



**HAL**  
open science

# Comparaison des Masses et des Coûts des Parties Actives de Génératrices à Aimants Permanents pour des Cahier des Charges d'Hydroliennes POD et Rim-Driven

Sofiane Djebbari

► **To cite this version:**

Sofiane Djebbari. Comparaison des Masses et des Coûts des Parties Actives de Génératrices à Aimants Permanents pour des Cahier des Charges d'Hydroliennes POD et Rim-Driven. JCGE SEEDS 2013, Jun 2013, Saint Nazaire, France. pp.1-9. hal-00874409

**HAL Id: hal-00874409**

**<https://hal.science/hal-00874409v1>**

Submitted on 17 Oct 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Comparaison des Masses et des Coûts des Parties Actives de Génératrices à Aimants Permanents pour des Cahiers des Charges d'Hydroliennes POD et Rim-Driven

Sofiane Djebbari<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ecole Navale, EA 3634, IRENav, Brest, France, <sup>2</sup>Université de Brest, EA 4325 LBMS, Rue de Kergoat, Brest, France  
*sofiane.djebbari@ecole-navale.fr*

**RESUME** – L'article présente la comparaison de plusieurs types de génératrices directement entraînées par une turbine hydrolienne de grande puissance. Deux types de structures magnétiques (à flux radial et à flux axial) sont étudiés. Nous considérerons que ces deux structures peuvent être associées à la turbine selon deux types de technologies d'intégration (POD et RIM-Driven). Dans un concept dit « RIM-DRIVEN » la génératrice est disposée sur la périphérie de l'hélice. Pour les technologies POD, la génératrice est logée dans une nacelle étanche centrée sur l'intérieur des pales de la turbine. Pour les besoins de cette étude, deux cahiers des charges relatifs à deux sites choisis pour l'implantation d'hydroliennes préindustrielles sont utilisés. Ainsi, le site de la Baie de Fundy, en Nouvelle Ecosse, Canada caractérisé par de forts courants et un le site de Paimpol-Bréhat, France qui se différencie par des courants moins forts sont utilisés pour le dimensionnement de ces génératrices. Les outils utilisés comprennent un modèle électromagnétique et un modèle thermique intégrés dans une procédure d'optimisation visant à minimiser le coût total des parties actives. La méthode et les spécifications nécessaires pour effectuer ces dimensionnements sont données dans cet article. Des comparaisons technico-économiques des coûts et des masses des parties actives, en lien avec ces technologies, sont ainsi menées.

**ABSTRACT** – The aims of the paper is to compare permanent magnets generators for different technologies for marine current turbine application. For that purpose, such as simple side axial flux permanent-magnet (PM) and radial flux PM machines are chosen to be sized for POD and Rim-Driven marine current turbines. For Rim-Driven generators and turbines associations, the machines active parts are inserted at the blade periphery. With POD technologies the generator is inserted in a nacelle. In addition, two marine current turbine sites installation are here considered for the related comparative study. The first one is Baie of Fundy, Canada, it is characterized by high velocity marine currents. The second one is Paimpol-Bréhat, France, it presents a less higher current velocity than the first one. The used sizing models include an electromagnetic model which is linked to a thermal model in an optimization procedure that goals to minimize the active parts cost. Finally, a technico-economic comparison of active parts masses and costs is carried out.

**MOTS-CLES** – Hydrolienne, entraînement direct, Rim-Driven, POD, machines à flux axial, machine à flux radial, Méthodologie, comparaison de machines.

## 1. Introduction

Les machines à aimants permanents à entraînement direct peuvent se révéler très intéressantes pour les applications sous marines et offshore où l'accès pour effectuer des opérations de maintenance est souvent un point critique et difficile. Ainsi pour extraire l'énergie des courants de marées, utiliser des systèmes à entraînement direct où la génératrice est directement reliée à la turbine et l'ensemble tournant à la même vitesse peut être une solution pertinente. Dans ce cas, la génératrice est entraînée à basse vitesse (typiquement en dessous de 50 tr/min pour des dispositifs de grande puissance) et le multiplicateur mécanique est éliminé. Ainsi, le rendement de la chaîne de conversion est amélioré et les besoins en maintenance causés par le multiplicateur mécanique (défaillance, lubrification...etc.) sont minimisés [1]. Néanmoins, les génératrices fonctionnant à faible vitesse sont caractérisées par un très fort couple, ce qui amène à un volume élevé des parties actives (cuivre, aimant) de la génératrice.

