

Construction durable de murs de quais – Analyse du Cycle de Vie

João Martins¹, Cécile Prüm², Perla El Boueiz², Galdric Sibiude³

¹ ArcelorMittal – Palplanches, Esch-sur-Alzette, G.D. du Luxembourg

² ArcelorMittal R&D, Esch-sur-Alzette, G.D. du Luxembourg

³ ArcelorMittal R&D – Environnement, Maizières-lès-Metz, France

E-mail: joao.martins@arcelormittal.com

Résumé. Le changement climatique va influencer le domaine de l'infrastructure, car afin de réduire l'empreinte carbone, des critères environnementaux devront être prévus dans les soumissions publiques. Ceci est déjà le cas dans quelques pays européens, tel que les Pays-Bas où les procédures d'appels d'offres publics ont recours à la monétisation d'indicateurs environnementaux suivant une méthode assez simple. Basée sur des Déclarations Environnementales de Produits (DEP) hollandaises, la monétisation permet de calculer un indicateur environnemental de coût (IEC) unique afin de comparer de façon équitable différentes solutions, et sous certaines conditions, d'attribuer la soumission à une solution plus écologique même si elle n'est pas la moins chère. Les entreprises de travaux publics et les industriels se sont engagés à atteindre la neutralité carbone avant 2050, mais cette transformation nécessite du temps et des investissements colossaux. Cependant, les pouvoirs publics et les investisseurs privés peuvent dès aujourd'hui soutenir une réduction notable des émissions de CO₂ en incitant les acteurs de la construction à réduire leur impact environnemental. En 2019 ArcelorMittal Palplanches a mandaté un bureau d'ingénieurs-conseils pour la réalisation d'un cas d'étude : la construction d'un mur de quai. Sur base de cette étude, ArcelorMittal a réalisé une Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui a été soumise à une revue critique effectuée par un groupe d'experts indépendants. La conclusion de cette étude spécifique est que l'empreinte carbone de la solution en palplanches acier est 44 % inférieure à celle de la paroi moulée. Le recyclage joue également un rôle prépondérant dans l'économie circulaire, et l'avantage des palplanches en acier est qu'elles peuvent être recyclées à 100 %. L'optimisation des produits, des matériaux ou du dimensionnement permet aussi de réduire drastiquement la consommation de ressources naturelles.

1. Objectifs durables dans le secteur des bâtiments et travaux publics

Pour atteindre les objectifs en matière de changement climatique, les gouvernements n'ont d'autre choix que de remettre en question les méthodes de construction actuelles en intégrant des critères sociaux et environnementaux dans les processus de conception et d'achat. De nombreux fabricants se sont déjà engagés à réduire l'impact environnemental de leurs produits, mais pour atteindre cet objectif dans un délai aussi court à l'échelle industrielle, 2050 étant l'objectif de neutralité carbone, de nombreux programmes de recherche et des investissements conséquents sont indispensables. Ces investissements en ressources humaines et financières ne peuvent être justifiés que si les investisseurs privés et publics collaborent étroitement avec tous les acteurs et encouragent la mise en œuvre de solutions plus

écologiques, quitte à payer un certain surprix. L'innovation durable ne peut être réalisée que par des incitations, et non par des subventions pures et simples.

Dans le secteur des bâtiments et travaux publics (BTP), les solutions durables seront obtenues en réduisant les quantités requises de ressources naturelles nécessaires à la construction, en réutilisant les éléments de construction plusieurs fois et en les recyclant.

Bien que le raisonnement et les solutions soient très similaires pour les bâtiments et les infrastructures, dans la suite, nous allons nous limiter aux infrastructures.

Nous pouvons dès aujourd'hui réduire de façon significative notre empreinte carbone en optimisant les ouvrages, par exemple en analysant plus en détail tous les éléments structuraux, en utilisant des modèles de sol et des méthodes de calcul géotechnique plus performantes (i.e. calculs aux éléments finis avec des logiciels plus conviviaux et des ordinateurs ultra rapides,...).

N'attendons pas la neutralité carbone des matériaux pour commencer cette transition.

Prenons par exemple les palplanches acier, pour lesquelles au cours des cinq dernières décennies, les fabricants ont réussi à réduire de plus de 50 % la masse d'acier nécessaire pour l'érection de murs de soutènement identiques. Cela grâce à des améliorations dans la technologie de fabrication de l'acier et du laminage, dans les techniques de mise en œuvre (fonçage des palplanches) et dans la conception des ouvrages. La réduction de la consommation de ressources naturelles passe par l'optimisation des solutions techniques, par exemple en utilisant des limites d'élasticité plus élevées de l'acier, des profils plus légers (géométries optimisées faites sur mesure).

