



## Techniques de réalisation du quai en blocs du port Tanger Med II

Mounir EL HANKARI<sup>1</sup>

1. Société Tanger Med Engineering (TME), Zone franche Ksar Al majaz,  
Tanger, Maroc.  
*m.elhankari@tme.ma*

### Résumé :

Le mur de quai du port Tanger Med II est en blocs en béton de masse superposés en quinconce et dont la géométrie varie en fonction de la profondeur. Ces dispositions permettent d'avoir une structure monolithique luttant au mieux contre les tassements différentiels mais aussi une structure optimisant le volume du béton grâce à la géométrie spéciale des blocs qui la composent.

La préfabrication des blocs est parmi les étapes clés de la réalisation de cet ouvrage, ces blocs étant préfabriqués sur site moyennant deux centrales à béton et 4 rampes de préfabrication dédiées. La production journalière atteint 45 blocs par jour soit un volume de béton moyen de 850 m<sup>3</sup>. La manutention, le stockage et l'acheminement de ces blocs au pied d'œuvre nécessite une logistique de pointe assurée par des grues tours, grues sur chenilles, pont roulant, des portes Char et des barges de transports maritimes. Vue la grande importance de ces blocs qui constituent la structure principale de l'ouvrage, le contrôle qualité se fait avant, après et en cours de bétonnage pour assurer une qualité de produit à la hauteur de toutes les attentes.

La mise en place de ces blocs dans leurs positions définitives est assurée par un train d'ateliers maritimes dont le wagon de tête est le dragage de la souille suivi par l'atelier de la mise en place de la fondation et l'atelier de mise en place des blocs. Tous les ateliers sont indépendant l'un de l'autre et possèdent leur propre moyens matériels pour mener dans les meilleurs des conditions la tâche qui leur a été associée. Le contrôle qualité est une étape incontournable surtout lorsqu'il s'agit de travailler dans un milieu où on ne dispose pas de repère physique (travaux sous l'eau) et où la moindre erreur peut induire des retards et des coûts important lorsque celle-ci n'est pas décelée à temps.

### Mots clés :

Quai en blocs – Travaux portuaires – Quai à conteneurs – Souille – Fondation du quai – Préfabrication – Contrôle qualité

### 1. Introduction

Le complexe portuaire Tanger Med est un véritable chantier où la technique se conjugue à l'innovation pour livrer un Ouvrage d'excellence dans le total respect des règles de l'art et des coûts. L'objectif de cet article est de partager le savoir faire acquis par TME

## Thème 4 – Ouvrages portuaires et offshore

(Tanger Med Engineering SA) en matière de réalisation et de contrôle qualité du mur de quai en bloc en béton de masse du port "Tanger Med II". Les paragraphes qui suivent indiqueront les détails de construction du mur de quai en partant de la préfabrication des blocs jusqu'à leur mise en œuvre dans leur emplacement définitif. Pour chaque étape un paragraphe détaillera le contrôle qualité assuré par l'équipe de la maîtrise d'œuvre du projet Port Tanger Med II (société Tanger Med Engineering SA) basée sur site. TME est assisté par le laboratoire de chantier (LPEE), une équipe de topographe, et une équipe de plongeurs mis à sa disposition par le Maître d'Ouvrage (TMSA)

### 2. Conception du mur de quai

#### 2.1 Coupe type et plan de pose

Le mur du quai à conteneurs du port Tanger Med II, long de 2800 ml, et dont le tirant d'eau varie entre 16 m et 18 m (par rapport au zéro hydro), est conçu pour recevoir les grands portes conteneurs de 400 ml de longueur (LOA) et des portiques de chargement/déchargement sur rail de grande portée. De ce fait, la conception du mur de quai devrait obligatoirement tenir compte de la problématique des tassements différentiels pour minimiser l'entretien des rails. D'où l'idée de la pose des blocs en quinconce (figure 1). Cette technique de pose des blocs aide la structure à travailler d'une façon monolithique de manière à ce que le tassement, d'un linéaire donné des blocs de base, se traduira en surface sur une longueur plus importante et avec une moindre amplitude.

