout ou partie des fondations incluses, réutilisable ou recyclable ;*

*après le 1er janvier 2025, **55 % de la masse de leur rotor réutilisable ou recyclable***

Une éolienne en matériaux



Répartition des masses entre les différents éléments
(exemple d'une Nordex N90)

Règlementation sur le recyclage des éoliennes:

Pour les parcs existants:

- 1^{er} juillet 2022 : 90% de la masse totale de l'éolienne (fondations incluses)
- 1^{er} juillet 2022 : 35% de la masse du rotor (pales et hub)

Pour les futurs parcs installés :

- 1^{er} janvier 2024 : 95% de la masse totale de l'éolienne (fondations incluses)
- 1^{er} janvier 2023 : 45% de la masse du rotor (pales et hub)
- 1^{er} janvier 2025 : 55% de la masse du rotor (pales et hub)

Règlementation éolien offshore

- Appliqué depuis le premier Appel d'Offre éolien offshore
- Définition: « Recyclage » désigne toute opération de valorisation par laquelle des produits ou composants de produits sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, ni la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage. Il est précisé que les opérations de solvolysé sont considérées comme des opérations de Recyclage au titre du présent Cahier des Charges.
- Le taux de Recyclage ou de Réutilisation des pales d'éoliennes utilisées pour le Projet est compris entre 80% et 100% pour une note de 4 points ;
- Le candidat détaille dans son offre les filières de Recyclage disponibles à la date de remise de l'offre, et présente ses hypothèses d'évolution des différentes filières de façon à justifier le taux indiqué dans son offre, si nécessaire en précisant les contraintes technologiques devant encore être levées et en combinant plusieurs filières. Il présente également les partenariats conclus ou envisagés dans le domaine du Recyclage ou, le cas échéant, de la Réutilisation des pales.

(c) *La notation relative au taux de Recyclage ou de Réutilisation des pales (NE3) est effectuée de la manière suivante :*

Lorsque R est supérieur à R_{max} , la note NE3 est égale à NR_0 .

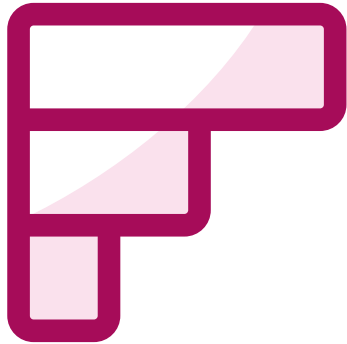
Lorsque R est égal à R_{min} , la note NE3 est égale à 0.

Lorsque R est compris entre R_{min} et R_{max} , la note **NE3** est établie conformément à la formule suivante :

$$NE3 = NR_0 \times \frac{(R - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})}$$

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



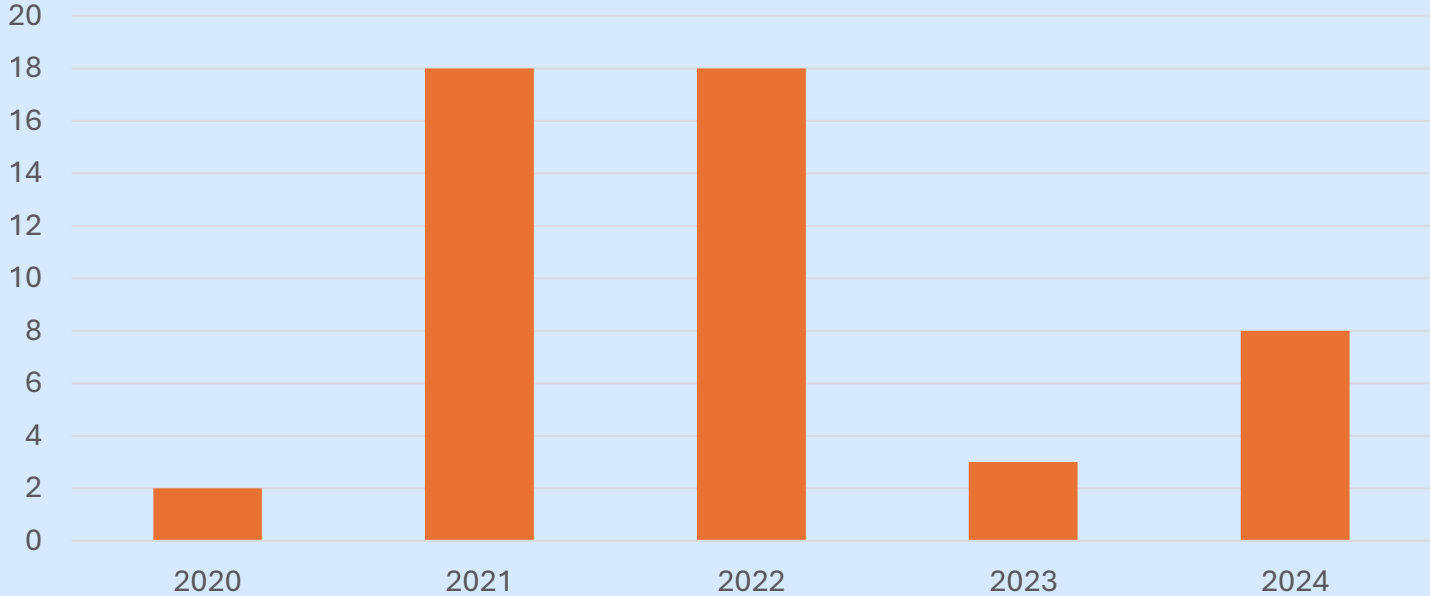
En parlant de recyclage, quel secteur recycle le mieux ?

