

VALORISATION DES SEDIMENTS MARINS DANS LES TRAVAUX PUBLICS, RETOUR D'EXPERIENCE.



Dr. Pascal GREGOIRE, expert international



Intersed' 2022 - valorisation des sédiments : Etat de l'art et innovations
24 mars 2022 - Lille, France

PLAN

- 1/ PROBLEMATIQUE
- 2/ CARACTERISATION ET IMPACTS
- 3/ OBJECTIFS ET LIMITES
- 4/ MODELISATION DES DONNEES
- 5/ IDENTIFICATION DES CONTRAINTES
- 6/ DEMARCHE ET MODELISATION
- 7/ LA VALORISATION DES SEDIMENTS
- 8/ CONCLUSIONS



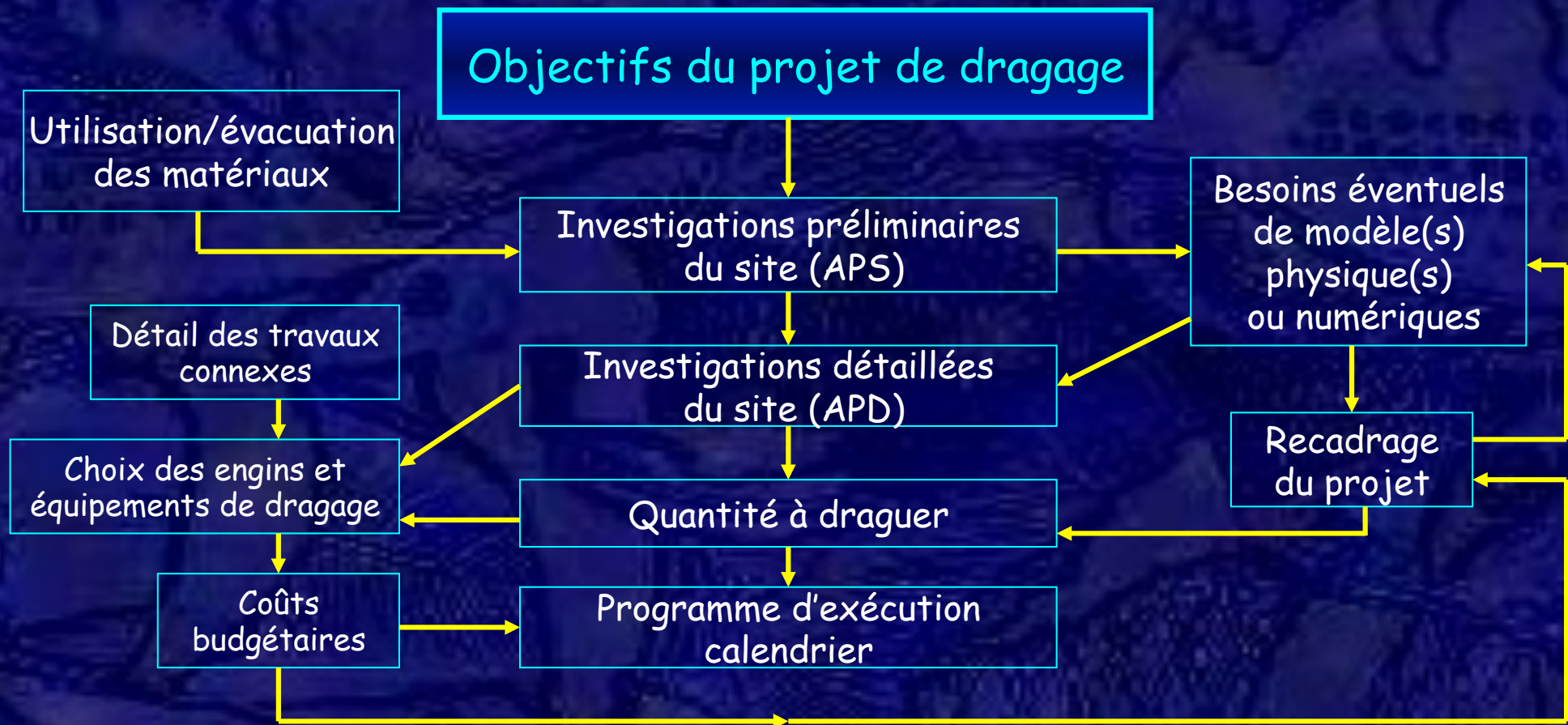
INTRODUCTION GENERALE



- ❑ Rôle stratégique de l'activité portuaire
- ❑ Dragage pour l'accès des navires
- ❑ Protection de l'environnement et immersion
- ❑ Complexité de gestion et avis divergents
- ❑ Modèle d'aide à la décision

PROBLEMATIQUE

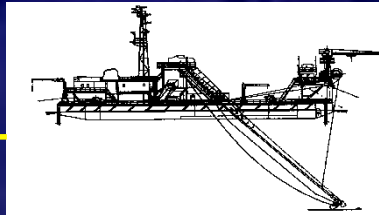
- ✓ Conditions hydrodynamiques, envasement.
- ✓ 185 millions de tonnes/an en Europe.
- ✓ Accords internationaux, Convention de Londres.
- ✓ Risques liés à l'immersion.
- ✓ Opération de génie civil, processus de conception.