Les projets pour l'exploitation de l'énergie des courants de marées voient l'émergence et l'étude de plusieurs solutions techniques [2]. Ainsi, des turbines à axe horizontal [3-4-5] inspirées de l'éolien, à axe vertical de type Darius ou à pales oscillantes inspirées de la biologie marine sont à l'étude [6]. À l'heure actuelle la plus grande partie de ces solutions techniques sont en phase de développement ou de tests, et la technologie de référence ne s'est pas encore imposée. Par conséquent, nous nous consacrons, dans ce travail, à mener une étude comparative des solutions les plus avancées en termes de développement pour associer une génératrice à une turbine hydrolienne à axe horizontal. Dans la première dite Rim-Driven la génératrice est insérée dans une tuyère à la périphérie des pales (voir Figure 1a et Figure 1b). Pour la deuxième technologie désignée par POD, la génératrice peut être logée dans une nacelle reliée à l'arbre de la turbine (Figure 2b) [7], nous distinguons également un autre type de POD où elle est introduite dans une carène

*\*Ces travaux sont financés par la Marine Nationale et bénéficient d'un soutien de la société ECA-EN*

annulaire au centre de la turbine (Figure 2a) [5]. Il est à noter que ces concepts technologiques sont développés pour les hydroliennes pré industrielles comme : OpenHydro (Figure 1b), Atlantis ressource (figure 2b) et Alstom BELUGA 9 (Figure 2a) [4-5] qui ont montré la faisabilité de ces concepts. La différence majeure entre ces solutions réside dans le fait que le rayon interne de la génératrice est imposé par la turbine pour le cas du Rim-Driven, alors que pour un POD, c'est le rayon externe qui est limitée par une valeur seuil afin de maintenir un bon compromis entre la performance hydrodynamique des pales et la performance électrique de la génératrice. En outre, nous considérerons dans cette étude le dimensionnement de deux machines à aimants permanents : à flux axial et à flux radial et pour deux sites d'implantation d'hydroliennes différents, à savoir un site à fort courants et un autre à moins fort courants, et cela pour les deux possibilités d'intégration évoquées (en POD et en Rim-Driven). L'objectif est, ici, de mener une comparaison et de dégager les principales tendances spécifiques à ces choix technologiques.

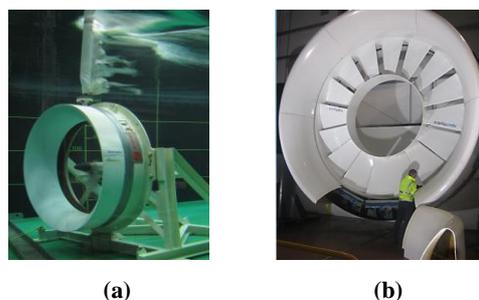


Figure 1 : Démonstrateur d'hydrolienne RIM-DRIVEN testé à l'IRENav [3] (a), hydrolienne RIM-DRIVEN développée par la société OpenHydro (b) [4],

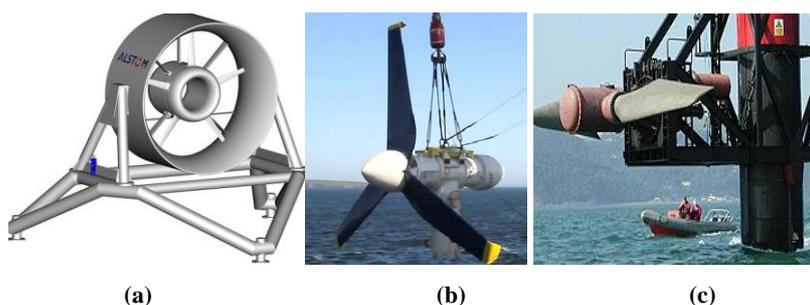


Figure 2 : Hydrolienne de type POD « BELUGA 9 » développée par ALSTOM [5] (a), Hydrolienne POD d'Atlantis ressources corporation (b) [7], hydrolienne SeaGen avec génératrice en POD (c).

## 2. Méthodologie adoptée

### 2.1 Définition des cahiers des charges étudiés

Nous adoptons un cahier des charges d'une machine de forte puissance pour un site de fort courant que nous appellerons « site 1 » dans la suite de cette étude. Cette machine est calculée pour une vitesse nominale de courant de marée de 3,5m/s et est destinée à être associée à une turbine d'environ 12 m de diamètre possédant un coefficient de puissance de 0,41 obtenu pour un TSR (Tip Speed Ratio) de 6. Ceci correspond à une vitesse de rotation de la turbine d'environ 34 tr/min pour une puissance de 1MW. Ce cahier des charges est à rapprocher de celui de la turbine ALSTOM Beluga 9 destinée à être testée en Baie de Fundy en Nouvelle Ecosse, Canada [5]. Le tableau 1 résume les principales caractéristiques utilisées pour le dimensionnement pour ce premier cahier des charges :

Tableau 1 : Caractéristiques de dimensionnement extraites à partir du « site 1 », à rapprocher des spécifications du Beluga 9.