La conception du mur de quai se veut aussi optimale puisque la géométrie des blocs n'est pas uniforme de haut en bas. En effet, le concepteur a tenu compte de l'effet stabilisant de l'épaulement lorsque celui-ci s'appuie verticalement sur les 4 premiers blocs à partir de la base (figure 2). Certes cette méthode impliquera des coûts de coffrage plus important car la géométrie des blocs n'est pas identique mais ce coût est largement gagné par l'économie réalisée sur la quantité de béton.

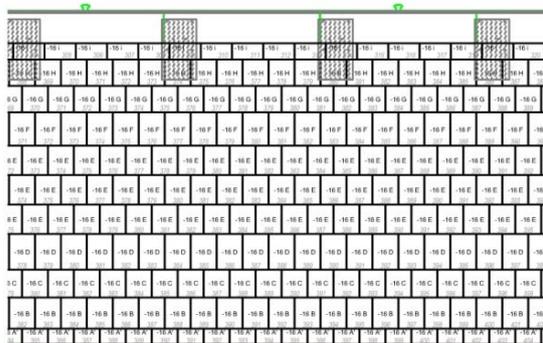


Figure 1. Elévation du mur de quai.

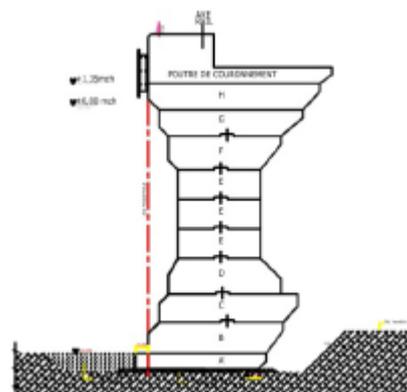


Figure 2. Coupe type du mur de quai.

## 2.2 Moyens de calcul

Les calculs de stabilité sont effectués à l'aide du programme Grawa développé au sein du département Design de l'entreprise Besix (en charge des travaux des quais du port Tanger Med II). Les calculs au grand glissement sont effectués à l'aide du programme Geo-Slope. Et enfin la capacité portante de la fondation est vérifiée selon la méthode de Meyerhoff.

## **3. Préfabrication des blocs de quai**

### 3.1. Moyens matériels

La préfabrication des blocs de quai s'effectue sur le site du port Tanger Med II à l'aide des moyens matériels de l'entrepreneur. Plusieurs types de matériel sont nécessaires à l'accomplissement de cette tâche et sont réparti en fonction de leur utilisation comme suit :

- Pour le bétonnage des blocs :
  - 2 centrales à béton de 100 m<sup>3</sup>/h chacune pour la fourniture du béton
  - 2 grues tours de 8 t pour la manutention des coffrages
  - 6 camions malaxeurs de 10 m<sup>3</sup> chacun
  - 45 moules de coffrage et 135 bases fixées sur la plate-forme de bétonnage
  - Des convertisseurs et des vibreurs
- Pour le transport des blocs :
  - 4 portes chars de capacité de 50 à 80 t
  - Un pont roulant équipé d'une pince hydraulique pour le levage des blocs
- Pour le stockage des blocs :
  - 2 grues de 250 t équipée chacune d'une pince hydraulique pour la manutention des blocs

### 3.2 Méthodologie

Le béton est produit par les deux centrales à béton situées à proximité de la zone de préfabrication et transporté par des camions malaxeurs puis coulé directement par leurs goulottes dans les coffrages métalliques constituant les moules des blocs de quai (figure 3).

Ces coffrages sont préparés (huile de décoffrage, joints d'étanchéité, ...) à l'avance pour garantir la fluidité de l'opération de bétonnage. Une fois l'opération de bétonnage achevée, une équipe de finisseurs prennent en charge le bloc bétonné pour la finition de sa surface supérieure et l'application du produit de cure. Le décoffrage s'effectue 24 heures après et les moules sont déplacés sur les bases libres suivantes pour être préparés et bétonnés. Les surfaces des blocs décoffrés sont traitées au produit de cure et chaque bloc reçoit à la peinture une indexation portant le numéro et le type de bloc ainsi que la



- Après le bétonnage : pour s'assurer notamment que les résistances requises pour le décoffrage et la manutention des blocs sont atteintes. Juste avant leur mise à l'eau, l'équipe de techniciens s'assure aussi que les blocs ne souffrent pas de fissuration ou d'épaufrure mettant en cause la pérennité de l'ouvrage.