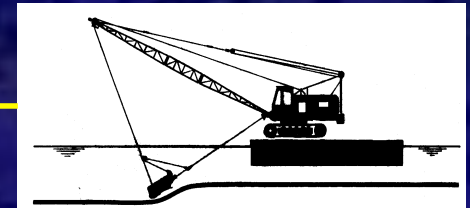
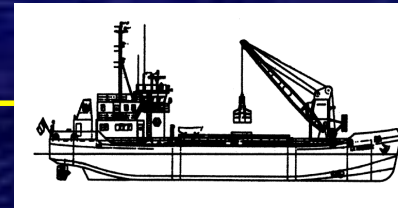
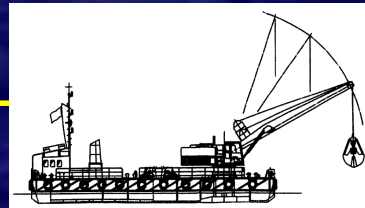
• Les dragues mécaniques

Dragues mécaniques

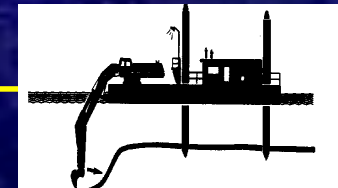
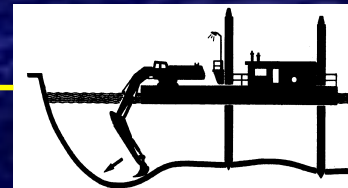
Dragues à godets