Vitesse des courants	$V_n$	3,5	m/s
Puissance nominale de la turbine	$P_n$	1000	kW
Vitesse de rotation de la turbine	$\Omega_n$	34	tr/min
Diamètre de la turbine	$D_0$	12	m

Nous adoptons également un autre cahier des charges pour une machine de forte puissance dédiée à être implanté dans un site de moins fort courant que nous appellerons « site 2 » dans la suite de cette étude. La génératrice est calculée pour une vitesse nominale de courant de marée de 2,5m/s et est destinée à être associée à une turbine d'environ

*\*Ces travaux sont financés par la Marine Nationale et bénéficient d'un soutien de la société ECA-EN*

12 m [9] de diamètre possédant un coefficient de puissance de 0,41 obtenu pour un TSR (Tip Speed Ratio) de 6. Ceci correspond à une vitesse de rotation de la turbine d'environ 24 tr/min pour une puissance de 500kW. Ce cahier des charges est à rapprocher de celui de la turbine OpenHydro qui est en phase de tests à Paimpol-Bréhat, France [9]. Le tableau 2 résume les principales caractéristiques utilisées dans ce second cahier des charges :

**Tableau 2 : Caractéristiques de dimensionnement extraites à partir du « site2 », à rapprocher du Beluga 9.**

Vitesse des courants	$V_n$	2,5	m/s
Puissance nominale de la turbine	$P_n$	500	kW
Vitesse de rotation de la turbine	$\Omega_n$	24	tr/min
Diamètre de la turbine	$D_0$	12	m

De plus, nous fixons certaines grandeurs liées au dimensionnement de la génératrice et de sa commande (tableau 3). Il est à préciser que dans tous les cas étudiés, la génératrice est supposée associée à un convertisseur à IGBT commandée en MLI qui permet un contrôle des courants dans les bobinages de la génératrice et son contrôle en vitesse variable (selon le principe de la MPPT). Nous considérons les forces électromotrices et les courants d'induit maintenus en phase au point nominal (selon une stratégie de type Maximum Torque Per Ampere control : MTPA).

**Tableau 3 : Grandeurs structurelles de la génératrice fixées par le cahier des charges.**

Epaisseur relative de l'entrefer en portion du diamètre de la machine ( $D$ )	$k$	2‰	-
Entrefer mécanique	$h_g$	$k.D$	mm
Angle électrique entre FEMs et courants (commande MTPA)	$\psi$	0	rad
Nombre de phases	$m$	3	-
Nombre d'encoche par pôle et par phase	$S_{pp}$	1	-
Longueur des têtes de bobines (forme de demi-cercle [11])	$L_{tête\_bobines}$	$\pi D/2p$	m
Coefficient de remplissage des encoches	$k_f$	0,65	-
Ouverture relative des aimants	$B_m$	0,66	-
Température max dans les conducteurs d'encoches	$T_{max}$	100	°C
Rendement électrique minimal de la génératrice	$\eta_{elec}$	0,90	-
Température de l'eau de mer	$T_{eau}$	30	°C

De plus, dans l'étude présentée, nous considérons les matériaux actifs suivants (tableau 4) :

- les aimants permanents (matériaux magnétique dur) sont de type Néodyme-Fer-Bore à haute énergie,
- les matériaux magnétiques doux sont des tôles magnétiques standard,
- les bobinages sont répartis à pas diamétral et constitués de cuivre.

Les propriétés physique et magnétique de ces matériaux actifs sont données dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Caractéristiques dimensionnant extrait à partir du « site 1 » à rapprocher du Beluga 9.**

<b>Aimants permanents (<math>N_d F_e B</math>) [14]</b>			
Induction rémanente	$B_r$	1.22	T
Champ coercitif	$H_{cj}$	1208	kA/m
Température maximal de fonctionnement	-	180	°C
Masse volumique	$P_{aimants}$	7400	kg/m <sup>3</sup>
Prix [15]	$C_{aimants}$	115	\$/kg
<b>Tôles ferromagnétiques <math>F_e S_i</math> (3% à 3.5% de <math>S_i</math>) [16]</b>			
Fréquence de fonctionnement	$f_{elec}$	50 to 400	Hz
Induction d'apparition de la saturation	$B_{sat}$	1.48	T

Saturation des tôles	-	2.2	T
Epaisseur des tôles	-	0.1	mm
Pertes spécifiques des tôles à 50Hz	$P_{Fe0}$	5	W/kg
Perméabilité relative	-	5000	-
Masse volumique [17]	$\rho_{FeSi}$	7700	kg/m <sup>3</sup>
Prix [18]	$C_{tolles}$	1	\$/kg
<b>Cuivre à 20°C</b>			
Résistivité électrique	$\rho_{Cu}$	$1.6779 \times 10^{-8}$	$\Omega \cdot m$
Masse volumique	$P_{cuivre}$	8960	Kg/m <sup>3</sup>
Prix [15]	$C_{cuivre}$	7.8	\$/kg

## 2.2 Définition des structures magnétiques des génératrices étudiées

Dans ce travail nous optons pour deux types de structures magnétiques adaptées pour l'entraînement direct et qui peuvent s'associer avec une turbine d'hydrolienne en POD et en Rim-Driven. La machine à aimants permanents à flux axial est pourvue de disques fixes supportant des bobinages et de disques mobiles supportant des aimants permanents. Le flux provenant des aimants est axial, tandis que les conducteurs actifs sont orientés dans la direction radiale [10]. Dans cette étude nous considérons une machine à flux axial à simple stator et simple rotor. La figure 3 issue de la référence [12] donne un aperçu de la disposition du circuit magnétique d'une telle machine.

