IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement
Lille Nord de France

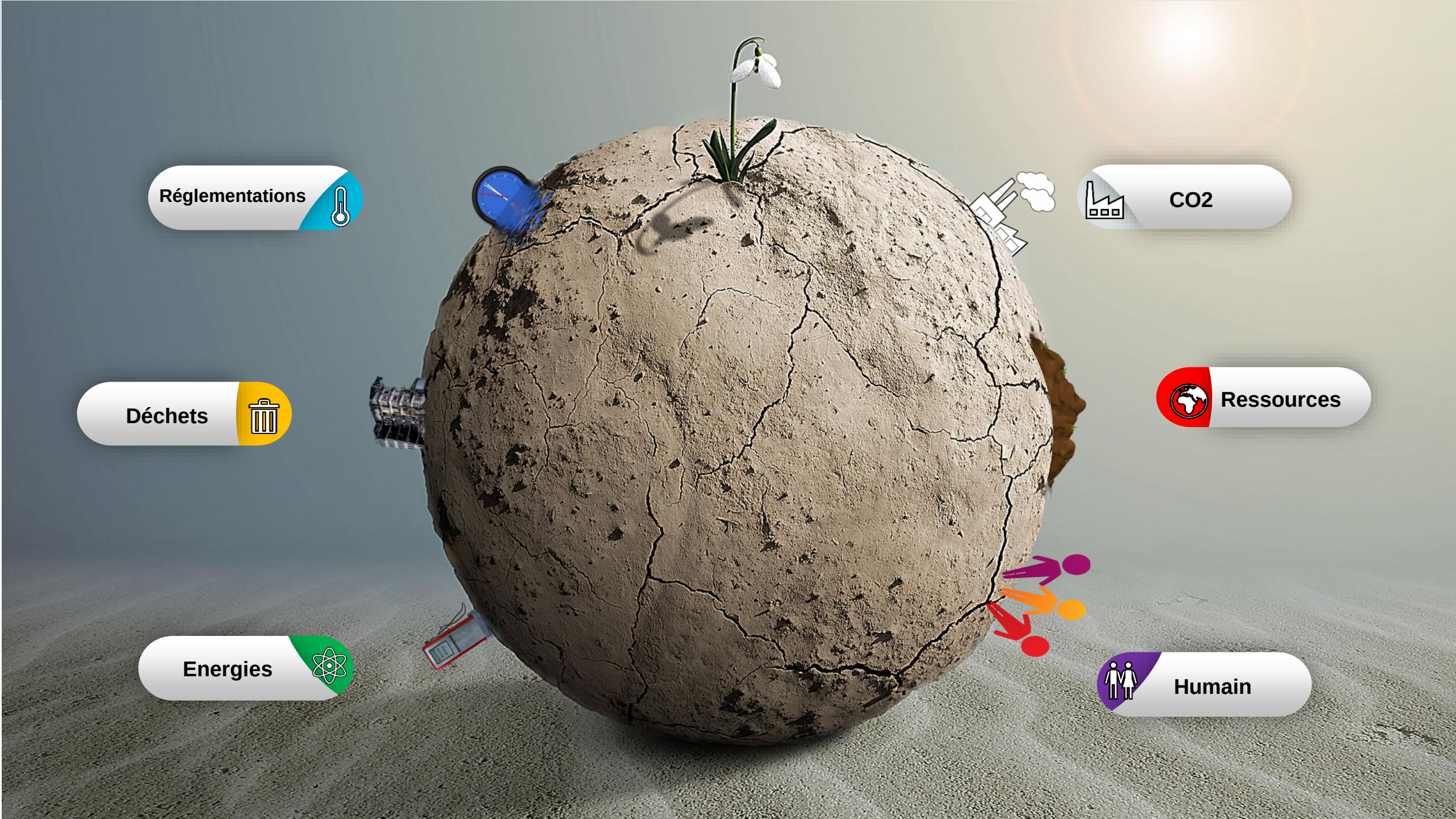
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Journées Eco transtion - Atelier
Sédiments et Economie Circulaire

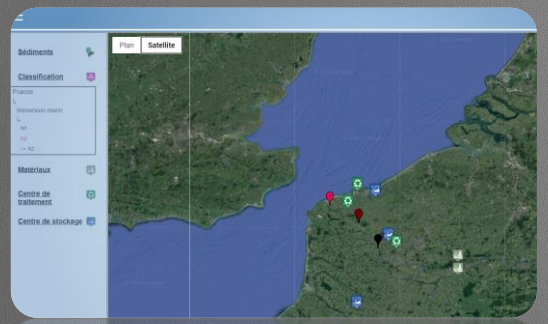
Outil d'aide à la décision opérationnel pour les gestionnaires, maitres d'œuvres et maitres d'ouvrage

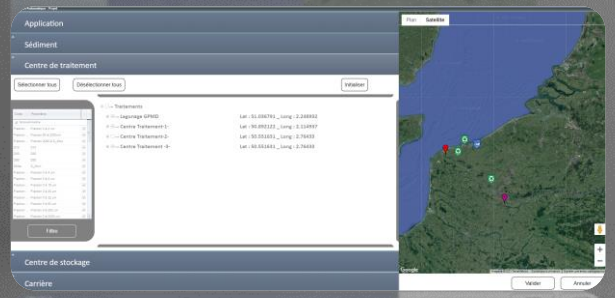
Pr. Mahfoud BENZERZOUR

IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire École Mines-Télécom
IMT Lille Douai École Mines-Télécom IMT-Université de Lille
IMT Mines Albi-Carmaux École Mines-Télécom
IMT Mines Alès École Mines-Télécom
Institut Mines-Télécom Business School
MINES Saint-Étienne Une école de l'IMT
TELECOM ParisTech Une école de l'IMT
TELECOM SudParis Une école de l'IMT
EURECOM
InSIC
MINES ParisTech
MINES nancy
ensiie Paris-Évry | Strasbourg
ARMINES
La recherche CARNOT pour l'innovation des entreprises