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Chantiers de démantèlement réalisés en France - SUEZ

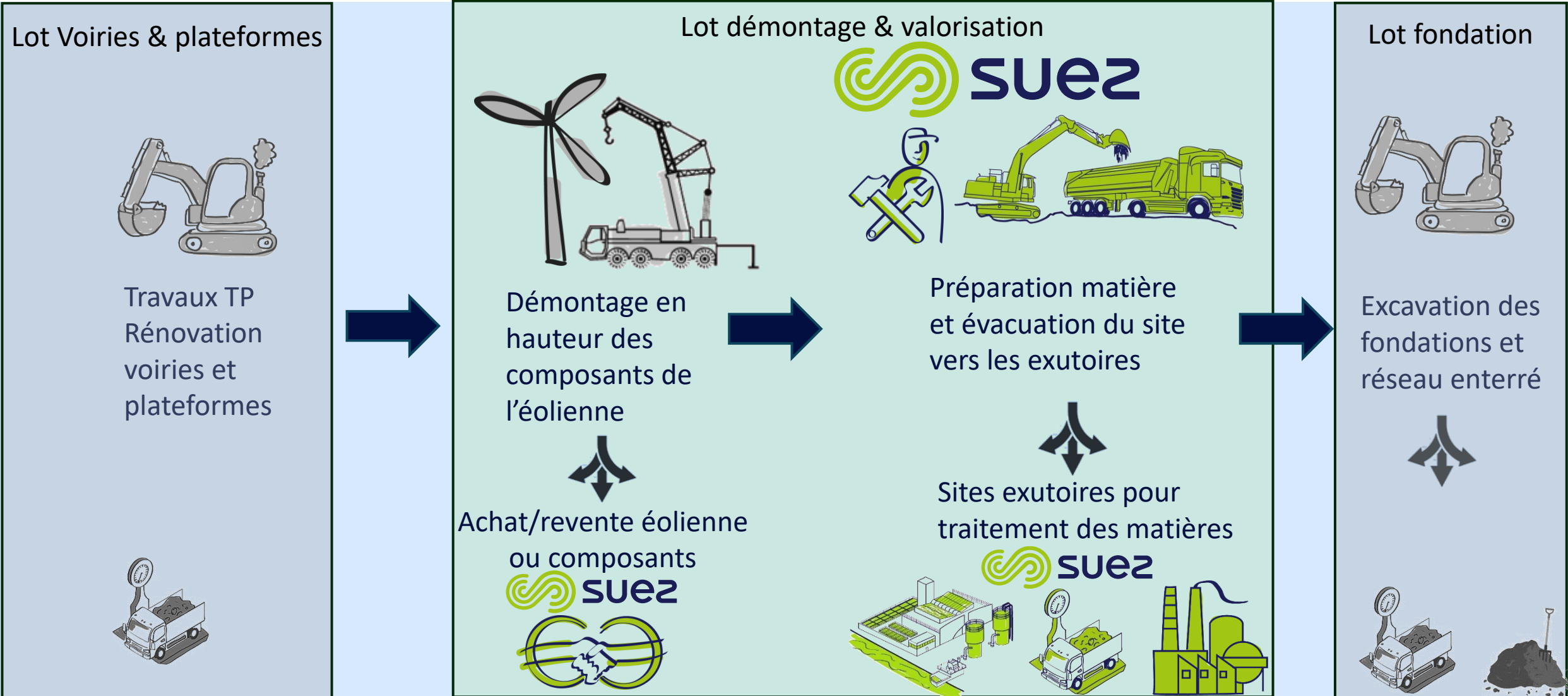


Nombre d'éoliennes démantelées par SUEZ

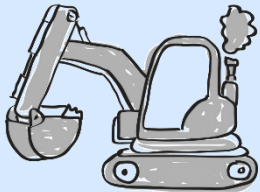


Guerre en Ukraine

Positionnement de SUEZ dans la chaîne de valeur



SUEZ, opérateur du démantèlement éolien



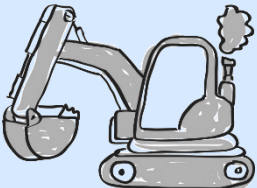
Travaux TP
Rénovation
voiries et
plateformes



Démontage en
hauteur des
composants de
l'éolienne



Préparation
matière et
évacuation du
site vers les
exutoires



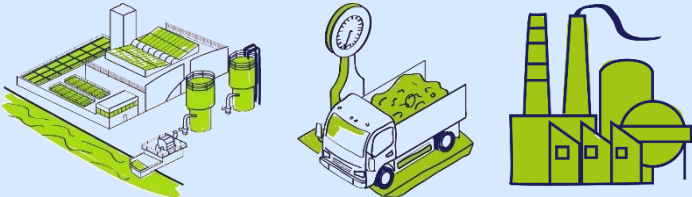
Excavation des
fondations et
réseau enterré



Achat/revente éolienne
ou composants



Sites exutoires pour
traitement des matières



slido

Please download and install the Slido app on all computers you use

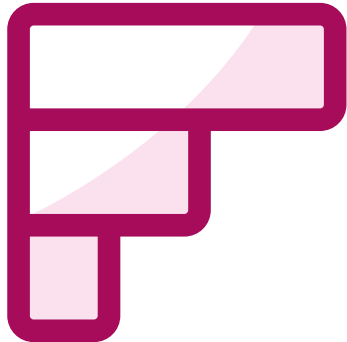


Quel est le taux de recyclage de la pale la plus performante au monde ?

① Start presenting to display the poll results on this slide.

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



Selon vous, quelle est la meilleure piste pour les pales d'éolienne en fin de vie ?

① Start presenting to display the poll results on this slide.

Questions du public – il est encore temps de poser des questions et de voter pour les questions qui vous intéressent le plus



Dernières annonces recyclage de composites

De nouvelles innovations développées chez les constructeurs européens :

- **Technologie de rupture dans le processus de retraitement** : Annonce de la mise au point d'une nouvelle solution circulaire de recyclage des pales composées de résine époxy, qui ne nécessite aucun changement dans la conception ou la composition des pales. En alliant une **technologie chimique** récemment découverte au sein du **projet CETEC** et en partenariat avec Olin et Stena Recycling, cette solution pourra s'appliquer **aux pales en résine epoxy actuellement en service comme aux futures pales**.

⇒ Cette solution permet la séparation des matériaux et la réutilisation de la résine dans des nouvelles pales d'éoliennes, afin de rentrer dans une économie circulaire.

<https://www.youtube.com/watch?v=mW435UNTz0I>

- **Technologie de rupture dans les matériaux utilisés** : le projet « bladerecycle » une nouvelle résine introduite dans les pales et déjà installée depuis 2021, permet de recycler 100% des nouvelles pales. Utilisé pour le moment dans les parcs offshores.