2. La construction portuaire

L'un des premiers murs de quai construits avec des palplanches en acier en Europe se trouvait aux Pays-Bas (fin des années 1920), et depuis, la France, la Belgique, le Royaume-Uni, l'Italie, ... tous les pays européens ont utilisé des palplanches métalliques dans la construction portuaire.



Figure 1. Terminal de bateaux de croisière – Port de Ronne, Danemark (2019).

L'Allemagne est un exemple à part, qui s'explique en partie par le fait que les producteurs allemands de palplanches acier assistaient les entreprises de travaux publics à développer des solutions innovantes. Ainsi, la majorité des murs de quai des grands ports maritimes et fluviaux allemands ont été réalisés avec des palplanches en acier. L'une des plus grandes structures portuaires allemandes, le *JadeWeserPort* dans le port de Wilhelmshaven, exécutée en 2008, a posé un grand défi technique à l'époque : c'était le premier port allemand avec un tirant d'eau de 20,0 m dans une région où le niveau des crues se trouve à environ 7 m au-dessus du niveau des basses eaux. Les producteurs de palplanches ont dû développer une toute nouvelle gamme de parois combinées afin de répondre aux conditions extrêmes spécifiques à cette structure.

Cependant, bien que cette période ne soit pas encore si lointaine, on ne se préoccupait pas encore vraiment de l'impact environnemental de ces structures imposantes. La question qu'on doit se poser actuellement est de savoir si des solutions économiques et éprouvées dans le temps continueront à jouer un rôle prépondérant, ou si les aspects écologiques rebattent les cartes.

La réutilisation et le recyclage de l'acier plaident en sa faveur, mais pour faire la lumière sur ce sujet complexe et fort controversé, *ArcelorMittal* a réalisé une comparaison de plusieurs alternatives afin de mieux cerner les deux indices principaux influençant le choix d'une solution : le coût financier et l'impact environnemental.

3. Etude de cas : terminal de bateaux de croisière

En 2019, *ArcelorMittal* a mandaté le bureau d'études belge *Tractebel Engineering* (Groupe *Engie*) pour effectuer le dimensionnement technique d'un mur de quai fictif à construire dans le port d'Anvers en Belgique, ainsi que l'évaluation du coût financier des trois alternatives choisies. *Tractebel* a défini une géométrie courante de mur de quai type pour un terminal de bateaux de croisière [1]. Le quai a 200 mètres de long, un tirant d'eau de 13.0 mètres, et le sommet du quai est à 5.0 mètres au-dessus du niveau moyen des basses eaux (+0.0 m), ce qui couvre la majorité des besoins actuels des navires de croisière - voir Figure 1. Le niveau initial du sol est à +0.0 m, de sorte que le dragage devant le mur est effectué après l'exécution du mur de soutènement. Des conditions de sol caractéristiques de la côte belge ont été choisies (sable et argile limoneuse). La durée de vie retenue est de 50 ans.

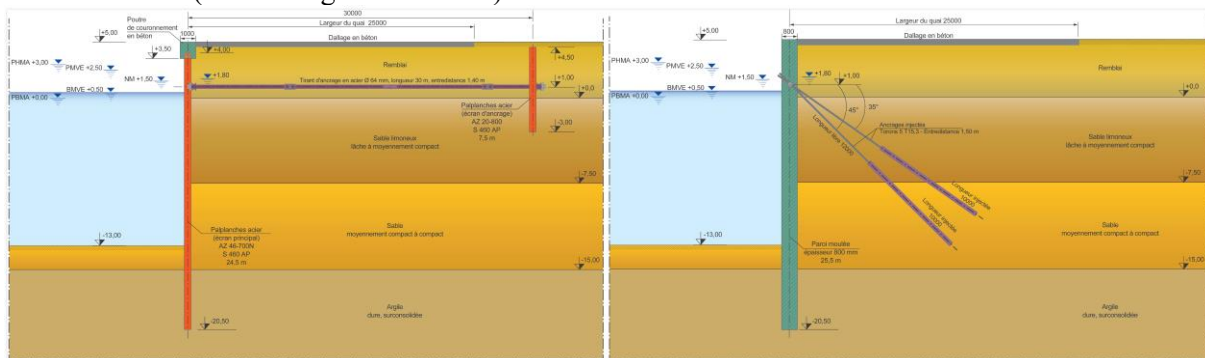


Figure 1. Coupe type du terminal étudié. Gauche : solution palplanches acier. Droite : paroi moulée.