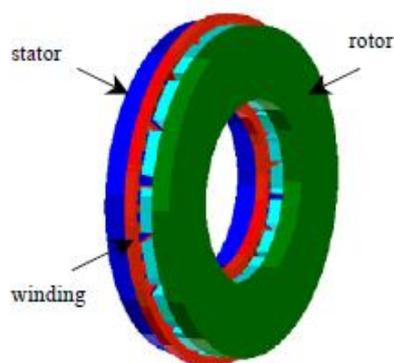


Figure 3 : Croquis d'une machine à flux axial simple face (figure issue de [12]).

L'autre structure magnétique étudiée est la machine à aimant permanents à flux radial. Dans le cadre d'un entraînement direct, elle peut être placée à la périphérie de la turbine comme dans [9] ou en POD associée à l'axe de la turbine. Cette machine est pourvue d'un stator cylindrique portant des encoches qui servent à loger les conducteurs qui sont placés dans la direction axiale. Le rotor est constitué d'une culasse ferromagnétique sur laquelle sont collés des aimants permanents. Ce rotor peut être creux en son milieu pour les machines de grand diamètre. La figure 4 représente une coupe d'une machine à flux radial.

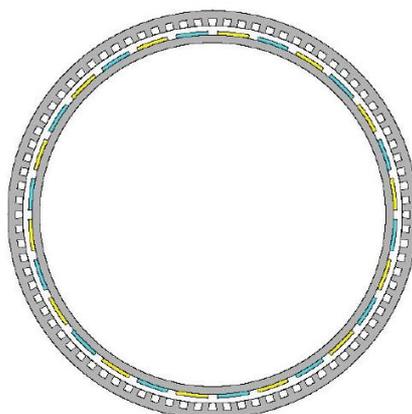


Figure 4 : Croquis d'une machine à flux radial.

Les cahiers des charges sont utilisés pour dimensionner une génératrice à aimants permanents à flux axial, d'abord pour une association en POD (le diamètre externe de la génératrice est contraint à 1/3 du diamètre de la turbine), puis dans un second temps, en Rim-Driven (le Diamètre interne de la génératrice est alors égal au diamètre de la turbine [8]). Ces dimensionnements sont effectués grâce à l'association, au sein d'une procédure d'optimisation, de modèles analytiques décrivant le comportement électromagnétique et thermique du système.

### 2.3 Méthodologies et modèles utilisés

Il s'agit dans cette partie de comparer et d'évaluer d'un point de vue du dimensionnement électromagnétique les performances de génératrices à aimants permanents à flux axial et à flux radial associées en Rim-Driven ou en POD avec une turbine d'hydrolienne. Ces cas technologiques étudiés sont résumés dans le tableau 5 pour comparer les coûts et masses des parties actives des génératrices dimensionnées sont comparés:

**Tableau 5 : Récapitulatif des technologies de génératrices et les modes d'association avec la turbine étudiés.**

	Site 1 (Baie de Fundy)		Site 2 (Paimpol-Bréhat)	
Structure magnétique de la génératrice	Structure magnétique à aimants permanent et à flux radial	Structure magnétique à aimants permanent et à flux axial	Structure magnétique à aimants permanent et à flux radial	Structure magnétique à aimants permanent et à flux axial
Type d'association génératrice/turbine				
Rim-Driven	Coûts et masses des parties actives.	Coûts et masses des parties actives.	Coûts et masses des parties actives.	Coûts et masses des parties actives.
POD	Coûts et masses des parties actives.	Coûts et masses des parties actives.	Coûts et masses des parties actives.	Coûts et masses des parties actives.

La méthodologie de dimensionnement implique principalement un modèle électromagnétique et un modèle thermique. Le modèle électromagnétique permet le calcul des dimensions géométrique de la génératrice. Le modèle thermique sert à calculer la température dans les encoches afin de respecter les températures limites des matériaux. Des modèles et méthodologies comparables à ceux utilisés dans cette étude sont présentés et décrits en détails dans [8] [10]. Ces modèles sont intégrés dans un processus d'optimisation de la génératrice sous contrainte comme décrit en détail dans [19]. Dans notre cas, l'optimisation vise à minimiser le coût des parties actives de la génératrice, alors que les contraintes visent à s'assurer de la viabilité de la solution trouvée à savoir : une température dans les encoches inférieure à la température maximale autorisée et des dimensions d'encoche et de culasses réalistes. Ainsi, la méthodologie utilisée dans cette étude est explicitée sur le diagramme de la figure 5.