<https://www.youtube.com/watch?v=WH8xFCagc68&t=3s>

Des opportunités pour valoriser les déchets composites – GREC 2022

SOLUTIONS TECHNIQUES

> LE REEMPLOI

> LA REUTILISATION

> LE RECYCLAGE

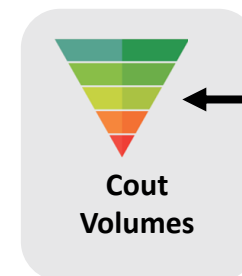
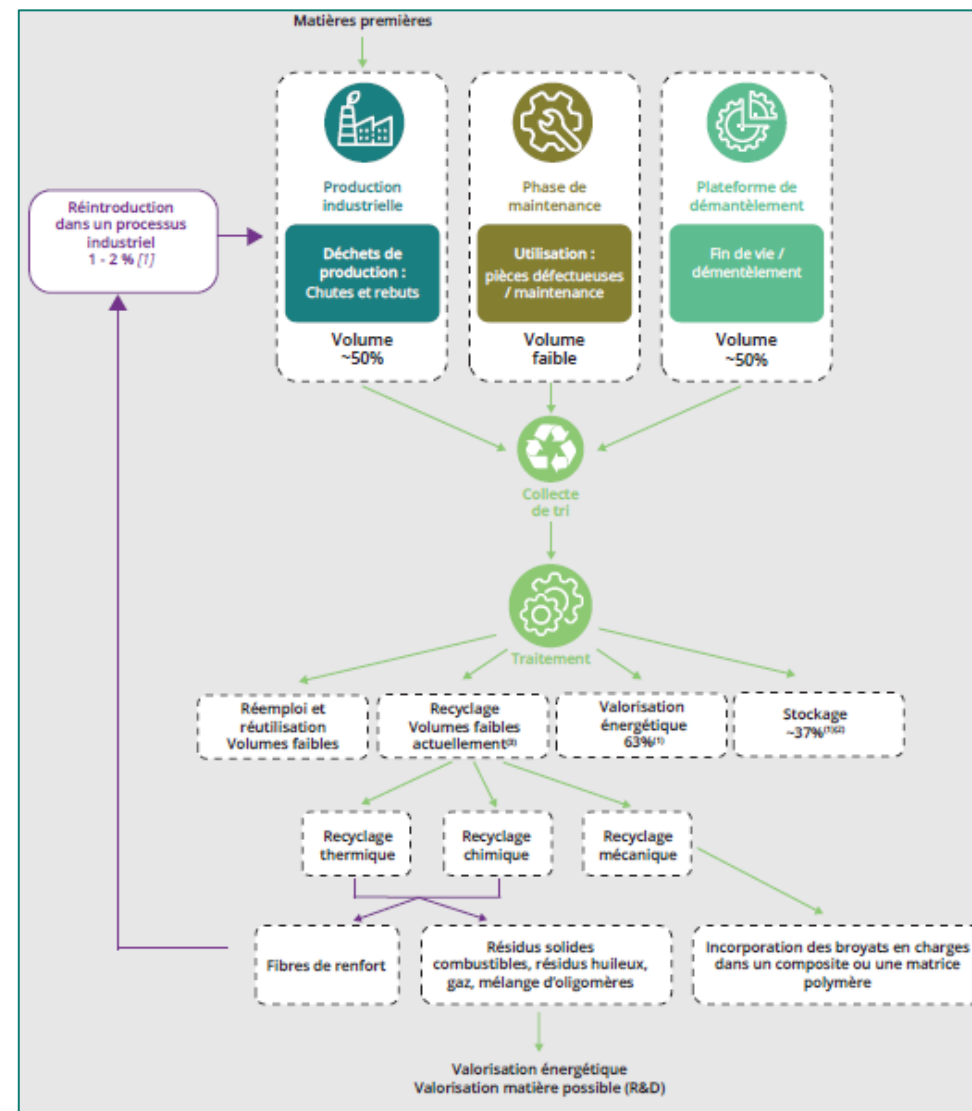
Recyclage mécanique

Recyclage thermique

Recyclage chimique

> LA VALORISATION ENERGETIQUE

> LE STOCKAGE



02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites


LE REEMPLOI

CE QUE DIT LA LOI



L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement précise que le réemploi concerne « toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus ».

Coproduits de fabrication



Cout variable
Volumes faibles
à moyen

Pièces en fin de vie



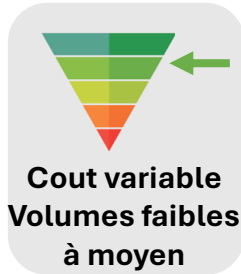
02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites

LA REUTILISATION

CE QUE DIT LA LOI



La réutilisation s'identifie d'un point de vue réglementaire comme « toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau ».