Les alternatives qui ont été étudiées en détail sont une paroi en palplanches métalliques et une paroi moulée. Pour simplifier l'analyse, et notamment pour ne pas favoriser une solution par rapport aux autres, toutes les structures seraient réalisées avec des équipements par voie terrestre.

L'exécution dans ce type de sol peut être réalisée avec du matériel standard, par exemple avec des vibrofonçeurs standards et/ou des marteaux hydrauliques pour les palplanches, sans mesure d'atténuation supplémentaire vu que le bruit et les vibrations ne posent guère de souci dans ces milieux.

Les écrans de soutènement sont conçus suivant la norme européenne EN 1997 - Partie 1, mais quelques hypothèses supplémentaires ont été extraites d'autres normes européennes. En ce qui concerne la résistance des écrans, celle des palplanches acier est vérifiée suivant la norme EN 1993 - Partie 5, celle de la paroi moulée suivant l'EN 1992.

4. Comparaison des solutions techniques

La tâche principale de *Tractebel* était d'optimiser chaque alternative en tenant compte des aspects financiers et d'exécution, ainsi que de critères durables, notamment la déconstruction et le recyclage des matériaux en fin de vie.

La solution en palplanche consiste en une AZ 46-700N de 24.0 mètres de long, ancrée au niveau +1.0 m à un paroi d'ancrage située 30.0 m à l'arrière. La paroi moulée a 25.5 m de long, 800 mm d'épaisseur, et est ancrée également au niveau +1.0 m.

L'analyse financière montre que dans ce cas spécifique la structure en palplanches d'acier est 15 % plus économique que la paroi moulée – voir Figure 2.

La différence de coût dépasse les 20 % si l'on tient compte de l'impact de la déconstruction, et encore plus si l'on considère le retour sur investissement (*cash-flow*) sur toute la durée de vie.

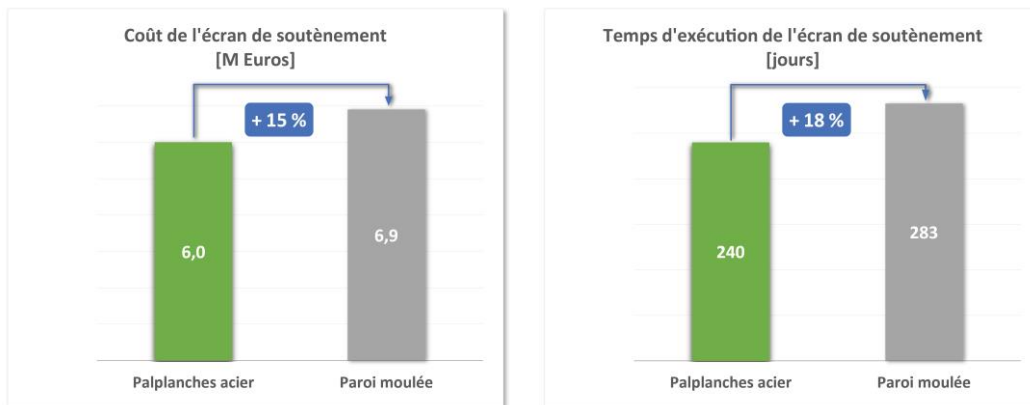


Figure 2. Comparaison des coûts de construction et du temps d'exécution pour deux alternatives.

De plus, la vitesse d'exécution de la paroi de palplanches est au moins 15 % plus rapide que l'alternative – voir Figure 2 – et vu que cette tâche se trouve sur le chemin critique, elle augmenterait la différence de coût entre les solutions si on la prenait également en compte.

5. Analyse du Cycle de Vie des ouvrages étudiés

La comparaison de l'impact environnemental est l'objectif principal de cette étude. L'impact est évalué par une Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui a été réalisée par les experts d'*ArcelorMittal* en se basant sur la liste des matières fournies par *Tractebel*. L'ACV a été soumise à une revue critique par un groupe de trois experts indépendants [2]. La Figure 3 montre le détail des éléments principaux constitutifs de l'écran en palplanches et ceux de la paroi moulée.

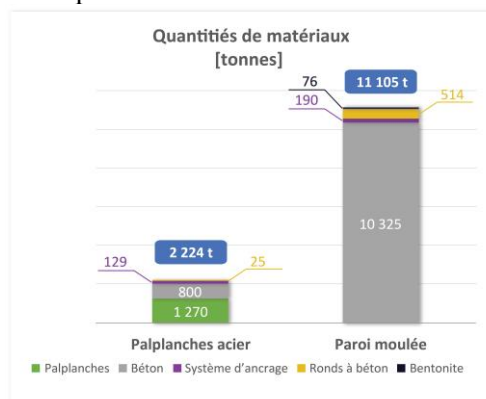


Figure 3. Masse des composants considérés dans l'ACV.

