



Accompagner la filière auto dans la mise en œuvre de ses objectifs en matière d'économie circulaire

Composants Electroniques – Rapport Final | Paris, le 30 janvier 2025

STRAT ANTICIPATION | *Be One Step Ahead*

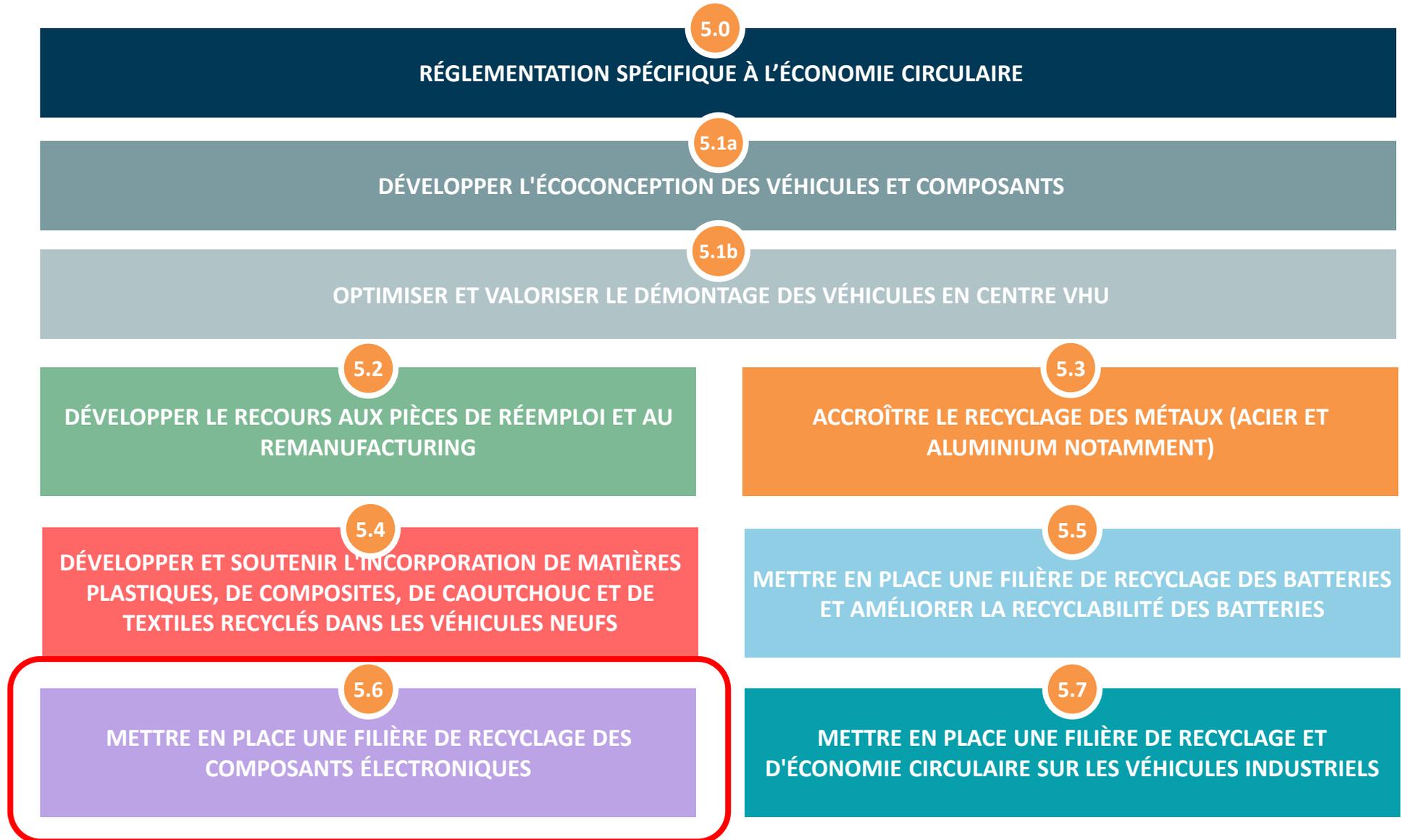
AGENDA

▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- ▶ SYNTHÈSE DES ENJEUX
- ▶ LISTE DES DIFFÉRENTS MODULES ÉLECTRONIQUES & TYPES DE VALORISATION ENVISAGEABLES
- ▶ PRATIQUES DE CONCEPTION DES MODULES ÉLECTRONIQUES QUI COMPLIQUENT LEUR RÉCUPÉRATION

Dans le CSFA 2024-2027, la filière automobile a défini 7 chantiers pour développer l'économie circulaire en France, nous en avons ajouté 2 : régulation & démontage

Chantiers – Description



L'étude a fait l'état des lieux avec les acteurs & les flux, détaillé les feuilles de route, définit les conditions de succès de la mise en œuvre & proposé des actions concrètes

Objectifs



PFA | FILIÈRE
AUTOMOBILE
& MOBILITÉS

FEUILLES DE ROUTE
DÉTAILLÉES &
VALIDÉES

PLAN D'ACTION
CONCRETS

GOUVERNANCE &
PILOTAGE DE LA
MISE EN ŒUVRE

RECOMMANDATION
AUX POUVOIRS
PUBLICS

Le projet Économie Circulaire a été mené en plusieurs étapes : les feuilles de route par chantier viennent d'être faites. Il reste à mettre en œuvre les plans d'actions...

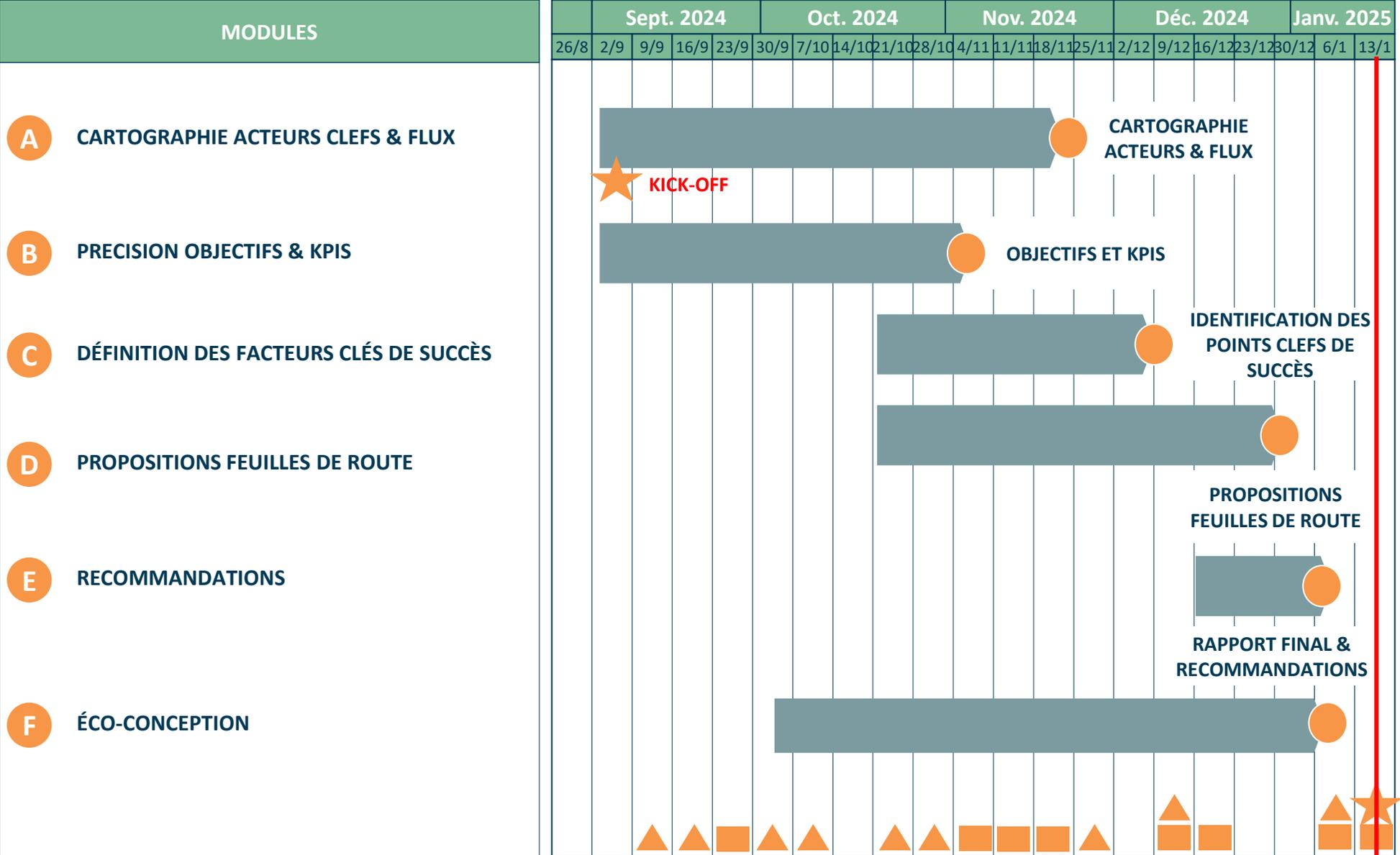
— Projet Économie Circulaire – Description Méthodologie

ETAPES



Un calendrier de 4 mois avec des comités de pilotage toutes les 2 semaines et des webinars et des Groupes de Travail au fur-et-à-mesure de l'avancement du projet

Calendrier



● Délivrables
 ▲ Comité de pilotage
 ★ Jalon du projet
 ■ Webinars / Groupes de travail

Nous avons réalisé 110 entretiens et 5 restitutions intermédiaires sur différents chantiers depuis le début de l'étude

Point d'avancement - Entretiens & Webinars



Plus de 130 études de 100 sources distinctes ont été analysées dans le cadre des neuf chantiers du projet

Récapitulatif – Études analysées

- ▶ **137 études analysées issues de 100 sources variées** : cabinets de conseil, travaux académiques, rapports ministériels, UE, etc.