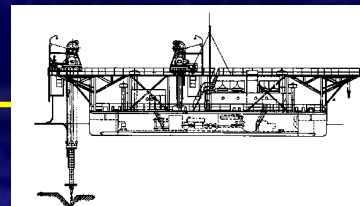
Dragues à bennes



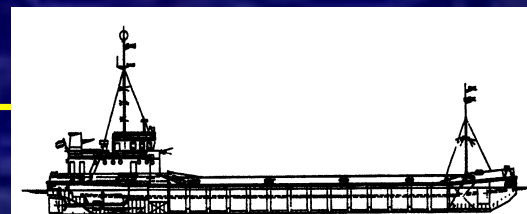
Dragues rétrocaveuses, à cuiller



Dragues briseurs de roches



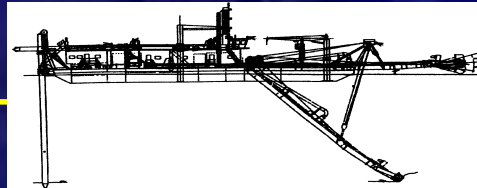
Engins auxiliaires, chalands



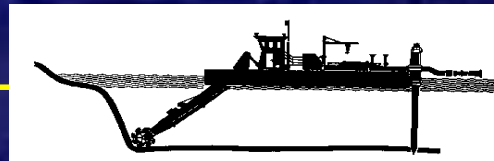
• Les dragues hydrauliques

Dragues hydrauliques

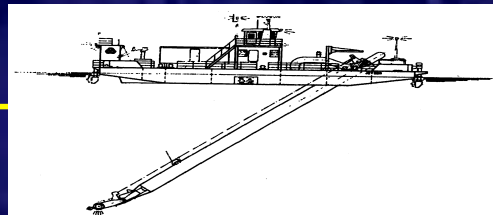
Dragues désagrégatrices



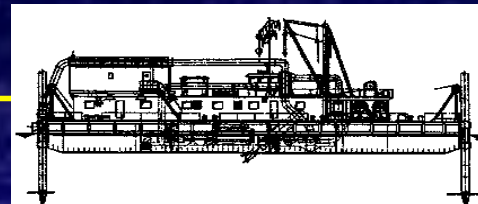
Dragues à roue excavatrice



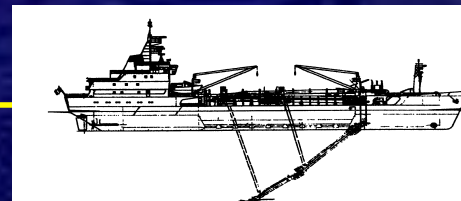
Dragues à injection



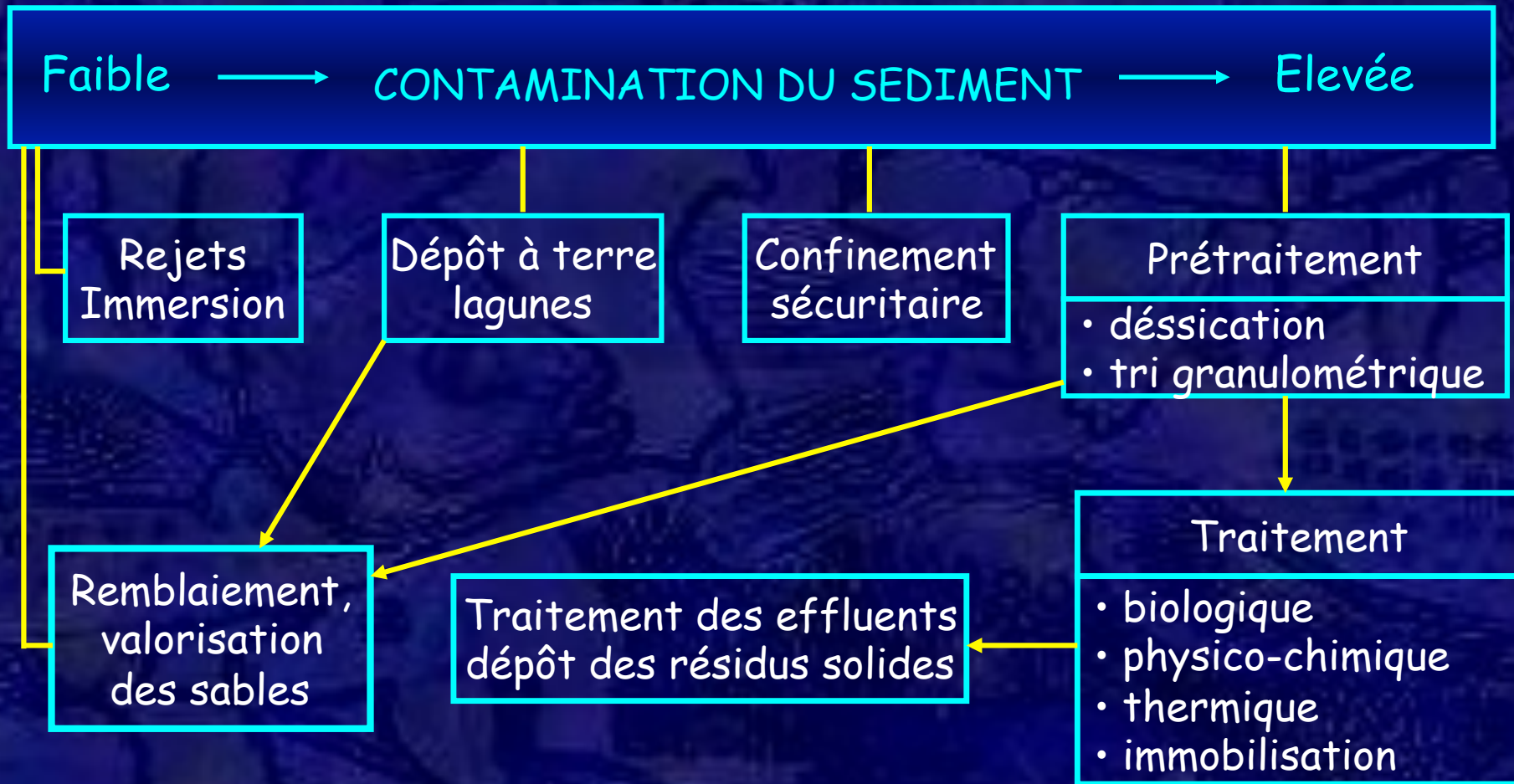
Dragues suceuses stationnaires



Dragues aspiratrices en marche



• Le devenir des sédiments



[Alzieu et al, 1999]

CARACTERISATION ET IMPACTS

- ✓ Préservation des écosystèmes côtiers.
- ✓ Facteurs physiques, chimiques et biologiques.
- ✓ La caractérisation physique et chimique.



Caractérisation physique

Etude granulométrique

Etude minéralogique

Analyse calcimétrique

Analyse des résidus

[Caplat, 2001]

Caractérisation chimique

Les substances
nutritives

NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 ,
...

Les métaux lourds
et organiques

Cd, Hg, As, Cu, Ni,
Pb, Zn, TBT, ...

Les substances
organiques

HAP, PCB, HCH,
DDT, PCDD, PCDF, ...

Les substances
radioactives

^{60}Co , ^{137}Cs , ^{138}Pu
 ^{239}Pu , ^{241}Am ...

[AIPCN, 2003]

- La caractérisation biologique estime les effets biologiques potentiels des sédiments de dragage.

[Alzieu et al, 1999]

(Ex. : test de toxicité aiguë sur le développement embryonnaire des bivalves)

Le développement embryonnaire d'œufs fécondés est réalisé dans les milieux à tester afin de déterminer les concentrations qui induisent une anomalie du développement au bout de 24h (*C.Gigas*) ou 48h (*M.Edulis*)

Conditions de réalisation :

- Pas d'alimentation pendant la durée du développement embryonnaire
- Durée et température: 24h/24°C ou 48h/20°C
- Salinité: 25 à 35, pH 7.5 à 8.5, taux d'oxygène > 90% de la saturation



Tous les paramètres sont mesurés en début et fin d'essais, les concentrations qui provoquent des larves anormales sont déterminées en CE 100 (100% d'anomalies) , CE 50 ou CE 20 selon la toxicité induite.

Ce test concerne l'évaluation de la toxicité des sédiments, d'extraits aqueux ou de l'eau interstitielle.