5.1. Cas de référence

Les résultats montrent que pour le cas de référence le Potentiel de Réchauffement Global (PRG, émissions d'équivalent CO₂) de la solution en palplanches acier est inférieur à celui de la paroi moulée, la différence étant de 44 % – voir Figure 4. D'autres indicateurs environnementaux ont été comparés, mais nous nous limitons au PRG dans cet article. Notons cependant que la tendance est similaire pour les autres indicateurs environnementaux.

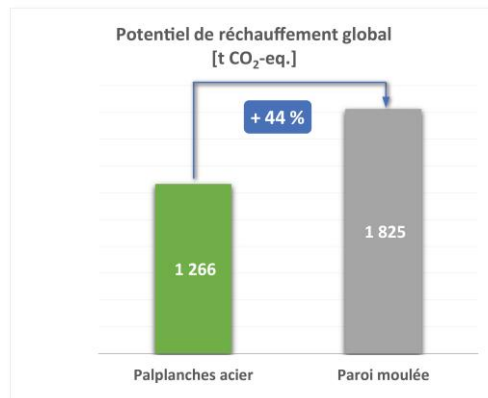


Figure 4. ACV – La différence de potentiel de réchauffement global entre les solutions est de 44 %.

Notons que cette conclusion ne peut pas être simplement transposée à d'autres situations ni à d'autres pays car les conditions géotechniques ainsi que les us et coutumes locaux peuvent exercer une influence non négligeable sur le résultat.

L'ACV spécifique au projet prend en compte la production (du berceau à la porte), le transport des principaux matériaux de construction, l'installation et la déconstruction après la durée de vie, le recyclage de l'acier. Ceci présuppose que la récupération des éléments est réalisable. Une caractéristique intéressante des palplanches en acier est qu'elles peuvent être facilement récupérées (extraites du sol) et réutilisées (bien que cela soit assez rare après 50 ans) ou recyclées à 100 %. L'ACV utilise la Déclaration Environnementale de Produit (DEP) des palplanches en acier laminées à chaud *EcoSheetPile*TM d'*ArcelorMittal* publiée par l'institut allemand *IBU e.V.* [3], et dans un souci de cohérence, les DEP utilisées pour les autres matériaux ont été choisies parmi celles publiées par le même opérateur de DEP. En effet, nous avons constaté que les résultats des DEP dépendent des hypothèses et des bases de données qui sont parfois imposées par le programme opérateur, et peuvent varier de façon significative entre elles. Prenons comme exemple les palplanches *EcoSheetPile*TM pour lesquelles une DEP a été élaborée pour l'opérateur *IBU e.v.* en Allemagne et une autre DEP pour l'opérateur *MRPI* aux Pays-Bas [4]. La différence du PRG des modules A1 - A3 est de l'ordre de 20 % alors que les données de base transmises par l'usine aux deux experts sont identiques. Ceci est dû principalement à l'utilisation de différentes bases de données ainsi que différents logiciels de calculs.

Pour se rapprocher encore plus des conditions réelles du projet, l'ACV n'a pas repris les valeurs de la DEP des palplanches, mais des valeurs adaptées au projet en supposant que 0 % d'entre elles seront réutilisées et 99 % recyclées en fin de vie. L'adaptation des valeurs de la DEP est possible uniquement si on a accès aux données qui ont servi de base à l'élaboration de la DEP, ou si la DEP contient déjà une paramétrisation qui permet de modifier les taux de recyclage et de réutilisation. Notons que certains logiciels commerciaux permettent de modifier les paramètres de recyclage et de réutilisation, mais que ces calculs peuvent conduire à des résultats complètement erronés quand on les applique à des aciers issus de la filière secondaire (recyclage d'acier dans un four à arc électrique - FAE).

5.2. Étude de sensibilité de paramètres

Etant donné que certaines hypothèses peuvent exercer une influence non négligeable sur les résultats, une analyse de sensibilité a été effectuée en faisant varier les paramètres qui a priori pourraient avoir un impact notable.