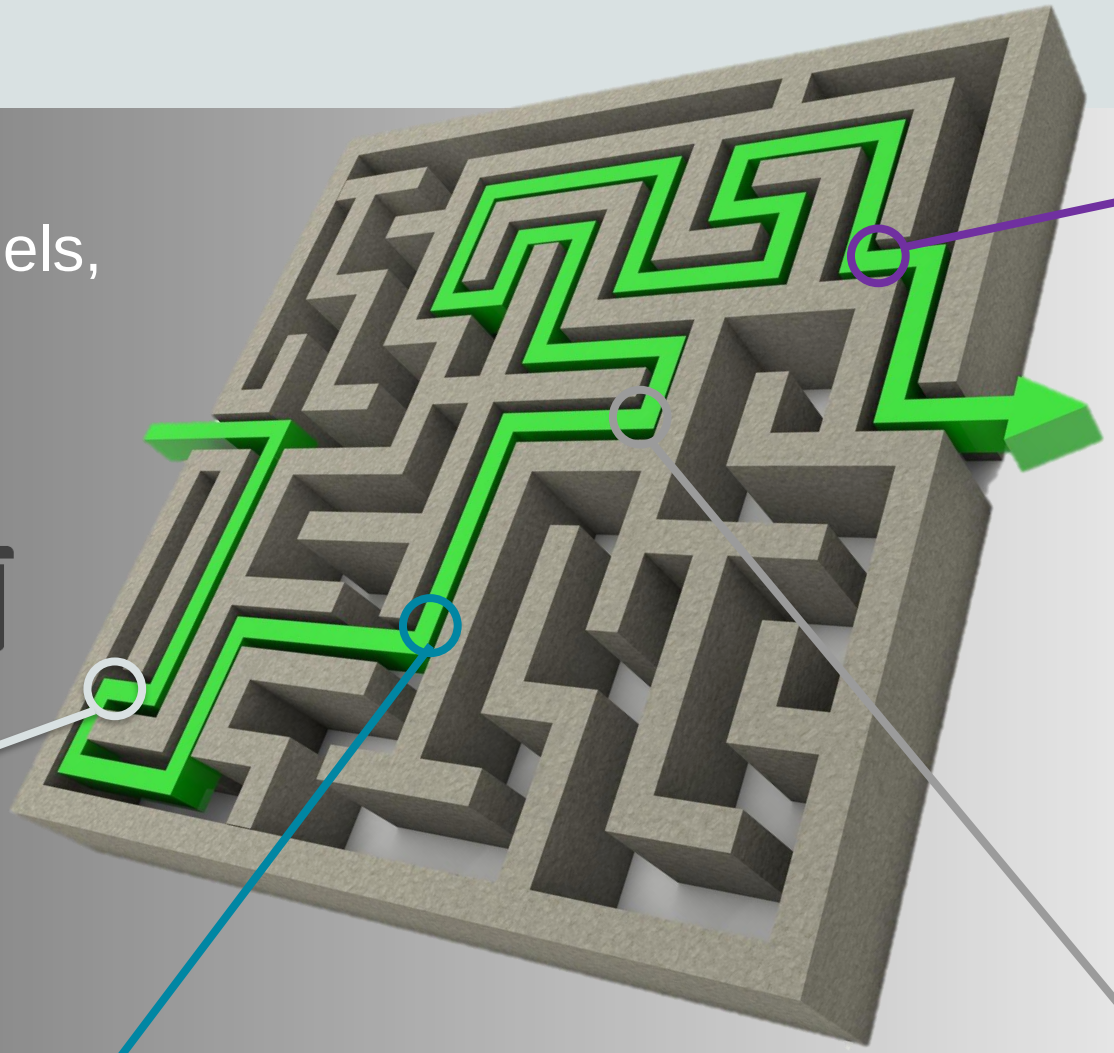

Réglementations
CO2
Déchets
Ressources
Energies
Humain

Développement d’outils numériques opérationnels pour l’optimisation de la valorisation des matériaux alternatifs,…, déchets

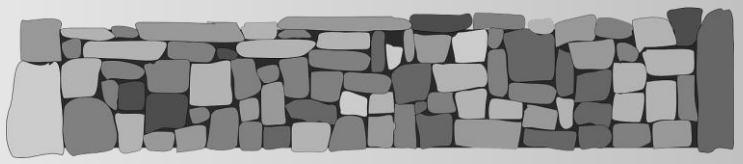




Déchets,
Sous produits industriels,
Matières Premières
Secondaires,
Matériaux alternatifs,



Réglementations



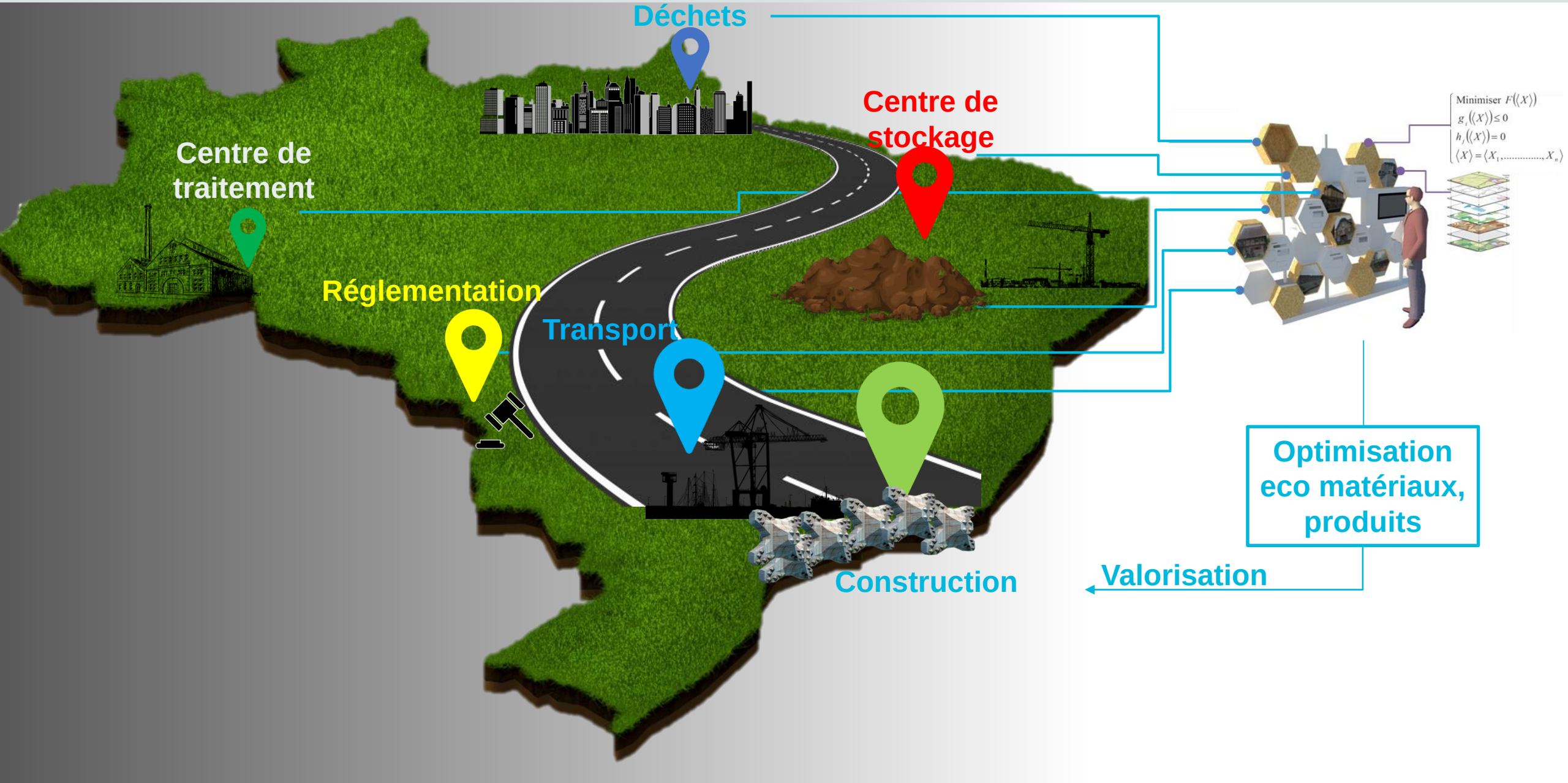
Matériaux, Produits :
Utilisables

Faisabilité

Coûts

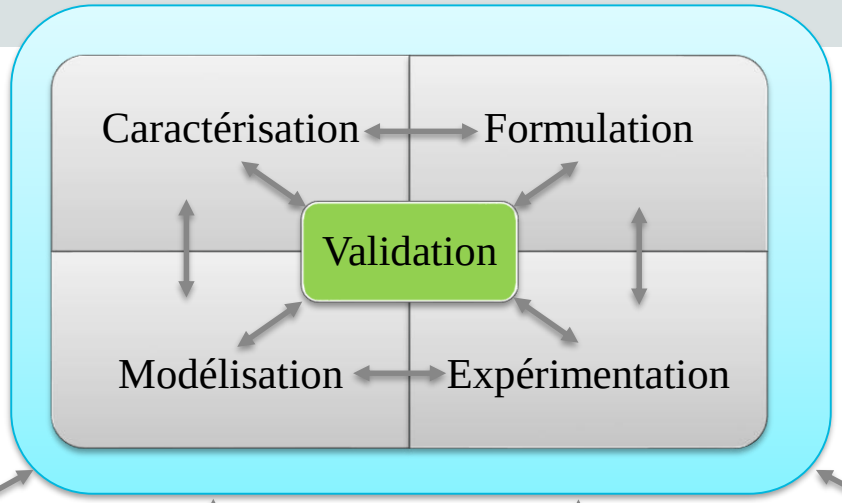
Environnement

Approche opérationnelle de la valorisation des matériaux alternatifs



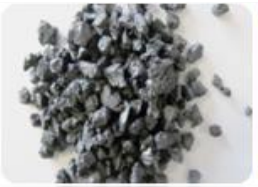
Approche opérationnelle de la valorisation des matériaux alternatifs