Ex. : impacts socio-économiques

Dragage et mise en dépôt par stockage ou immersion

← Conflits d'usage potentiels

Eaux de
baignade

Production
Conchylicole
et aquacole

Pêche
industrielle
côtière

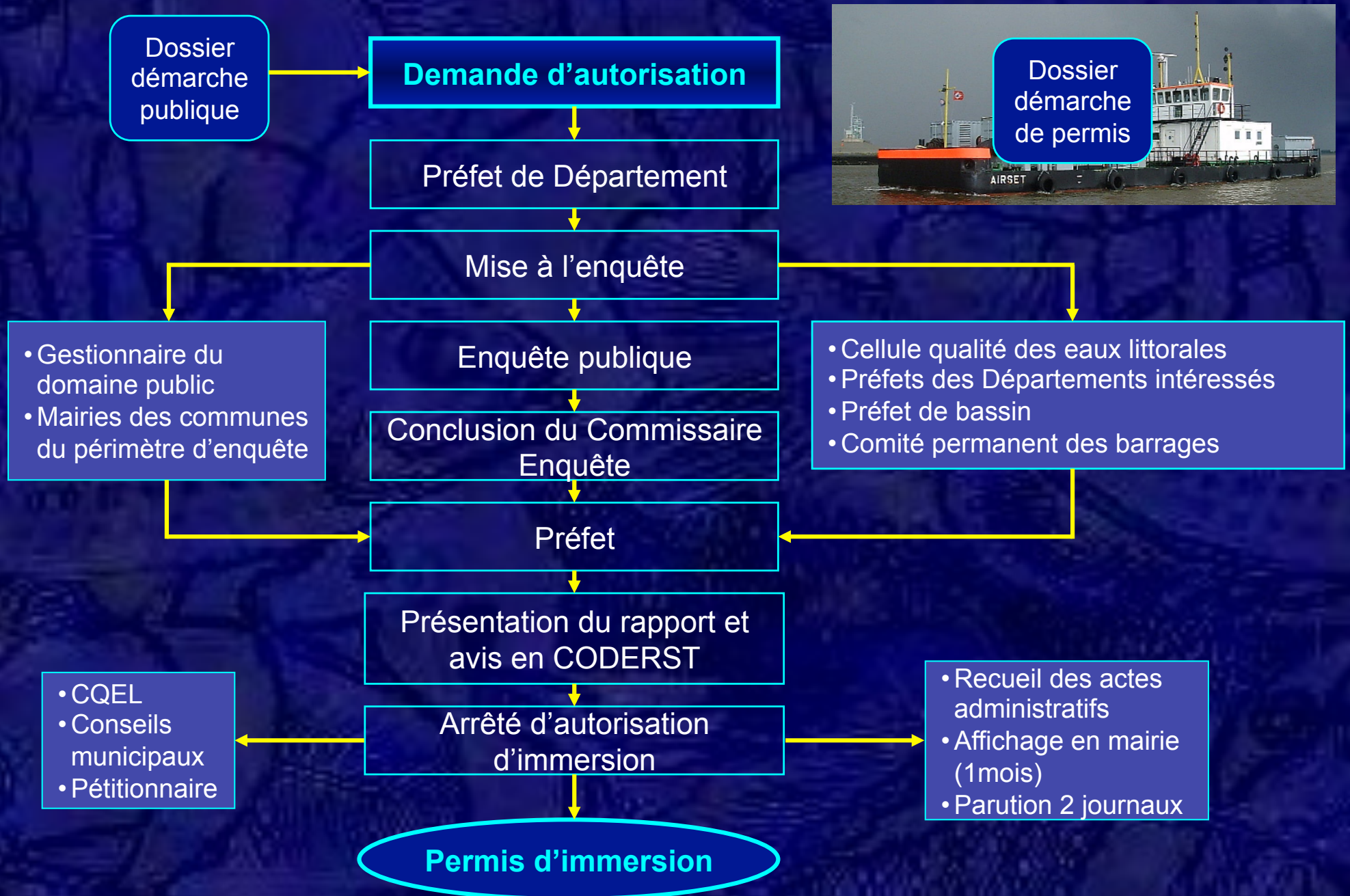
Tourisme et
plaisance

Espaces naturels
littoraux
protégés

Atteintes potentielles à la qualité de vie, aux ressources économiques ou naturelles, au patrimoine environnemental, aux écosystèmes et à la biodiversité, à la santé publique.



• Gestion et pilotage d'une opération de dragage.



- ✓ Incertitudes scientifiques sur les impacts.
- ✓ Contexte réglementaire en évolution.
- ✓ Décisions difficiles et débats passionnés.
- ✓ Recherche orientée sur la méthodologie des opérations de dragages maritimes et la prise de décision par l'analyse comparative de variantes.
- ✓ L'approche intègre l'analyse multicritère au travers notamment de l'évaluation environnementale.
- ✓ La méthodologie doit conduire à un niveau de transparence et de justification qui apporte une recommandation finale légitime.

MODELISATION DES DONNEES

DONNEES DU PROJET

Météorologiques

Vent

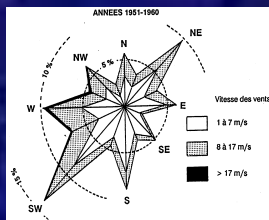
Température

Humidité

Brouillard

Glace

Pluie



Hydrographiques

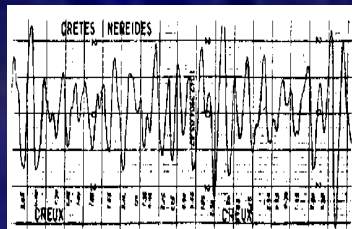
Marées

Courants

Houles

Sédimentation

Obstacles



Géologiques et géotechniques

Matériaux,
localisation et
volumes.