#### **4. Préparation de la fondation et mise en place des blocs**

##### 4.1 Moyens matériels

La préparation de la fondation et la pose des blocs sont effectués par la succession de 4 ateliers maritimes, ayant chacun un rôle bien précis. Les ateliers sont composés comme suit :

- Atelier de dragage :
  - une drague profonde pouvant atteindre des profondeurs de –18 m ZH
  - deux chalands fendable pour le transport des matériaux dragués
- atelier de nettoyage de la souille :
  - Barge flottante
  - Grue pour la manutention du système de l'air-lift
  - Pompe aspiratrice dotée d'un linéaire de tuyau pour le refoulement des matériaux
- Atelier de la mise en place des matériaux de la fondation
  - Une pelle hydraulique pour le chargement des matériaux
  - Deux barges de transport des matériaux
  - Une barge 2000 t équipé d'une grue 200 t pour la manutention des cadres de réglage et la mise en œuvre des matériaux
  - Deux cadres de réglage de la fondation
  - Une grue 60 t pour la manutention à bord de la barge
  - Une vedette équipée d'un sondeur multifaisceaux pour les relevés bathymétrique.

Atelier de pose des blocs :

- Une plate-forme autoélévatrice menue d'une grue 250 t pour la pose des blocs
- Deux barges de transport des blocs
- Un remorqueur
- Un zodiac pour le transport du personnel
- Equipement de longés pour 2 équipes
- Deux pinces hydrauliques pour la manutention des blocs

##### 4.2 Méthodologie

###### *4.2.1 Dragage*

La mobilisation de la drague jusqu'à l'emplacement de la souille du mur de quai est effectuée à l'aide d'un remorqueur. Son positionnement est assuré par deux antennes de géolocalisation (GPS RTK) lui permettant non seulement de déterminer sa position et

## Thème 4 – Ouvrages portuaires et offshore

son cap, mais aussi la position exacte du godet grâce aux différents capteurs présents sur l'excavatrice. Une fois à la bonne position, la drague fait descendre les 3 pieux coulissants qui servent pour sa stabilisation et pour reprendre les efforts horizontaux dus au dragage. L'opération de dragage peut ainsi démarrer en se servant des deux chalands fendables qui se permutent pour décharger les matériaux dragués vers le point de rejet autorisé par le Maître d'Ouvrage (TMSA). Le dragage est maintenu dans la même position jusqu'à obtention du profil sous marin souhaité et/ou atteindre le substratum rocheux. Le spud arrière de la drague est coulissant, ceci lui permet de progresser parallèlement à l'axe de dragage sans avoir recours à un remorqueur (figure 5).

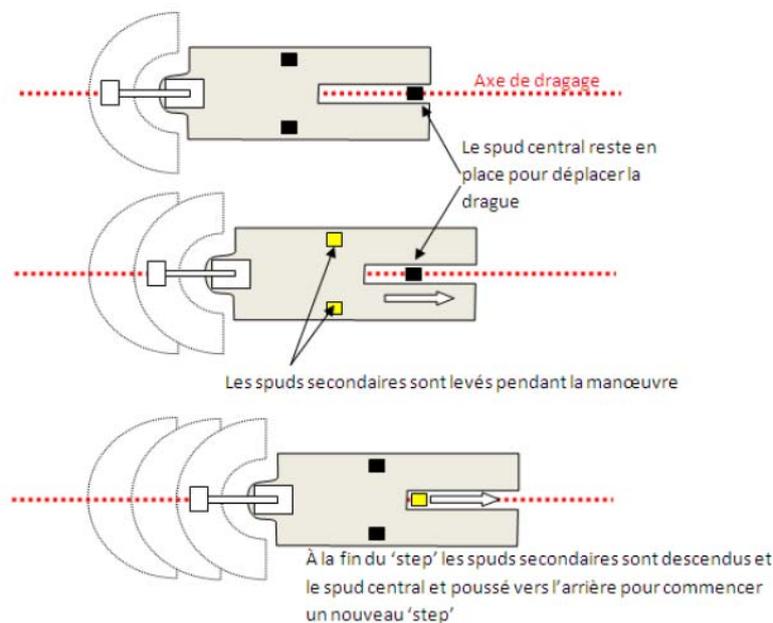


Figure 5. Principe de déplacement de la drague.

### 4.2.2 Nettoyage de la souille

En cas d'éventuel retour des masses vaseuses dans la souille ou de matériaux meubles laissé sur place par la drague, l'atelier de nettoyage prend en charge l'opération de nettoyage à l'aide du système de l'air-lift. Ce système consiste à injecter de l'air comprimé à haute pression dans une conduite métallique de 600 mm de diamètre en engendrant une force aspiratrice dans celle-ci. Les matériaux sont pompés et refoulés par une conduite flottante à 50ml de la zone des travaux et dans le sens des courants marins. Le schéma de ce système est présenté sur la figure 6.

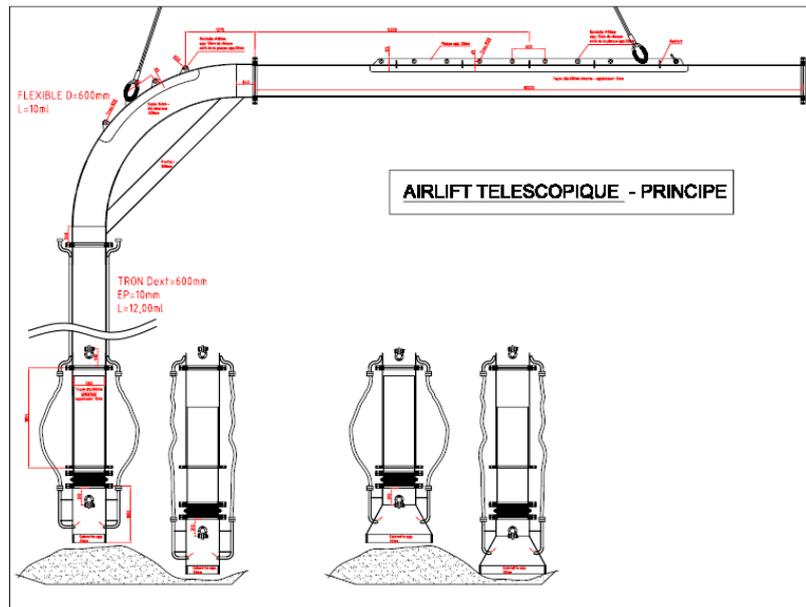


Figure 6. Principe de l'air lift.

#### 4.2.3 Mise en place de la fondation

Depuis les stocks de la carrière ou sur chantier, les enrochements sont chargés à l'aide d'une pelle hydraulique ou chargeur et transportés par camions bennes au quai de service, où une pelle hydraulique est mise en place pour charger directement les barges de transport. Ces barges de transport autopropulsées, de capacité 300 t, assurent le transport des matériaux depuis le quai de service jusqu'au lieu des travaux.

Le réglage de la couche de fondation est effectué par un cadre métallique de dimensions 12 m × 20 m ou 12 m × 12 m s'appuyant sur quatre vérins télécommandés depuis la barge. Le cadre est muni d'une lame de nivellement, déplaçable horizontalement à l'aide de deux treuils fixés sur les cotés, dont le but est d'étaler et de niveller les matériaux mis en place. Cette lame est télécommandée hydrauliquement depuis la barge (figure 7). Ce cadre est mis en place par la grue 200 t à bord du ponton et à l'aide d'une équipe de scaphandriers. Son installation est dirigée par une équipe topographique munie d'un système de positionnement acoustique de type Aquamètre R300 couplé à un système GPS RTK pour le géo-référencement sur le projet. Quatre capteurs soniques sont installés et bien fixés au-dessus de chaque vérin du cadre.

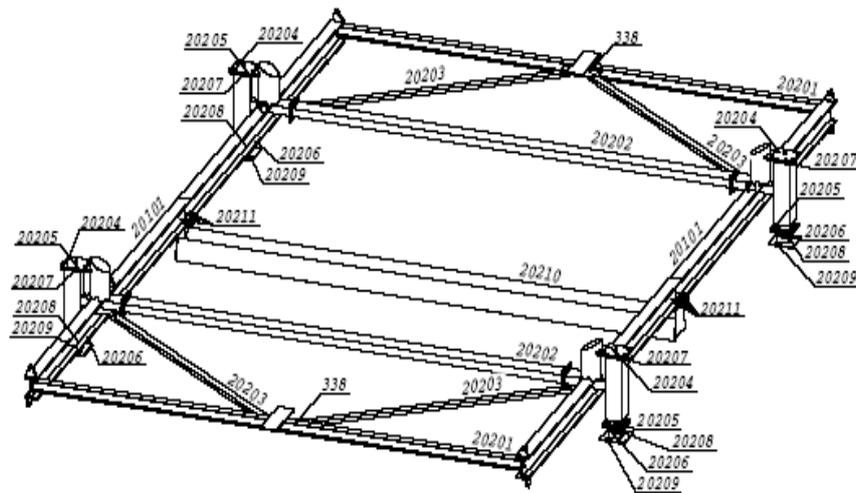


Figure 7. Cadre de réglage 12m×20m.

Une fois que le cadre est mis en place sur sa position correcte et à niveau, la mise en place des matériaux sera effectuée à l'aide de la grue 200 t fixe munie d'un grappin double coquille et assistée par une équipe de plongeurs pour affiner le rechargement en matériaux. La quantité des matériaux à mettre en place sera calculée à l'aide d'une méthode de quadrillage. Cette méthode consiste à établir un quadrillage correspond à la zone de la couche de fondation, puis les matériaux sont mis en place en barrant un grappin plein en matériaux dans chaque case du quadrillage, soit une couche d'environ un mètre d'épaisseur. La quantité des matériaux à mettre en place pour la couche de fondation sera calculée à partir des profils bathymétriques réalisés après dragage de la souille et le profil type théorique à réaliser. Sur la base de cette quantité, le nombre des couches à mettre en place sera défini.

#### 4.2.4 Pose des blocs

##### a) Séquence de pose des blocs

Au quai de chargement provisoire, une grue à câble de 250 t décharge les portes chars de leurs blocs préfabriqués et les transfère sur des barges de transport qui ont des capacités de 1300 t et 1800 t. Ces barges ont pour seule tâche l'alimentation de l'atelier de pose des blocs. La manutention des blocs se fera par l'intermédiaire d'une pince de levage (Lifting Grab) hydraulique commandée depuis la grue.

La mise en place des blocs est réalisée par un atelier de pose spécifique constituée d'une plate-forme autoélevatrice et d'une grue 250 t. La plate-forme autoélevatrice est remorquée et positionnée perpendiculairement à la souille par des remorqueurs à l'aide d'un système de positionnement par satellite DGPS. Les pieds de la plate-forme (spuds) sont alors abaissés sur le fond marin et la plate-forme se soulève hydrauliquement hors de l'eau pour servir de zone de travail stable durant les opérations.

Une fois la barge de transport accostée à la plate-forme autoélevatrice, les blocs sont levés et posés à la bonne position par la grue à câble équipées d'une pince hydraulique de levage, la séquence de pose des blocs est la suivante :

- Prise du bloc sur la barge avec la pince hydraulique.
- Levage et rotation autour de la barge ;
- Descente du bloc dans l'eau sous l'assistance de plongeurs via radio et caméra sous-marine.
- Pose du bloc : le plongeur donne son accord pour l'ouverture de la pince, libération du bloc ;
- Sortie de la pince de l'eau et répétition du processus de pose.

*b) Pose du premier bloc de base*

Afin de déterminer la position exacte du premier bloc à poser, les plongeurs utilisent des blocs d'alignement et des antennes GPS fixées à la SHIRINE.

Les blocs d'alignements sont des blocs de béton munis d'un rail sur lequel un treuil ou un point d'attache de câble peut translater. La distance est d'environ 38 m entre les deux blocs d'alignement parallèles à la magistrale. Un câble métallique servant de cordeau est tendu par le treuil entre deux blocs d'alignement. Le cordeau donne l'alignement exact de la magistrale et il est positionné parallèlement à celle-ci à une distance précisément connue (90 cm). Un jeu de deux blocs est également positionné le long de la perpendiculaire à la magistrale (figure 8). Un plomb attaché au sommet des tours guide les plongeurs pour aligner correctement le cordeau entre les blocs d'alignement.

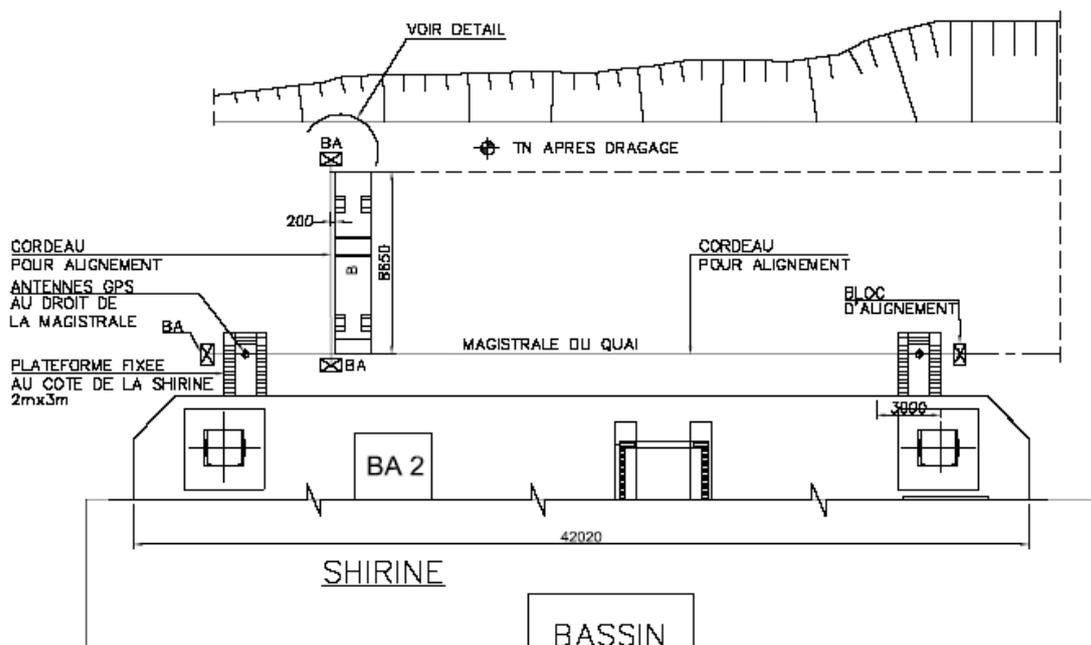


Figure 8. Positionnement du premier bloc de base.

## Thème 4 – Ouvrages portuaires et offshore

En parallèle, le système de positionnement local sous-marin AQUAMETRE R300 est utilisé pour aider le grutier à positionner le bloc à travers l'écran dans la cabine de la grue.

### c) Pose des blocs suivants

Une fois le premier bloc est posé, les blocs de base adjacents sont mis en place suivant le même procédé en se basant sur la cablette d'alignement parallèle à la magistrale. Pour la pose de la suite des blocs supérieure, le système de clé entre blocs permet de garantir le même alignement que les blocs de base.

### d) Déplacement de la plate-forme

Une fois que la flèche de la grue aurait atteint ses limites spatiales, la plate-forme autoélevatrice est déplacée à la position suivante pour continuer la pose des blocs. Le déplacement de celle-ci est effectué de deux manières différentes :

- Par flottaison. La plate-forme est d'abord remise à l'eau par le processus inverse à celui qui lui a permis de se lever hors de l'eau. Une fois en flottaison, la plate-forme est déplacée via l'assistance de remorqueur (opération de remorquage) jusqu'à sa nouvelle position. Cette méthode est essentiellement utilisée pour les grands déplacements ou pour les allers-retours au port de service.
- Par rotation. La méthode dite par « rotation » consiste à faire pivoter la plate-forme autour d'un de ses spuds en étant assisté par un remorqueur/pousseur (figure 9). Cette opération assure un déplacement circulaire de la barge autour d'un point fixe. Pour les déplacements limités, la combinaison de ces rotations permet de garder l'alignement de la barge le long d'une direction donnée (ex : magistrale).

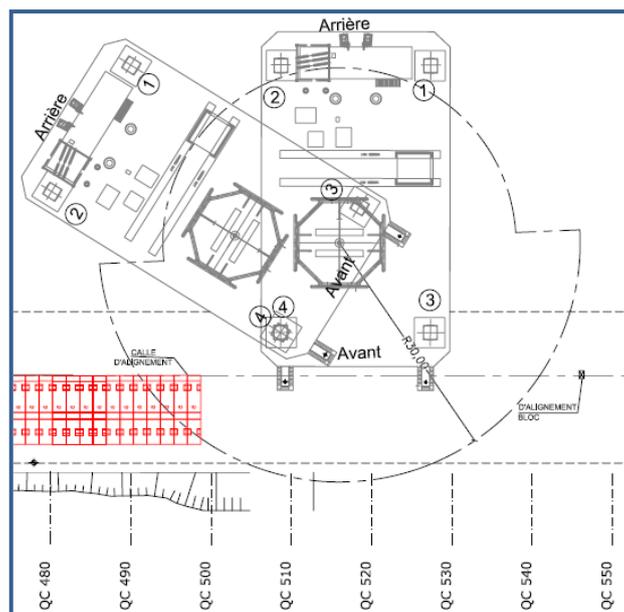


Figure 9. Déplacement de la barge par rotation.

#### 4.3 Contrôle qualité

Vu que la totalité de l'activité s'effectue sous l'eau, l'équipe de TME est assisté par une société de plongées sous marine pour mener les opérations de contrôle qualité dans de meilleures conditions. Les travaux de préparation de la souille, de la fondation et la mise en place des blocs sont effectués par un train d'atelier maritimes dans la locomotive est représenté par la drague. Ces travaux se déroulent d'une manière continue et les étapes se succèdent. Dans la même optique, TME a instauré un système de contrôle continu par une équipe dédiée, ce contrôle est jalonné par des points d'arrêt clés sous forme d'autorisation de passage entre les différentes étapes de construction.

- Contrôle de la souille : il s'agit de vérifier la conformité du profil de la souille après nettoyage par rapport aux plans d'exécution et de faire ensuite valider par les plongeurs la nature du terrain en place qui ne doit pas contenir de matériaux meubles ou de poches vaseuses. La validation de ces deux points donne lieu à une autorisation de la mise en place des enrochements de la fondation.
- Contrôle de la fondation : le positionnement des cadres de réglage est effectué au fur et à mesure de l'avancement des travaux, une fois le ballast est mis en place sur un linéaire suffisant pour être contrôlé, un relevé bathymétrique est effectué pour vérifier la conformité du profil exécuté par rapport aux plans d'exécution, la différence entre le point le plus haut de la fondation et le point le plus bas ne doit pas dépasser 5cm sur un linéaire de 10m. la bathymétrie est suivie par une inspection par plongeurs pour déceler les non-conformités qui peuvent échapper au contrôle bathymétrique. La validation de ces contrôles est considérée comme autorisation pour la pose des blocs.
- Contrôle des blocs : après la pose de la première rangée des blocs sur un linéaire donné, l'équipe TME procède à la vérification de l'alignement de ces blocs par rapport à la magistrale en se basant sur une cablette tirée devant ces blocs à une distance de 10cm parallèlement à la magistrale. Le contrôle s'effectue par tronçon de 12 blocs (20ml) et les plongeurs mesurent en contradictoire la distance réelle entre le parement des blocs et la dite cablette, cette distance devra être comprise entre 5cm et 15cm sans que le décalage relatif entre deux blocs adjacents ne puisse dépasser 7cm. Cette cablette étant préalablement contrôlée par une équipe topographique moyennant des fils à plombs descendant depuis la plate-forme de pose et surplombant la cablette installée au fond devant les blocs. Les plongeurs vérifient aussi les joints et les décalages relatifs entre blocs dans le sens altimétrique et planimétrique pour assurer que les blocs sus-jacent seront posés correctement et conformément au plan de pose.

#### **5. Conclusion**

Le quai en blocs du port Tanger Med II est un ouvrage construit en considérant des techniques qui se veulent innovantes et dont le contrôle qualité des travaux occupe une position importante dans le processus de réalisation. Toutefois, le travail en mer ouverte

#### *Thème 4 – Ouvrages portuaires et offshore*

impose une vigilance particulière de la part de l'entrepreneur comme de celle du Maître d'œuvre. Cette vigilance consiste à trouver le bon mariage entre le respect des tolérances imposées par le contrat et la production d'un ouvrage sans défaut.