Décision
complexe
Multi paramètres



Traitement | Durabilité | Environnement | Coût

Sédiments


Pneus

Fibres VP

Laitier HF

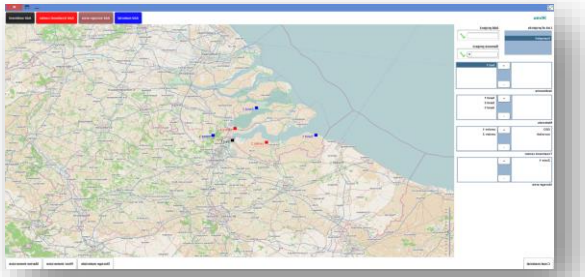
Bauxaline

Mâchefers

Gravats

Approche numérique

Approche Matériaux

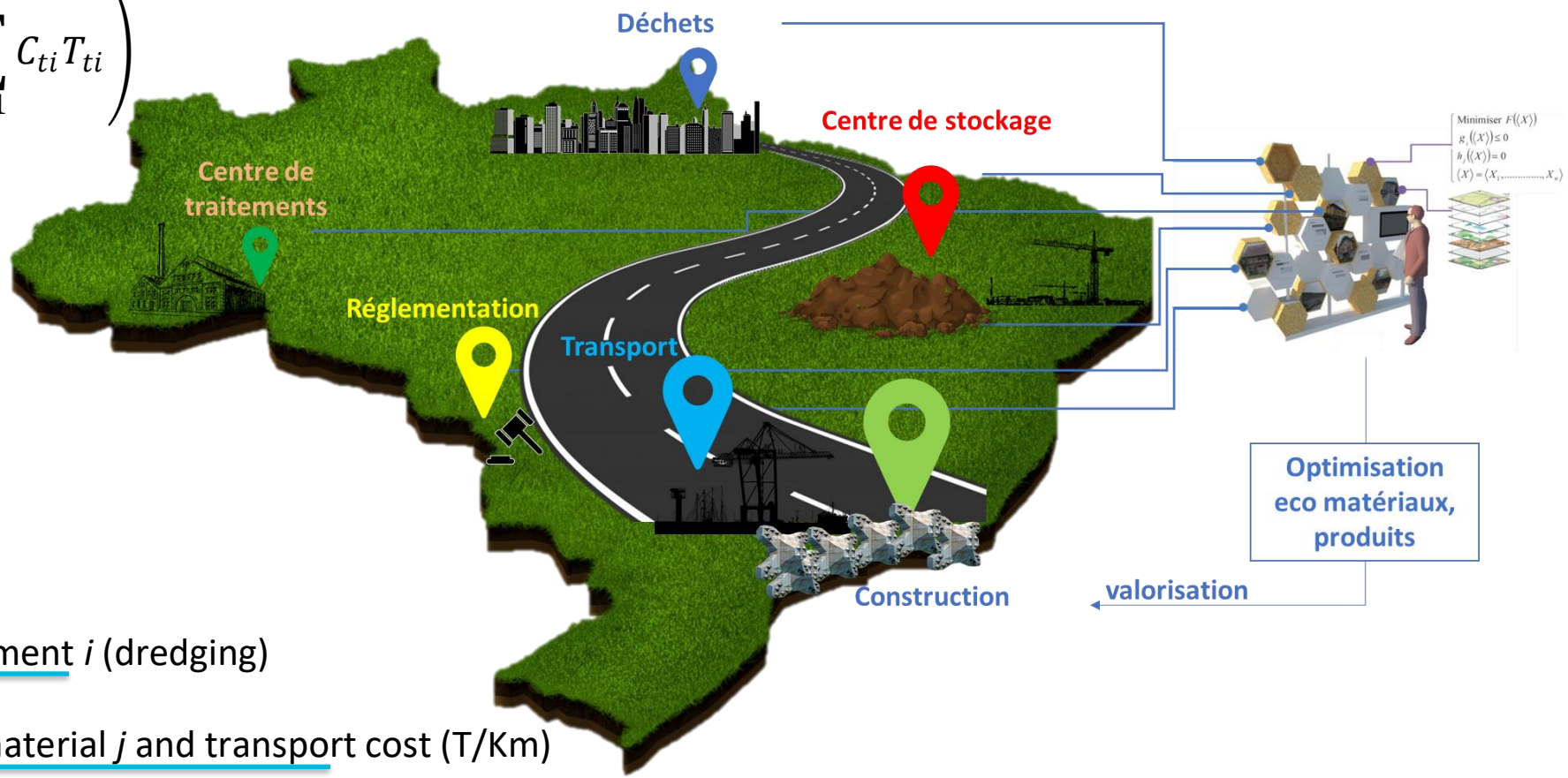

[Benzerzour & co 2014-2020]

Institut Mines-Télécom

Approche opérationnelle de la valorisation des matériaux alternatifs

Modèle mathématique : Fonction objectif

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



With:

C_i : Operating cost of sediment *i* (dredging)

C_j : Purchase cost of the material *j* and transport cost (T/Km)

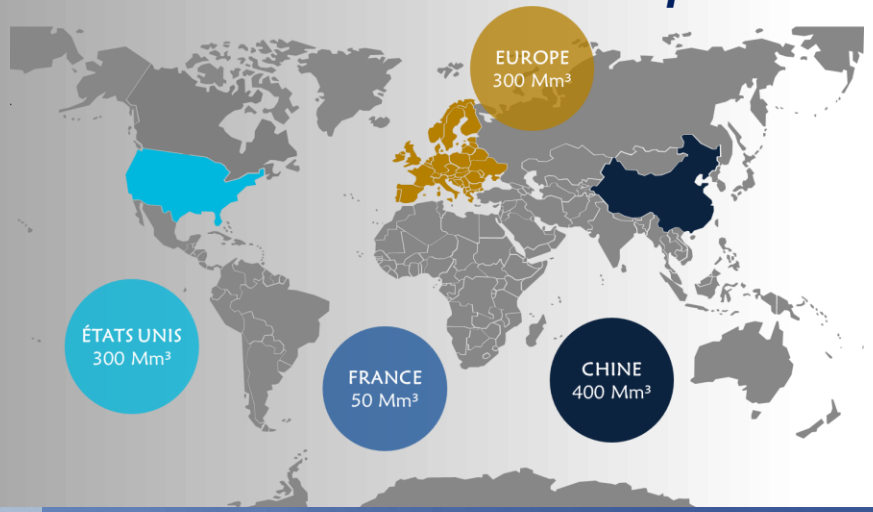
C_{ti} : Cost of treatment *t* applied to sediment *i* and sediment transport cost (T/Km)

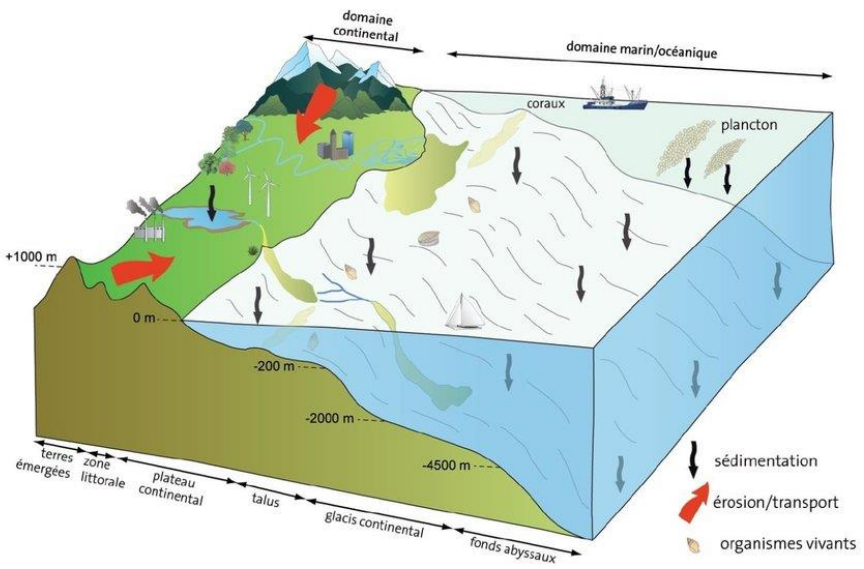
Exemple: La problématique sédiments

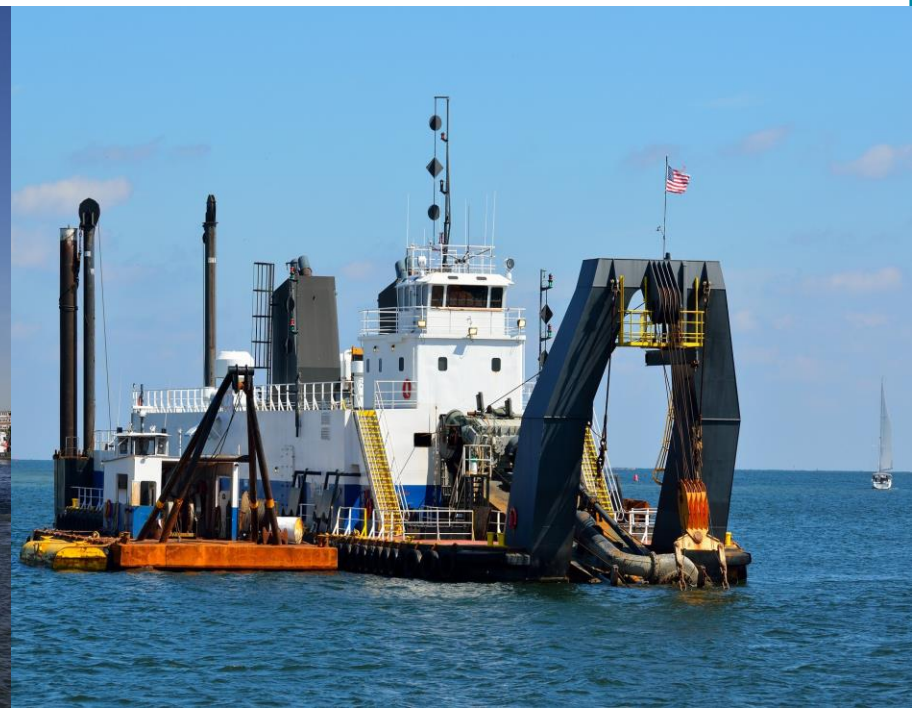
Besoins :
Transport, (réduction $C0_2$),
Activité maritime et fluviale,
Activité urbaine (fossés),