Cout variable
Volumes faibles
à moyen

BATHÔ
chantier naval insolite

SUPERUSE

Réutilisation de matières et matériaux issus de pièces en fin de vie dont la structure peut être réadaptée pour d'autres applications (mobilier urbain, aires de jeux, gîtes et hébergements insolites, etc.).

02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites

LE RECYCLAGE

CE QUE DIT LA LOI



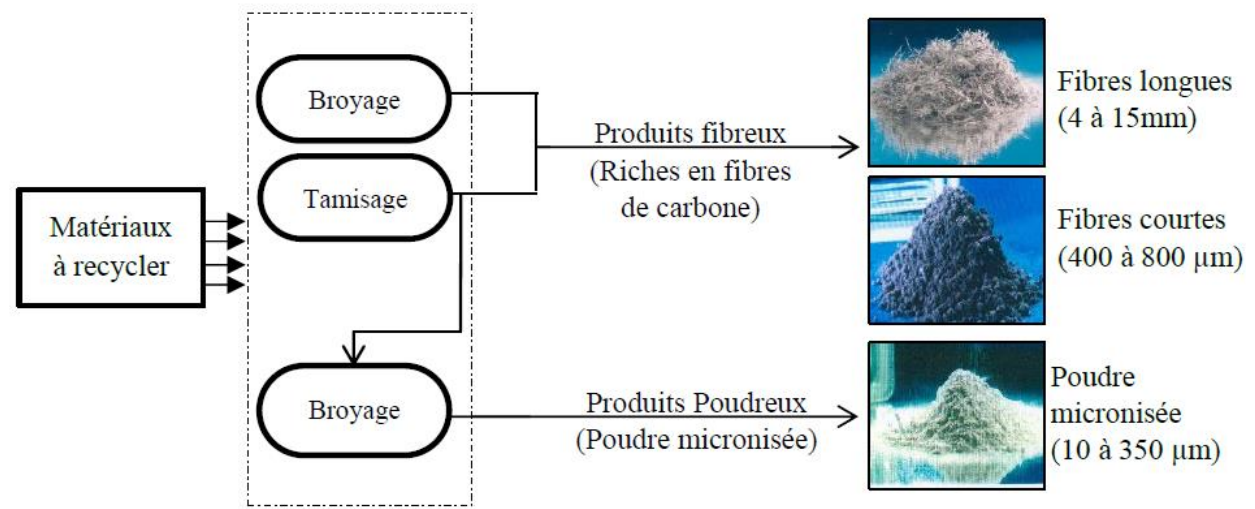
L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement définit le recyclage par « toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage ».

On distingue:

- **Le recyclage mécanique**
- Le recyclage thermique
- Le recyclage chimique

LE RECYCLAGE MECANIQUE

Processus de traitement permettant une réduction de la taille initiale des déchets composites en vue de les réintégrer sous la forme de charges ou des renforts dans de nouvelles pièces.



02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites

LE RECYCLAGE

CE QUE DIT LA LOI



L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement définit le recyclage par « toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage ».

On distingue:

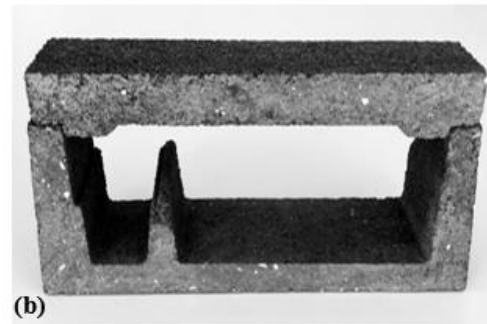
- **Le recyclage mécanique**
- Le recyclage thermique
- Le recyclage chimique

LE RECYCLAGE MECANIQUE

En France...



... Mais surtout à l'étranger



Crédits : (b) Reprocover ;
(d) Conenor

02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites

LE RECYCLAGE

CE QUE DIT LA LOI



L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement définit le recyclage par « toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage ».