▶ 5.1b - DÉMONTAGE

- **1 étude principale** : ADEME (2022-2023)
- **9 autres études** : ADEME, WDA, Groupe Surplus Recyclage, IDDRI, FEDEREC, INDRA, Derichebourg, Galloo

▶ 5.3 - RECYCLAGE DE L'ALUMINIUM

- **3 études principales** : ADEME & Deloitte (2023), ADEME (2023), Ducker (2022)
- **8 autres études** : XERFI (2023), BRGM (2016), Mine urbaine (2022), CNI (2020), XERFI (2024), European Aluminium (2024), IRT M2P (2021), Alumobility (2024)

▶ 5.3 - RECYCLAGE DE L'ACIER

- **2 études principales** : ADEME & Deloitte (2023), ADEME (2024)
- **8 autres études** : XERFI (2023), BRGM (2016), CNI (2020), Mine urbaine (2022), IFRI (2023), (2019), Sénat (2019), CELSA (2014), IDDRI (2024)

▶ 5.4 - RECYCLAGE DES PLASTIQUES

- **6 études principales** : SystemIQ, 2 de Plastic Europe, 2 de JRC, ADEME (2022)

▶ 5.4 - RECYCLAGE DU CAOUTCHOUC

- **3 études principales** : ADEME, Elanova Lab, SNCP-LRCCP
- **3 autres études** : Michelin et Bridgestone, ICTP-CSIC (ES), Université de Mons

▶ 5.5 - RECYCLAGE DES BATTERIES

- **2 études principales** : SystemIQ, AVERE, Commission européenne

▶ 5.6 - COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

- **3 études principales** : EPoSS (2023), Christian Thomas (2020), Fondation Carmignac (2024)
- **4 autres études** : FIEEC, EECONE, ADEME, New Horizon College of Engineering

▶ 5.7 - VÉHICULES INDUSTRIELS

- **3 études principales** : CIDER (2017), ADEME, INDRA et Renault Trucks (2021), ACEA (2020)

Nous avons échangé avec 160 personnes environ, conduit 5 webinars et animé 7 Groupes de Travail

Point d'avancement - Entretiens et webinars

▶ **111 entretiens réalisés avec 158 personnes sur les différents chantiers**

▶ **5 WEBINARS RÉALISÉS :**

- Webinar - Recyclage des métaux - 05/11
- Webinar - Recyclage des plastiques et des composites - 13/11
- Webinar - Recyclage des batteries - 19/11
- Webinar - Recyclage du caoutchouc - 11/12
- Webinar - Recyclage des composants électroniques - 18/12

▶ **7 GROUPES DE TRAVAIL RÉALISÉS :**

- Groupe de travail Composants électroniques - 03/12
- Groupe de travail Plastiques - 13/12
- Groupe de travail Transport et stockage des batteries - 17/12
- Groupe de travail Démontage - 18/12
- Groupe de travail Recyclage des batteries - 19/12
- Groupe de travail Acier - 20/12
- Groupe de travail Aluminium - 09/01

Nous avons travaillé avec l'ensemble des parties prenantes sur la chaîne de valeur de l'économie circulaire : près de 100 organisations au total...

Organisations ayant participé au projet : interviews, groupes de travail, autres contributions

ENTREPRISES PRIVÉES



INSTITUTIONS PUBLIQUES



ASSOCIATIONS PROFESSIONNELLES



Pour chacun des chantiers, une feuille de route a été définie pour chaque sujet priorisé

Introduction et méthodologie des feuilles de route

5.X

STRUCTURE DE LA FEUILLE DE ROUTE POUR CHAQUE CHANTIER :

Acteurs présents et invités au premier groupe de travail

1

Présentation des sujets priorisés à la suite du premier groupe de travail

2

Pour chacun des sujets priorisés, présentation d'une feuille de route pour de potentielles nouvelles réunions du groupe de travail. La feuille de route contient :

- **Objectif du groupe de travail**
- **Résultats attendus**
- **KPIs**
- **Facteurs clés de succès**
- **Prochaines étapes**
- **Propositions de recommandations aux pouvoirs publics**

3

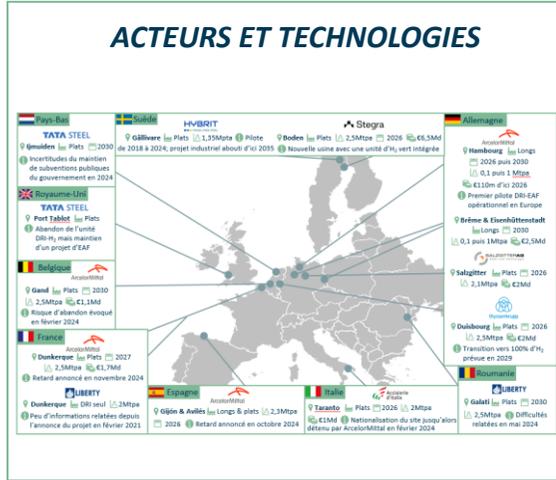
NOUS PROPOSONS À LA FIN DES FEUILLES DE ROUTE UNE PRÉSELECTION DE SUJETS À PRIORISER EN 2025 POUR LA PFA

Le projet a délivré un certain nombre de livrables qui seront partagés par la PFA avec tous les participants

Livrables du projet

1

ÉTAT DES LIEUX : CARTOGRAPHIE DES ACTEURS, FLUX & DES TECHNOLOGIES, IDENTIFICATION DES POINTS CLEFS DE SUCCÈS



2

SYNTHÈSE PAR CHANTIER

3

SYNTHÈSE

	2022	UE 27+3	FRANCE	Objectif réglementaire
PLASTIQUES AUTOMOBILES COLLECTÉS N DES BESOINS POUR LA PRODUCTION	37%	49%	-	
PLASTIQUES AUTOMOBILES RECYCLÉS* N DES BESOINS POUR LA PRODUCTION	7%	19%	-	
INTEGRATION DE PLASTIQUE RECYCLÉ* DANS LE SECTEUR AUTOMOBILE N DES BESOINS POUR LA PRODUCTION	5%	7%	25%	
INTEGRATION DE PLASTIQUE RECYCLÉ* DANS LE SECTEUR AUTOMOBILE EN BOUTEES ESSES N DES BESOINS POUR LA PRODUCTION	<0,5% **	<1% ***	6,25%	

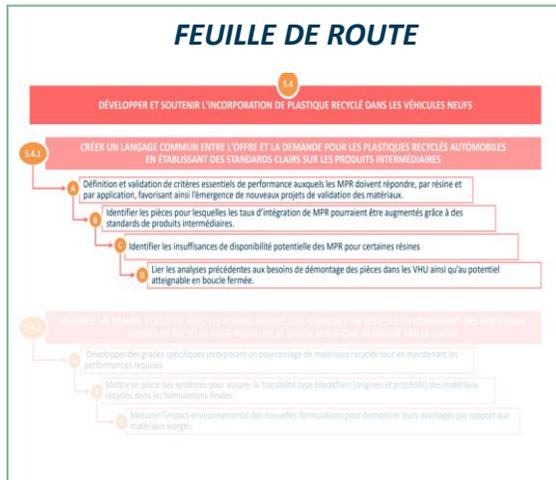
PLASTIQUES PER ISSUS DE L'AUTOMOBILE ET UTILISÉS PAR AUTRES SECTEURS | Europe, 2020, tonnes, imports exports inclues

Plastics recycled in provenance du secteur automobile

- Recyclés vers le secteur de l'emballage
- Recyclés vers le secteur de la construction
- Recyclés vers le secteur des transports
- Recyclés vers les autres secteurs

3

PROPOSITION DE FEUILLES DE ROUTE PAR CHANTIER



4

SYNTHÈSE GLOBALE DU PROJET

PRÉSENTATION FINALE

PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES

- 1 La législation doit adopter une approche technologique
- 2 Les définitions et indicateurs doivent être clairs et cohérents
- 3 Il doit y avoir une transparence et un contrôle sur les marchés concernés en respectant les règles
- 4 Il faut prendre en compte la complexité des chaînes de flux pour construire des boucles sur le plan industriel
- 5 Il faut des études d'impact détaillées avant de réglementer, pour évaluer si ce n'est pas préparer des matériaux avec des bonnes intentions

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES PAR MATIÈRE

- 1 Il faut des objectifs par matière, réalisés qui doivent tenir compte des grades, des valeurs de charges et des matériaux techniques, tout en étant flexibles dans le temps pour assurer une mise en œuvre progressive
- 2 Les objectifs doivent intégrer les chaînes physiques ou technologiques liées aux matériaux autour du taux d'incorporation de recyclé. Ils doivent pouvoir être révisés dans le temps en fonction de la disponibilité des données
- 3 Les aspects industriels existants doivent être pris en considération, avant de considérer des objectifs de recyclage ou de incorporation pour une matière à la vue de nouvelles capacités

TRACABILITÉ DES EXPERTS

- 1 Evaluer des données disponibles dans l'UE sans être limités, les données publiques doivent améliorer leur qualité
- 2 Il est attendu que les données publiques s'alignent en conséquence sur les non-tradés comme des flux régionaux par défaut ou qu'elles soient de la responsabilité end-to-end via l'UE
- 3 Il y a des problèmes similaires pour certains déchets, comme l'acier et les métaux, nécessitant une meilleure traçabilité des flux

PARTIS DES VHS DANS DESTINATION CORRAIE AU BIEN DE L'UE | En millions de tonnes, 2019-2020

2017: 2 000 (100%)
2018: 2 000 (100%)
2019: 2 000 (100%)

■ 100% avec une destination conforme
■ 100% recyclés

Illustration - Distribution Inconnue pour les VHU dans l'UE
En 2019, sur les 15 millions de tonnes de déchets de l'UE, 14,5 millions ont été collectés et 14,2 millions ont été traités. Les données de destination sont donc incomplètes. Le gouvernement britannique a choisi de ne pas collecter les déchets de l'UE, ce qui a entraîné un manque de données pour le recyclage et la RE. Les données de destination manquent pour les flux, avec la responsabilité inconnue Région par défaut et de l'ignorer à l'export.