Entretiens :
Dragage, curage
Stockage,
Immersions,

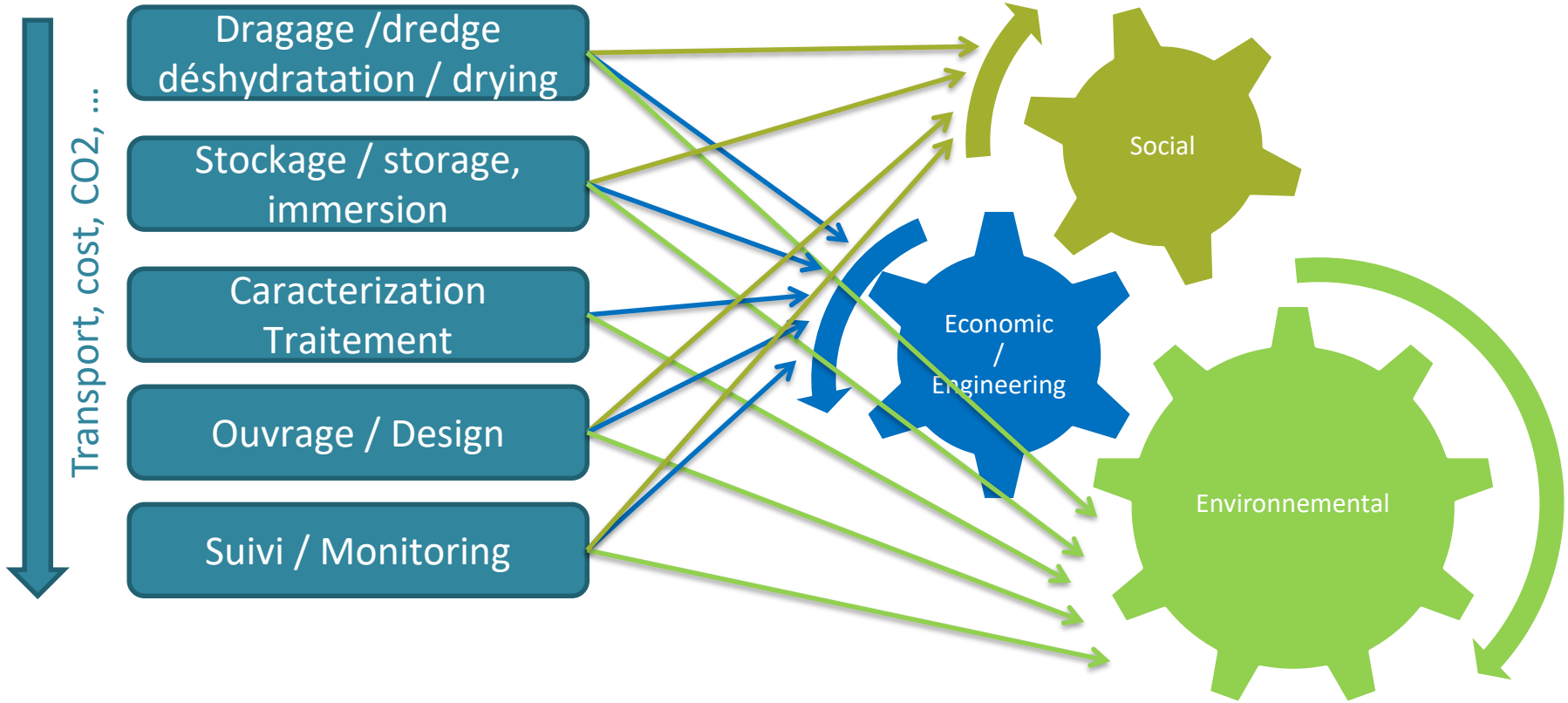
Plus de 1 000 000 000 m³ par an







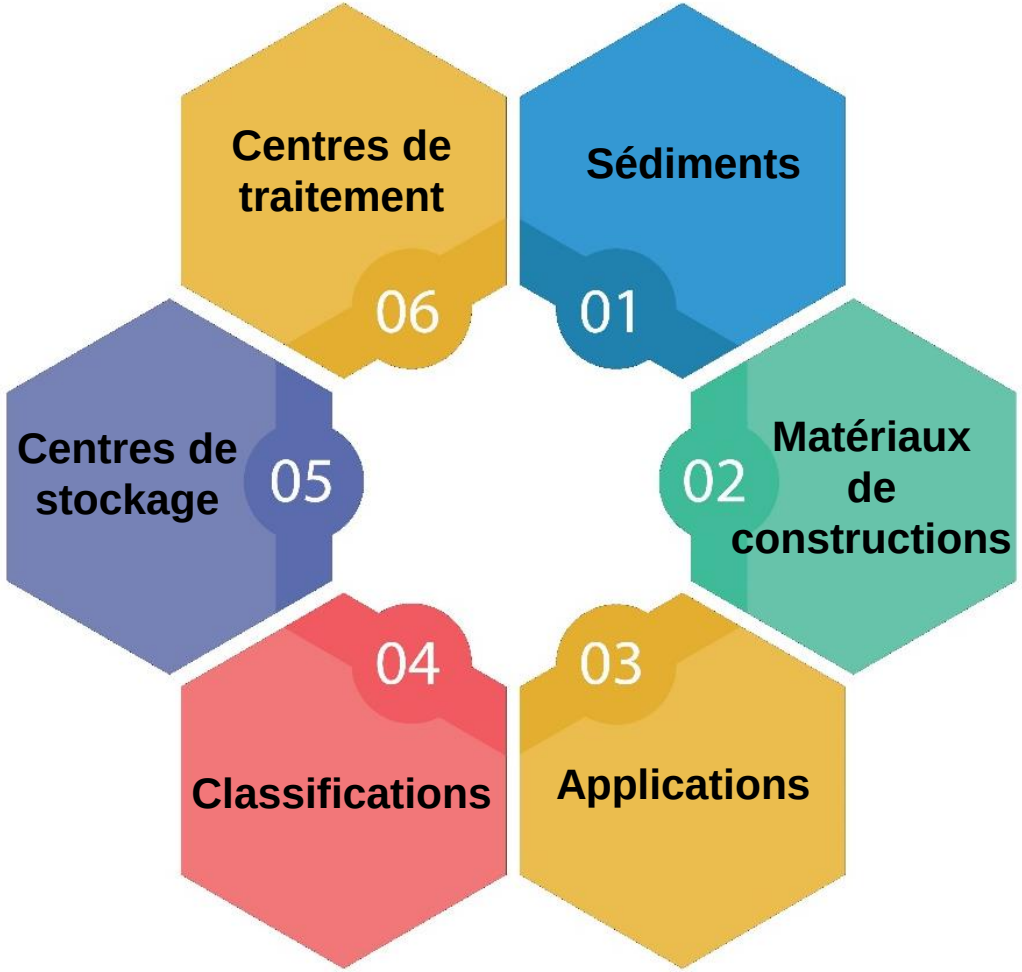
Exemple : Approche opérationnelle de la valorisation des sédiments