Le diagramme de la figure 5 comporte 4 blocs principaux. Dans le premier bloc le cahier des charges qui va servir au dimensionnement de la chaîne de conversion d'énergie est défini à partir de la caractéristique de la ressource des courants de marée ou l'hydrolienne sera implantée et de la turbine (TSR et Coefficient de puissance de la turbine) ce qui permet de déterminer la vitesse de rotation et la puissance nominale ( $P_n$ ,  $\Omega_n$ ) de la génératrice. Le deuxième bloc permet de choisir le cas traité au niveau de l'association génératrice/turbine (POD ou Rim-Driven et choix de la structure magnétique (radiale ou axiale)). Le troisième bloc permet le calcul des dimensions géométriques optimales de la génératrice et de calculer les températures maximales au niveau des conducteurs. Dans notre cas de figure, un modèle électromagnétique 2D établi par inversion analytique des équations de champ et un modèle thermique établi à partir d'un réseau de résistances thermiques sont utilisés selon le processus décrit dans le diagramme de la figure 5. Dans le dernier bloc il s'agit d'observer un certain nombre de critères afin de juger de l'efficacité et de la justesse des choix effectués. Dans notre cas, nous évaluons toutes les possibilités données dans le tableau 5 et nous comparons par la suite les coûts et les masses des parties actives des génératrices dimensionnées. Cependant, il est important de préciser que les dimensionnements sont effectués sans tenir compte des aspects liés au fonctionnement sur un cycle de marée, ils sont établis sur un point de fonctionnement (point nominal constitué du couple nominal et de la vitesse nominal).

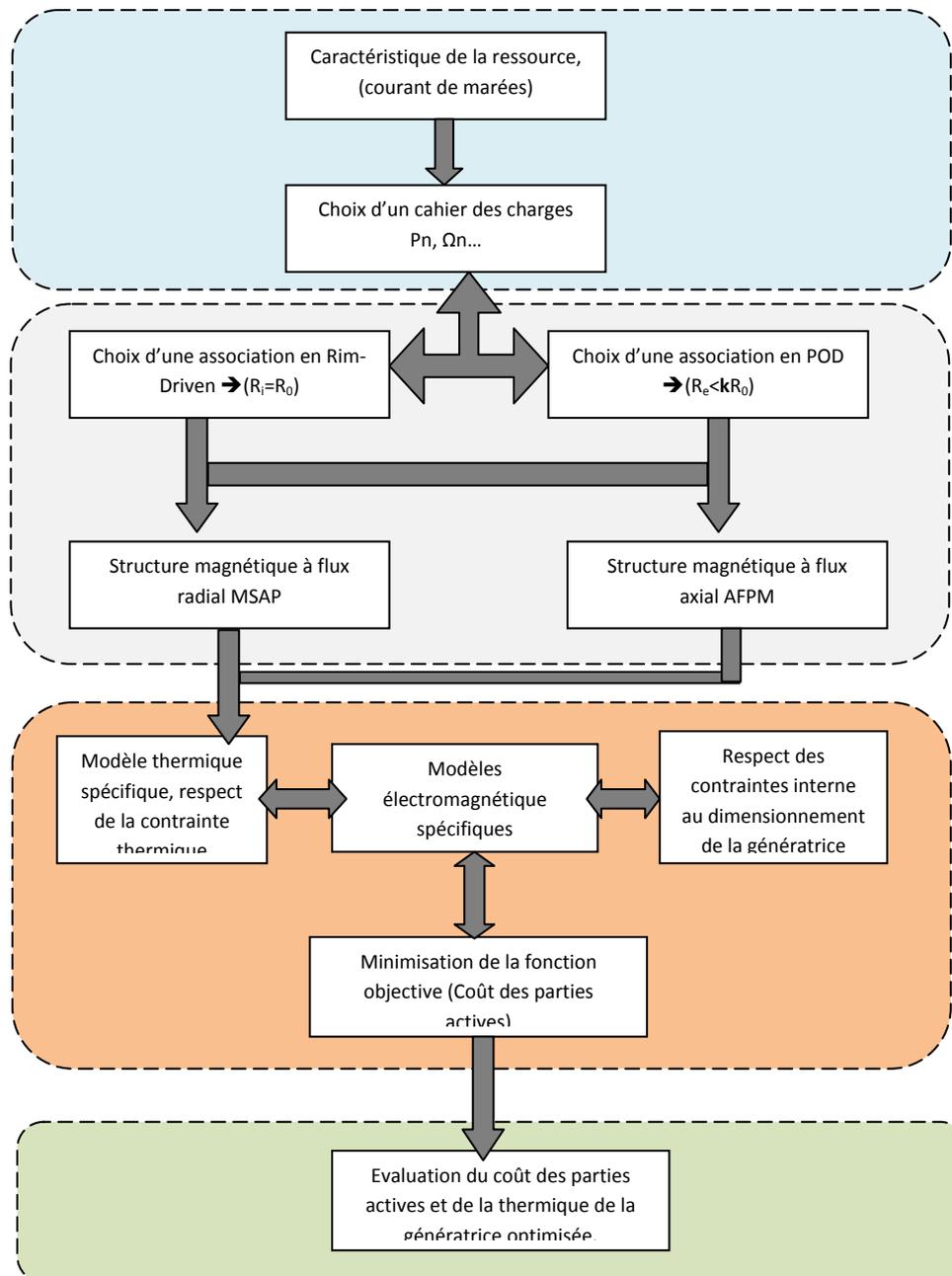


Figure 5 : synoptique de la méthodologie de dimensionnement adoptée.