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ **SYNTHESE DES ENJEUX**
- ▶ LISTE DES DIFFÉRENTS MODULES ÉLECTRONIQUES & TYPES DE VALORISATION ENVISAGEABLES
- ▶ PRATIQUES DE CONCEPTION DES MODULES ÉLECTRONIQUES QUI COMPLIQUENT LEUR RÉCUPÉRATION

Des enjeux stratégiques du recyclage des composants électroniques : économie, ressources et évolution du secteur automobile

Enjeux – Recyclage et seconde vie des composants électroniques

► Réduction des coûts

- Réduction des coûts liés à l'approvisionnement en matériaux critiques grâce au recyclage.
- Limitation de la dépendance aux marchés volatils des matières premières, souvent soumis à des fluctuations de prix.
- Création de nouvelles filières économiques et d'emplois locaux autour du recyclage et de la réutilisation des composants électroniques.

► Raréfaction des matières premières

- Préservation des ressources critiques telles que le cuivre et les terres rares.
- Diminution de la pression sur l'extraction minière, qui a des impacts environnementaux majeurs (pollution, perte de biodiversité).
- Réduction de la dépendance géopolitique vis-à-vis des pays fournisseurs de matières premières stratégiques.
- Élargissement de la disponibilité des matériaux via une économie circulaire fonctionnelle.

► Nouveaux enjeux et nouveaux modules

- Anticipation des besoins liés à l'électrification croissante du parc automobile, notamment en termes de recyclabilité des batteries et des composants électroniques de puissance.
- Développement et standardisation de nouveaux modules électroniques plus durables, réparables et recyclables.
- Mise en place d'infrastructures pour collecter et recycler efficacement les composants électroniques des véhicules électriques.
- Gestion des impacts liés aux systèmes électroniques de haute puissance utilisés dans les véhicules autonomes et connectés.

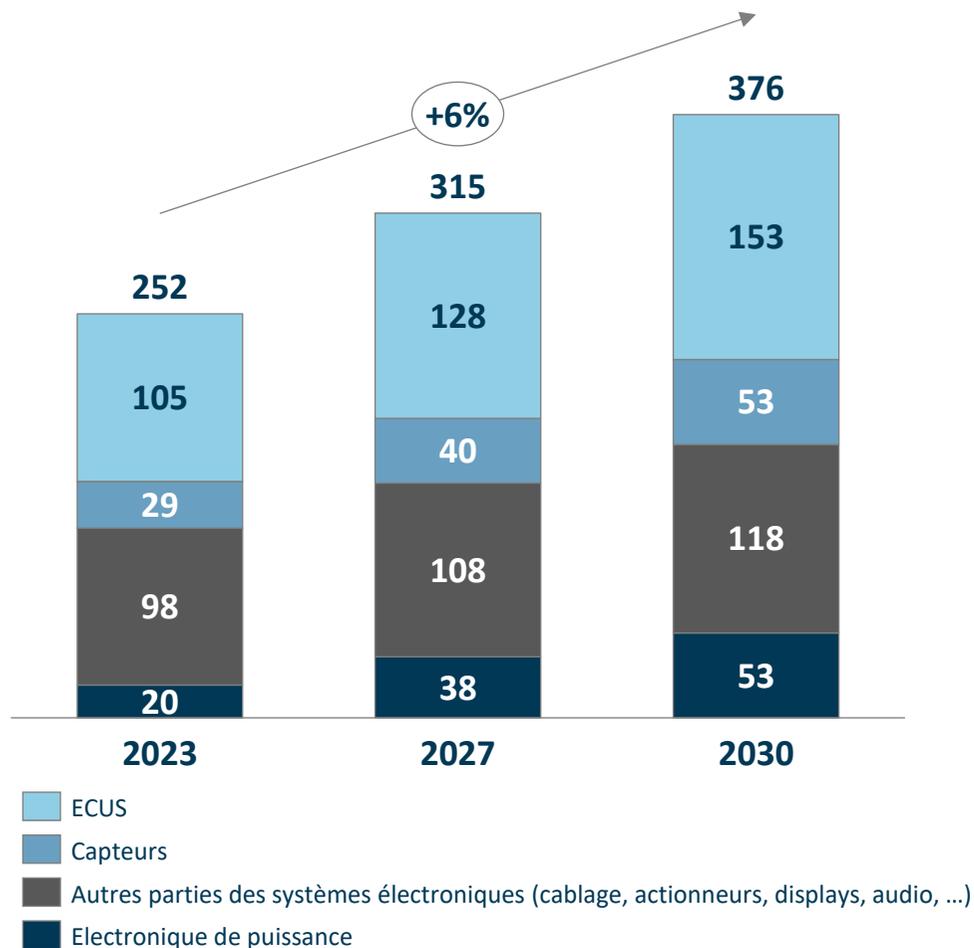
AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ SYNTHÈSE DES ENJEUX
- ▶ **LISTE DES DIFFÉRENTS MODULES ÉLECTRONIQUES & TYPES DE VALORISATION ENVISAGEABLES**
- ▶ PRATIQUES DE CONCEPTION DES MODULES ÉLECTRONIQUES QUI COMPLIQUENT LEUR RÉCUPÉRATION

Le marché des systèmes électroniques automobile représentait près de 252 Milliards d'€ en 2023, dont plus de 100 Md€ dédiés aux modules de contrôle.

Types de valorisation envisageables pour un module électronique

MARCHÉ DES SYSTÈMES ÉLECTRONIQUE AUTOMOBILE |
2023, ECUs, Capteurs et autres parties des systèmes électroniques



MARCHÉ

- ▶ **1. Marché électronique global**
 - Le marché automobile des systèmes électroniques représente moins de **10 %** du marché global de l'électronique.
- ▶ **2. Impact du software**
 - Le software constitue une part croissante de la valeur des ECUs, atteignant jusqu'à **40 %** du coût total pour les certains systèmes spécialisés (audio, ...)
- ▶ **3. Coût matière des ECUs**
 - Le coût matière des ECUs représente en moyenne **20 à 40 %** de leur prix de vente, dominé par les semi-conducteurs. Ce cout matière peut être très variable selon les modules.

Le nombre moyen d'unités de contrôle électronique par véhicule a été multiplié par trois entre 2005 et 2023. Chaque unité contient au moins une carte électronique.

Types de valorisation envisageables pour un module électronique

DÉFINITION – SYSTÈMES ET COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

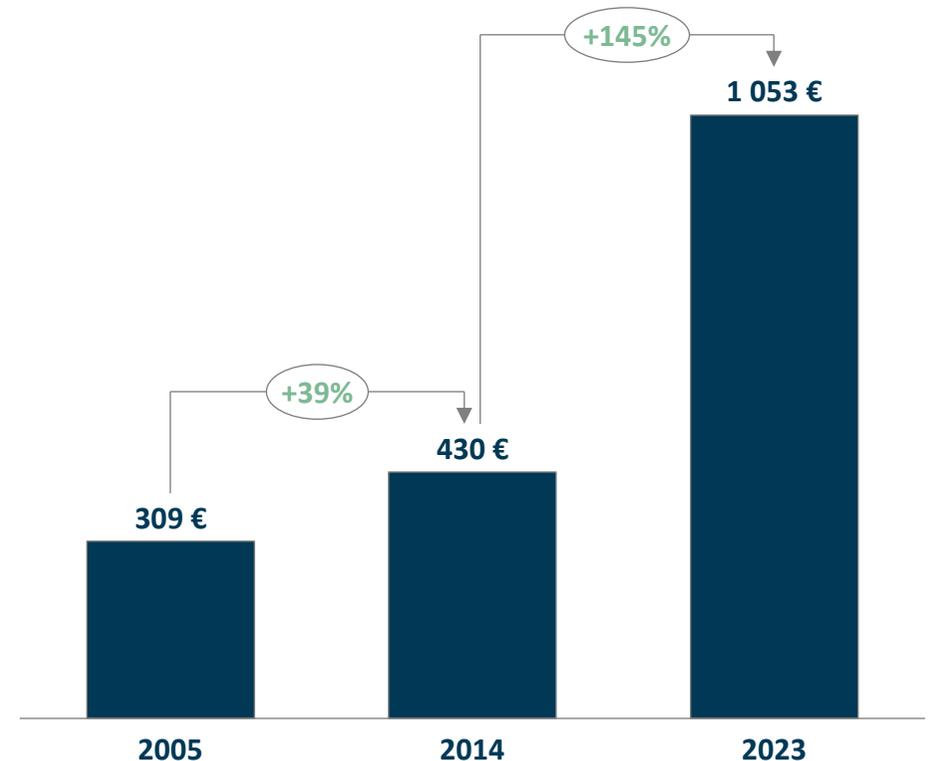
- ▶ **1. Système électronique:** Un système électronique regroupe:
 - Capteurs : collectent des données
 - ECU : analyse et pilote les actions
 - Actionneurs : exécutent les commandes
 - Réseaux : relie les composants

- ▶ **2. ECM ou ECU (Electronic Control Module, Module de contrôle électronique):** Un ECM aussi appelé ECU est une unité électronique autonome qui :
 - Reçoit des données via les capteurs
 - Traite ces données avec un logiciel embarqué
 - Envoie des commandes aux actionneurs

- ▶ **3. Carte électroniques (PCBa):** Une carte électronique est un circuit imprimé intégrant trois choses : microcontrôleur, mémoire, interfaces. Elle constitue la base matérielle de l'ECU.
 

