



Institut Mines-Télécom

LES RESSOURCES ALTERNATIVES DANS L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE ACTION STRUCTURANTE

VALÉRIE LAFOREST
LAFOREST@EMSE.FR

*Colloque IMT : Energie Renouvelable et Ressources, les enjeux de
demain : de l'ingénierie aux territoires
1^{er}, 02 et 06 avril 2021*

Ressources et économie circulaire : enjeux et positionnement

Panorama d'actions au cœur de l'IMT

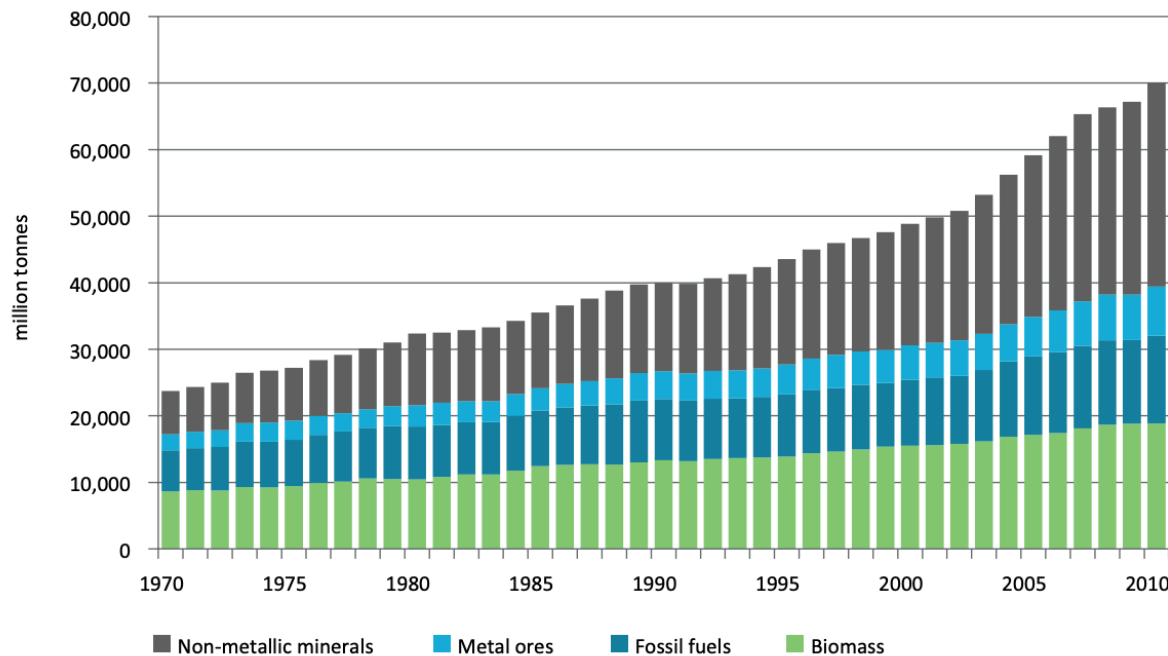
Action structurante à venir

**RESSOURCES ET
ECONOMIE CIRCULAIRE**

**ENJEUX ET
POSITIONNEMENT**

FORT ENJEU SUR LES RESSOURCES PRIMAIRES

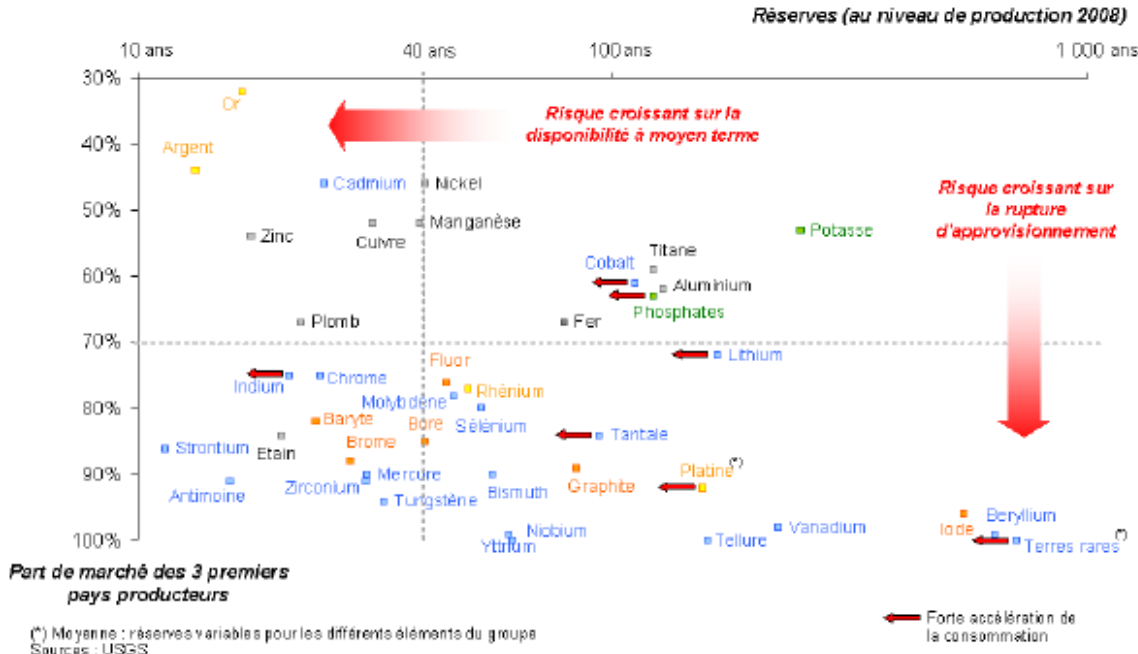
Ressources extraites à l'échelle mondiale entre 1970-2010



- Entre 2000-2010 :
 - + 1.2% population
 - + 2.6% PIB
 - + 3.7% consommation des ressources
- Prédictions 2014-2040
 - + 12% pétrole
 - + 49% gaz naturel
 - + 5% charbon
 - + 101% cuivre
 - + 120% acier

FORT ENJEU SUR LES RESSOURCES PRIMAIRES

Criticité potentielle des ressources minérales
(visibilité sur les réserves et concentration de la production)