### 3. Comparaison des technologies étudiées

Les cahiers des charges des site 1 et site 2 sont utilisés pour dimensionner une génératrice à aimants permanents à flux axial et à flux radial. Nous effectuerons dans un premier temps des dimensionnements en POD avec contraintes sur le diamètre extérieur des machines considérées (ce diamètre est contraint à 1/3 du diamètre de la turbine). Dans un second temps, nous prendrons une contrainte géométrique typique d'une hydrolienne Rim-Driven (le diamètre interne de la génératrice est égal au diamètre de la turbine [8]). Les figures 6 et figure 7 illustrent les résultats obtenus en termes de coûts et de masses des parties actives des génératrices à flux axial et à flux radial calculées pour une association en POD et en Rim-Driven.

On remarque sur la figure 6 des coûts des parties actives comparables entre les génératrices à aimants permanent à flux axial et à flux radial. Néanmoins, pour le cas des PODs et particulièrement lorsque il s'agit de machine à flux axial, le diamètre du POD doit être suffisamment grand pour placer la surface d'entrefer nécessaire pour créer le couple

requis. La machine peut donc ne pas entrer dans ce volume si le diamètre du POD est fortement contraint (ceci est illustré sur la figure 6). On peut aussi relever à partir de cette figure que l'association de la génératrice en POD avec diamètre contraint à 1/3 du diamètre de la turbine est avantageuse en termes de coût des parties actives de la génératrice. Ainsi, le coût des parties actives pour le POD est inférieur d'environ 20% à celui d'une génératrice associée à la turbine en Rim-Driven (placée à la périphérie des pales). En effet dans les cas de type Rim-Driven les têtes de bobines représentent bonne partie du volume de cuivre ce qui augmente le prix de la machine.

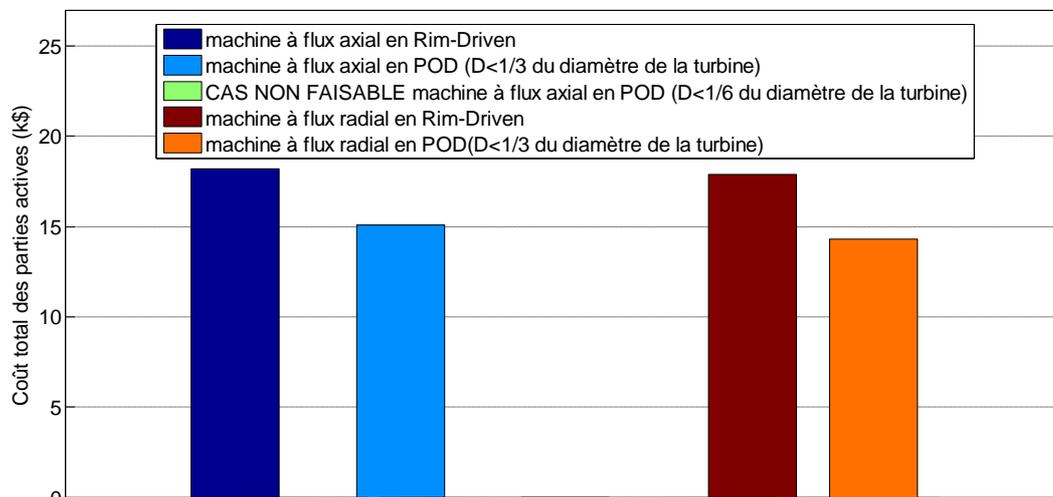


Figure 6 : Comparaison du coût des parties actives des différentes génératrices calculées pour les modes d'associations étudiés en direct-drive, le calcul est effectué pour le cahier des charges du site 1.

Dans la figure 7, on constate que les génératrices à flux axial et à flux radial présentent des masses des parties actives comparables. Cependant, l'association de ces génératrices en Rim-Driven est caractérisée par une masse inférieure des parties actives ce qui avait déjà été mis en évidence dans [3].