- ▶ **4. Composants électroniques :** Un composant électronique est un élément destiné à être assemblé avec d'autres afin de réaliser une ou plusieurs fonctions électroniques

CONTENU MOYEN PAR VÉHICULE – ECU – PC + LCV |
 €/Véhicule, 2005-2014-2023, Hors ECU liés aux BEV/PHEV.

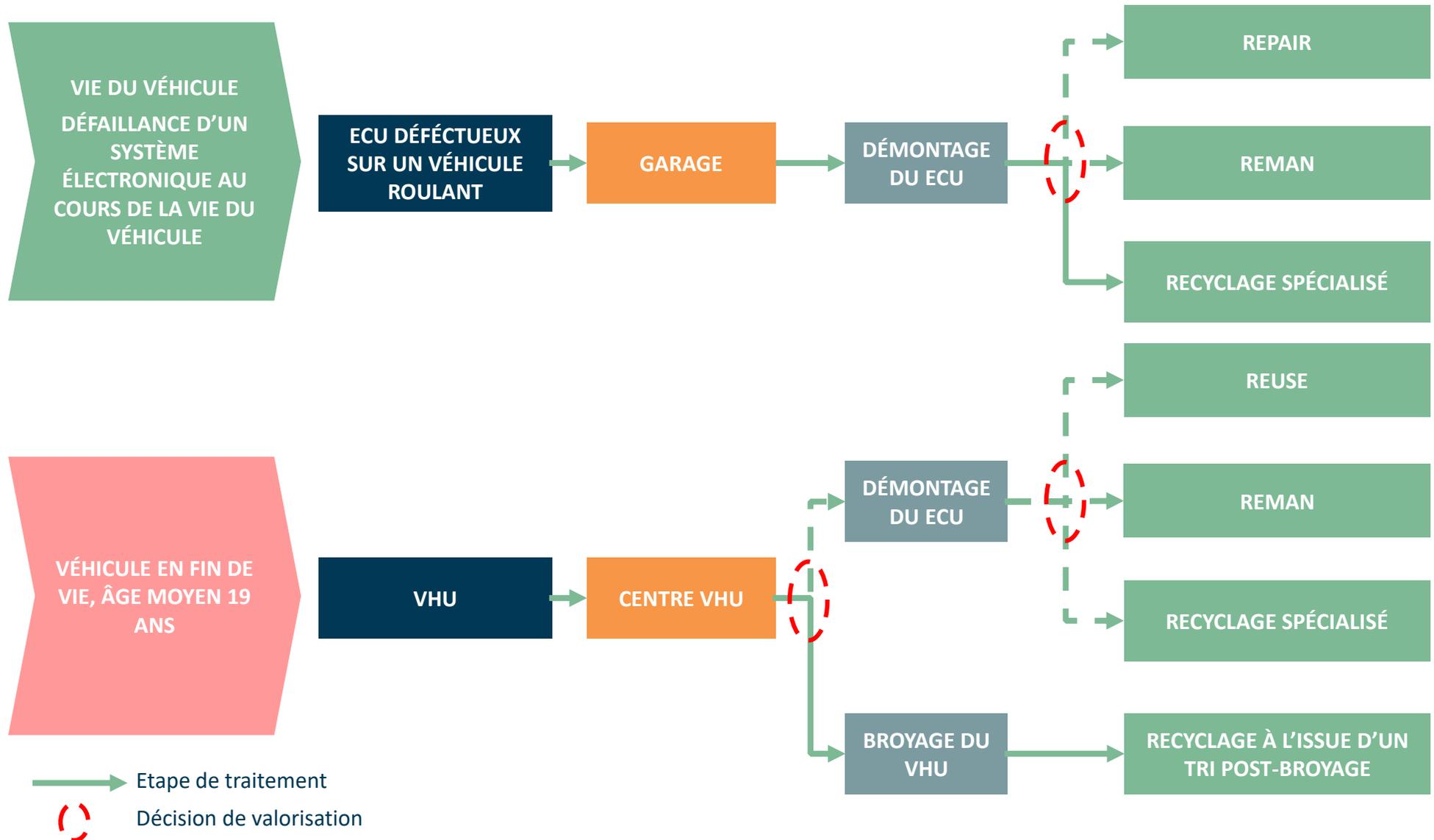


Périmètre retenu pour ce document

Source : Statista, Market Analytics, Strat Anticipation.

Plusieurs options existent pour une carte défectueuse ou un ECU d'un VHU; le recyclage, qu'il soit spécialisé ou non, reste l'option actuelle

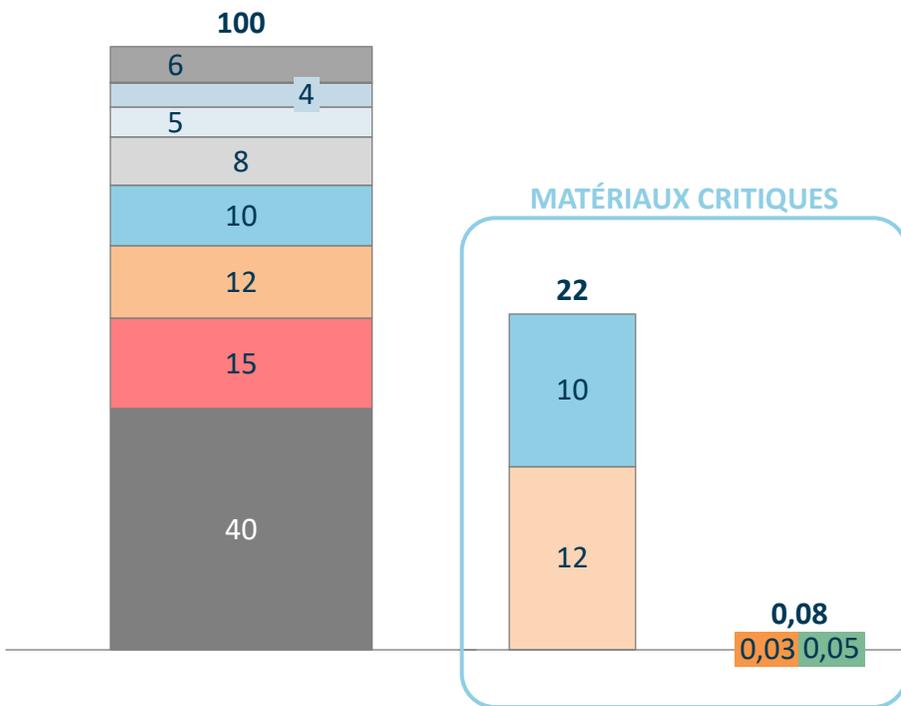
Types de valorisation envisageables pour un module électronique



La valorisation des cartes électroniques en fin de vie est clé, car elles comportent de nombreux matériaux critiques, comme le cuivre qui devrait se raréfier

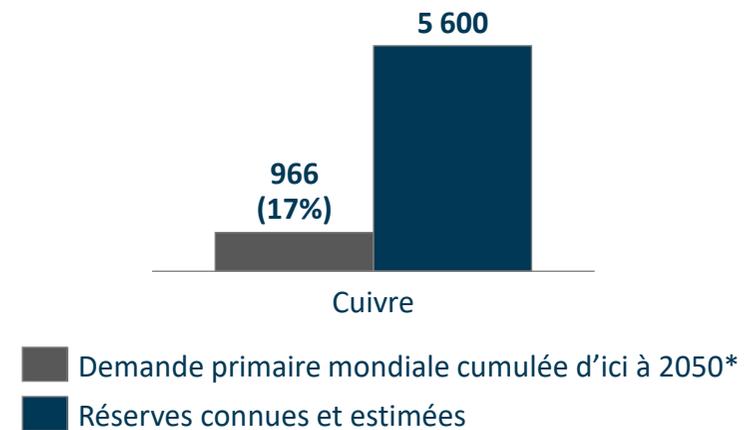
Types de valorisation envisageables pour un module électronique

MATÉRIAUX DANS UNE CARTE ÉLECTRONIQUE DE 100G |
2023, grammes, carte électronique moyenne



- Fibre de verre
- Plastiques divers
- Argent et Palladium
- Résine époxy
- Aluminium
- Autres matériaux
- Cuivre
- Étain
- Silicium
- Or

RAPPORT ENTRE LA DEMANDE MONDIALE EN CUIVRE ET LES RÉSERVES | En Mt, 2025-2050, Cuivre, Tous secteurs confondus



CRITICITÉ DES MATÉRIAUX

- ▶ Le silicium est un matériau largement utilisé dans les cartes électroniques et figure parmi les métaux critiques selon le CRM Act.
- ▶ Le palladium, appartenant à la famille des platinoïdes, est également mentionné dans le CRM Act.
- ▶ Le cuivre est lui aussi considéré comme critique en raison de la forte augmentation de la demande liée à de nouvelles applications dans le cadre de la transition énergétique.

*Données issues du scénario Net Zero de l'IEA et retraités par Strat Anticipation
Source : Statista, Market Analytics, SystemIQ, Strat Anticipation.