Ressources: quantités totales retrouvées sur Terre pour un élément donné

Réserves: quantités exploitables pour un élément donné

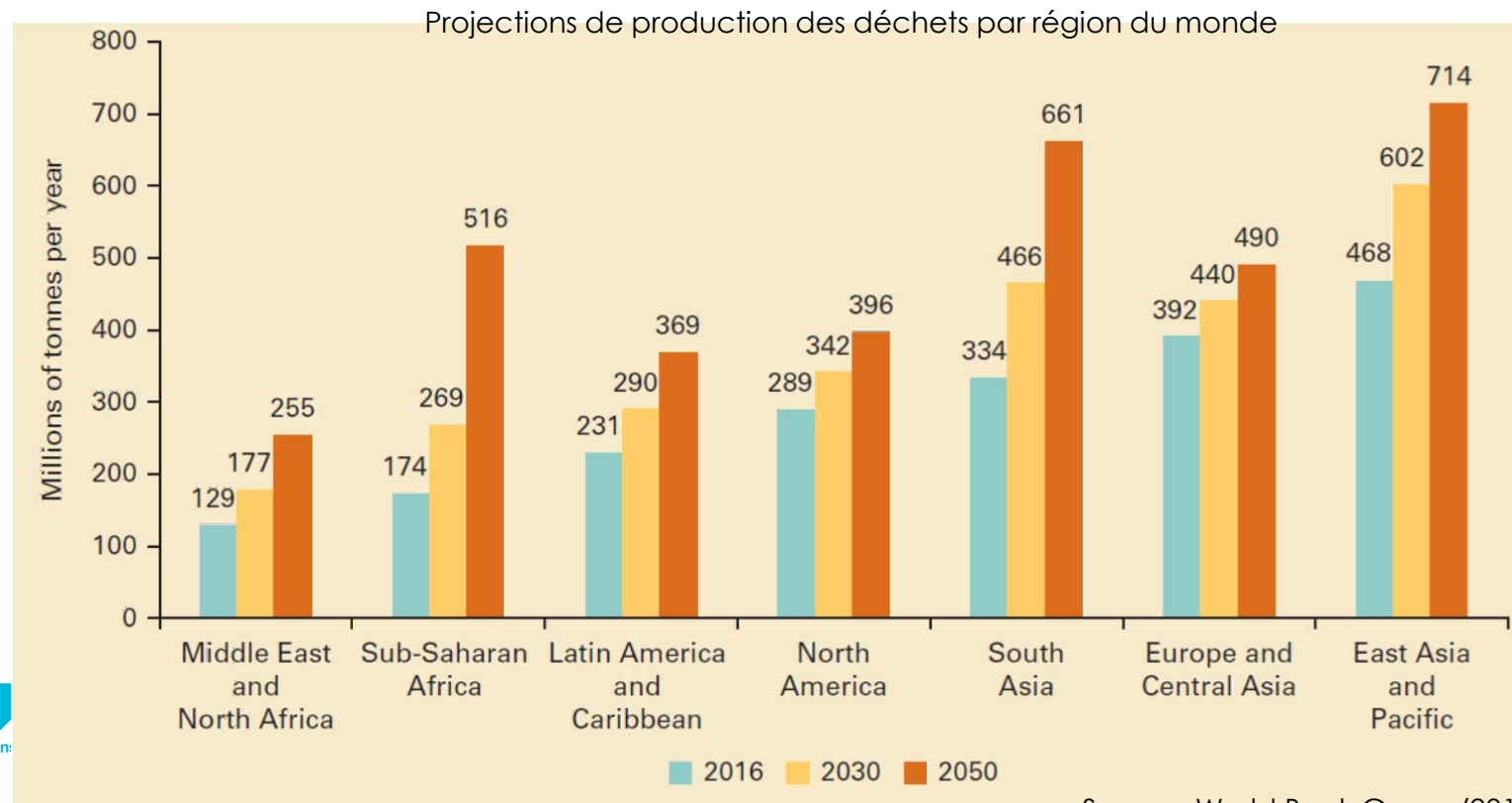


Ratio $\frac{\text{Réserves}}{\text{Production}} = \frac{R}{P}$ en années

Source: Aurez et Georgeault (2019)

FORT ENJEU SUR LES DÉCHETS

A l'échelle mondiale...

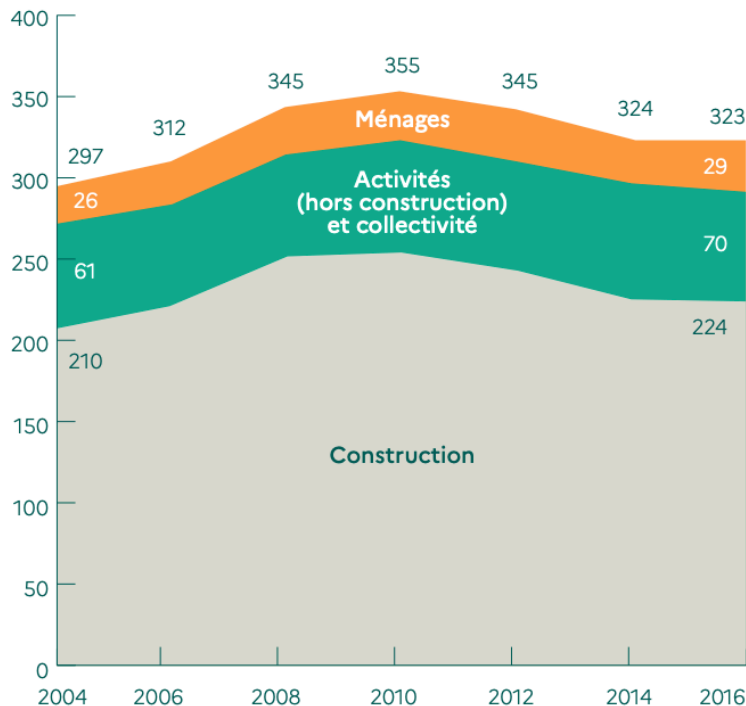


Source: World Bank Group (2018)