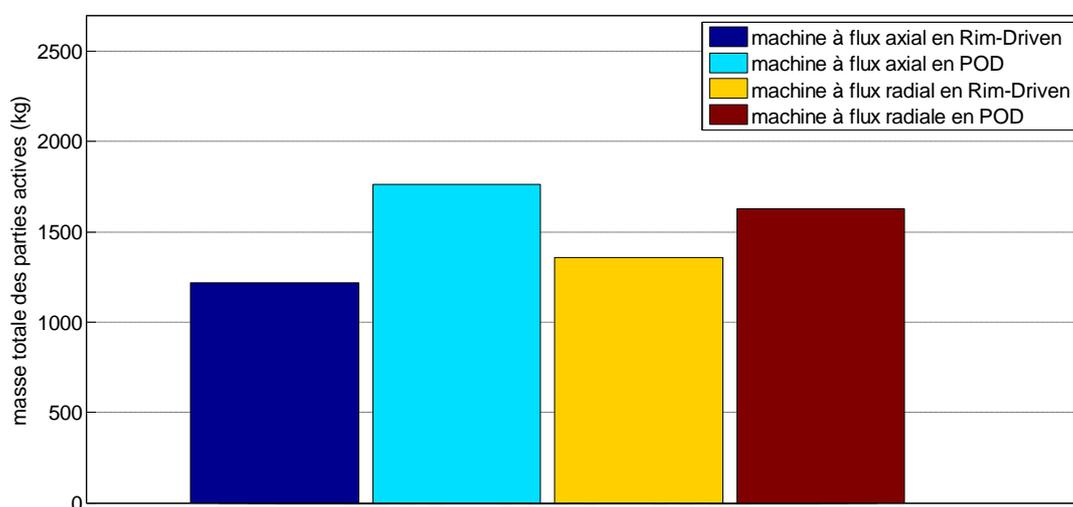


Figure 7 : Comparaison de la masse des parties actives des différentes génératrices calculées pour les modes d'associations étudiés en direct-drive, le calcul est effectué pour le cahier des charges du site 1.

Dans les figures 8 et 9 nous avons réalisé pour le site 2 la même étude que celle effectuée pour le site 1 à courant fort. Globalement nous aboutissons aux mêmes conclusions qualitatives que pour le site 1. Une machine optimisée en termes de coût des parties actives pour une association en POD contraint sur son diamètre à 1/3 du diamètre de la turbine paraît être un compromis intéressant en termes de coût des parties actives. Cependant, on constate comme cela était le cas pour le site 1, une masse plus faible des parties actives lorsque la génératrice est placée sur la périphérie de la turbine en Rim-Driven et ceci pour les deux sites pris en considération dans l'étude. De plus on remarque une

\*Ces travaux sont financés par la Marine Nationale et bénéficient d'un soutien de la société ECA-EN

meilleure compacité des génératrices en termes des coûts des parties actives lorsque cette dernière est dimensionnée pour un site avec des courants forts (meilleur rapports poids/puissance et cout/puissance).

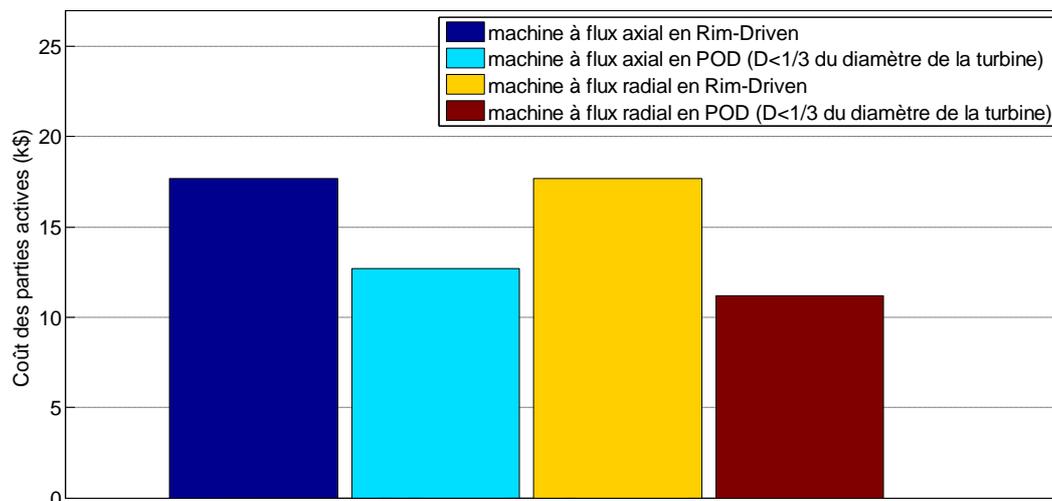


Figure 8 : Comparaison du coût des parties actives des différentes génératrices calculées pour les modes d'associations étudiés en direct-drive, le calcul est effectué pour le cahier des charges du site 2.