Propriétés
physiques et
mécaniques



Environnementales et sanitaires

Qualité des eaux

Q. des sédiments

Q. de l'air

Q. des écosystèmes

Le bruit



Régionales socio-économiques

Aquaculture

Pêches maritimes

Navigation côtière

Plaisance

Tourisme

Chasse

Espaces naturels



Importance des phénomènes naturels, de l'environnement physique et des données socio-économiques dans la démarche d'analyse initiale.

IDENTIFICATION DES CONTRAINTES

Les contraintes du projet

Environnement physique

- Les accès au chantier
- Le gabarit dragage
- Nature du sol
- Conditions naturelles

Meilleures pratiques environnementales

- Optimisation des quantités
- Minimisation des effets de l'élimination
- Amélioration de la qualité
- Minimisation des impacts

Conventions et réglementations

- Exigences réglementaires
- Internationales
- Européennes
- Nationales
- Règlements locaux

Maîtrise des dépenses

- A/R matériel
- Dragages
- Transport, immersion
- Stockage, confinement
- Traitement, évacuation
- Traitement, valorisation

Délai d'exécution

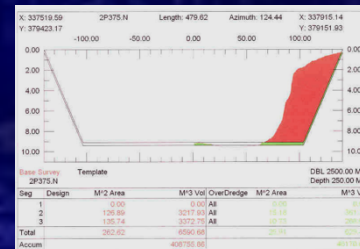
Urgence relative pour :

- Sécurité maritime
- Nouveaux trafics
- Protection de l'environnement
- Commercialisation de matériaux

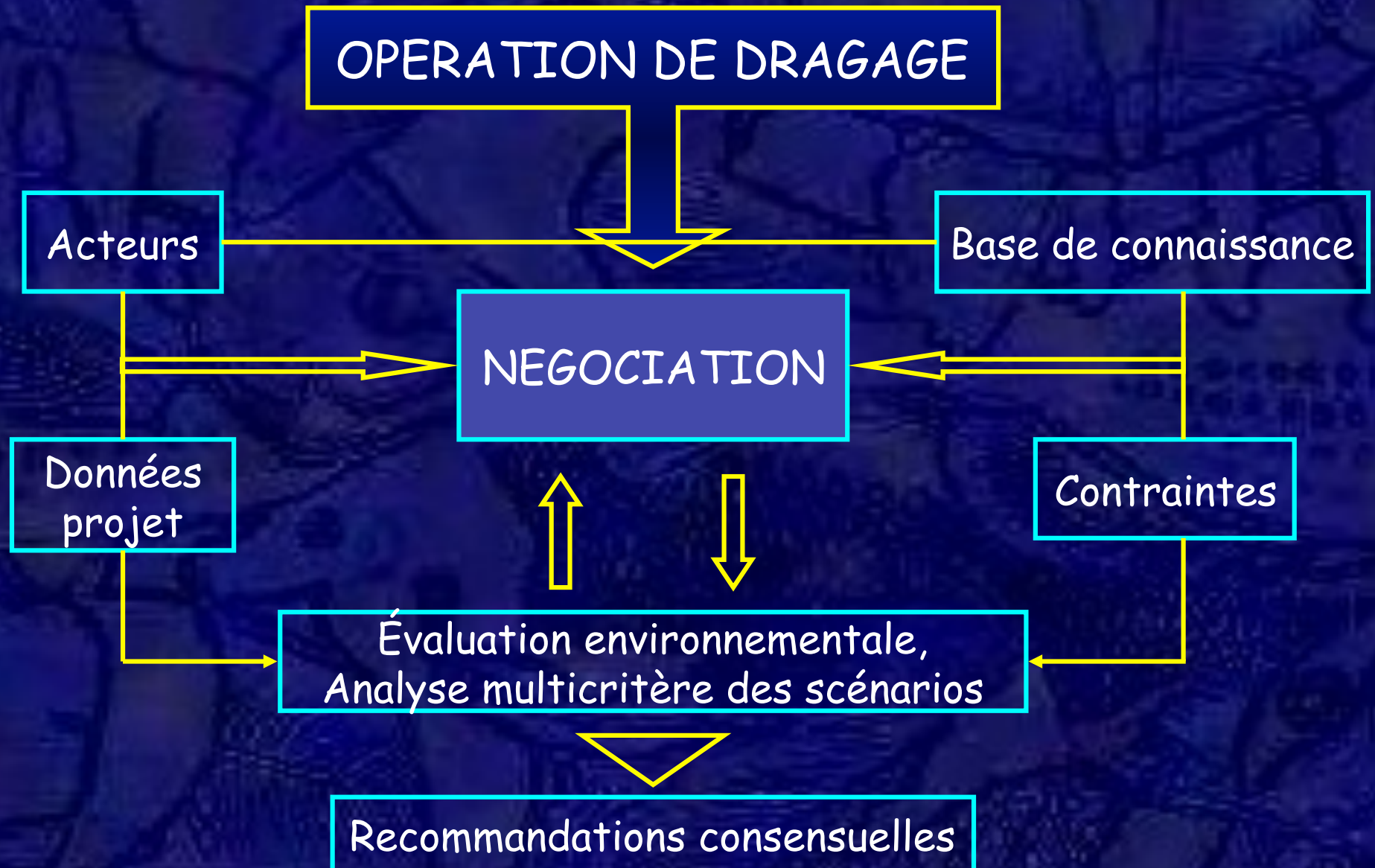
Socio-économiques

- Aquaculture
- Pêches maritimes
- Tourisme, plaisance, loisirs
- Espaces naturels
- Navigation, trafic portuaire

ALLUVIAL MINING LIMITED		Borehole Number
Borehole BH 4		
Client : BELFAST HARBOUR COMMISSIONERS		Coordinates : 37446.0 N, 37414.0 E
Project : BELFAST LOUGH GROUND INVESTIGATION		Ground Level (m) : 0.38
Sampling Method : Pileon Weylman 1.5 L LDP - 200 mm diam		Date : 06/01/1998
Depth (m)	Soil Description	Remarks
0.00	Very soft, black, organic, silty CLAY	
0.50	sandy below 2.0 m.	
1.00	Very soft, light brown CLAY	
1.50	Very soft, grey-brown, silty CLAY with peaty bedrock at base	
2.00	Medium dense, slightly silty, gravelly SAND (FG) - yellow-orange, grey, reddish-brown throughout	
2.50	Dark, gravelly (FG) SAND (FG)	
3.00	Loose, reddish-brown, silty SAND (R)	
3.50	the bed of reddish brown CLAY 7.20 - 7.25 m	
4.00		
4.50		
5.00		
5.50		
6.00		
6.50		
7.00		
7.50		
8.00		
8.50		
9.00		
9.50		
10.00		
10.50		
11.00		
11.50		
12.00		
12.50		
13.00		
13.50		
14.00		
14.50		
15.00		
15.50		
16.00		
16.50		
17.00		
17.50		
18.00		
18.50		
19.00		
19.50		
20.00		
20.50		
21.00		
21.50		
22.00		
22.50		
23.00		
23.50		
24.00		
24.50		
25.00		
25.50		
26.00		
26.50		
27.00		
27.50		
28.00		
28.50		
29.00		
29.50		
30.00		
30.50		
31.00		
31.50		
32.00		
32.50		
33.00		
33.50		
34.00		
34.50		
35.00		
35.50		
36.00		
36.50		
37.00		
37.50		
38.00		
38.50		
39.00		
39.50		
40.00		
40.50		
41.00		
41.50		
42.00		
42.50		
43.00		
43.50		
44.00		
44.50		
45.00		
45.50		
46.00		
46.50		
47.00		
47.50		
48.00		
48.50		
49.00		
49.50		
50.00		
50.50		
51.00		
51.50		
52.00		
52.50		
53.00		
53.50		
54.00		
54.50		
55.00		
55.50		
56.00		
56.50		
57.00		
57.50		
58.00		
58.50		
59.00		
59.50		
60.00		
60.50		
61.00		
61.50		
62.00		
62.50		
63.00		
63.50		
64.00		
64.50		
65.00		
65.50		
66.00		
66.50		
67.00		
67.50		
68.00		
68.50		
69.00		
69.50		
70.00		
70.50		
71.00		
71.50		
72.00		
72.50		
73.00		
73.50		
74.00		
74.50		
75.00		
75.50		
76.00		
76.50		
77.00		
77.50		
78.00		
78.50		
79.00		
79.50		
80.00		
80.50		
81.00		
81.50		
82.00		
82.50		
83.00		
83.50		
84.00		
84.50		
85.00		
85.50		
86.00		
86.50		
87.00		
87.50		
88.00		
88.50		
89.00		
89.50		
90.00		
90.50		
91.00		
91.50		
92.00		
92.50		
93.00		
93.50		
94.00		
94.50		
95.00		
95.50		
96.00		
96.50		
97.00		
97.50		
98.00		
98.50		
99.00		
99.50		
100.00		



L'ensemble de ces contraintes influence le choix des matériels et des méthodes d'exécution, impose des difficultés de réalisation, influence la mise en œuvre de l'opération, et peut provoquer des litiges financiers ou des recours juridiques liés à des conflits potentiels d'usage et d'occupation dans le cadre des travaux.