Une filière du recyclage des DEEE est développée en France. Si les modules électroniques des voitures étaient démontés, cette filière pourrait les traiter.

DEEE – Filière REP

OBJECTIFS – REP DEEE

OBJECTIFS 2024 FILIÈRE REP DEEE								
OBJECTIF	CATÉGORIE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
TAUX DE COLLECTE	65%	65%	65%	65%	65%	65%	85%	65%
TAUX DE RECYCLAGE	80%	70%	87%	80%	76%	76%	82%	80%
TAUX DE VALORISATION	95%	80%	-	88%	85%	85%	87%	85%
TAUX DE RÉEMPLOI OU PRÉPARATION EN VUE DE LA RÉUTILISATION	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%

CATÉGORIES & ECO ORGANISMES

- ▶ On distingue 8 **catégories** d'équipements électriques et électroniques :
 - Équipements d'échange thermique
 - Ecrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm²
 - Lampes
 - Gros équipements
 - Petits équipements
 - Petits équipements informatiques et de télécommunications
 - Panneaux photovoltaïques
 - Cycles et engins de déplacement personnel motorisés

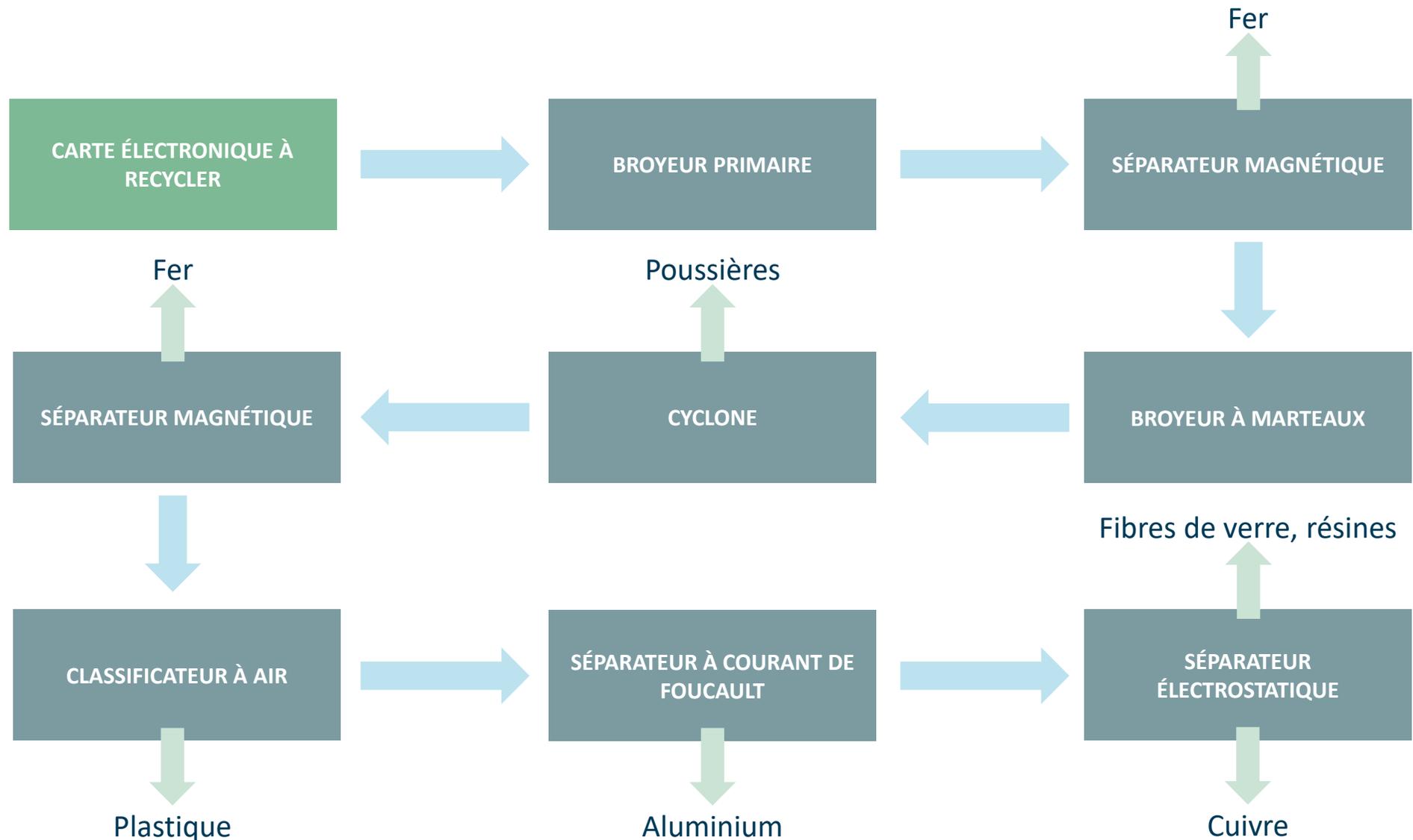
Eco-Organismes:



- Cette **filière REP DEEE ne considère pas le marché automobile aujourd'hui**, qui fonctionne à travers les broyeurs
- Le CRM-Act incite les acteurs à recycler, car **15% des ressources en matériaux critiques devraient provenir du recyclage en Europe**. Cela concerne le silicium et le palladium, matériaux présents dans les composants électroniques

Une carte électronique est désassemblée en plusieurs étapes afin d'assurer une bonne séparation de la matière qui la constitue

Processus de désassemblage d'une carte électronique



Après séparation, une étape de pyrométallurgie, hydrométallurgie, ou biométallurgie est réalisée, suivie d'une électrométallurgie, afin de récupérer les métaux de la carte

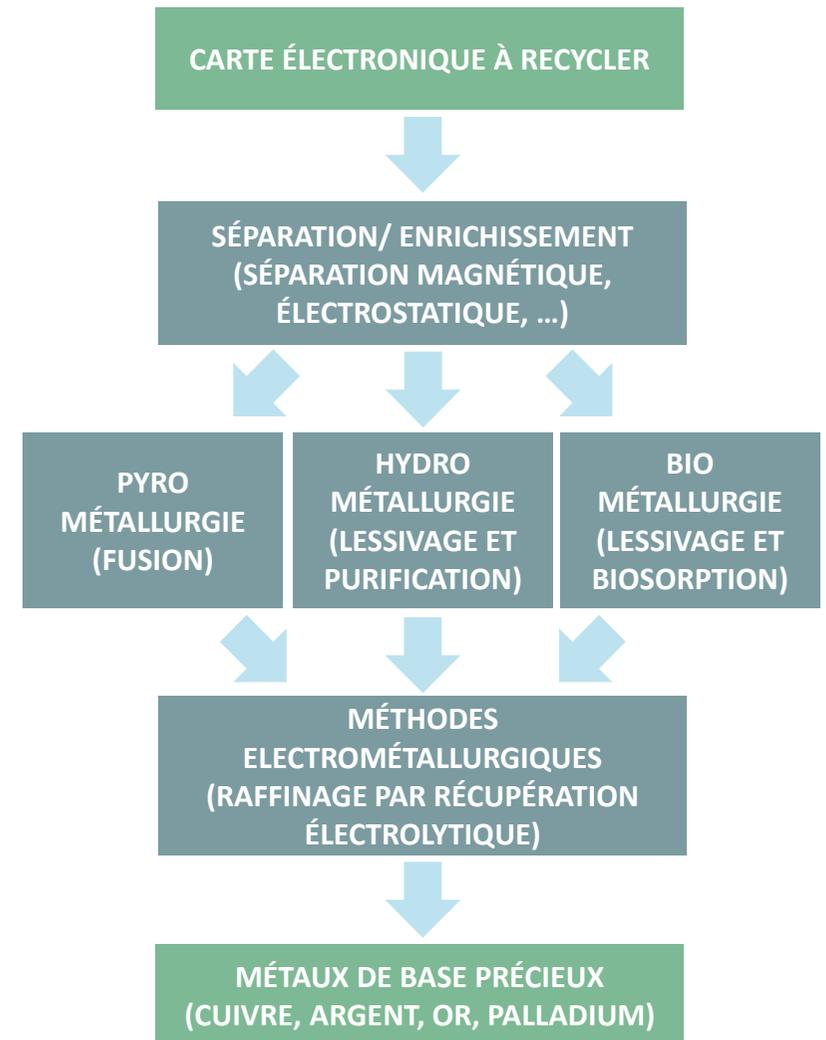
Processus de recyclage des métaux d'une carte électronique

EN COURS

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES TECHNOLOGIES

	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
PYRO-MÉTALLURGIE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Applicable à tous les types de déchets électroniques ▪ Aucun traitement préalable requis ▪ En quelques étapes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impossible de récupérer le plastique ▪ Fe et Al difficiles à récupérer et forment des oxydes ▪ Emission de poussières, métaux volatils, des dioxines et des furanes
HYDRO-MÉTALLURGIE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risque moindre de pollution environnementale par rapport à la pyrométallurgie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Difficile d'extraire l'or et le cyanure par un lessivage au chlorure ▪ Equipements onéreux ▪ Emissions de gaz chlorés
BIO-MÉTALLURGIE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moins cher, plus simple, et respectueux de l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lessivage long ▪ Les surfaces de lixivation peuvent entraîner des fuites d'eau dans le sol

PROCESSUS DE RECYCLAGE DES MÉTAUX



Les procédés de recyclage des cartes électroniques adoptés par les acteurs sont différents, avec peu de sites encore à l'échelle industrielle