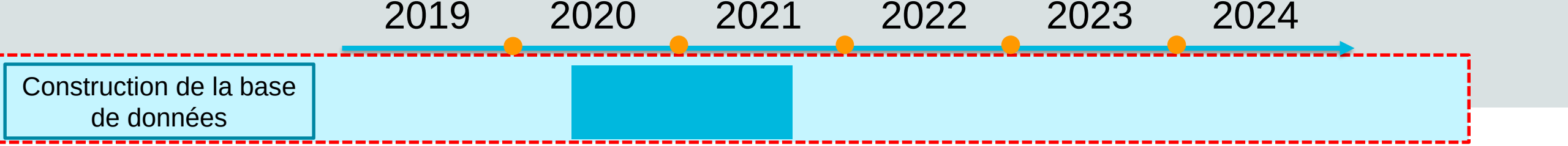
2019 2020 2021 2022 2023 2024

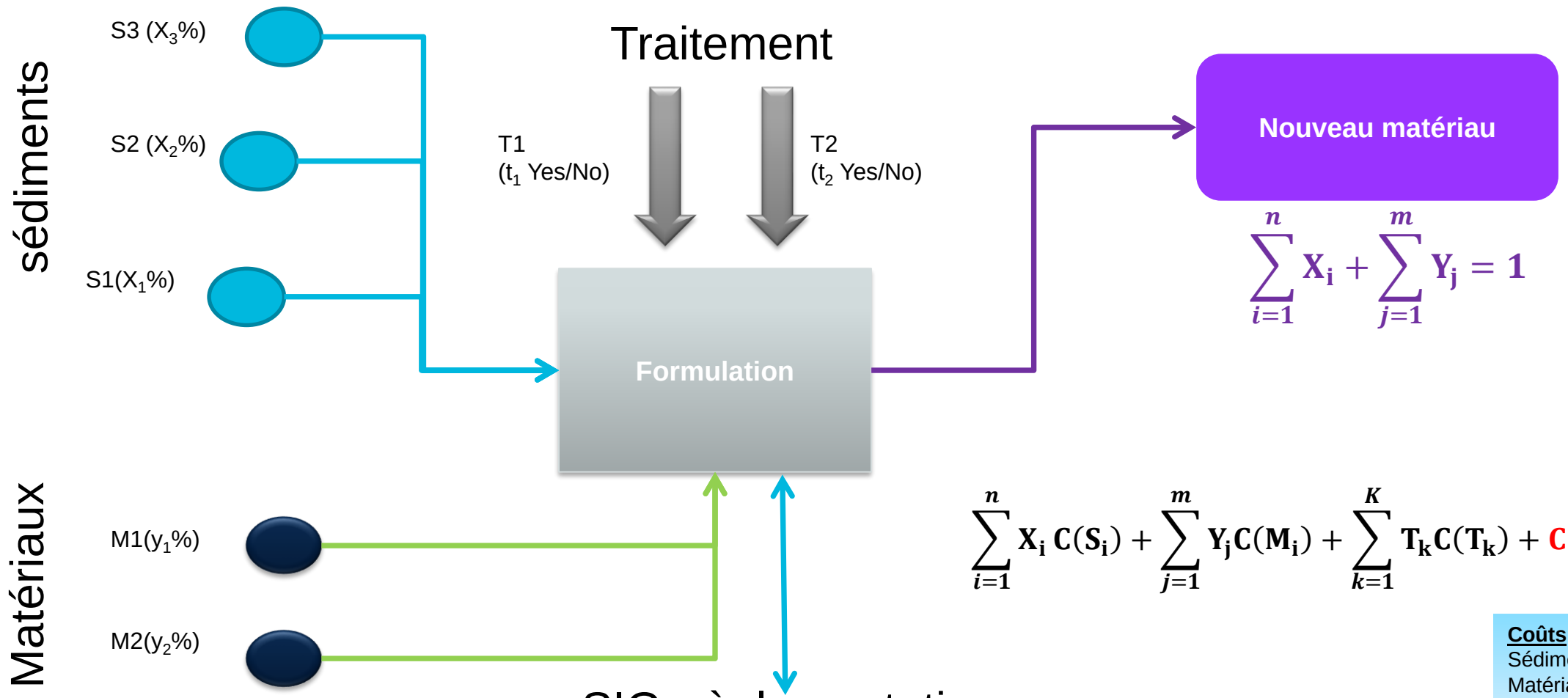
Identification des données d'entrées

Software : Input data



coût optimal





$$\sum_{i=1}^{n} X_i + \sum_{j=1}^{m} Y_j = 1$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i\, C(S_i) + \sum_{j=1}^{m} Y_j C(M_i) + \sum_{k=1}^{K} T_k C(T_k) + C(L) \rightarrow \mathbf{Min}$$

SIG, règlementation, transport, coût, CO2, …

Coûts

Sédiments	$C(S_i)$
Matériaux	$C(M_j)$
Traitement	$C(T_k)$
Logistique	$C(L)$

Institut Mines-Télécom

Approche opérationnelle de la valorisation des matériaux alternatifs

Mathematical model : Constraints

Environmental constraints : Heavy metals

$$e_{si}\left(1-\sum_{t=1}^{|T|}\hat{e}_{sit}T_{ti}\right)\leq e_s+(1-x_i)M$$

Environmental constraints : Organic matter

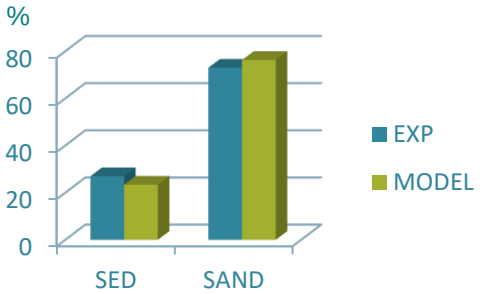
$$e_{Mi}\left(1-\sum_{t=1}^{|T|}\hat{e}_{Mit}T_{ti}\right)\leq e_M\left(1+\sum_{j=1}^{m}S_j\right)+(1-x_i)M$$

Mechanical constraints

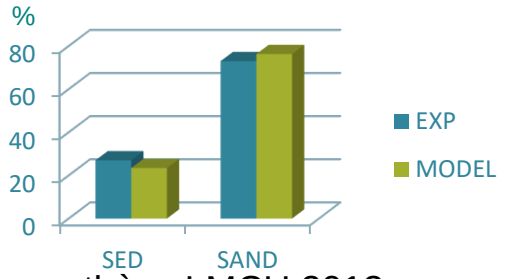
$$\hat{P}_d^{0.4}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i+\sum_{j=1}^{m}S_j\right)\leq\sum_{i=1}^{n}(P_{id}\times x_i)+\sum_{j=1}^{m}(P_{jd}\times S_j)\leq\hat{P}_d^{0.25}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i+\sum_{j=1}^{m}S_j\right)$$

$P_{id}\,(P_{jd})$: associated percentage to the diameter *d* in sediment *i* (material *j*)

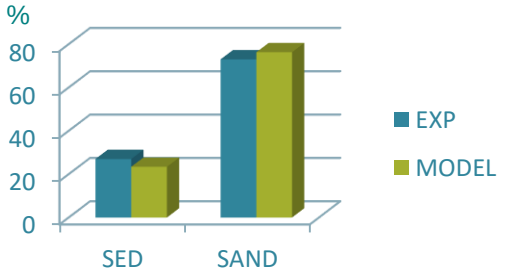
Validation modèle
sur résultats de la Biblio



thèse GPMD 2012



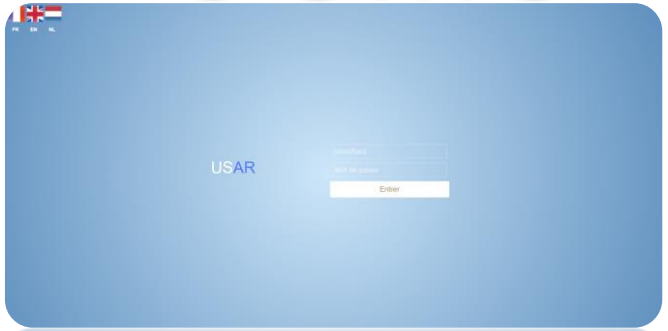
thèse LMCU 2013



thèse PRISMA 2016

Wikised

OSMS



https://www.youtube.com/watch?v=I_ov4LDrpkM

Simulation Manuelle : Projet

Application

FRANCE | Route | test Mahfoud

⇧ | Editer Projet |

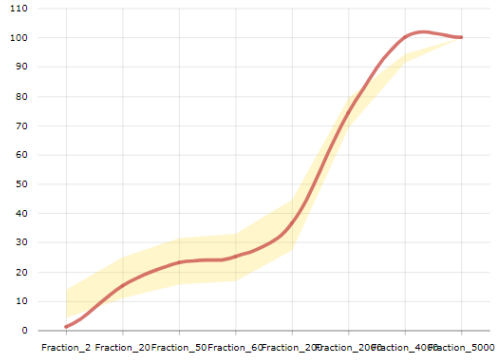
Code	Symbole	Min	Max
Granulometrie			
DMax	DMax		5000
Fuseau Talbot	TALBOU		
Organique			
MO	MO		3
Géotechnique			
IPI	IPI		20
Chimique			
Molybdène	Mo		10
Nickel	Ni		10
Plomb	Pb		10
Antimoine	Sb		0.7
Sélénium	Se		0.5
Zinc	Zn		50
Fluorure	F-		150
Chlorure	Cl-		15000
Sulfate	SO4-		20000
Carbone Organique T...	COT		30000
Hydrocarbures Aroma...	HAP		50
Polychlorobiphényles	PCB		1
Hydrocarbures Totaux	HCT		500
Arsenic	As		2
Barium	Ba		100
Cadmium	Cd		1
Chrome Tot	Cr Tot		10
Cuivre	Cu		50
Mercure	Hg		0.2