✓ La phase de structuration



Structuration du modèle

Formulation du problème

Piloter l'opération de dragage, la mise en dépôt, le traitement ou la valorisation

Structuration de la procédure

Imbrication de l'EIE et de l'ADM pour la résolution du problème

Structuration du modèle

Objectifs, limites du système, structuration de la problématique

Définition des actions potentielles (scénarios)

Identification et dimensions des critères

Rôle des acteurs et extension aux parties intéressées

Légitimation à priori

Interne ; externe

✓ La phase d'exploitation



Exploitation du modèle

Analyse de l'état actuel et modélisation des conséquences

Analyse des flux, analyses spatiale temporelle, écologique, économique, sociale

Evaluation des performances

Evaluation des impacts sur l'environnement

Consensus pour la négociation

Agrégation des informations

Simplification de l'information et méthode d'agrégation

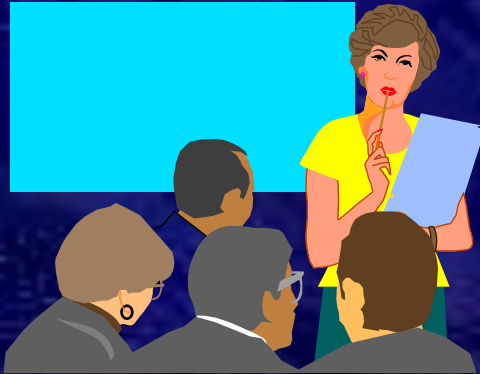
Analyse de robustesse et résultats

Sensibilité des résultats, incertitudes

Recommandations envisagées

Acceptation du projet, adaptations nécessaires

✓ La phase de concrétisation



Concrétisation des résultats

Légitimation externe à posteriori

Consultation des tiers,
recours, informations

Décision globale

Prise en compte des recommandations

Mise en œuvre

Déroulement effectif,
suivi des mesures proposées

Légitimation interne à posteriori

Contrôle de mise en œuvre
et mesures correctrices

• L'évaluation environnementale :

✓ Modèle PER [OCDE, 1993]

PRESSION	ETAT	REPONSE
<ul style="list-style-type: none"> • Extraction, transport et mise en dépôt • Volume annuel en Mm³ in situ, de sédiments fins faiblement pollués • Travaux réalisés en campagnes d'entretien avec une périodicité et une durée en heures continues • Rejet par immersion à quelques miles des côtes sur des zones dédiées éventuellement dispersives à cause des courants de marées 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la turbidité et des MES remises en circulation • Des polluants-traces et dispersion • Biodisponibilité des polluants dans la colonne d'eau par Redox • Dégagement de gaz et d'odeurs • Diminution de la teneur en oxygène dissous • Eutrophisation planctonique • Réduction de l'intensité lumineuse à l'extraction et sur dépôt • Survie bactéries pathogènes • Etouffement ou ensevelissement de la faune et flore • Perturbation de la faune benthique • Exposition et risques de bioaccumulation des organismes vivants 	<ul style="list-style-type: none"> • Conventions internationales Londres, Oslo, Paris • Directives européennes sur l'eau, études d'impacts, ... • Lois françaises immersion, qualité des sédiments, incidence sur l'eau, code de l'environnement • Arrêtés préfectoraux permis d'immersion • Outils d'aide à la décision • Recherches scientifiques • Surveillance environnementale, mesures correctives

7

La valorisation potentielle des sédiments est envisageable dans différents secteurs.

Béton de sable autocompactant

Formulation : BSCS : CEM I/52,5 + L - FI - B35

Composition	Dosage
• Ciment CEM I/52,5 Dannes	200
• Laitier broyé (filler < 80 μm)	470
• Sable de dragage (0/0,18)	1120
• Eau	277
• Plastifiant sika viscocrete 500p	12,8

Résistance à la compression à 28 jours (MPa) 54,6

Ce béton entre dans l'appellation des bétons autocompactants. Il ne nécessite plus aucune vibration pour en assurer le serrage (test d'étalement, 65 cm).

Grave routière.

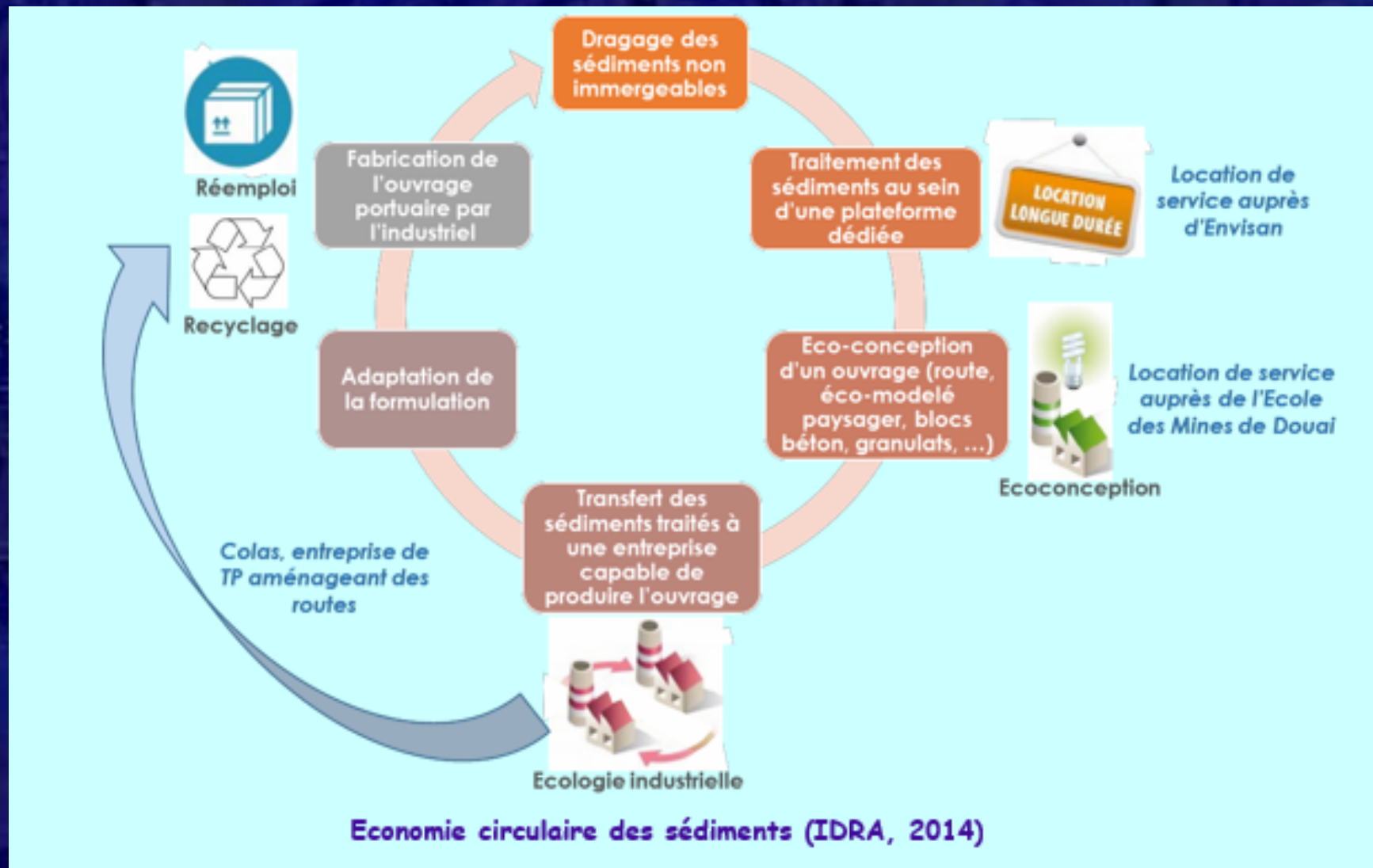
Formulations

1. liant CEM III/C 32,5 (ex CLK)
2. liant routier ROC AS (ciment d'Origny)

Composition	Mélange 1 (%)	Mélange 2 (%)
• Sable dragage (0/0,18)	72	69
• Sable correcteur calcaire (0/4)	21	25
• Ciment CEM III/C 32,5 PMES	7	-
• Liant ROC AS (Origny)	-	6
• Performances mécaniques (norme NFP 98-113)	Classe S2	Classe S2
• Indice portant immédiat (IPI)	> 60	> 60

Ces graves routières à partir de sable de dragage et de liants nécessitent une attention particulière à la variabilité du constituant (granulométries) afin de maîtriser les performances mécaniques.

✓ Économie circulaire des sédiments

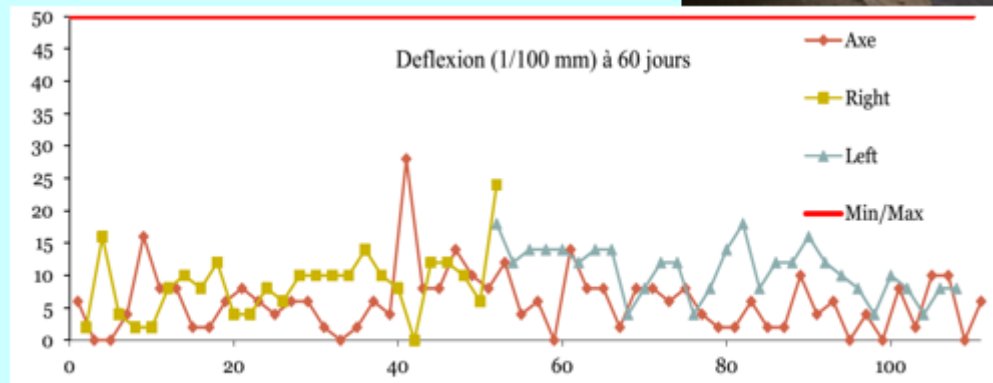


✓ Economie circulaire - Plateforme de traitement des sédiments



Cette nouvelle filière de gestion à terre prend appui sur une plateforme de traitement permettant d'accueillir les sédiments dragués.

✓ Réalisation opérationnelle d'une route PL



✓ Réalisation opérationnelle de blocs LEGO en béton



✓ Réalisation opérationnelle de blocs LEGO en béton



✓ Réalisation opérationnelle de blocs
TETRAPODE en béton



✓ Réalisation opérationnelle de blocs
TETRAPODE en béton



- ➡ L'objectif de la démarche de valorisation est fondé sur le réemploi potentiel des sédiments marins au regard de l'importance des volumes disponibles, traditionnellement transportés et déposés en mer, comme un déchet.
- ➡ Les pistes de valorisation fabrication d'une grave routière, fabrication de blocs béton, ou autres pistes (remblais, plateformes, granulats, tuiles, briques, ...) ont permis de démontrer la faisabilité technique et les applications dans le domaine du BTP.
- ➡ La valorisation contribue au développement de l'économie circulaire par le remploi des sédiments dans le cadre du recyclage des matériaux.