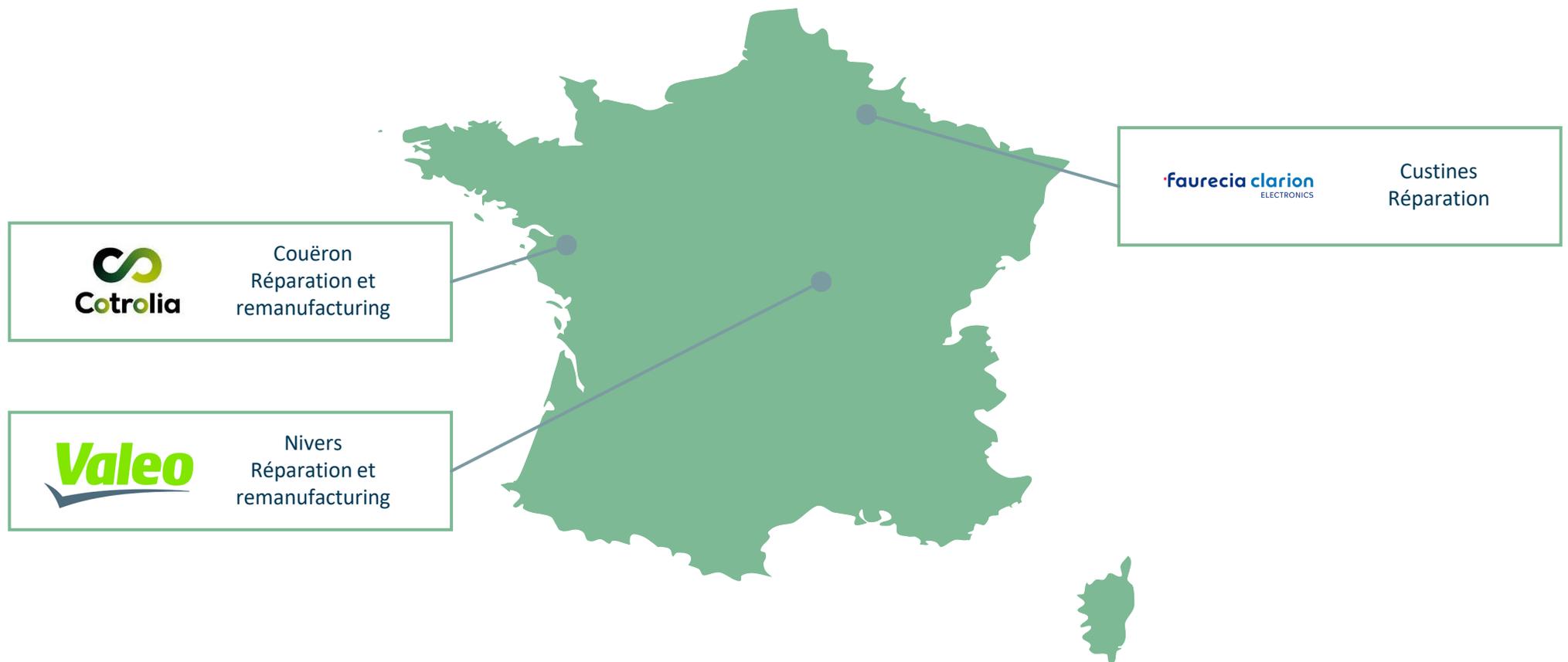
Exemples de l'adoption des technologies de recyclage à l'échelle industrielle dans le monde

		TECHNOLOGIES	ÉLÉMENTS RÉCUPÉRÉS	TYPE DE COMPOSANTS
UMICORE		Pyrométallurgie, Hydrométallurgie, Electrochimie	Fe, Al, Cu, Ag, Au, Pd, Pt, Ir, Rh, Ru, In, Se, Te, Pb, Sn, Sb, Bi	Carte électroniques, composants optoélectroniques
NORANDA		Hydrométallurgie, Electrochimie	Fe, Pb, Zn, Cu, Ag, Au, Pd, Pt, Se, Te, Ni	Câblages et connecteurs, cartes électroniques
BOLIDEN		Pyrométallurgie	Cu, Ag, Au, Pd, Ni, Se, Zn, Pb, Sb, In, Cd	n.d.
DOWA		Pyrométallurgie, Hydrométallurgie, Electrochimie	Au, Ag, Cu, In, Pd, Pt, Sn, Pb, Sb, Bi, Se, Te	Ecrans LCD, connecteurs, cartes électroniques
AURUBIS		Hydrométallurgie, Pyrométallurgie	Cu, Pb, Sb, Bi, Te, Zn, Sn, Ni	Câblages, cartes électroniques
BOLIDEN RÖNNSKÄR		Pyrométallurgie	Cu, Ag, Au, Pd, Ni, Se, Zn, Pb	Câblages, cartes électroniques
OUTOTEC		Pyrométallurgie	Zn, Cu, Au, Ag, In, Pb, Cd, Ge	Ecrans, Batteries

CES RECYCLEURS NE TRAVAILLENT PAS FORCÉMENT AVEC L'INDUSTRIE AUTOMOBILE, ET SONT SOUVENT CENTRÉS SUR LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

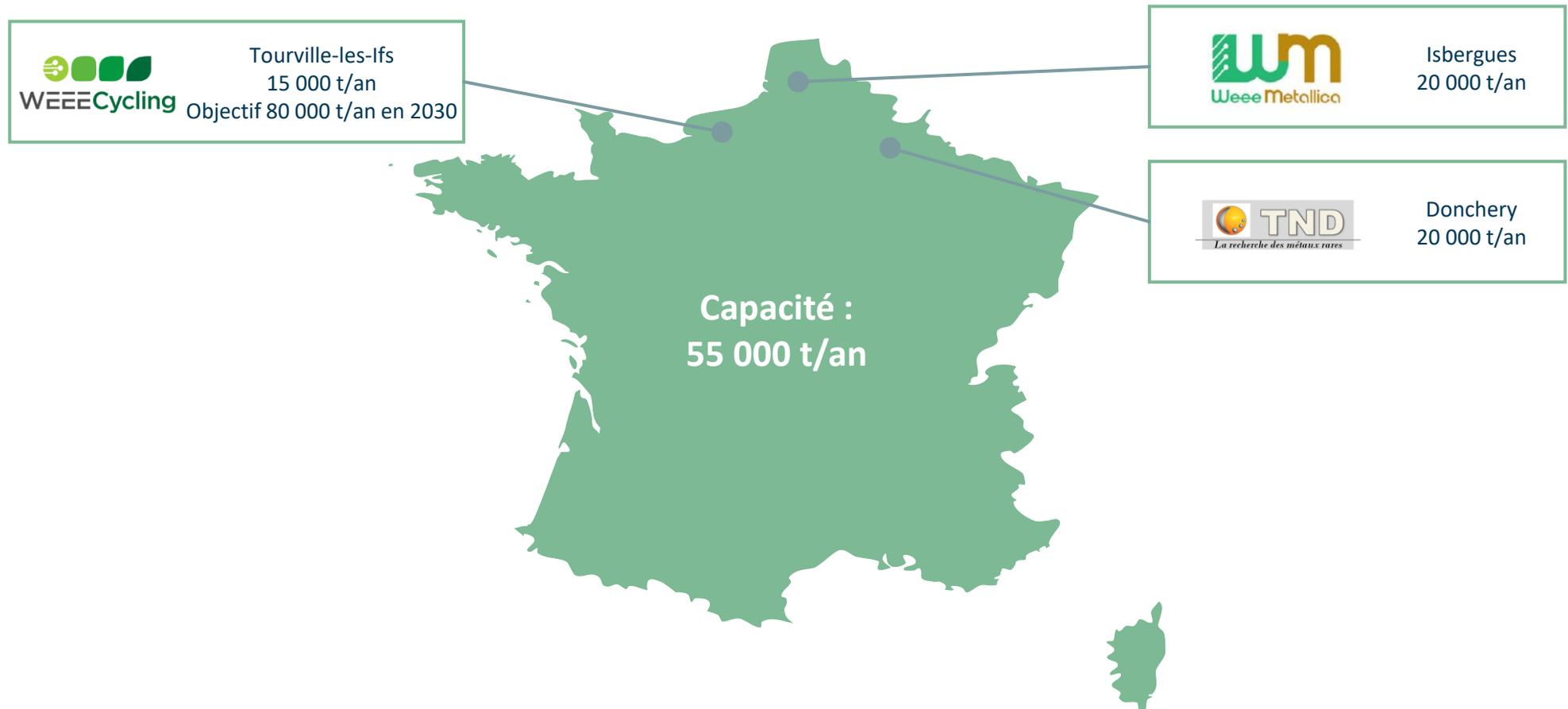
Les trois acteurs majeurs de la réparation et du remanufacturing de l'électronique automobile en France sont Clarion, Valeo et Cotrolia

Projets de réparation de modules électroniques automobiles – France



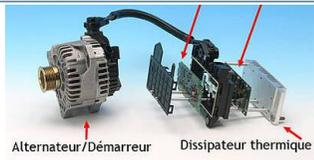
La capacité de recyclage actuelle des cartes électroniques est de 55 000 t/an, mais WeeeCycling prévoit une forte augmentation de sa capacité à l'horizon 2030

Capacité de recyclage des cartes électroniques en tonnes par an – France



Les principaux Modules électroniques automobiles ont une valeur neuve supérieure à 50€, et sont composés d'une carte électronique et d'un module

Modules électroniques principaux (1/2)