Le premier paramètre analysé est la corrosion de l'acier en milieu maritime. Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour protéger l'acier contre ce phénomène naturel, tel que la protection cathodique ou un revêtement par peinture. Une alternative est de compenser la perte d'épaisseur par une surépaisseur d'acier ou par le choix d'un profil plus résistant. En pratique, tenir compte de la réduction des propriétés géométriques due à la perte d'épaisseur est souvent plus économique qu'une protection cathodique ou un revêtement. Cependant, du point de vue environnemental, c'est plus délicat à estimer :

est-ce que la consommation d'anodes sacrificielles a une empreinte carbone plus grande que la perte d'acier ? Dans les deux cas, il y aura moins de matière à recycler en fin de vie, ce qui pénalise en soi les deux solutions. Dans cette étude, le choix s'est porté sur la perte d'épaisseur d'acier.

Le béton peut également se détériorer à la longue, mais par simplification, cet effet potentiel négatif n'a pas été considéré dans l'étude.

L'empreinte carbone de la solution acier augmente lorsque qu'on réduit le taux de recyclage final, sans toutefois dépasser celle de la paroi moulée – voir Figure 5. La différence s'amenuise à environ 20 %, ce qui représente encore une valeur notable.

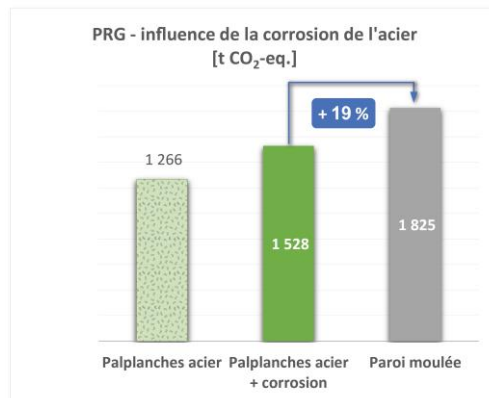


Figure 5. ACV – Influence de la perte d'acier sur le potentiel de réchauffement global.

Une discussion avec les experts indépendants s'est focalisée sur les classes de béton, et principalement sur les bétons à très bas carbone. Or, d'après le bureau d'études qui a fait le dimensionnement des trois structures, ces bétons sont bien employés dans le BTP, mais ceux qui utilisent des ciments de type CEM III ne sont pas adaptés au milieu marin. Ceci nous ramène à la problématique sur l'expertise nécessaire à la validation d'une ACV. En général, les experts en sciences de l'environnement ont également des connaissances et une expérience dans le domaine technique, mais ils ne possèdent pas toujours les compétences techniques requises pour valider certains choix techniques. Dans ces cas particuliers, il est préférable de recourir également à des experts techniques indépendants.

Notons que la carbonatation du béton n'a pas été prise en compte pour la paroi moulée, car la majeure partie de celle-ci se trouve sous le niveau de l'eau. La carbonatation s'accompagne d'une absorption de CO₂ pendant la durée de vie, mais les faibles quantités envisagées n'auraient de toute façon pas changé grand-chose aux conclusions. En revanche, la carbonatation peut être fatale aux bétons.

Le résultat de cette paramétrisation démontre que l'utilisation de bétons à plus haute résistance augmente l'empreinte carbone de la paroi moulée, car d'un côté, l'épaisseur reste identique, mais d'un autre côté, le béton contient plus de ciment, le constituant le plus émetteur de CO₂. La différence augmente de 44 % à 60 % pour un béton de classe C50/60 - voir Figure 6.

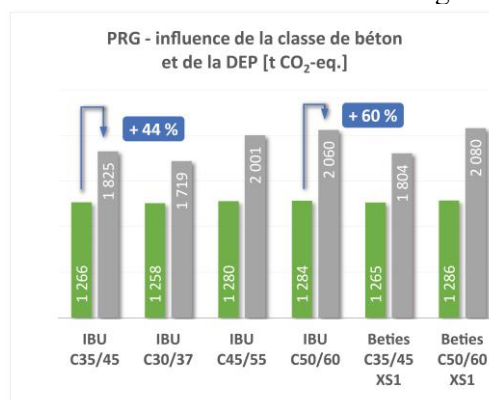


Figure 6. ACV – Influence de la classe du béton sur le potentiel de réchauffement global.

Nous aimerions attirer l'attention sur un phénomène assez surprenant pour les aciers issus de la filière électrique. Les sidérurgistes recommandent de tenir compte du cycle de vie complet des ouvrages, ce qui sera par ailleurs imposé dans la nouvelle norme EN 15804 + A2 [5] dans laquelle il faudra fournir les données pour tous les modules (sauf exceptions définies dans la norme). Or dans le passé, certains acteurs préféraient ne tenir compte que des modules relatifs à la production, soit les modules A1 - A3, et éventuellement jusqu'à l'installation avec les modules A4 et A5. Dans le cas des aciers recyclés produits dans un FAE, la contribution du module D est positive car il faut plus d'une tonne de mitraille pour produire une tonne de produit fini. Écarter le module D (fin de vie) favorise la solution acier dans notre cas d'étude, comme le montre la Figure 7. En négligeant la fin de vie, la différence entre les alternatives augmente de 44 % à 76 %.