FORT ENJEU SUR LES DÉCHETS

En France

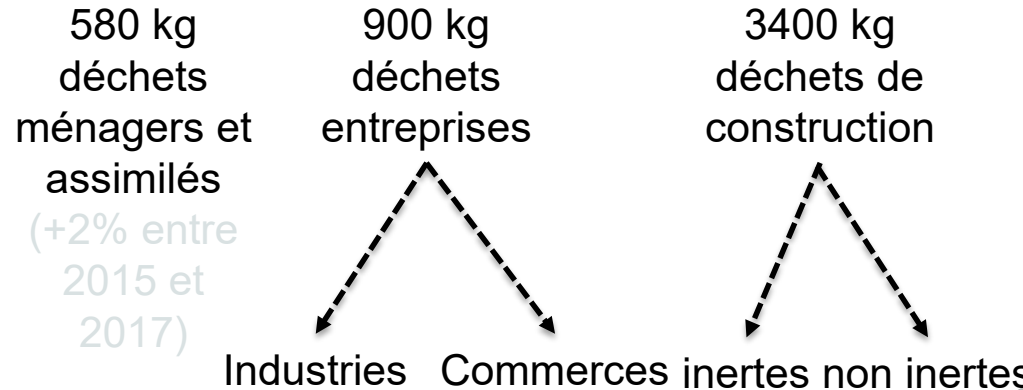
Millions de tonnes



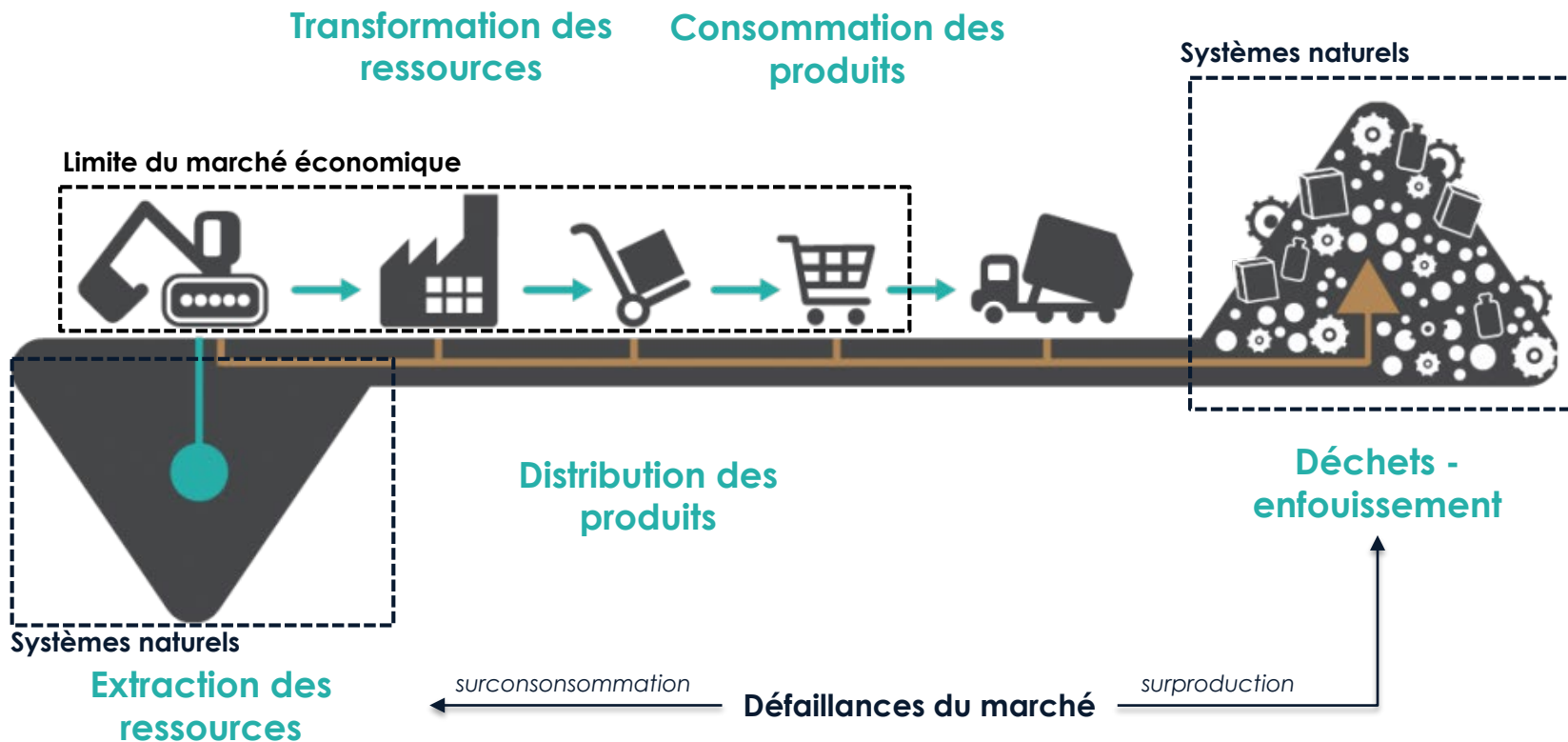
■ Construction ■ Autres activités (y compris collectivités, hors construction) ■ Ménages

Source: ADEME, Déchets chiffres-clés (2020)

4900 kg déchets/an.hab (2016)



UNE ÉCONOMIE ESSENTIELLEMENT LINÉAIRE



FORT ENJEU SUR LES DÉCHETS

Loi de transition énergétique sur la croissance verte (LTECV) du 7 août 2015

- **Prévenir la production de déchets**
 - Réduire de 10% les déchets ménagers sur la période 2010-2020
- **Encourager la valorisation matière**
 - 65% des déchets non dangereux non inertes valorisés en 2025
 - 70% des déchets du BTP valorisés en 2020
 - 60% de l'ensemble des matériaux utilisés sur chantier viennent du réemploi, réutilisation, recyclage (dès 2020)
 - Généralisation du tri à la source des biodéchets avant 2025
 - Généralisation du tri 5 flux pour les acteurs économiques (bois, papier-carton, plastique, métal, verre)
- **Réduire l'élimination finale des déchets**
 - Diviser par deux la quantité de déchets éliminés en 2025

LES PRINCIPAUX CONSTATS DE LA CRISE ÉCOLOGIQUE

- Le système économique se réalise dans un monde dans lequel les ressources sont présentes en quantités limitées et avec une capacité de régénération spécifique
- La biosphère est affectée par la croissance de l'empreinte environnementale de nos économies (déchets, gaz à effet de serre...)



Déconnexion entre le système économique et la biosphère



Passer d'une **économie de flux** à une **économie de stocks restants**
(économie circulaire)

DÉFINITION DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE

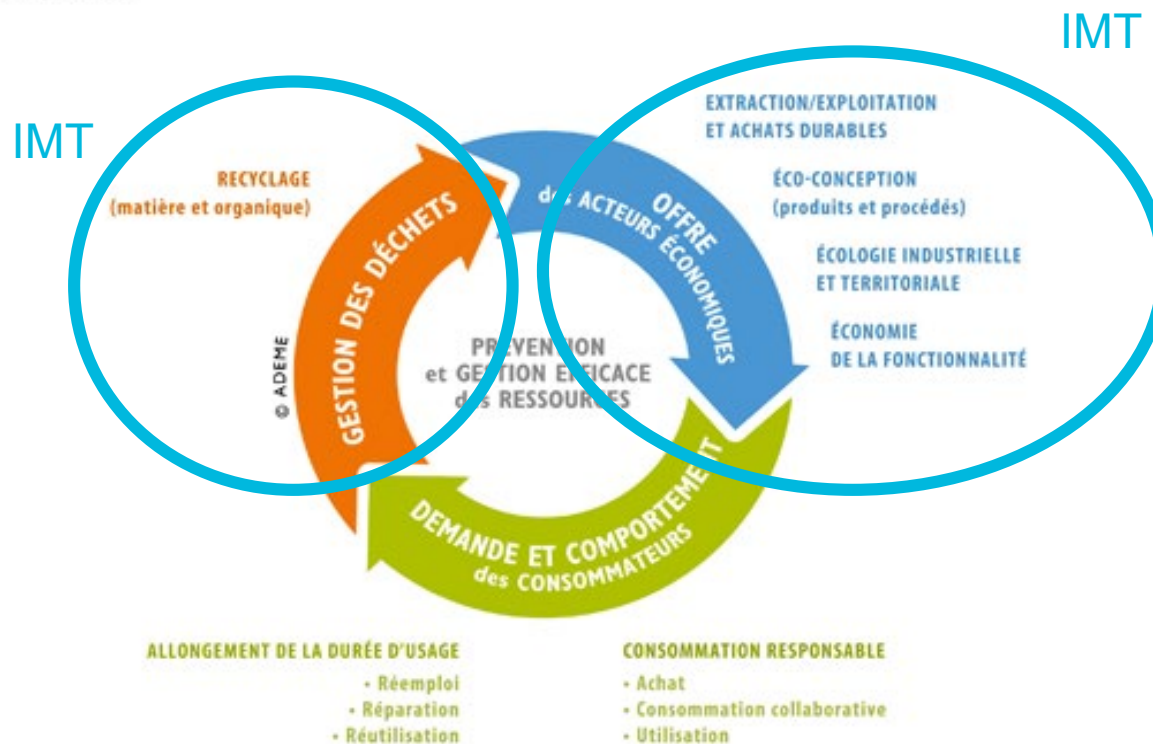
Selon l'ADEME , reprise par l'Institut de l'économie circulaire :