NOM EN FRANÇAIS	DESCRIPTION	COÛT (€)	IMAGE
C Module de Contrôle de Carrosserie (BCM)	Centralise et contrôle les fonctions électroniques comme l'éclairage, les systèmes d'accès (portes) et la gestion des vitres.	40-50	
D Contrôle Électronique de Stabilité (ESP)	Système de sécurité active qui détecte les pertes d'adhérence et corrige la trajectoire du véhicule en appliquant des freins sélectivement sur certaines roues.	40-60	
C Climatisation Automatique Complète	Régule automatiquement la température, la vitesse du ventilateur et la distribution d'air dans le véhicule pour maintenir un confort thermique optimal.	40-70	
A Start/Stop avec Alternateur-Démarrreur à Courroie Start/Stop avec Démarrreur et Alternateur Séparés	Système qui coupe le moteur à l'arrêt et le redémarre via un alternateur couplé à une courroie ou avec des composants dédiés au démarrage	70-100	
A Injection Indirecte Multipoint pour Essence/Diesel	Injecte du carburant dans les conduits d'admission avant leur entrée dans les cylindres	100+	
D Gateway Module / Module Passerelle	Connecte les différents réseaux électroniques du véhicule (CAN, LIN, Ethernet) pour assurer une communication fluide entre les systèmes comme le moteur, l'infodivertissement et les aides à la conduite.	80-100	

A ENGINE CONTROL UNIT (ECU)

B TRANSMISSION CONTROL UNIT (TCU)

C CONFORT ET HABITACLE

D SÉCURITÉ

E MULTIMÉDIA ET CONNECTIVITÉ

F CARTES SPÉCIFIQUES AUX PHEV / BEV

Source : Recherche & analyse Strat Anticipation

Si certains Modules électroniques sont dédiés au moteur thermique, de nombreux composants se développent pour les véhicules électriques

— Modules électroniques principaux (2/2)

NOM EN FRANÇAIS	DESCRIPTION	COÛT (€)	IMAGE
E Headunit / Unité Centrale Multimédia	Système multimédia intégré, incluant les fonctions de navigation, audio, vidéo et connectivité pour les passagers	100+	
B Freinage Électrohydraulique (Brake-by-Wire)	Système de freinage utilisant des signaux électroniques pour commander l'action hydraulique, permettant une réponse plus rapide et précise des freins.	80-120	
A Actionnement Électrique des Soupapes (Electric Valve Actuation)	Technologie permettant de contrôler électroniquement l'ouverture et la fermeture des soupapes moteur, améliorant ainsi la performance, l'économie de carburant et la réduction des émissions.	80-120	
B TCU / Contrôle Électrique de la Boîte Double Embrayage	Gère les embrayages d'une boîte de vitesses à double embrayage de manière électronique, permettant des changements de vitesse rapides et fluides tout en optimisant l'efficacité énergétique.	40-80	
F Chargeur pour PHEV/EV	Permet la recharge des véhicules hybrides rechargeables (PHEV) et électriques (EV) via un câble, conforme aux standards comme Type 2 ou CCS.	30-50	

- A** ENGINE CONTROL UNIT (ECU)
- C** CONFORT ET HABITACLE
- E** MULTIMÉDIA ET CONNECTIVITÉ
- B** TRANSMISSION CONTROL UNIT (TCU)
- D** SÉCURITÉ
- F** CARTES SPÉCIFIQUES AUX PHEV / BEV

Source : Recherche & analyse Strat Anticipation

Les cartes électroniques liées à l'unité de contrôle du moteur sont relativement accessibles, contrairement à celle liées à l'unité de contrôle de la transmission

Liste des principaux modules électroniques et leur accessibilité (1/3)

	FONCTION DES MODULES	ACCESSIBILITÉ DES MODULES
ENGINE CONTROL UNIT (ECU)	A Gestion de l'injection électronique	MOYENNE
	Gestion de la distribution variable	MOYENNE
	Capteur de position du vilebrequin	MOYENNE
	Capteur de position de l'arbre à cames	MOYENNE
	Capteur de pression du collecteur	BONNE
	Débitmètre d'air massique	BONNE
	Capteur de température moteur	BONNE
	Commande du ventilateur	MOYENNE
	Gestion du démarreur	MOYENNE
	Gestion des vibrations	FAIBLE
	Gestion du Start & Stop	MOYENNE
TRANSMISSION CONTROL UNIT (TCU)	B Gestion de l'embrayage	FAIBLE
	Gestion de la boîte de transfert	MOYENNE À FAIBLE
	Gestion du convertisseur de couple	FAIBLE
	Capteur de vitesse de rotation d'entrée et de sortie	MOYENNE
	Capteur de pression hydraulique	FAIBLE
	Gestion du frein de stationnement électronique	BONNE

- A** ENGINE CONTROL UNIT (ECU)
- C** CONFORT ET HABITACLE
- E** MULTIMÉDIA ET CONNECTIVITÉ
- B** TRANSMISSION CONTROL UNIT (TCU)
- D** SÉCURITÉ
- F** CARTES SPÉCIFIQUES AUX PHEV / BEV

Source : Recherche & analyse Strat Anticipation

Les cartes électroniques situées dans les portières sont les plus accessibles dans l'habitacle, suivies des cartes dans le tableau de bord

Liste des principaux modules électroniques et leur accessibilité (2/3)

	FONCTION DES MODULES	ACCESSIBILITÉ DES MODULES
MODULES ELECTRONIQUES POUR CONFORT ET HABITACLE	C Capteur de la température de l'habitacle	MOYENNE
	Gestion de la ventilation, du chauffage de la climatisation	MOYENNE
	Commande de vitres électriques, de rétroviseur	BONNE
	Gestion du verrouillage centralisé	BONNE
	Commande de la position des sièges	MOYENNE
	Commande des ouvrants	MOYENNE
	Contrôle de l'éclairage intérieur	BONNE
	Contrôle de l'activation et de la vitesse des essuie-glaces	MOYENNE
	Contrôle des affichages sur le tableau de bord	MOYENNE
MODULES ELECTRONIQUES POUR SÉCURITÉ	D Capteur de collision	MOYENNE
	Déclencheur des airbags	MOYENNE
	Activateur de l'ABS	FAIBLE
	Capteur de la pression des pneus	BONNE
	Contrôle des prétensionneurs et limiteurs de charge des ceintures	MOYENNE
MODULES ELECTRONIQUES POUR MULTIMÉDIA ET CONNECTIVITÉ	E Transmission des informations à la carte graphique de l'écran central	MOYENNE
	Amplificateur audio	FAIBLE
	Calculateur des données GPS	MOYENNE
	Gestion des fonctions radio analogiques et numériques	BONNE

Les cartes électroniques spécifiques aux véhicules électriques ne sont pas encore bien accessibles

Liste des principaux modules électroniques et leur accessibilité (3/3)

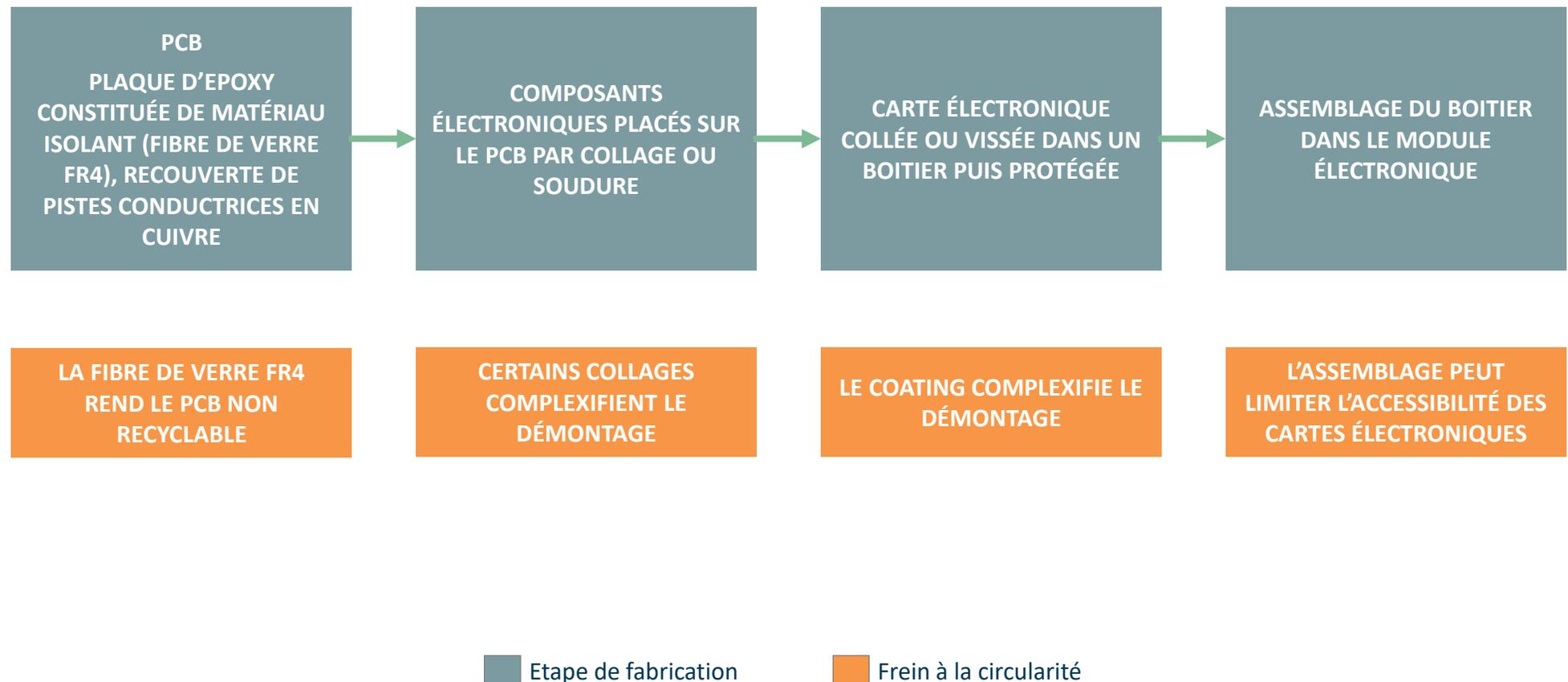
	FONCTION DES MODULES	ACCESSIBILITÉ DES MODULES
MODULES SPÉCIFIQUES AUX PHEV / BEV	F Transition entre les moteurs thermique et électrique	FAIBLE
	Capteur de tension de la batterie	FAIBLE À MOYENNE
	Capteur de la température de la batterie	FAIBLE À MOYENNE
	Capteur de l'état de charge	FAIBLE À MOYENNE
	Alternateur	MOYENNE
	Contrôle de recharge	MOYENNE
	Distributeur de l'énergie aux systèmes du véhicule	MOYENNE