On distingue:

- Le recyclage mécanique
- **Le recyclage thermique**
- Le recyclage chimique

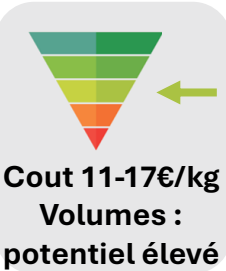
LE RECYCLAGE THERMIQUE

Procédé visant à récupérer les fibres de renfort par la décomposition et la dégradation de la matrice organique dans une chambre anoxique à haute température.

En France :



Partenariat visant à déployer des unités de pyrolyse mobiles, autonomes en énergie pour traiter les déchets composites issus de la déconstruction des bateaux de plaisance



Cout 11-17€/kg
Volumes :
potentiel élevé

02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites

LE RECYCLAGE

CE QUE DIT LA LOI



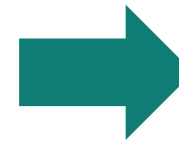
L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement définit le recyclage par « toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage ».

On distingue:

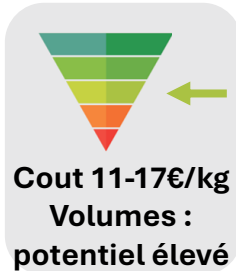
- Le recyclage mécanique
- Le recyclage thermique
- **Le recyclage chimique**

LE RECYCLAGE CHIMIQUE

Procédé visant à décomposer la portion organique du matériau par dépolymérisation et ainsi libérer les fibres de la matrice.



En France :



02 - Des opportunités pour valoriser les déchets composites

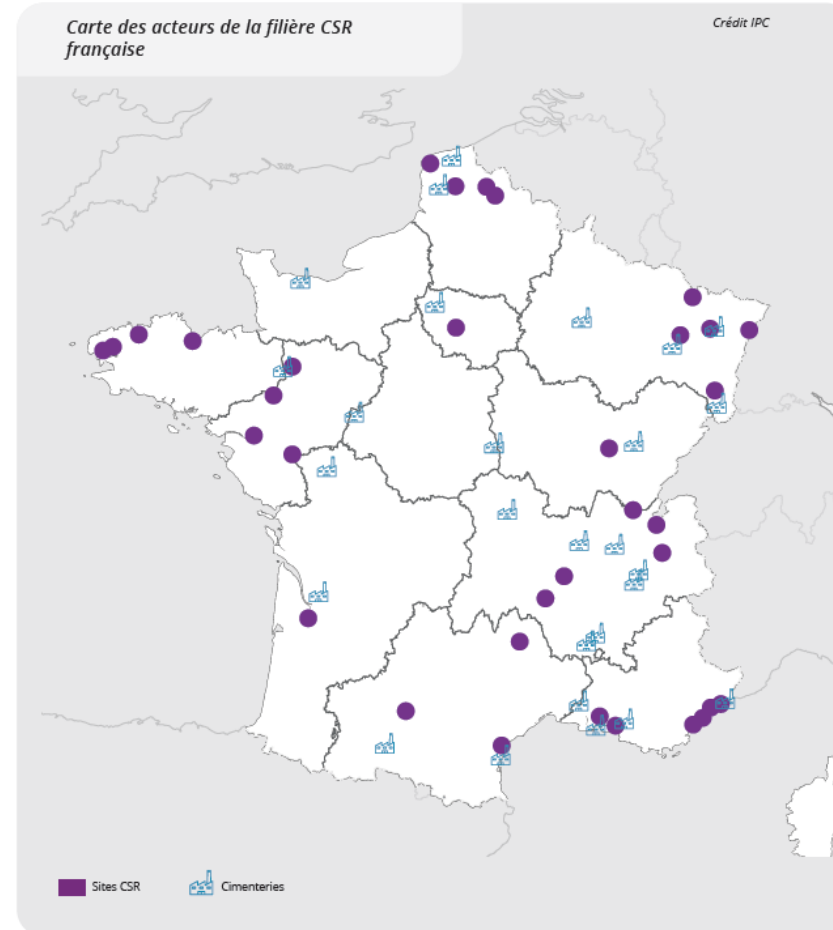
LA VALORISATION ENERGETIQUE

CE QUE DIT LA LOI



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

CSR (Combustible Solide de Récupération)