« L'économie circulaire peut se définir comme un **système économique d'échange et de production** qui, à tous les stades du **cycle de vie des produits** (biens et services), vise à **augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources** et à **diminuer l'impact sur l'environnement** tout en développant le **bien être** des individus. »

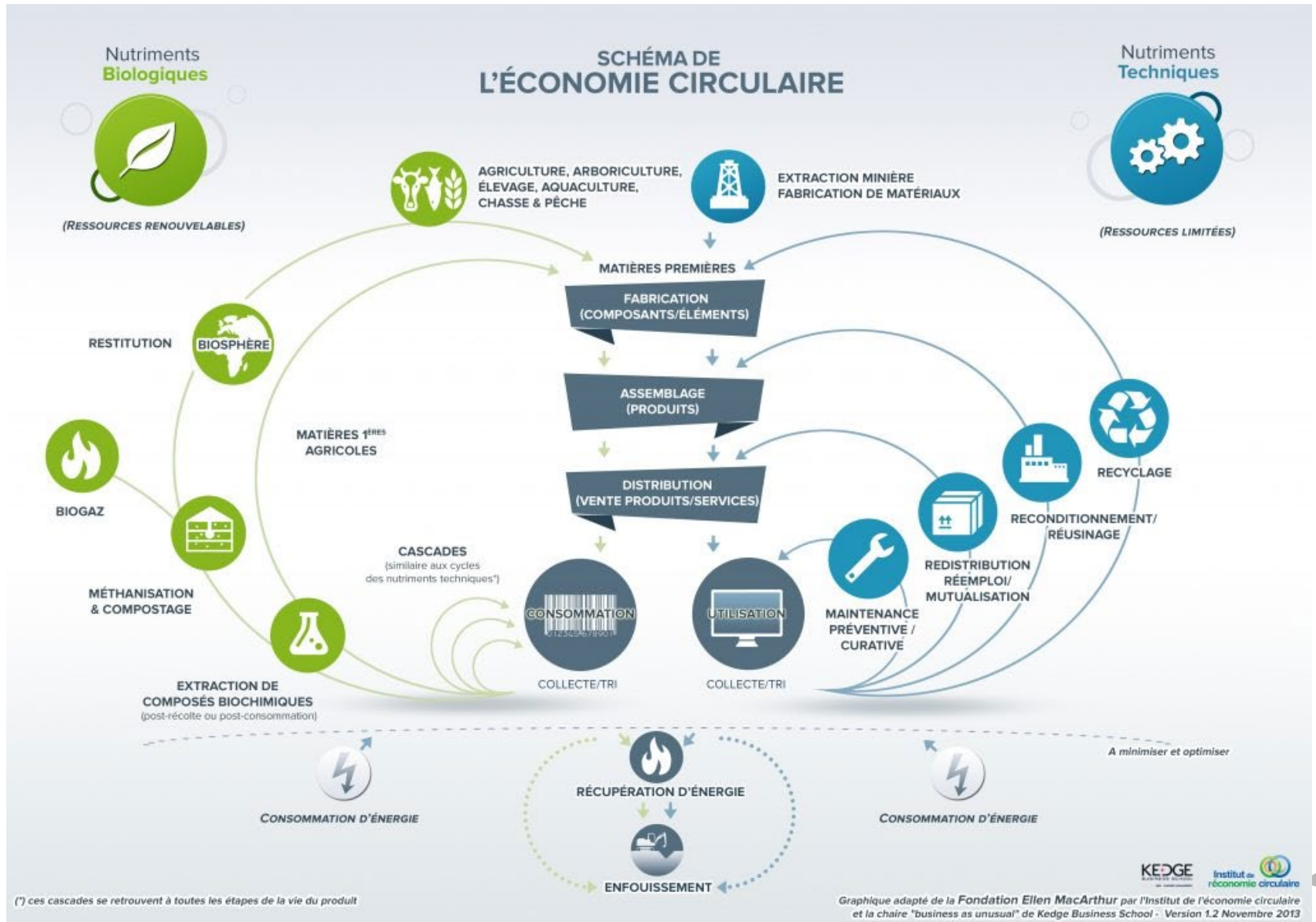
<https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>

DÉFINITION DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'économie circulaire
3 domaines, 7 piliers



Enjeux et positionnement



PANORAMA D' ACTIONS AU CŒUR DE L'IMT

Les forces de premier plan de l'IMT : Thématique prioritaire EnR2



IMT Atlantique
Bretagne - Pays de la Loire
École Mines-Télécom



IMT Lille Douai
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



MINES
Saint-Étienne
Une école de l'IMT



IMT Mines Albi-Carmaux
École Mines-Télécom



IMT Mines Alès
École Mines-Télécom



Institut Mines-Télécom

VALORISATION DES RESSOURCES, DES SOUS-PRODUITS ET DES DÉCHETS

→ à l'interface entre Génie Civil et Environnement à travers :

- a- l'étude du comportement de matériaux innovants contenant des sous-produits, co-produits industriels ou des déchets, dans leur environnement;
- b- la durabilité et l'impact environnemental.

Cette démarche s'inscrit dans une logique de filière de valorisation.

→ étude des conséquences rhéologiques et mécaniques en termes de durabilité, d'usage et transfert.

VALORISATION DES RESSOURCES, DES SOUS-PRODUITS ET DES DÉCHETS

Application notamment aux agro-ressources et aux déchets dans le génie civil → éco-ressources pour la construction.

une approche multidisciplinaire mêlant à la fois des compétences :

- en biologie,
- en génie des matériaux,
- en géochimie.

→ afin de définir les caractéristiques optimales des différents constituants du matériau hétérophasé : la puissance de la simulation numérique peut être utilisée

IMT Lille Douai CERI M&P - Laboratoire
Simulations Granulaires
Contact : patrick.pizette@imt-lille-douai.fr

Objectifs : **Modélisation numérique granulaire** des agrégats/granulats des matériaux alternatifs à l'échelle des particules pour **mieux prendre en compte** explicitement **l'hétérogénéité** et la **variabilité des gisements**

Utilisation du calcul Hautes Performances pour simuler des larges échelles et les problématiques des installations industrielles

Exemple d'Application Economie Circulaire :
Modélisation des ballasts recyclées (Projet H2020 INT2TRACK)

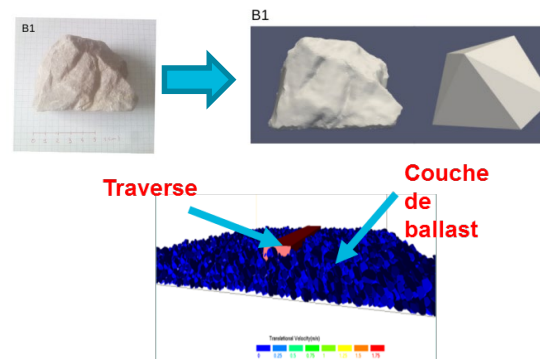
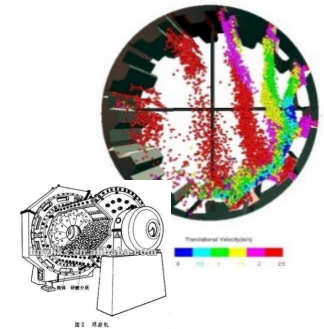


