





CONSTRUCTION DURABLE D'UN MUR DE QUAI – ANALYSE DU CYCLE DE VIE



João Martins, Cécile Prüm, Perla El Boueiz, Galdric Sibiude
ArcelorMittal Palplanches, ArcelorMittal R&D (Luxembourg)



DU 22 AU 24
JUN 2022

1^{ères}

Rencontres de **L'INGÉNIERIE MARITIME**

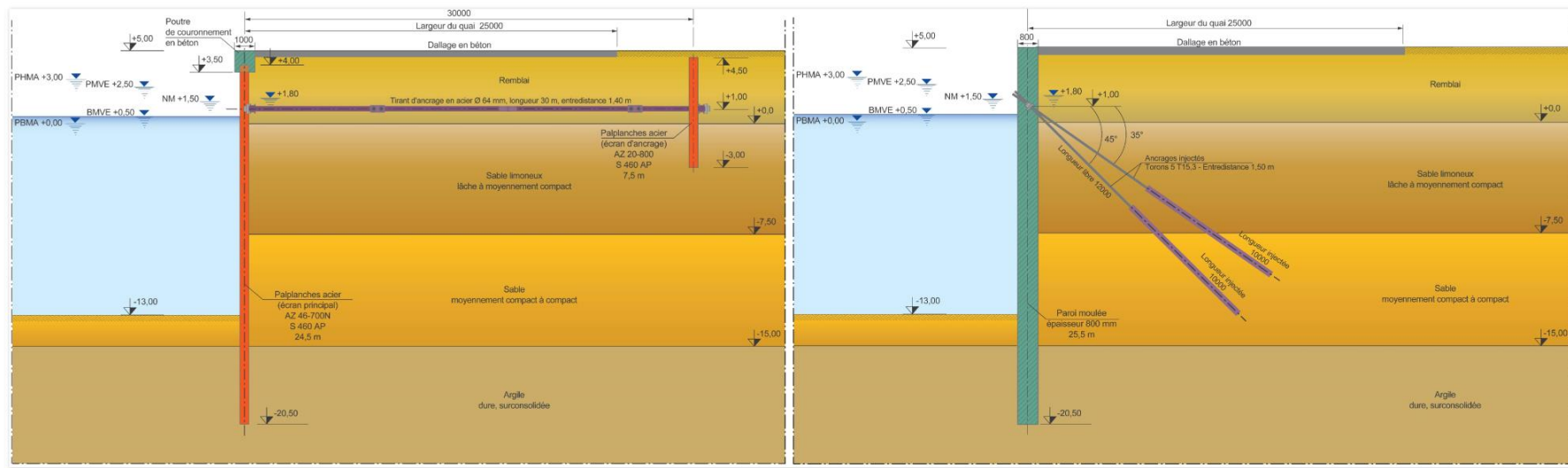
CAEN

OPTIMISATION DU DIMENSIONNEMENT

▶ Alternatives techniquement équivalentes, mais différences

- ▶ coût
- ▶ impact environnemental
- ▶ durabilité / maintenance

Laquelle choisir?



CONSTRUCTION MARITIME – IMPACT ENVIRONNEMENTAL

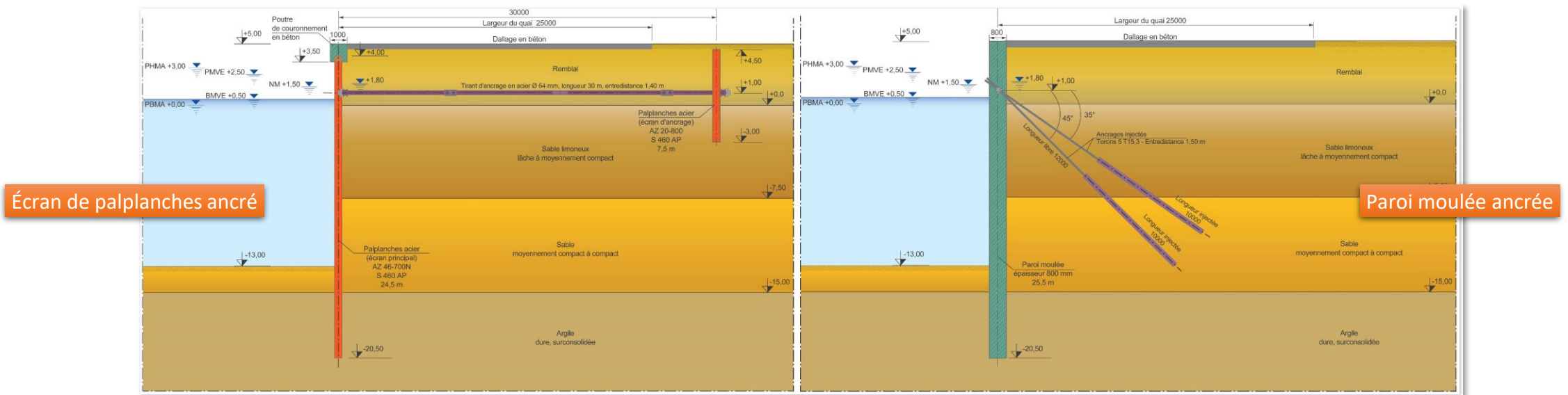
- ▶ Écrans palplanches métalliques
 - ▶ acier, peu de béton
- ▶ Parois moulées
 - ▶ béton, peu d'acier
- ▶ Murs poids
 - ▶ beaucoup de béton, peu d'acier
- ▶ *Deck on piles*
 - ▶ béton et acier



Quai à containers | Gdansk | PL

CAS D'ÉTUDE - ÉTUDE TECHNIQUE & ÉCONOMIQUE

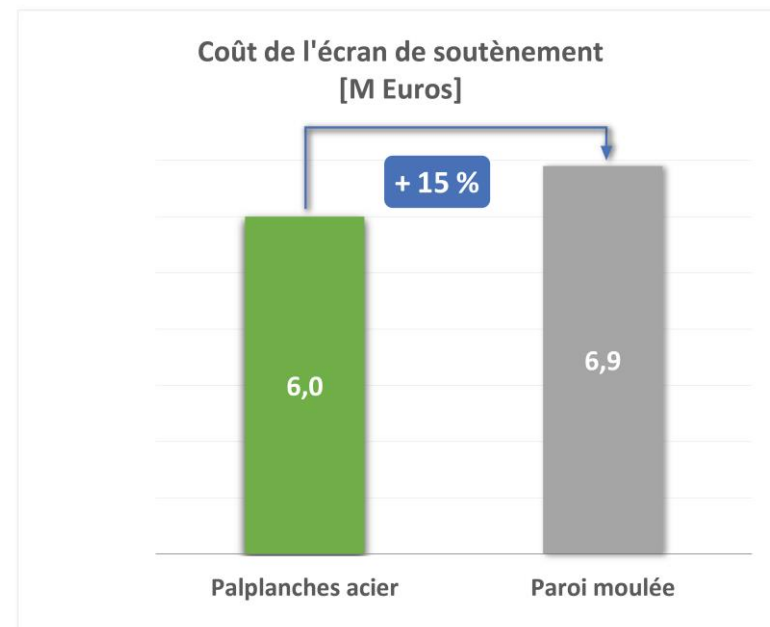
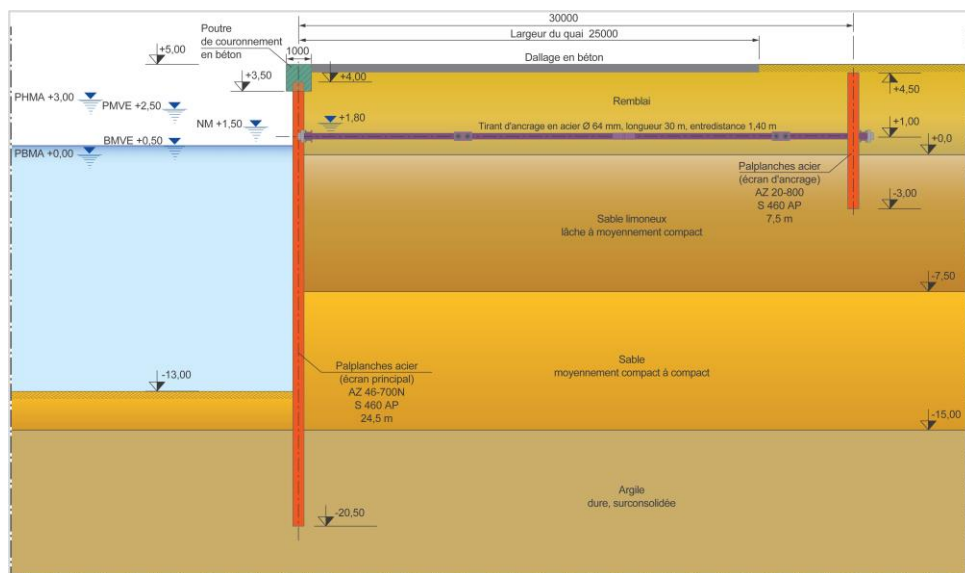
- ▶ Bureau d'ingénieurs Tractebel (BE) – 2 alternatives
- ▶ terminal bateaux de croisière au port d'Anvers (BE)
- ▶ 200 m long, tirant d'eau 13,0 m, plateforme à +5,0 m, sols types de la région
- ▶ durée de vie 50 ans



CAS D'ÉTUDE - ÉTUDE TECHNIQUE & ÉCONOMIQUE

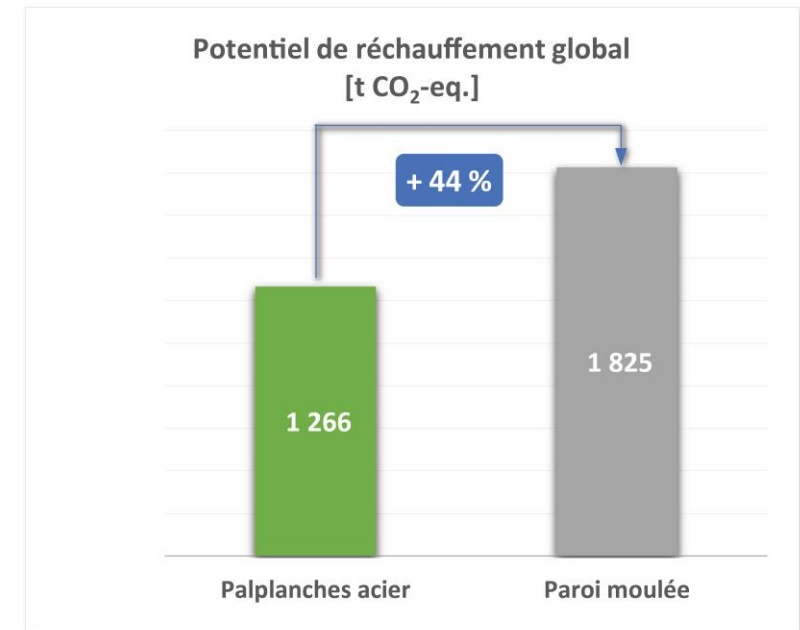
- ▶ Coût construction: + 15 %
- ▶ Coût total cycle de vie: + 20 % (avec déconstruction et recyclage)
- ▶ Exécution (temps): + 18 %

Note: conclusions du cas d'étude présenté ne peuvent pas être généralisées!



CAS D'ÉTUDE - ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)

- ▶ ACV suivant ISO et EN 15804
 - ▶ ArcelorMittal R&D
 - ▶ Revue par un panel de 3 experts indépendants
- ▶ Hypothèses du cas de base
 - ▶ DEP (Déclaration Environnementale de produit) d'un même opérateur (*IBU eV*, DE)
 - ▶ Acier: taux de recyclage final 99 %
 - ▶ Transport par train
- ▶ Résultat: différence 44 % de CO₂ éq.



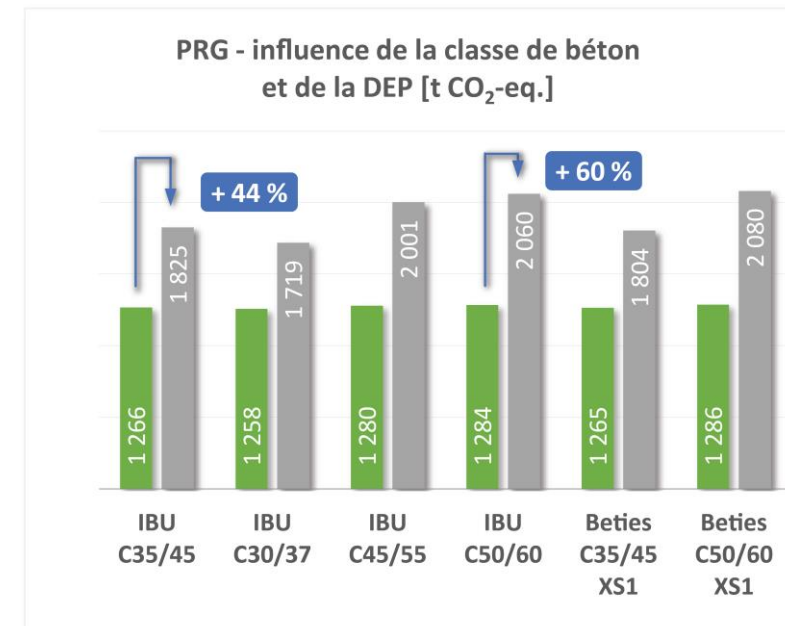
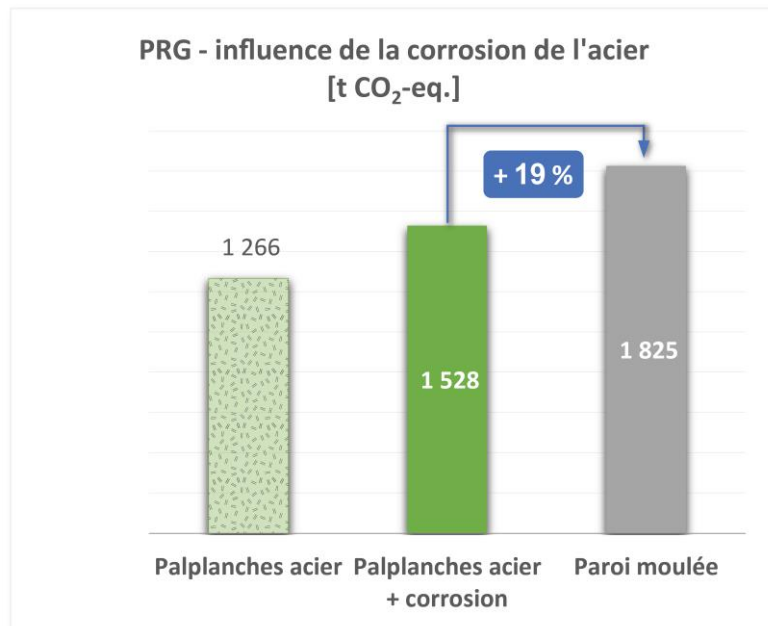
ACV – ÉTUDE DE SENSIBILITÉ

Corrosion de l'acier (palplanches)

▶ Selon 4.1 et 4.2 de l'EN 1993-5

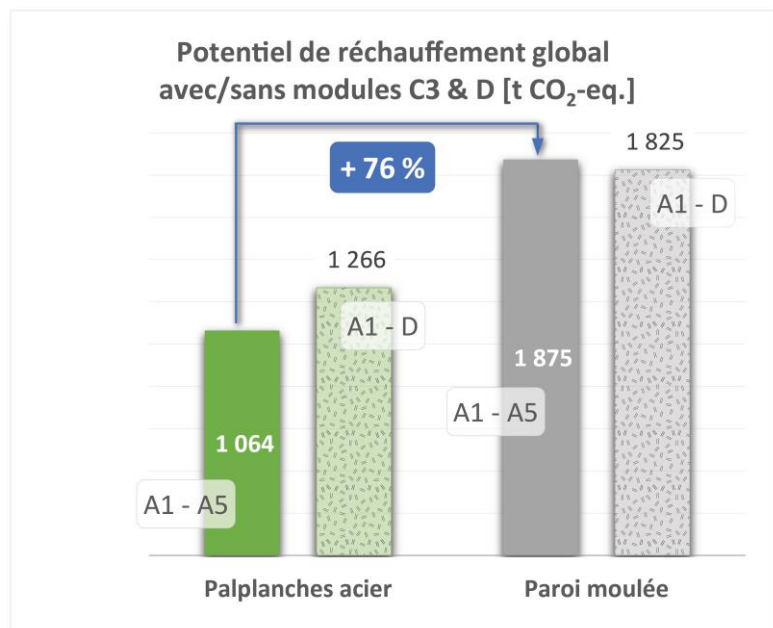
Classes de béton (paroi moulée) et DEP

▶ DEP *IBU e.v.* et *Beties*



ACV – ÉTUDE DE SENSIBILITÉ

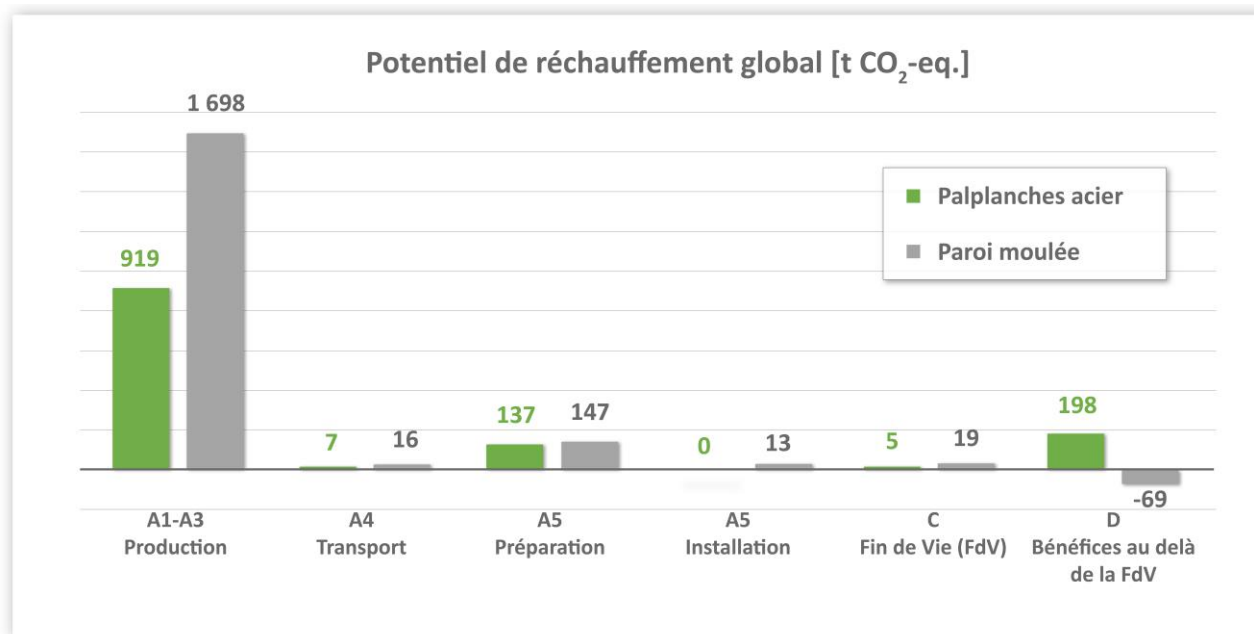
Considération des modules C3 & D (entre autres: recyclage)



- ▶ EN 15804 + A2 impose le module D, mais parfois négligé dans le temps!
- ▶ Module D est
 - ▶ « positif » pour l'acier FAE, le négliger serait une erreur (ici: $\approx 15\%$)
 - ▶ « négatif » pour la paroi moulée, \Rightarrow réduit légèrement son impact

ACV – IMPACTS PRINCIPAUX

- ▶ Production (acier ≈ 70 %) & recyclage (acier ≈ 15 %)
- ▶ Transport & installation ≤ 10 % (en général)



ACV – DEP – COMMENTAIRES

▶ DEP - influences

- ▶ Logiciel
- ▶ Base de données – données manquantes
- ▶ Expertise des analystes environnementaux

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -eq	5,81E-01	4,88E-02	5,67E-02	2,62E-02	1,80E-04	5,18E-04	-1,38E+00
ODP	kg CFC11 -eq	6,94E-09	9,00E-09	9,82E-09	5,10E-09	2,00E-11	1,72E-10	-5,71E-08

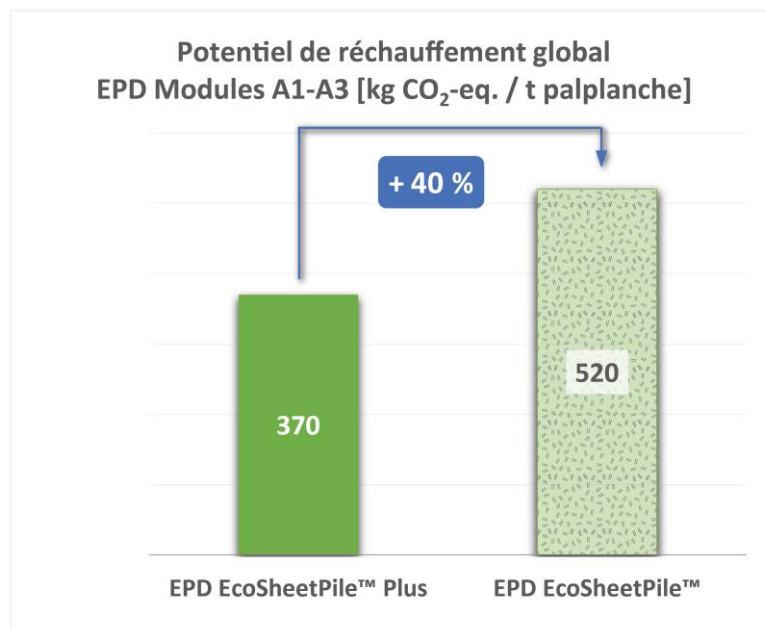
DEP d'une poutrelle acier.
PRG (GWP) du cycle de vie (Modules A1 – D)
serait négatif (-799 kg CO₂-éq/t) !!

▶ ACV - hypothèses de calcul

- ▶ Taux de recyclage – corrosion acier
- ▶ Taux de recyclage – carbonatation béton
- ▶ DEP / bases de données génériques
- ▶ Étude de sensibilité

VALORISATION DE SOLUTIONS ÉCOLOGIQUES

- ▶ Exemple: même palplanche, même qualité / nuance, même usine
 - ▶ Production four à arc électrique (FAE) à partir de 100 % de ferraille + alliages
 - ▶ Différence: mix électricité **renouvelable** (éolien / solaire) vs. standard



+40 % CO₂-éq.
(Modules A1-A3)

VALORISATION DE SOLUTIONS ÉCOLOGIQUES - MONÉTISATION

- ▶ Méthode implémentée aux Pays-Bas depuis 2015 (infrastructure et bâtiments) pour les adjudications publiques
- ▶ Base de données et/ou DEP hollandaises
 - ▶ plusieurs indicateurs environnementaux!
- ▶ ACV de base (Maître d'œuvre)
 - ▶ ⇒ indicateur global ECI seuil max.
- ▶ Crédit fictif fonction de l'ECI (ACV) de l'entreprise
 - ▶ choix de matériaux / alternatives

Example 1: For the expansion of a motorway between Schiphol and Almere, the government calculated a reference ECI of approximately 14M. In the tendering procedure, they decided to distribute the fictional discount to projects who would present proposals with an ECI lower than 12M. The maximum discount amounted to 10M€ on the full project budget. The fictional discount was distributed linearly between proposals with a minimum ECI of 6M€ and 12M€¹.

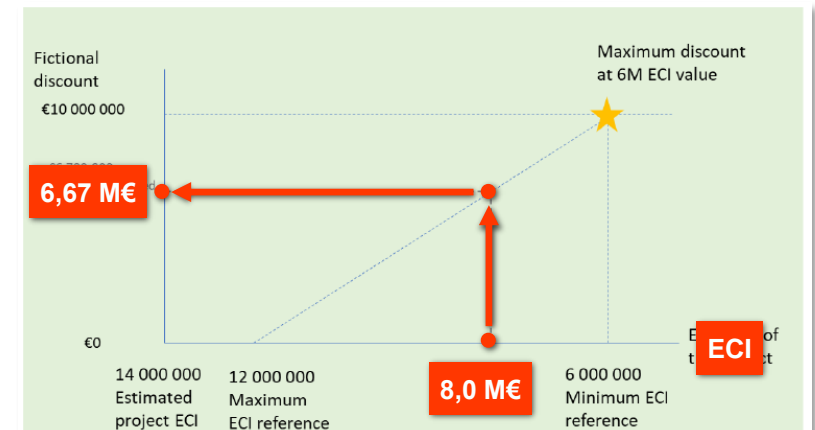


Figure 2: Distribution of the fictional discount according to ECI

RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE – SOLUTIONS « INNOVANTES »