Enregistrer | Exécuter

Nouveau matériau			33.9(€)
Sédiments	%	% Max	Coût(€)
A2	5.0	100.0	0.15
Traitements			Coût(€)
Centre Traitement-1			0.0
Paramètres	Initial	Cible	
Transport	Début	Fin	Coût(€)
Transport marin	Initial	Cible	1.28
B2	25.65	100.0	0.76
Traitements			Coût(€)
Centre Traitement-1			1.28
Paramètres	Initial	Cible	
Transport	Début	Fin	Coût(€)
Transport marin	Initial	Centre Traiteme	1.32
Transport marin	Centre Traiteme	Cible	5.34
Matériaux	%	% Max	Coût(€)
M1	24.46	100.0	2.93

Nouveau matériau | GTR

Graphe de granulométrie



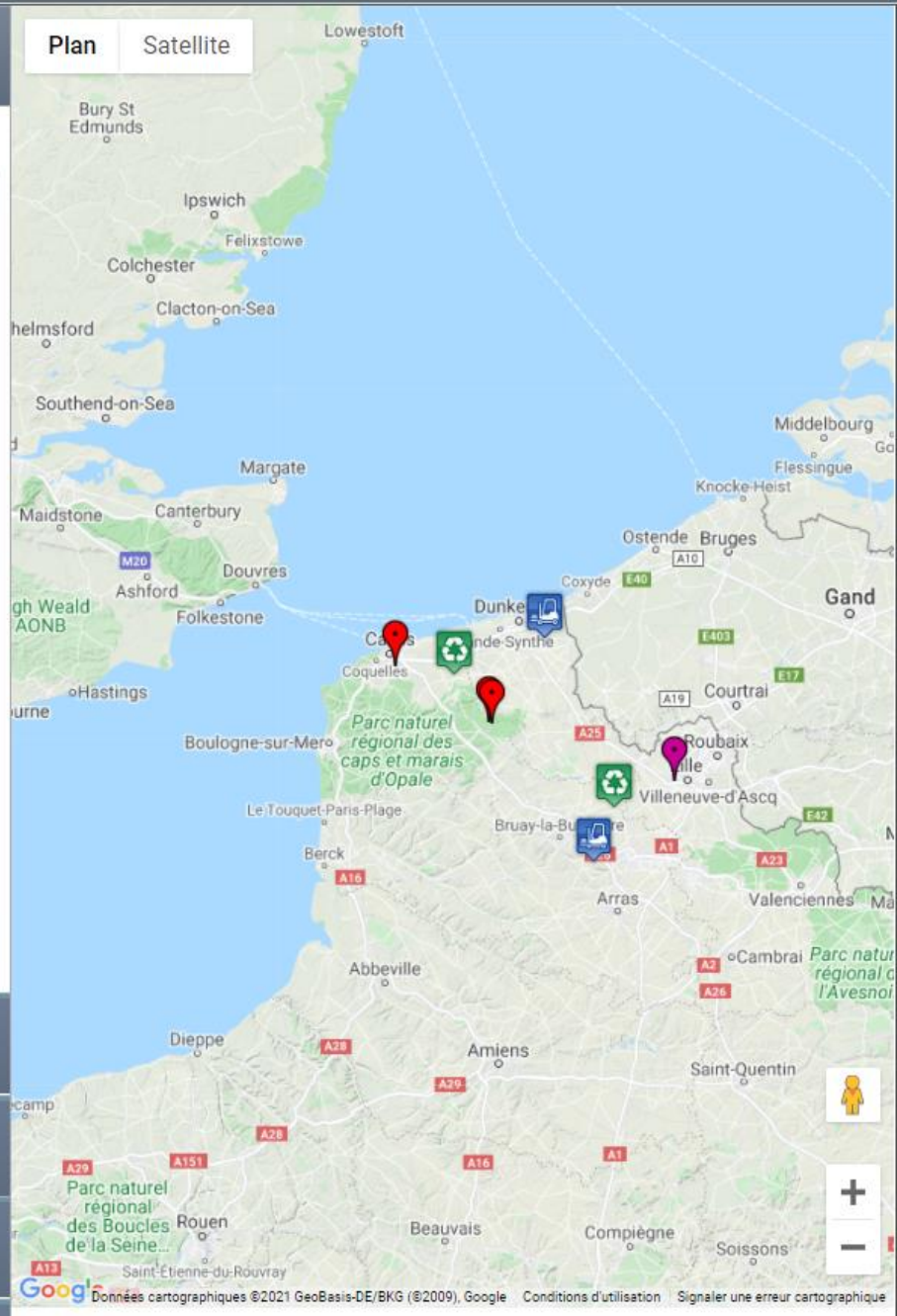
Code	Symbole	Valeur	Min	Max
Granulometrie				
DMax	DMax			
Fuseau Talbot	TALBOU			
Organique				
MO	MO	1.09		3
Géotechnique				
IPI	IPI	14.08		20
Chimique				
Arsenic	As	0.37		2
Barium	Ba	0		100
Cadmium	Cd	0.03		1
Chrome Tot	Cr Tot	0.88		10
Cuivre	Cu	0.8		50
Mercure	Hg	0.04		0.2
Molybdène	Mo	0		10
Nickel	Ni	0.52		10
Plomb	Pb	1.91		10