Etude des possibilités de réutilisation des ballasts usés en les réintégrant dans les nouvelles voies ou le renouvellement des voies

Ecoulement grande échelle
(Silo stockage centrale à béton)



Broyeur industriel

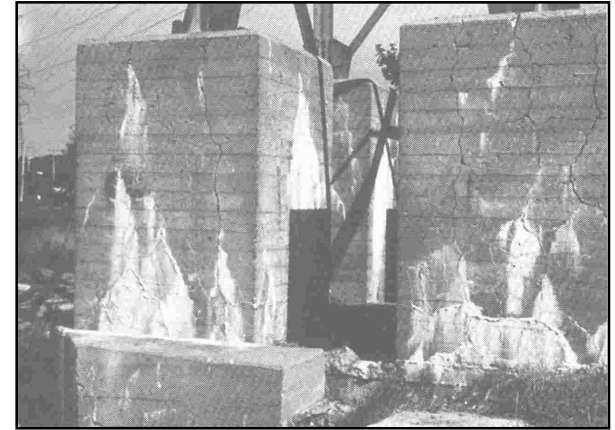




Cas des sites de dépôt
de sédiments marins et
de curage

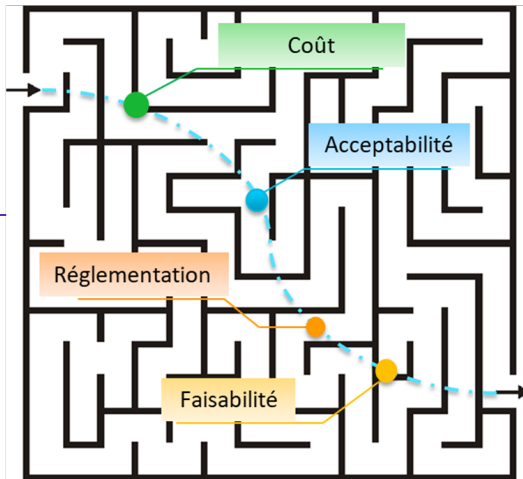


Recyclages dans les
routes (MGISPI)

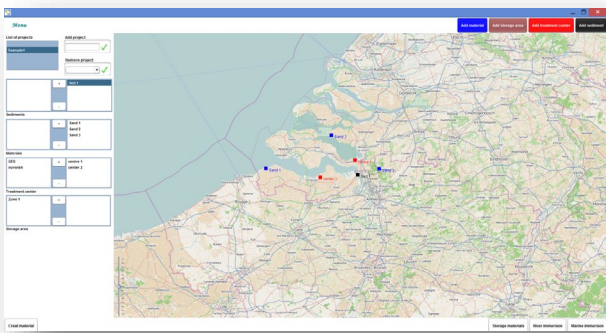


Transport et diffusion
dans la zone non saturée
d'eau.

Déchets /
 SPI, MPS,
 MA



Optimisation opérationnelle de la valorisation des déchets

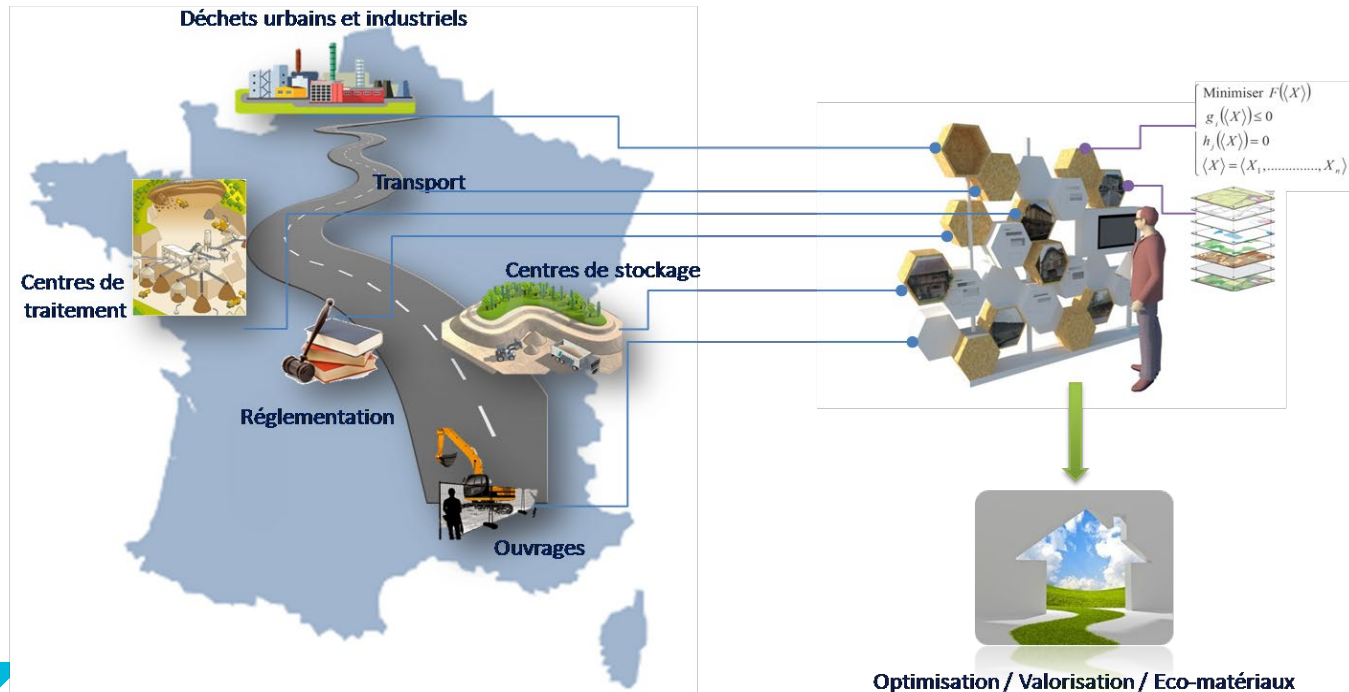


[Benzerzour & co 2016]