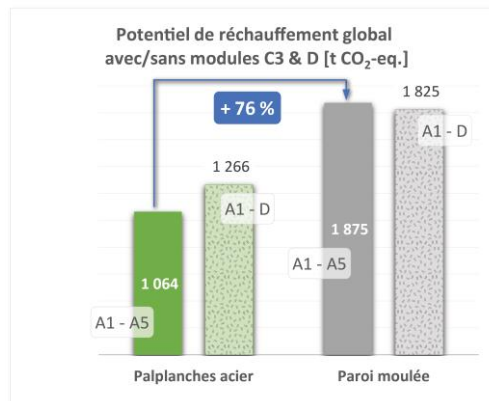


Figure 7. ACV – Influence du module D sur le potentiel de réchauffement global du mur de quai.

Finalement, l'analyse de différents projets montre qu'en général, le transport et la mise en œuvre (p.ex. le fonçage des palplanches) ont une faible incidence sur l'empreinte carbone. Plus de 70 % de la contribution principale provient de la production (modules A1 – A3) – voir Figure 8. Cette conclusion est valable pour les palplanches fabriquées et livrées en Europe, que ce soit par camion sur de courtes distances, par voies navigables ou par le rail pour des distances plus longues.

En ce qui concerne la solution en béton, une partie des émissions de gaz à effet de serre (GES) proviennent des ronds à béton en acier, mais la majorité provient des grandes quantités de béton.

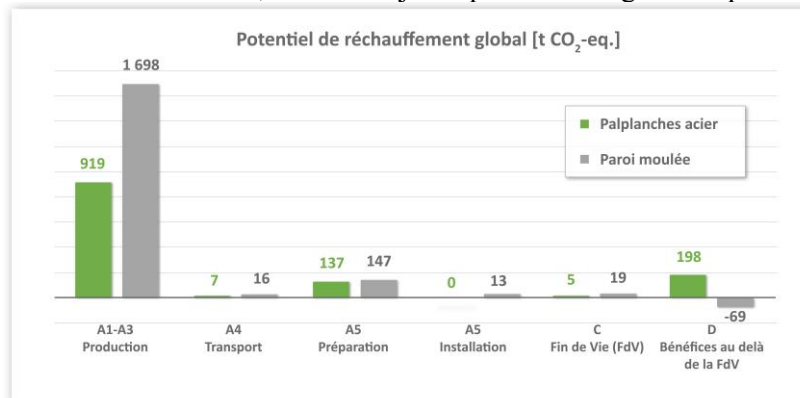


Figure 8. ACV – Influence des différents modules. Faible contribution du transport et de la mise en œuvre (Modules A4 et A5).

6. Eco-conception

L'analyse du cycle de vie de ce cas d'étude a débuté en 2020, mais entretemps, les sidérurgistes se sont engagés à réduire leur empreinte carbone rapidement et à atteindre la neutralité carbone au plus tard en 2050. *ArcelorMittal* s'est donné comme objectif audacieux de réduire en Europe ses émissions de GES de 35 % jusqu'en 2030, et dans ce contexte, a lancé la marque *XCarb*[®] qui regroupe toutes les initiatives

qui contribuent à cette réduction. *EcoSheetPile™ Plus* est l'initiative lancée en 2021 : palplanches produites à partir de 100 % d'acier recyclé et de 100 % d'électricité renouvelable (sources éoliennes et solaires). Le recours à l'électricité renouvelable permet d'atteindre une empreinte carbone plus faible de 40 % sur les modules A1 – A3 suivant la DEP *EcoSheetPile™ Plus* [6] – voir Figure 9 – ce qui accroîtra encore la différence entre les deux alternatives étudiées.

Il existe depuis peu des ronds à bétons produits à partir d'acier FAE, ce qui réduira légèrement l'empreinte carbone de la paroi moulée, mais les capacités de production sont encore faibles.

Suite à ces évolutions, il est prévu de mettre à jour l'ACV avec ces nouvelles données.

Notons que l'énergie renouvelable a un coût qui est répercuté sur l'offre au client, et que dans certains pays, tel que les pays scandinaves, ce surcoût est intégré dans les soumissions de travaux publics.