AGENDA

- ▶ RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE
- ▶ SYNTHÈSE DES ENJEUX
- ▶ LISTE DES DIFFÉRENTS MODULES ÉLECTRONIQUES & TYPES DE VALORISATION ENVISAGEABLES
- ▶ **PRATIQUES DE CONCEPTION DES MODULES ÉLECTRONIQUES QUI COMPLIQUENT LEUR RÉCUPÉRATION**

Le démontage des composants est limité par les méthodes de collage, alors que le recyclage est limité par les PCB en fibre de verre FR4 non recyclable

Processus de fabrication d'un module électronique



Pour réparer et réutiliser les composants électroniques, la chaîne d'approvisionnement doit assurer les pièces détachées et le marché de sortie

EN COURS

Exigences pour assurer la circularité des modules électroniques

ROBUSTESSE

- ▶ **Garantir la durée de vie** d'un composant
 - Eviter les **décisions d'architecture ou de conception** qui réduisent la marge de la performance et la durée de vie du produit

RÉPARATION

- ▶ Capacité à **prolonger la durée de vie d'un composant ou module après une panne**
 - **Rendre le produit réparable**
 - Auto-diagnostique, autotest, re-tests, re-caractérisation
 - **Mode de secours**
 - Intégration dans la chaîne d'approvisionnement (fourniture de **pièces détachées**, **compétences** en réparation, **réseau** de réparation)

RÉUTILISATION

- ▶ Capacité de **réutiliser un composant dans un autre produit du même type**
 - **Prendre en charge** toutes les contraintes de réparation
 - **Eviter une association trop étroite** avec un produit spécifique
 - **Permettre l'association avec un autre produit**
 - Inverser la chaîne d'approvisionnement

REMISE À NEUF

- ▶ Utilisation du module ou composant électronique dans un produit différent de celui pour lequel il a été initialement conçu
 - Conditions de fonctionnement sûres pour des fonctionnalités partielles
 - Qualification, caractérisation
 - **Contraintes de responsabilité**
 - **Nouvelles contraintes fonctionnelles**
 - Chaîne d'approvisionnement nouvelle et inversée

Le recyclage et la valorisation des matières premières des composants électroniques devrait être réfléchi dès la phase de conception

EN COURS

Exigences pour assurer la circularité des modules électroniques

RECYCLAGE

- ▶ Idéalement, les matières premières sont extraites des déchets et **réutilisées pour la même fonction** (pureté, propriétés physiques et chimiques)
- ▶ **Faciliter de séparer les éléments et matériaux** : Solution potentielle de Infineon et JIVA qui permet de désassembler les composants du PCB
- ▶ **Concevoir le processus de recyclage** dès la phase de design

VALORISATION DES DÉCHETS

- ▶ Les matières premières sont extraites mais n'ont pas des propriétés suffisantes pour leur application initiale
- ▶ **Faciliter de séparer les éléments et matériaux**
- ▶ Définir de nouveaux objectifs d'utilisation et un processus de valorisation **dès la phase de conception du produit**

STOCKAGE DES DÉCHETS

- ▶ Partie non réutilisée. Idéalement elle devrait être correctement documentée et stockée
- ▶ **Doit être réduite au minimum, idéalement 0**

Différents choix d'éco-conception peuvent limiter la circularité des composants électroniques, qu'il s'agisse de recyclage ou de réparation

Freins pour la circularité des composants électroniques

EN COURS

FREINS	IMPACT RÉPARABILITÉ	NOTE	IMPACT RECYCLAGE	NOTE
COATING	Démontage délicat sans endommager les composants		Séparation et nettoyage difficiles	
SURMOULAGE	Rend certains composants inaccessibles		Empêche l'accès et le tri des matériaux	
AUGMENTATION DE LA DENSITÉ EN COMPOSANTS	Difficultés à remplacer des composants		Séparation complexe, limite le tri	
MINIATURISATION EXCESSIVE	Remplacement technique et coûteux		Tri plus complexe des petits éléments	
BATTERIES INTÉGRÉES	Nécessité de changer la batterie		Risques lors du broyage, difficile à séparer	
ASSEMBLAGES MULTICOUCHE	Difficile à réparer couche par couche		Implique des équipements spécialisés	
CONNECTEURS PROPRIÉTAIRES	Outils spécifiques ou pièces rares nécessaires		Impact faible	
MÉTAUX OU ALLIAGES COMPLEXES	Impact indirect		Difficulté de tri et de recyclage	
CYBERSÉCURITÉ INTÉGRÉE	Bloque le diagnostic ou la réinitialisation		n.a.	
MANQUE DE DOC. TECHNIQUE	Empêche diagnostics et réparations		Impact faible	
NORMES ENVIRONNEMENTALES (ROHS)	Soudures plus fragiles, réparations plus difficiles		Alternatives compliquent certains processus	

EECONE est le projet le plus ambitieux pour le développement de l'économie circulaire des composants électroniques avec 15 acteurs français

Projets européens pour l'économie circulaire des composants électroniques

EN COURS

	FINANCEMENT TOTAL	PÉRIODE	PARTENAIRES	OBJECTIF
EECONE	35 M€	2023-2026	49, dont 15 français	Etudier les technologies tout au long de la chaîne de valeur
DESIRE4EU	3 M€	2024-2028	8, dont 1 français	Concevoir des PCB recyclables en utilisant des biopolymères et des fibres végétales
CIRC-UIITS	6 M€	2023-2025	40, dont 1 français	Trouver des solutions pour recycler et réutiliser des matériaux pour la fabrication de nouveaux composants
CIRCEL-PAPER	5 M€	2022-2026	8, dont 1 français	Développer des PCB basés sur la technologie du papier
CEDACI	4,3 M€	2018-2023	10, dont 2 français	Prolonger la durée de vie des produits grâce au réemploi et la remise à neuf, limiter le transfert à l'étranger des ressources stratégiques issues des déchets électroniques

Des initiatives provenant des industriels pour concevoir des cartes électroniques plus recyclables sont en cours.

Conceptions Innovantes pour la fin de vie des cartes électroniques

IN2TECH

In2tec
INSPIRING SUSTAINABLE ELECTRONICS

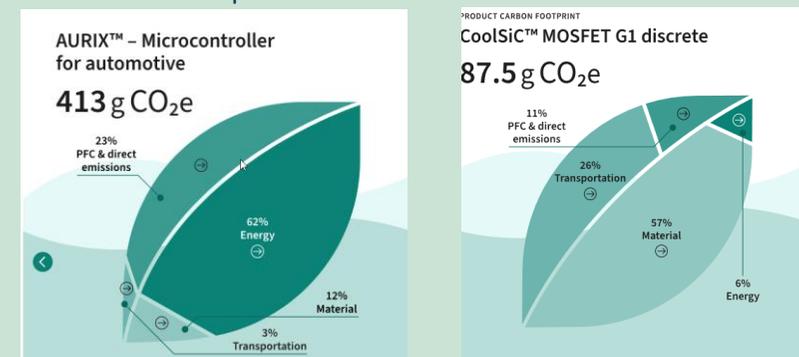
- ▶ **In2tec** a mis au point des cartes de circuits imprimés (PCB) innovantes, conçues pour faciliter leur démontage en fin de vie grâce à la technologie ReUSE.
- ▶ Le processus ReCYCLE permet de dissocier ces cartes avec une faible consommation d'énergie, contribuant ainsi à une réduction significative des déchets et à une meilleure récupération des matériaux.
- ▶ Cette solution offre ainsi un cycle de vie plus durable pour les composants électroniques et permet des économies importantes de CO₂.
- ▶ Cependant, il est important de souligner que cette technologie n'est pas encore prête pour une adoption à grande échelle sur le marché de masse.



INFINEON

infineon
JIVA

- ▶ **Infineon** a récemment mis l'accent sur des initiatives pour réduire l'impact environnemental des PCBs, notamment en collaborant avec **Jiva Materials**, une entreprise innovante qui développe des matériaux biodégradables pour remplacer les substrats traditionnels des **PCBs**. Leur produit, appelé Soluboard, utilise des fibres naturelles et des polymères sans halogènes, ce qui permet non seulement une réduction de l'empreinte carbone de 60 % par rapport aux PCBs classiques, et facilite également leur **recyclage**, car les composants peuvent être récupérés une fois le **PCB dissous dans l'eau chaude**
- ▶ Infineon présente également une analyse de cycle de vie complète de chacun de ses composants:





Rémi Cornubert

remi@stratanticipation.com

Mobile: +33 6 07 37 84 27

STRAT ANTICIPATION – 6 rue Alfred Roll – 75017 PARIS - FRANCE