Approche opérationnelle de la valorisation optimale des déchets

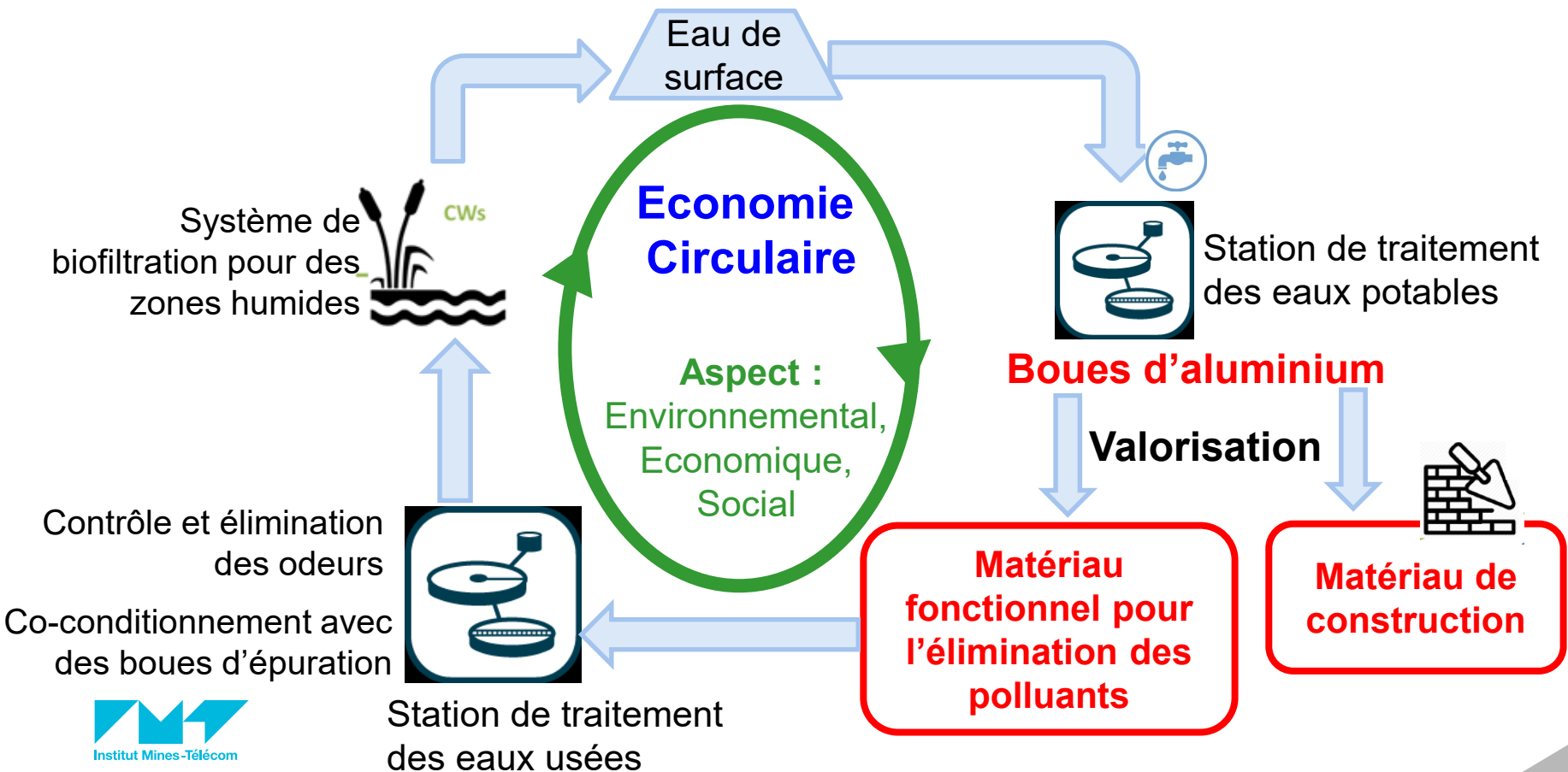
Quel est le coût minimal pour une valorisation optimale prenant en compte les contraintes techniques et réglementaire ?

Modèle mathématique : Fonction objectif =
$$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^n C_i x_i + \sum_{j=1}^m C_j S_j + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{|T|} C_{ti} T_{ti} \right)$$



VALORISATION DES BOUES D'ALUMINIUM

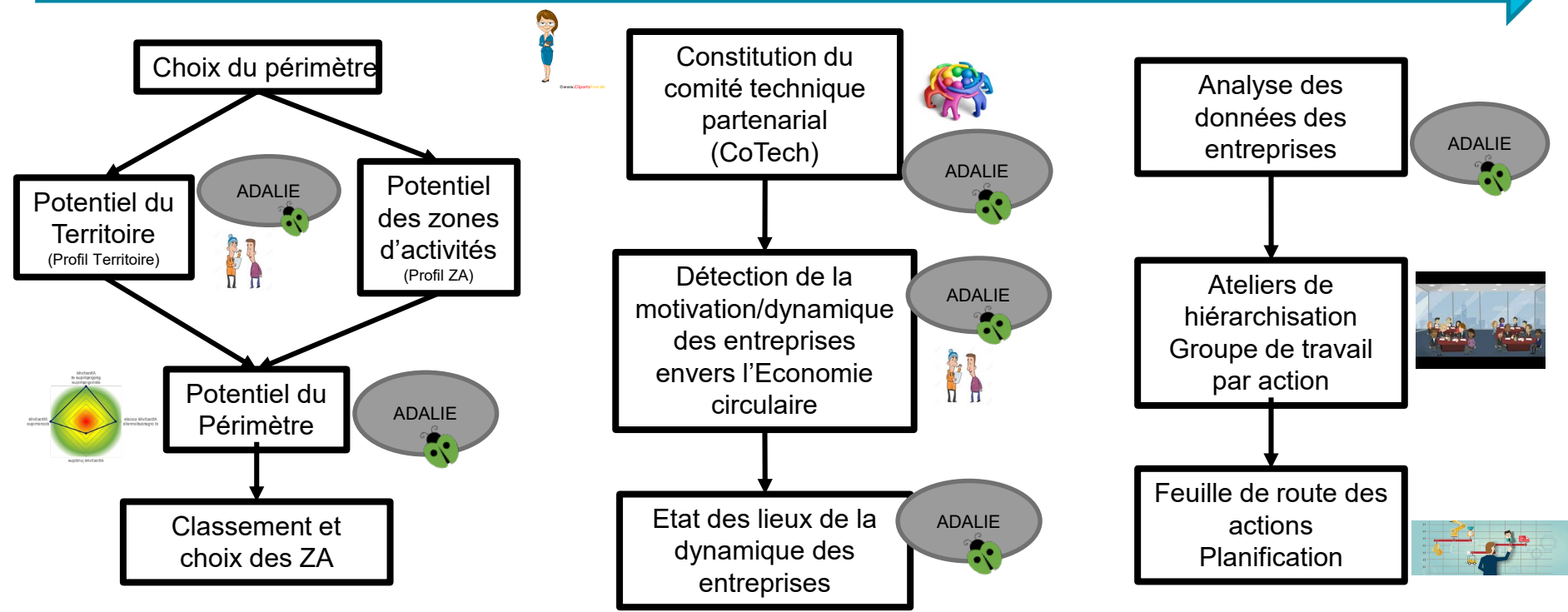
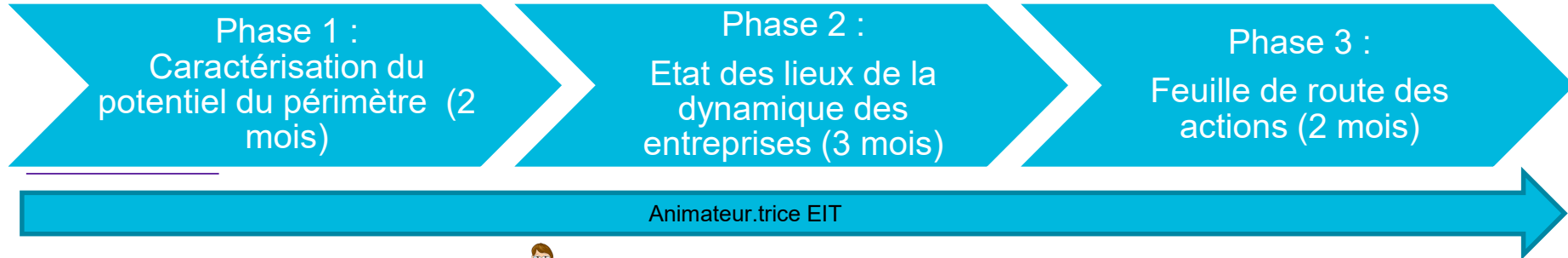
Valorisation des boues d'aluminium en tant qu'adsorbant pour la dépollution des eaux usées et l'abattement des gaz