Sédiment

Centre de traitement

Centre de stockage

Carrière



Valider | Annuler

Chaire

ECOSED–D4.0

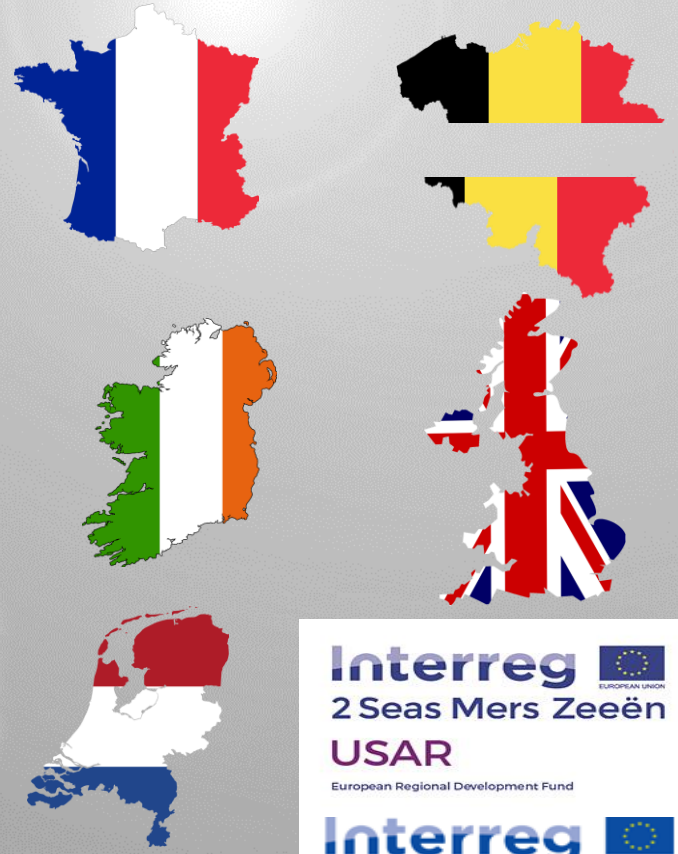
2019 – 2024

2015 – 2020

Titulaire: Pr Nor Edine Abriak
IMT Lille Douai

Démarche
Sédimatériaux

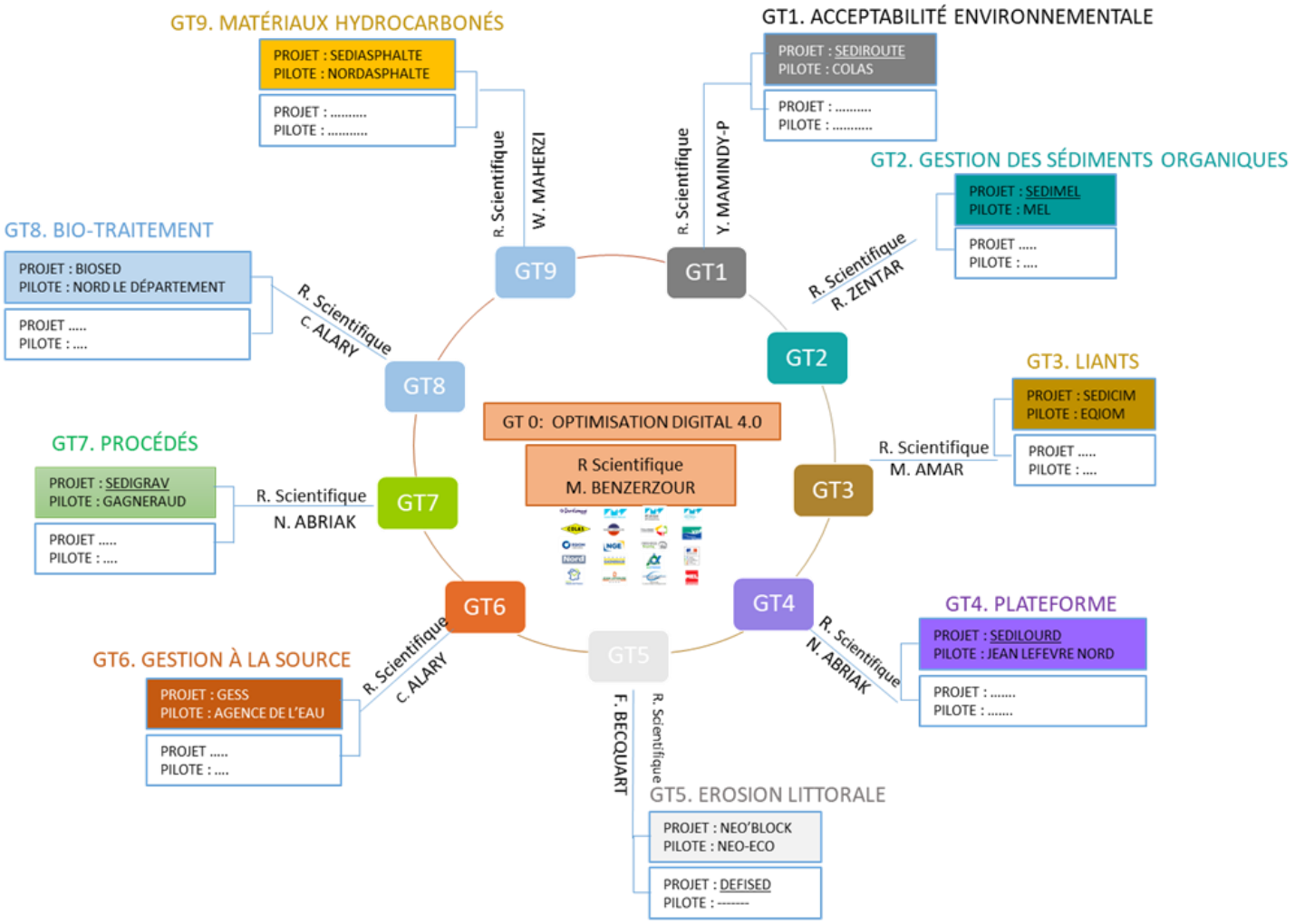
Région Hauts-de-France



Interreg 2 Seas Mers Zeeën USAR European Regional Development Fund

Interreg North-West Europe SURICATES European Regional Development Fund

Chaire ECOSED–D4.0 : source de données



Projet en cours : Exemple

Projet en montage : Exemple

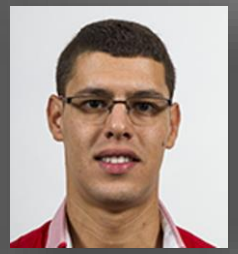
Institut Mines-Télécom

Approche opérationnelle de la valorisation des MA
Développement en cours et perspectives

Modélisation des contraintes opp de la valorisation des sédiments

Interreg 2 Seas Mers Zeeën USAR

Thèse
A. ZERAOUI



OSMS……

C: Ciment

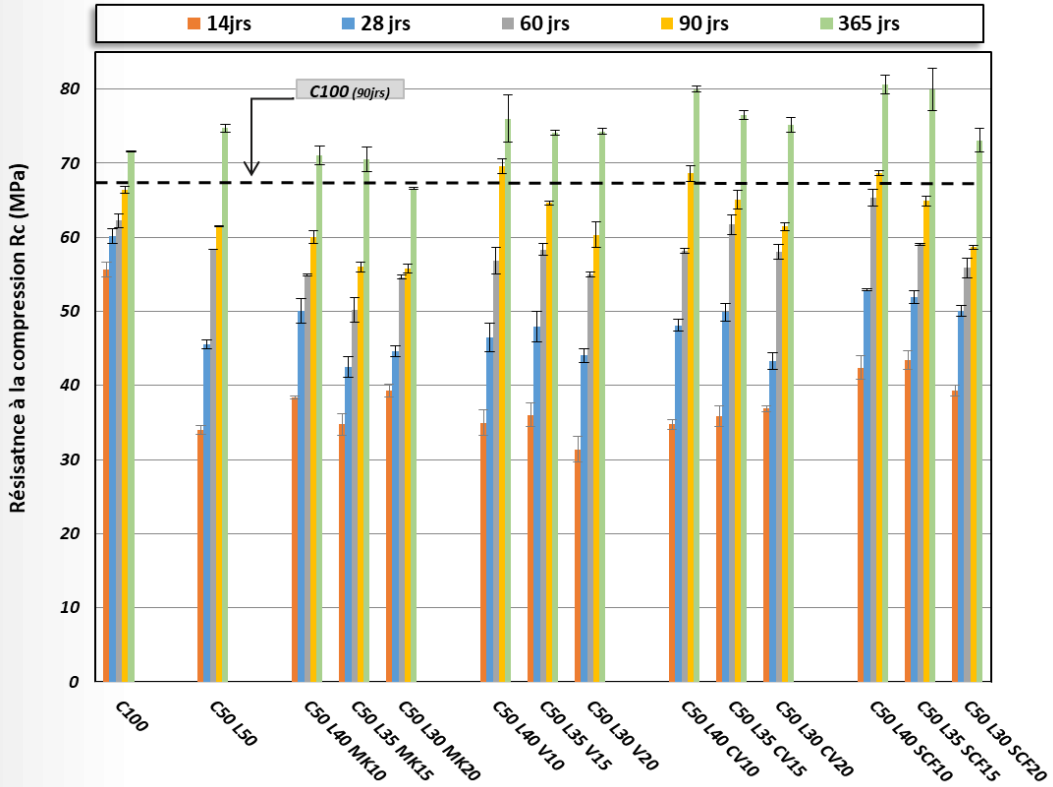
L: Laitier

MK: Métakaolin

V: Verre

CV: Cendres Volantes

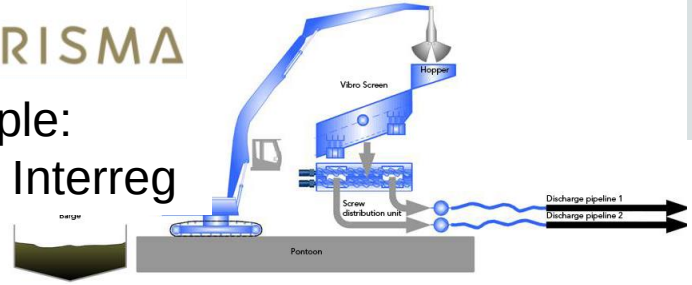
SF: Sédiment traité par calcination flash