Optimisation du dimensionnement

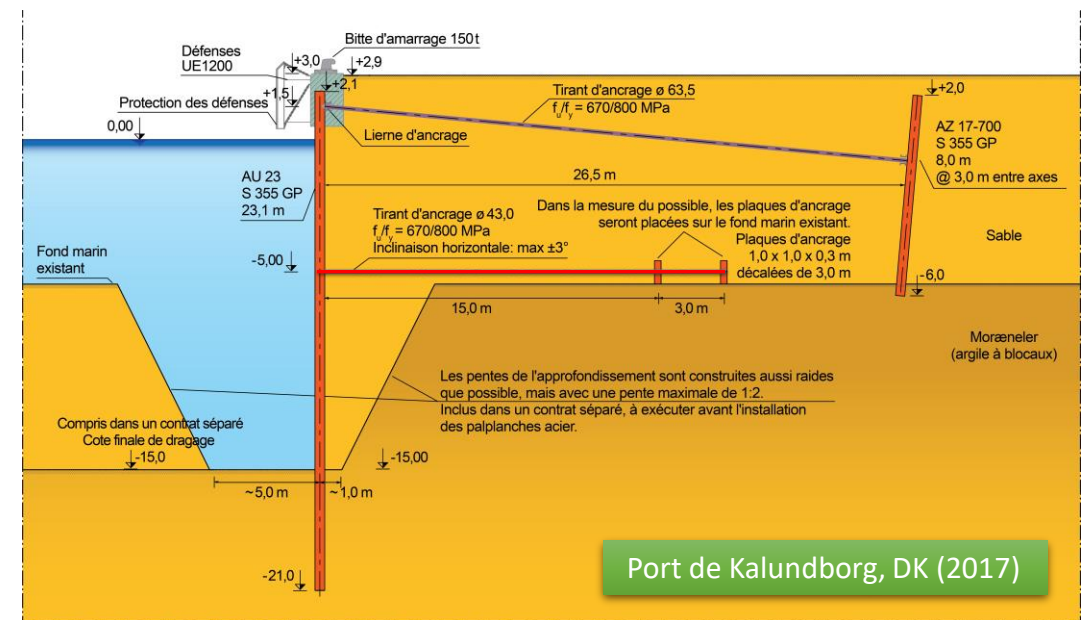
- ▶ profils plus légers
- ▶ nuances d'acier plus hautes

Années	Profil	W_{el} (cm ³ /m)	f_y (MPa)	$M_{c,Rd}$ (kNm/m)	Masse (kg/m ²)	Δ Masse (%)
1970	BZ VN	3 720	235	874	237	-
1990	AZ 25	2 455	355	872	145	-39 %
2005	AZ 20-700	1 945	460	895	119	-50 %
2015	AZ 20-800	2 000	460	920	111	-53 %

À considérer: battabilité, durabilité,...

Optimisation du système

- ▶ plusieurs ancrages dont 1 sous le niveau d'eau



OBJECTIF NEUTRALITÉ CARBONE EN 2050. LES DÉFIS DES PRODUCTEURS DE MATÉRIAUX

▶ Emissions CO₂ au niveau mondial

- ▶ sidérurgie 7 %
- ▶ cimenteries 7 %

▶ Solutions

- ▶ sidérurgie – technologie existe (DRI), d'autres sont à développer – investissements colossaux nécessaires (ex. hydrogène « vert »)
- ▶ ciment – technologies en voie de développement
- ▶ communes – capture de CO₂, transformation et/ou stockage (CCUS), compensation

⇒ Investissements ⇒ augmentation des prix des matières

CONCLUSIONS

- ▶ Trouver le meilleur compromis entre critères économiques et environnementaux – ex. « *monétisation* » aux Pays-Bas ⇒ ACV
 - ▶ Définir des critères de sélection dès l'avant-projet
 - ▶ Ne pas se limiter à l'indicateur environnemental CO₂
- ⇒ Inciter les producteurs / entreprises à réduire leur empreinte environnementale (innovation, développement)
- ⇒ Préférer des DEP individuelles aux collectives / bases de données
- ⇒ Réutiliser & recycler autant que possible

Note: conclusions cas d'étude présenté ne peuvent être généralisées!

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

joao.martins@arcelormittal.com

cecile.prum@arcelormittal.com

<https://palplanches.arcelormittal.com>



DU 22 AU 24
JUN 2022

1^{ères} Rencontres de

L'INGÉNIERIE MARITIME

CAEN