Cout 0,16 €/kg
Volumes 63%*

NOM	SOCIÉTÉ / EXPLOITANT		
Site de SERRAND	SERRAND		
Plateforme d'activités de SERMACO	SERMACO		
Ecopôle ALTRIGOM	3WAYSTE		
BIOVAL (anciennement site de SIRUET)	BIOVAL		
Centre de tri haute performance d'Excoffier	EXCOFFIER		
Site de Beaune	BOURGOGNE RECYCLAGE		
UTVME-Unité de Tri-Valorisation matière Energie	KERVAL		
CTHP de Thudon	RECYCLEURS BRETONS		
Site de St Martin	GUYOT ENVIRONNEMENT		
Site de Brest	GUYOT ENVIRONNEMENT		
CTHP de Ludres	VEOLIA		
Plateforme intégrée sur la cimenterie de Heming	EQOM		
Site de Longeville	VTB		
Bluepaper	Bluepaper		
Cernay Environnement	Cernay Environnement		
Centre de Préparation Matières (CPM) et fabrication de CSR	BAUDELET		
TYME	TYMEVAD		
Centre de tri de Catalis	ORALE ENVIRONNEMENT (S&NB)		
Site VANHEEDE	VANHEEDE ENVIRONNEMENT SAS		
SEMAVAL	SEMARDEL		
Unité d'Arcay	NPC		
Progrédé Nord Normandie (VEOLIA)	VEOLIA		
CORIS	GRUPE PENA		
Ecopôle Narbonne	GRAND NARBONNE		
Site de Brûleries PAPIREC	PAPIREC		
Site d'Environnement Massif Central	ENVIRONNEMENT MASSIF CENTRAL		
CTHP VALAZUR	VEOLIA		
Centre de tri de villeneuve - Loubet	VEOLIA		
Centre de valorisation organique	SMEDDS		
Provence Valorisation	SUEZ PROVENCE VALORISATION		
Usine de Gignac-La-Nerthe	EPUR		
PACA	13 Gignac-La-Nerthe	Usine de Gignac-La-Nerthe	EPUR
PACA	83 Friéjus	Ecopôle SOFOVAR DND	SCLAVO ENVIRONNEMENT
Pays de la Loire	44 Couron	CTHP du site Arc en Ciel	NANTES METROPOLE
Pays de la Loire	44 Chateaubriant	Site Tri OUEST	BARBAZANGES TRI OUEST
Pays de la Loire	49 Cholet	CDT de Cholet	BRANGEON RECYCLAGE
Pays de la Loire	53 Changé	Pole multi-Mière de Changé	SECHE

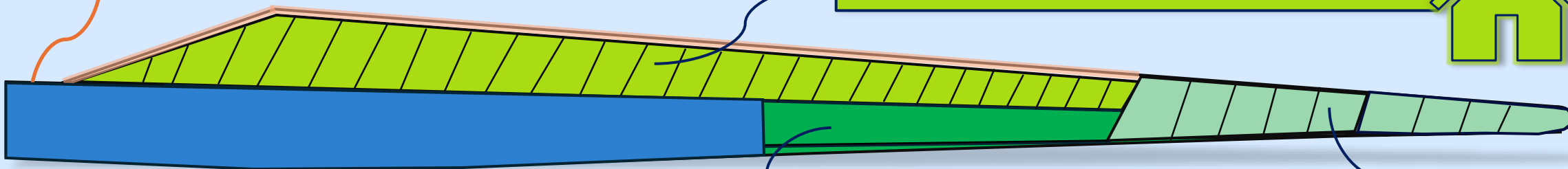
*RETEX filière navique

Recyclage et Valorisation

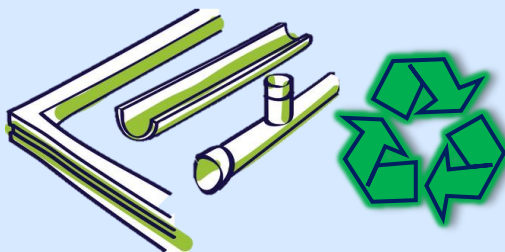


Valorisation énergétique

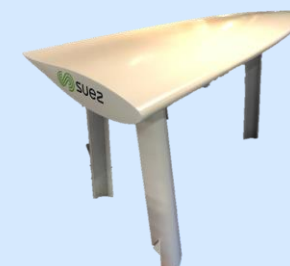
Matériaux de construction



Broyage et réutilisation comme matériau recyclé



Mobilier



Questions du public – votez pour les questions qui vous intéressent le plus