MIEUX CARACTÉRISER LES TERRITOIRES POUR L'AIDE À LA DÉCISION

- **Comment caractériser le potentiel d'un territoire à la mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire?**
 - Méthode CAP'TER et Outil d'Aide au Développement d'Actions Locales Innovante pour une Economie circulaire (ADALIE®) – Collaboration MACEO
- **Quels sont les meilleurs compromis entre les caractéristiques des territoires et les objectifs de valorisation des biodéchets?**
 - Elaboration d'un modèle d'aide à la décision pour la conception de filières adaptées aux caractéristiques spatiales des territoires et intégrant des critères environnementaux et économiques (Cf Audrey Tanguy, 6 avril 2021)
- **Quels impacts des systèmes au regard des limites planétaires?**
 - Normalisation par les capacités de charge de la planète.

Exemples Mines Saint-Etienne



Exemples Mines Saint-Etienne

Phase 1 :
Caractérisation du
potentiel du périmètre (2
mois)

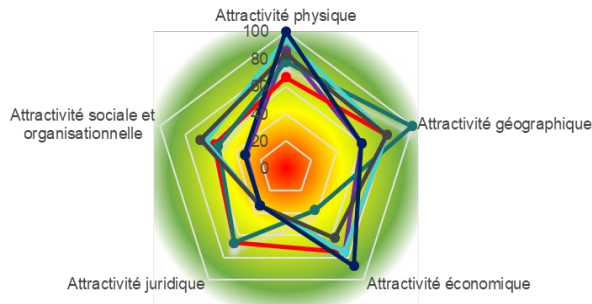
Phase 2 :
Etat des lieux de la
dynamique des
entreprises (3 mois)

Phase 3 :
Feuille de route des
actions (2 mois)

Analyse multicritère

Profil territorial

- ECO-PARC AUVERGNE
- LES CHARMES
- LE MARECHAT
- BIPOLE CLERMONT-LIMAGNE
- PARC EUROPEEN DES ENTREPRISES
- CHANLOUP



FLUX

NOMBRE D'ENTREPRISES AVANT D'EXPRIMER UN INTERET	%	TYPES DE FLUX	POURCENTAGE D'INTERETS
13	81,3	CARTONS	81,3
9	56,3	METALUX	56,3
9	56,3	PLASTIQUES	56,3
7	43,8	BOIS	43,8
7	43,8	PAPIER	43,8
5	31,3	CHIMIQUES	31,3
3	18,8	POURCELISSAGE	18,8
2	12,5	IN	12,5
2	12,5	ENERGIE (panneau solaire)	12,5
1	6,3	VESTIBULODERIVABLE	6,3
1	6,3	HEULÉ	6,3
1	6,3	ENR	6,3

SERVICES

NOMBRE D'ENTREPRISES AVANT D'EXPRIMER UN INTERET	%	TYPES DE SERVICES	% D'INTERETS
15	93,8	Entretien des espaces verts	93,8
13	81,3	Restauration "rapide" (sandwich, salades, etc.)	81,3
12	75,0	Lavation de roues	75,0
11	68,8	Formation aux incendies	68,8
11	68,8	Formation aux premiers secours	68,8
9	56,3	Commande de consommables en commun	56,3
9	56,3	Maintenance/entretien (homme/femme à tout faire + ménage)	56,3
8	50,0	Assistance médicale (santé)	50,0
7	43,8	Câbles et agence de nousson	43,8
7	43,8	Service postal	43,8
7	43,8	Santé et bien-être (bilan, dépistage, soins, préparation au travail, etc.)	43,8
6	37,5	Conciergerie/assistance téléphonique	37,5
5	31,3	Assistance juridique	31,3
5	31,3	Drivage	31,3
5	31,3	Formation bureautique/Inglis/informatique	31,3
4	25,0	Formation de sécurité au travail (bon geste, prévention, matériel, ergon, etc.)	25,0
4	25,0	Pressing/blanchisserie	25,0
2	12,5	Re-organisation des transports en commun (bus)	12,5
2	12,5	Assistance informatique/téléphonie	12,5
1	6,3	Service bancaire	6,3

EQUIPEMENTS

NOMBRE D'ENTREPRISES AVANT D'EXPRIMER UN INTERET	%	TYPES D'EQUIPEMENTS	% D'INTERETS
13	81,3	Aire de stockage	81,3
12	75,0	Aire de conditionnage	81,3
12	75,0	Grande salle de réunion/Vidéoconférence	75,0
10	62,5	Logiciel/Logiciel	62,5
8	50,0	Salle de détente pour les résidents de la ZS (billard, darts, équipement sportif, jeux, etc.)	50,0
6	37,5	Voiture surveillance	37,5
6	37,5	Équipement d'alarme collective sur l'extérieur de la ZS	37,5
7	43,8	Fibre optique	43,8
6	37,5	Sécurité routière et voirie (limitation vitesse, trottoir, aire PI, etc.)	37,5
5	31,3	Aire pour stockage de PA (sandwich/salades, salades, etc.)	31,3
4	25,0	Infirmerie	25,0
4	25,0	CA à sens unique	25,0
3	18,8	Salle d'attente	18,8
3	18,8	Site d'accès	18,8
2	12,5	Hallport	12,5

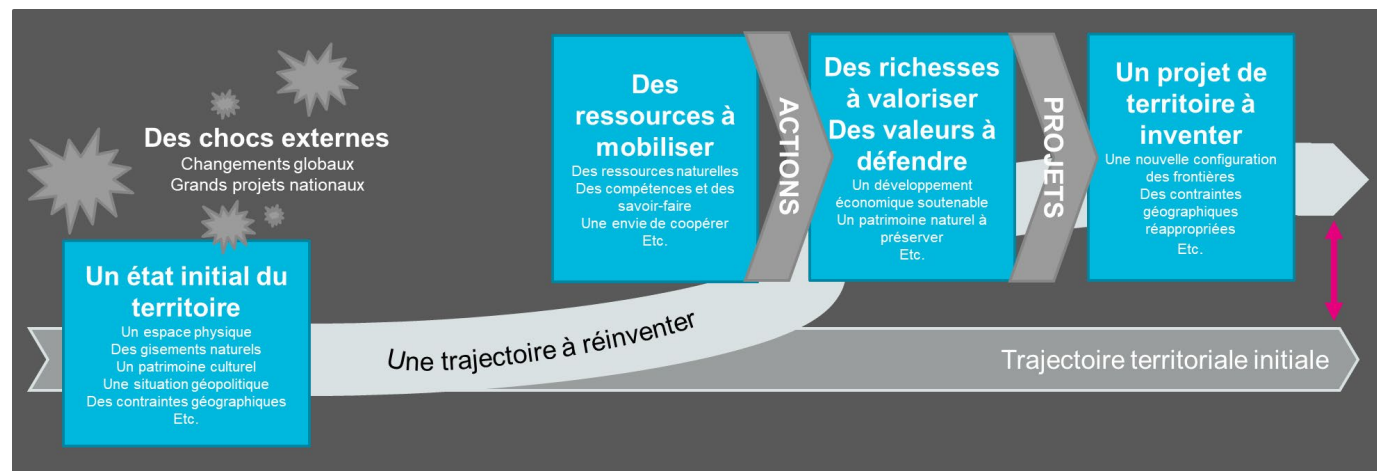
Actions prioritaires identifiées	Concrétisation
Mutualisation de la collecte de déchets et du temps humain	Flux palettes (valorisés localement : filière) Flux polystyrènes
Gestion des espaces verts (logique globale)	CdC gestion mutualisée des espaces verts responsables
Economie d'énergie (panneau solaire...)	Etude des emprises solaires sur les toits des entreprises
Bâtiment mutualisé (éco-conçu)	Parking végétalisé
Offre de restauration avec une dimension éco-responsable (gaspillage alimentaire, compostage...)	Etude de restauration Compostages et barquettes biodégradables (restaurant)