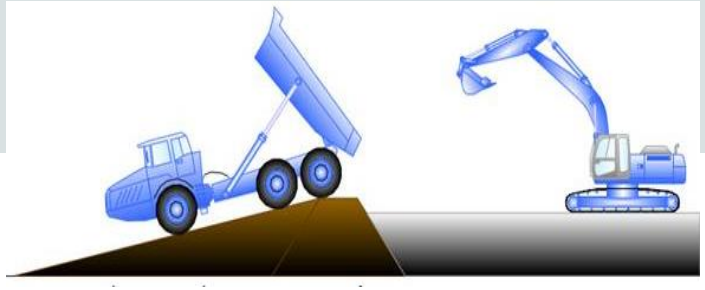


Formulation	Résistance moyenne prédite (MPa)	Intervalle de confiance à 95 % (MPa)	Résistance à la compression moyenne mesurée expérimentalement (± écart-type) (MPa)
C50 L35 MK15	57,82	[56,14 – 59,50]	56,01 (0,69)
C50 L35 V15	64,52	[60,54 – 68,49]	64,66 (0,25)
C50 L35 CV15	64,69	[61,24 – 68,15]	65,08 (1,32)
C50 L35 SFC15	63,83	[60,75 – 66,91]	64,90 (0,70)

PRISMA

Exemple:
Projet Interreg





PRISMA

Valorisation de sédiments fluviaux dans la réalisation de cette digue

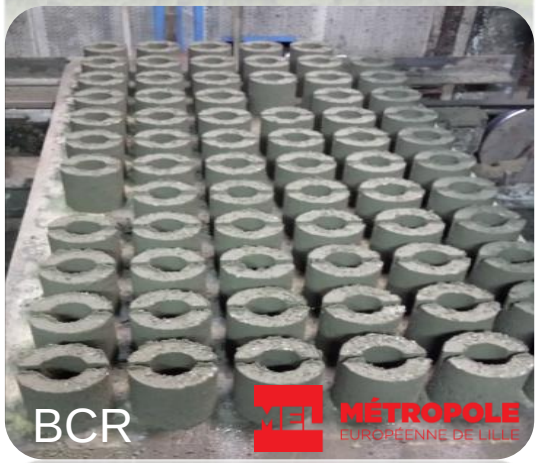
Route

Protection érosion

Géotunnel UK

Digue Anvers

Géotube


BCR

Granulats artificiels

Mobilier urbain

Béton autocompactant

Approche opérationnelle de la valorisation des MA
Développement en cours et perspectives
Exemple sédiments

Approche opérationnelle de la valorisation des MA
Développement en cours et perspectives

WIKISED……

WIKIBIOBASED

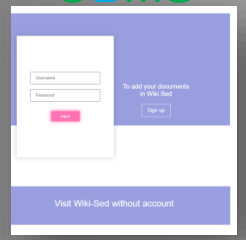
WIKIRUBBLE

WIKIGLASS

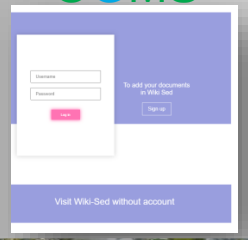
WIKIPLAST

Approche opérationnelle de la valorisation des MA
Développement en cours et perspectives

OBMS

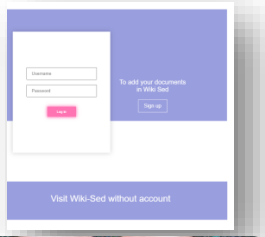


OGMS



ORMS

OPLASTMS

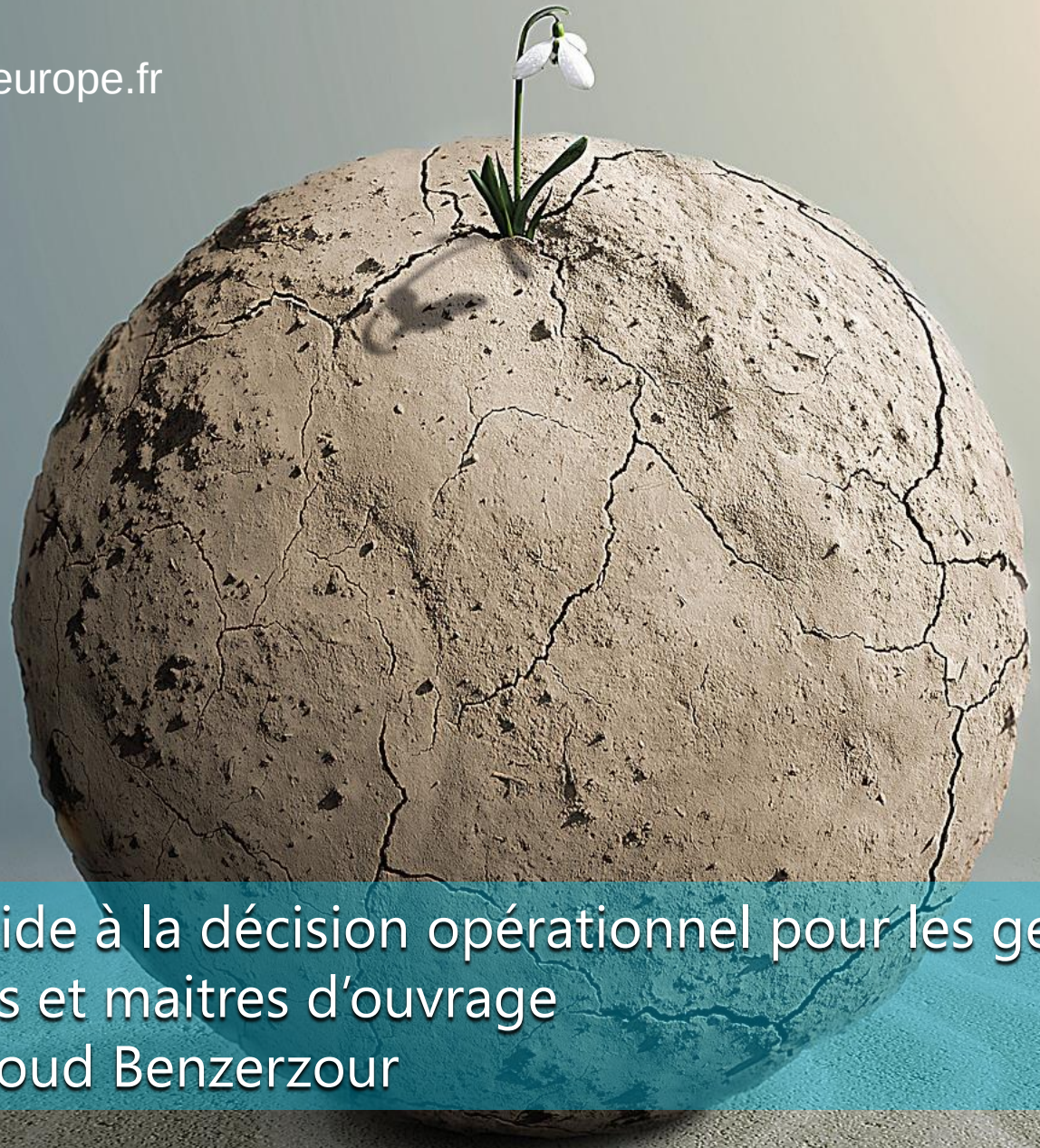


Durabilité des matrices cimentaires à base de sédiments de dragage	Formulation expérimentale par la méthode DMDA	Valorisation Matrices polymériques	Modélisation des contraintes opp de la valorisation des sédiments	Valorisation du verre dans une matrice cimentaire	Modélisattion de la compacité granulaire	Impression 3D Covlorisation sed – A. lin- FVPR	Valorisation terres excavées en industrie cimentaire	Traiment déchets: approche environnementale	Covalorisation béton célulaire	Valorisation par calcination et flash calcinantion
Thèse A. Safhi	Thèse P. OUEDRAOGO	Thèse I. ENNAHAL	Thèse A. ZERAOUI	Thèse A. BOUCHIKHI	P. Doc S. Benturkia	PHD J. Daher	MAA J. Kleib	P. Doc A. Mahmat Ahmet	thèse H. El mouaden	thèse C. Duc Chinh

thèse - post doc (2020 2021)

Contact:
mahfoud.benzerzour@imt-nord-europe.fr

Merci



Institut Mines-Télécom

Outil d'aide à la décision opérationnel pour les gestionnaires, maitres d'œuvres et maitres d'ouvrage

Pr. Mahfoud Benzerzour

IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE