



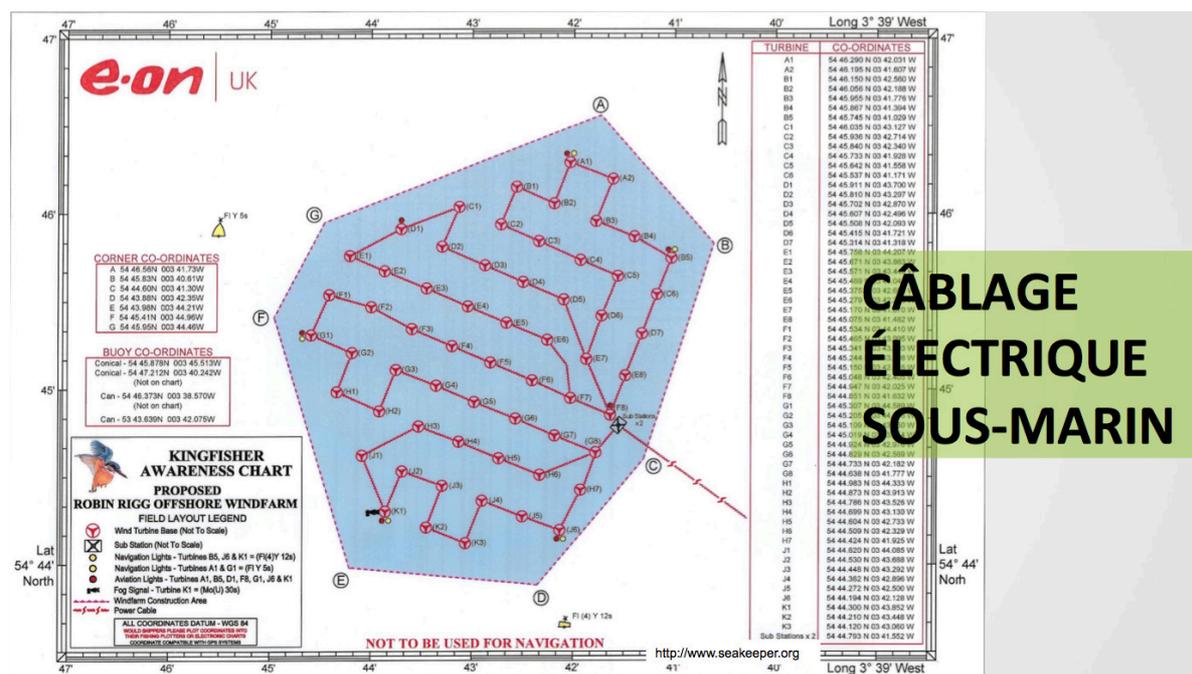
Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC UVED « Énergies renouvelables ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

Eolien flottant et hydroliennes : câblage électrique et maintenance

Jacques RUER

Directeur adjoint développement des technologies – SAIPEM

La puissance électrique est véhiculée par tout un ensemble de câbles électriques sous-marins. On trouve des câbles qui vont d'une éolienne à l'autre et qui se terminent sur une plate-forme de transformation. Ces câbles électriques inter-éoliennes sont réalisés en moyenne tension (par exemple 36 kW), on parle de réseaux HTA.



De la plate-forme de transformation, repart la puissance par un ou plusieurs câbles exports qui sont donc en haute tension (HTB), par exemple de 150 000 à 400 000 V.

Les câbles électriques sous-marins sont des éléments très particuliers qui sont fabriqués à la demande, qui comportent les conducteurs en cuivre ou en aluminium, qui sont isolés par une couche par exemple de polyéthylène réticulée haute densité, on parle d'isolation XLPE.



- On profite de ces câbles pour véhiculer sur le même chemin les signaux de contrôle commandes à travers un réseau de fibre optique et ces câbles électriques sous-marins se distinguent des câbles électriques souterrains parce qu'ils doivent légalement être protégés mécaniquement par une, voire plusieurs nappes de fil d'acier.
- Pour poser ces câbles, on a besoin bien entendu de navires spécifiques sur lesquels les câbles sont lovés et qui les déroulent progressivement sur le fond de la mer et comme on doit les ensouiller sous la surface de sol, on a recours à une charrue par exemple (on en voit une en bas à droite), qui va créer une tranchée dans laquelle le câble est descendu.



La plate-forme de transformation peut être un élément très lourd, (on voit ici une plate-forme de 500 MW qui pèse quand même 12 000 tonnes), et il faut signaler que pour exporter une grande puissance à une grande distance par des câbles électriques sous-

marins, cela pourrait ne pas être très efficace si la puissance est trop grande et les distances très importantes.

- C'est pour ça qu'on voit se développer une technologie qui consiste à réaliser cette transformation en courant continu haute tension.
- ⇒ On parle à ce moment-là d'export sous forme de HVDC (*high voltage direct current*). C'est une tendance absolument générale pour les grandes fermes éoliennes offshore par exemple en Allemagne.
- ⇒ La plate-forme que l'on voit, réalise cet export sous forme de courant continu.

Concernant la maintenance, on peut faire deux distinctions :

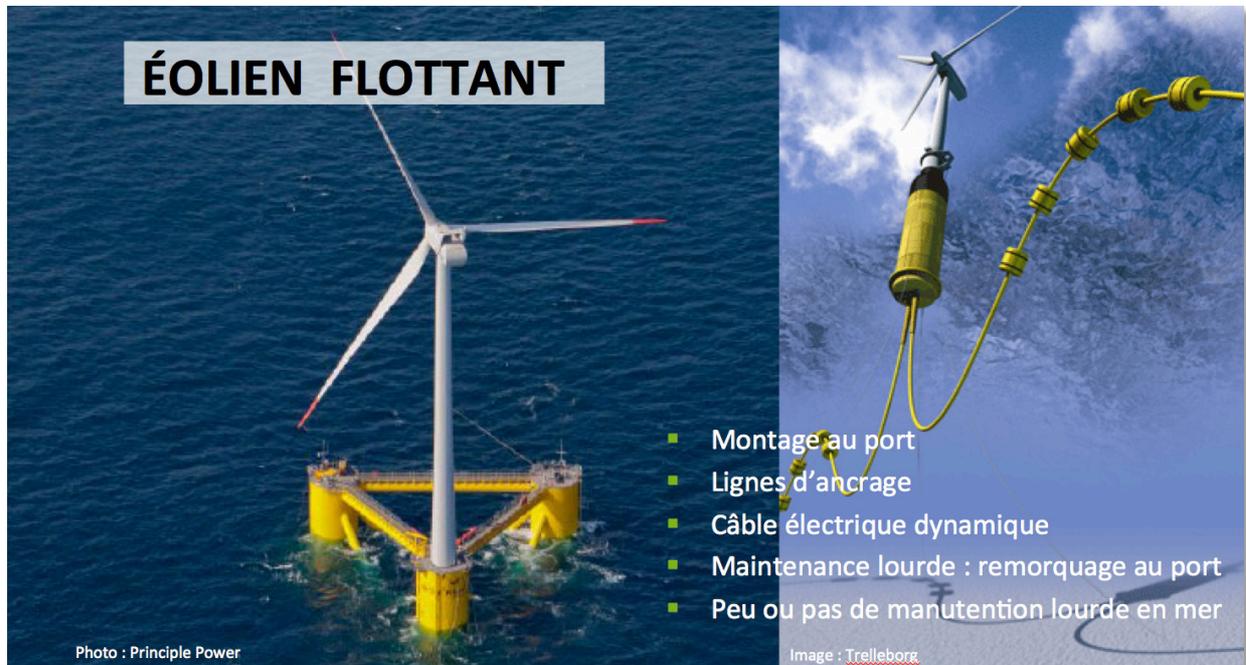
- De manière classique, on a la maintenance préventive qui consiste à réaliser l'entretien périodique, systématiquement en été, autant que faire se peut.
- La maintenance conditionnelle qui va consister à intervenir après avoir reçu une télé alarme à travers ce réseau de fibre optique de surveillance ;
- Et bien entendu, la maintenance curative qui consiste à faire une réparation après une panne.
- ⇒ Mais il faut aussi distinguer entre la maintenance légère en mer par du personnel ou des moyens de manutention relativement légers, avec des petits navires, et la maintenance lourde qui va nécessiter d'amener sur place des navires grues du type Jackup tout à fait similaires à ceux qui ont servis pendant la construction de la ferme.

Il est très important de voir que pour réaliser la maintenance en mer, il faut pouvoir accéder aux éoliennes et pouvoir accéder aux éoliennes en toute sécurité. Et cela devient très difficile à partir de petits navires dès que la mer a des vagues qui dépassent 1,5 mètre à 2 mètres de hauteur.

- Pour améliorer la situation, on voit donc apparaître des passerelles spéciales qui connectent mécaniquement le navire qui bouge à l'éolienne qui ne bouge pas mais qui permet le transfert du personnel en toute sécurité.
- ⇒ Un problème malgré tout avec ces navires, c'est que le temps de trajet jusqu'aux éoliennes peut prendre pas mal de temps et manger une grande partie du temps de travail journalier.
- ⇒ Donc pour améliorer la situation, on a de plus en plus recours à de l'hélicoptère : le personnel est apporté par hélicoptère au sommet, hélicoptère au sommet de la nacelle.
- ⇒ Un hélicoptère coûte plus cher qu'un bateau bien sûr mais l'accès est facilité : même si la mer a des vagues de plus de deux mètres, on peut encore accéder en hélicoptère et aussi, comme le temps de trajet est plus court, la même équipe de techniciens va pouvoir visiter éventuellement plusieurs éoliennes dans la même journée de travail.

Si l'on considère maintenant l'éolien flottant, on constate que le montage peut être réalisé complètement au port, c'est quand même plus simple que de réaliser le montage en mer.

- Par compte, comme l'éolienne doit rester fixe à la surface de la mer, on va avoir des lignes d'ancrage, donc des ancres qui sont bien sûr très différentes selon le type de sol qu'il y a sous l'éolienne.



Également, le câble électrique qui descend de l'éolienne jusque sur le sol, doit traverser toute la colonne d'eau.

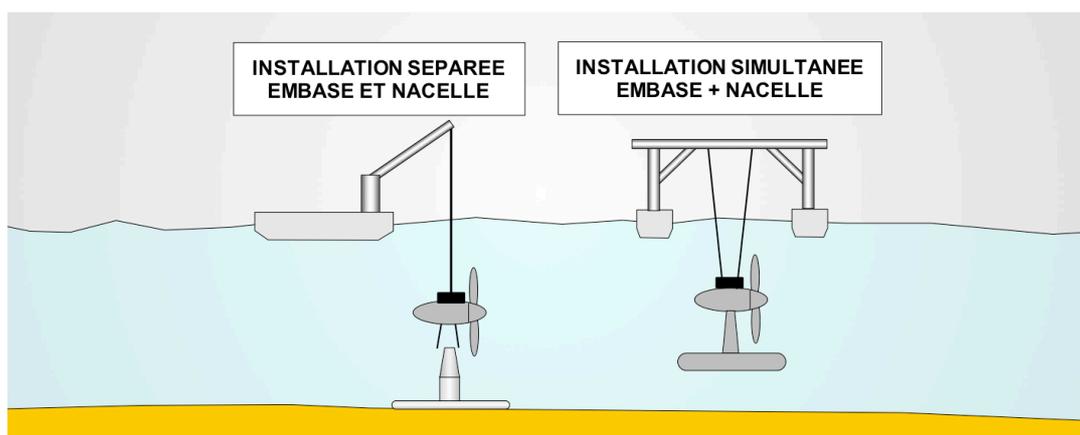
- ⇒ Il est donc soumis à l'action des vagues et des courants et ce câble électrique, dit dynamique doit être étudié donc en conséquence.

S'il y a un besoin de maintenance lourde, le plus simple consiste certainement à déconnecter l'éolienne et à la ramener au port. Si bien que l'on peut dire que dans le cas de l'éolien flottant, on a probablement peu voire pas besoin de maintenance lourde, de levage lourd en tout cas, en mer.

Si on parle maintenant des hydroliennes, ce sont des machines sous-marines qui ont une puissance plus faible que celle des éoliennes pour l'instant (de 100 kW à 1 MW) mais qui sont soumises à des efforts hydrodynamiques très importants à cause bien entendu des forts courants sur les sites considérés.

- Sur ces sites, il serait difficile d'amener des navires Jackup parce qu'il y a du courant et parce que la profondeur d'eau est toujours relativement grande (40 mètres à 50 mètres) donc on est obligés de recourir à des moyens navals spécifiques qui sont capables de se maintenir à la surface de la mer dans une position très précise malgré la présence des courants et des vents.

- ⇒ Toujours pour des raisons de sécurité, il est tout à fait déconseillé de recourir à des plongeurs sur des sites hydroliens.
- On ne pourrait pas entretenir une hydrolienne au fond de l'eau donc pour l'entretien, cela suppose tout d'abord le relèvement de la machine hors de l'eau avant la remise en place après réparation.
- Par compte, les câbles doivent résister également aux efforts du courant.
- ⇒ Donc durant la construction de ces câbles pour hydroliennes, on améliore, on alourdit le câble volontairement par un lestage supplémentaire.
- ⇒ Par compte la distance à la côte est relativement faible, si bien que l'on peut exporter la puissance des hydroliennes à la côte en moyenne tension.
- Signalons aussi que si on a un réseau de câbles reliant beaucoup d'hydroliennes entre elles sur un même site, on peut avoir besoin de connecteurs électriques sous-marins qui sont des éléments très spécifiques qui nécessitent beaucoup d'attention.
- Pour l'installation et la maintenance des hydroliennes, on voit apparaître deux philosophies générales.
 - La première consiste à installer tout d'abord l'embase, comme pour une éolienne posée classique sur laquelle on vient poser et connecter l'hydrolienne proprement dite. Avec un navire donc capable de se maintenir très précisément en un point voulu pour déposer l'hydrolienne à l'endroit précis.
 - Cette opération est assez délicate bien entendu, si bien qu'il existe aussi une autre philosophie qui consiste à installer simultanément l'hydrolienne sur son embase, le tout en même temps.



- ⇒ Dans ce cas-là, bien sûr, sur le colis est beaucoup plus lourd et le navire de pose doit être beaucoup plus puissant.

Ces deux images présentent deux maquettes qui illustrent ces deux philosophies :

- On voit à gauche une embase (en jaune) qui a été installée préalablement sur le fond de la mer sur laquelle on vient connecter l'hydrolienne proprement dite (en blanc) avec son rotor.
- À droite, une hydrolienne de type OpenHydro dans laquelle la génératrice est intégrée à l'ensemble de structure support et donc dans ce cas-là, on installe tout ensemble : l'hydrolienne et son embase.