- Rouge (0 à 33%): Faible potentiel
- Jaune (34 à 66%): Potentiel latent
- Vert (67 à 100%): Potentiel immédiat

Des questions de recherche appliquée

RESILIENCE TERRITORIALE: Comment **évaluer** la capacité d'un territoire à s'adapter aux changements globaux ?

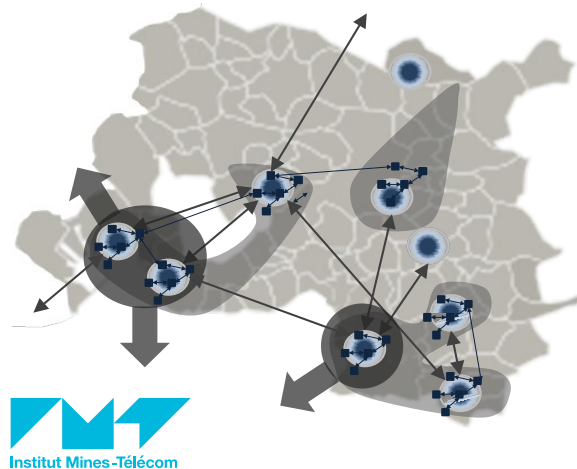
CAPABILITE TERRITORIALE: Comment **mettre en capacité** les acteurs des territoires pour identifier les signes de la crise, s'adapter aux changements globaux et réinventer leur projet de territoire ?



Focus sur les travaux menés sur des territoires industrialo-portuaires

	Port area	Sea or mass water	Port extension
DIRECTIONAL PLANS These plans illustrate the evolution of the port area and the impact of the sea or mass water on the port area.	1 - Port Initial port area	4 - Materialised Materialised port area	7 - Dotted Dotted port area
STRATEGICAL PLANS These plans illustrate the strategic approach to the port area.	2 - Complex Complex port area	5 - Port-city interface Port-city interface	8 - Network Network port area
TERRITORIAL PLANS These plans illustrate the territorial approach to the port area.	3 - Eco-site Eco-site port area	6 - Eco-region Eco-region port area	9 - Eco-cluster Eco-cluster port area

- Ecologie industrielle et territoriale **comme processus de construction territoriale**: impact de la mise en œuvre de synergies sur l'aménagement du territoire
- Ecologie industrielle et territoriale **et stratégie métropolitaine**: l'économie circulaire comme outil d'accompagnement pour la préfiguration d'une métropole industrialo-portuaire
- Ecologie industrielle et territoriale **et résilience**: analyse des trajectoires industrialo-portuaires par la complexité
- Ecologie industrielle et territoriale **et création de chaîne de valeur**: le cas des déchets du BTP et des déchets de navires



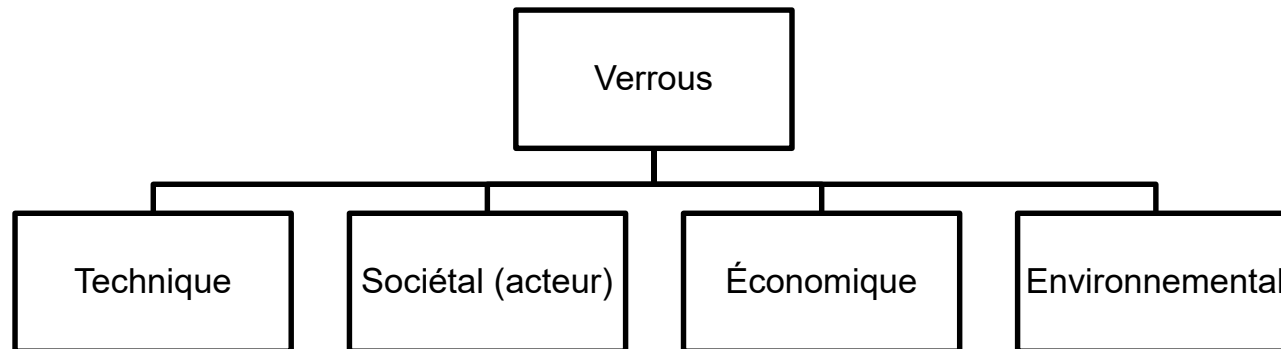
ACTION STRUCTURANTE

**STRATÉGIES
D'ÉCONOMIE
CIRCULAIRE ET LEUR
IMPLANTATION
TERRITORIALE**

Action structurante



- Quelles techniques mettre au point pour innover dans la circularité des matières et des flux ?
- Comment anticiper le potentiel de circularité de flux sur un territoire dans un objectif de durabilité ?
- Comment évaluer les impacts et conséquences directs et indirectes de ces nouveaux modèles économiques ?
- Comment analyser les systèmes existants et en définir leur maturité en termes d'économie circulaire ?



Action structurante

Caractérisation du potentiel, de la maturité
Nouveaux modèles territoriaux
Techniques innovantes
Aide à la décision



Cadre méthodologique pour accompagner des stratégies d'économie circulaire relatifs à un déchet

Ecologie industrielle et territoriale : gestion de flux et métabolisme

Jeux d'acteurs, dynamique territoriale

Démarches d'évaluation environnementale

- Méthodologie de Douai sur la valorisation des déchets
- CAP-TER / ADALIE

Faisabilité technique

Action structurante

- **1^{ère} étape** : Comprendre comment les organisations (entreprises, industries, collectivités, etc.) s'approprient des démarches d'économie circulaire sous toutes ses facettes → réussite de l'identification et de mise en œuvre de stratégies pérennes.
 - **2^{ème} étape** : Positionner un cadre méthodologique et les forces de l'IMT
 - **3^{ème} étape** : Identifier des collaborateurs en vue d'actions partenariales
- **Projet européen** : HORIZON-CL4-2022-TWIN-TRANSITION-01-07 Digital tools to support the engineering of a Circular Economy, 12-janv-22 RIA

CONTRIBUTEURS À CETTE PRÉSENTATION

Nor-Edine Abriak
Walid Maherzi
Mahfoud Benzerzour



Nathalie Lyczko



Audrey Tanguy
Valérie Laforest



Juliette Cerceau





Institut Mines-Télécom

MERCI POUR VOTRE
ATTENTION