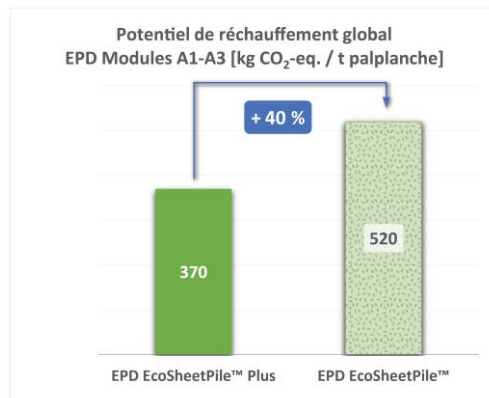


Figure 9. Réduction de l'empreinte carbone des palplanches *EcoSheetPile™ Plus* (100% d'électricité renouvelable) comparé à *EcoSheetPile™* (mix électricité standard) – Modules A1 - A3.

7. Valorisation de solutions écologiques dans les soumissions publiques

Un aspect difficile lors de l'évaluation de l'offre économiquement la plus avantageuse est la valorisation des critères environnementaux. La *monétisation* est une méthode assez simple, transparente et équitable pour transformer un indicateur environnemental en une valeur monétaire. Les Pays-Bas sont des pionniers dans ce domaine et ont introduit en 2015 une méthode simple pour les appels d'offres publics [7]. Ils ont défini un facteur de pondération pour chaque indicateur environnemental considéré, ce qui permet d'obtenir un Indicateur Environnemental de Coût IEC (*MKI* en hollandais). Par exemple, une tonne d'émissions d'équivalent CO₂ vaut 50€. L'IEC est calculé sur base de Déclarations Environnementale de Produit (DEP) spécifiques aux Pays-Bas, ou à l'aide des données génériques de la base de données hollandaise *NMD* [8]. On obtient un IEC total pour une matière en multipliant son IEC par la quantité de matière utilisée dans le projet. Puis en faisant la somme de tous les IEC totaux, on obtient un IEC global qui peut être comparé avec celui d'autres solutions. L'entreprise qui a un score IEC global inférieur à un seuil prédéfini par le maître d'ouvrage obtient un crédit fictif sur son offre de prix.

Notons que le maître d'ouvrage est libre de déterminer le montant maximum du crédit fictif, et qu'en pratique il peut atteindre 15 % du montant de l'offre économique (le maître d'ouvrage est prêt à investir jusqu'à 15 % de plus pour une solution plus écologique !).

Cette méthode permet d'attribuer une soumission à l'entreprise qui présente l'offre économiquement la plus avantageuse, avec le meilleur rapport entre coût et empreinte environnementale. En fait, elle incite l'ensemble de la chaîne industrielle, que ce soit le fabricant, le fournisseur ou l'entrepreneur à réduire son empreinte environnementale sans être pénalisé financièrement. Un autre avantage est qu'elle favorise les modes de transport à faibles émissions et les circuits courts de livraison.

8. Solutions durables - optimisation de l'ingénierie

L'objectif d'atteindre la neutralité carbone en quelques décennies est un défi pour les industriels. Comme indiqué précédemment, l'amélioration, la réutilisation et le recyclage des produits peuvent réduire considérablement la consommation de ressources naturelles, mais l'optimisation de la conception est une autre technique permettant de réduire l'empreinte carbone dès aujourd'hui et à un moindre coût. Elle peut être réalisée en développant des solutions innovantes, en améliorant les normes de conception ou en analysant suffisamment de coupes transversales pour adapter le dimensionnement aux propriétés variables du sol le long de l'ouvrage. L'optimisation de la conception nécessite des ressources humaines et financières supplémentaires, mais elle préserve les ressources naturelles.

Des concepts novateurs, tels que les murs de quai avec un minimum de deux niveaux d'ancrage, dont au moins un ancrage est situé en-dessous du niveau de la mer, ont été utilisés il y a quelques décennies en France et dans d'autres pays. Mais comme les procédures d'installation des connexions des ancrages sont un peu plus complexes et parfois plus risquées, ils ont été abandonnés dans la plupart des pays. Il y a quelques exceptions, comme au Danemark, où une poignée d'entrepreneurs installent encore des tirants à quelques mètres sous le niveau moyen des eaux. Le dernier projet connu est un mur de quai dans le port de Kalundborg au Danemark (2017), pour lequel une coupe schématique est reprise à la Figure 10.

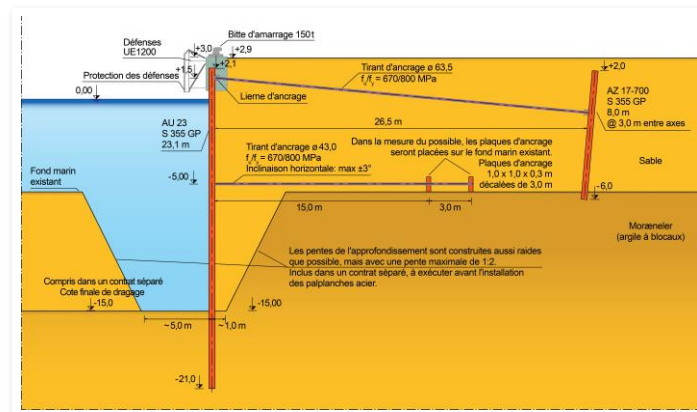


Figure 10. Mur de quai avec deux niveaux d'ancrage – Coupe type – Port de Kalundborg, DK (2017).

L'avantage de cette solution est la réduction significative des moments de flexion et de la longueur des palplanches. Cette conception permet également d'utiliser un mur de palplanches standard (de type Z par exemple) au lieu d'une paroi combinée plus lourde (de type paroi combinée HZ-M), ce qui permet de réaliser des économies en termes de coût et de consommation d'acier, avec comme conséquence directe une empreinte carbone bien plus faible. Le désavantage étant la mise en œuvre un peu plus complexe de l'ancrage sous eau.

Le principal inconvénient de l'optimisation de l'ouvrage est la perte de flexibilité, par exemple pour une réhabilitation de la structure dans le futur.

9. Conclusions

La conception et la construction des ports doivent tenir compte du changement climatique et, outre les défis techniques tels que l'élévation du niveau de la mer, les aspects environnementaux constituent aujourd'hui un paramètre essentiel lors de la phase de conception et d'exécution.

Une étude de cas comparant différentes alternatives a été réalisée par le bureau d'études belge *Tractebel*. Elle porte sur un terminal de bateaux de croisière à construire en Belgique. L'un des indicateurs de performance clé choisis était le coût du cycle de vie du mur de soutènement, en prenant en compte la déconstruction et le recyclage des matériaux de construction. L'analyse montre qu'un mur de quai de 200 mètres de long construit avec des palplanches en acier est au moins 20 % plus économique qu'une paroi moulée. Parmi les autres avantages, citons la réduction de 15 % du temps d'exécution. Le deuxième paramètre clé est l'impact environnemental. Dans ce cas particulier, l'écran

en palplanches a une empreinte carbone plus faible, la différence étant de 44 % (émissions de CO₂-éq). En effet, l'acier est un matériau durable et écologique en raison de ses excellentes propriétés mécaniques, mais aussi de son caractère réutilisable et recyclable.

L'étude a également mis en évidence un défi: si le secteur de la construction veut rapidement réduire son empreinte environnementale, il devra appliquer une méthode à la fois scientifique, simple et équitable capable d'inclure des critères environnementaux dans le coût du cycle de vie d'un ouvrage. Les investisseurs privés et publics ont un rôle prépondérant dans ce processus décisionnel complexe, car la solution la plus respectueuse de l'environnement est de nos jours encore trop souvent la plus coûteuse.

Remerciements

Nos remerciements vont aux trois experts indépendants qui ont réalisé la revue critique de l'ACV : Philippe Osset de Solinnen en France, Adélaïde Ferraille du Laboratoire Navier (École Nationale des Ponts et Chaussées) en France et Tom Ligthart de l'institut TNO aux Pays-Bas. Les nombreuses discussions ont permis à tous les intervenants de mieux cerner la complexité de cette ACV.

Références

- [1] Tractebel Engineering, *Methodic Comparison of Retaining Wall solutions – P011348 (unpublished)*, 2019.
- [2] ArcelorMittal R&D, *Comparative study of Steel Sheet Pile and Concrete Slurry wall in quay infrastructure application – Life Cycle Assessment methodological report*, Esch-sur-Alzette, 2019.
- [3] ArcelorMittal Commercial RPS, *EPD. EcoSheetPiles™*, IBU e.V., 2018.
- [4] Stichting MRPI, [Online]. Available: <https://www.mrpi.nl>. [Accessed 01 2022].
- [5] CEN, *EN 15804:2012+A2:2019. Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction.*, Bruxelles: CEN, 2019.
- [6] ArcelorMittal Commercial RPS, *EPD. EcoSheetPile™ Plus*, IBU e.V., 2021.
- [7] Stichting Bouwkwiteit, *Determination Method - Environmental performance - Buildings and civil engineering works*, Rijswijk, 2019.
- [8] Nationale Milieu Database, 2022. [Online]. Available: <https://milieudatabase.nl/>. [Accessed 2022].
- [9] CEN, *EN 15804:2012+A2:2019. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*, Brussels: CEN, 2019.