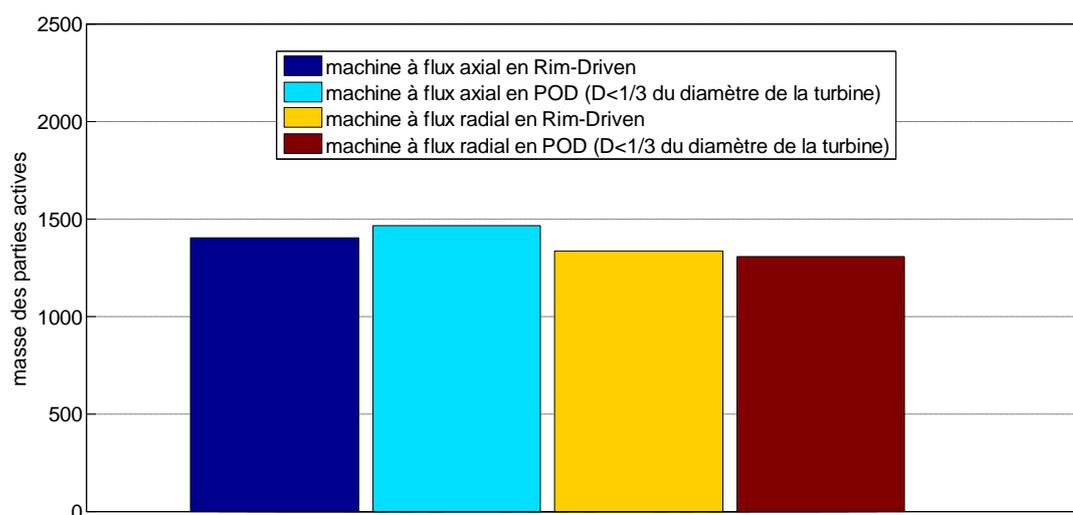


Figure 9 : Comparaison de la masse des parties actives des différentes génératrices calculées pour les modes d'associations étudiés en direct-drive, le calcul est effectué pour le cahier des charges du site 2.

#### 4. Conclusion

Le travail présenté concerne le dimensionnement de structures magnétiques de génératrices à aimant avec des turbines hydroliennes. L'étude présente une comparaison de dimensionnement optimal de génératrices à flux axial (simple rotor et simple stator) et à flux radial pour des associations à entraînement direct. Des dimensionnements de génératrices à flux axial et radial de type Rim-Driven et POD sont ainsi déterminés pour deux cahiers des charges liés à deux types de site : un site à fort courant et un site à moins fort courant. Ces dimensionnements correspondent à une minimisation du coût des parties actives sous contraintes de température et de rendement. L'étude montre des coûts et masses des parties actives comparables entre la structure à flux axial (simple stator et simple rotor) et la structure à flux radial. L'intégration en POD avec un diamètre contraint à 1/3 du diamètre de la turbine présente un meilleur compromis en termes de coûts des parties actives car elle permet un meilleur facteur de forme du système (proportion des têtes de bobines réduite). De plus, le dimensionnement effectué pour des sites à forts courant montre une meilleure compacité

de la génératrice que pour des sites présentant des courants plus faibles. L'étude de machines à flux axial poly-entrefer et la prise en compte du cycle de fonctionnement seraient des pistes intéressantes afin de compléter cette étude.

## 5. Références

- [1] R.S. Semken, M. Polikarpova, P. Roytta, J. Alexandrova, J. Pyrhonen, J. Nerg, A. Mikkola and J. Backman, "Direct-drive permanent magnet generators for high-power wind turbines: Benefits and limiting factors," *IET Renewable Power Generation*, vol. 6, n°1, pp. 1-8, January 2012.
- [2] E. Block., "Tidal power: an update," *Renewable Energy Focus*, Volume 13, Issue 5, September–October 2012, Pages 20-22.
- [3] L. Drouen, "Machines électriques intégrées à des hélices marines, contribution à une modélisation et conception multi-physique," Thèse de Doctorat ARTS ET METIERS ParisTech, 2010.
- [4] OpenHydro, site web, "<http://www.openhydro.com>", consulté en septembre, 2012.
- [5] P. Gilson., "Alstom's Tidal In Stream Energy Converter Demonstration Project," *WREC 2011*, Bali, October 17<sup>th</sup>, 2011.
- [6] S.E. Ben Elghali, L. Drouen, M.E.H. Benbouzid, J.F. Charpentier, J.A. Astolfi, F. Hauville, 'Les systèmes de génération d'énergie électrique à partir des courants de marées ', revue 3EI, n° 52, pp, 73-85, Mars 2008.
- [7] Atlantis ressource corporation, site web, "<http://www.atlantisresourcescorporation.com>", consulté en Janvier, 2013.
- [8] Djebbari S., Charpentier J. F., Sculler F., Benbouzid M., Guemard S., "Rough Design of a Double-Stator Axial Flux Permanent Magnet Generator for a Rim-Driven Marine Current Turbine," in *Proceedings of the ISIE'2012*, Hangzhou (China), May 2012.
- [9] Rapport Dossier de Presse EDF, "Projet EDF Hydroliennes: site de Paimpol-Bréhat, point d'avancement du projet", Février 2009.
- [10] S. Djebbari, J.F. Charpentier, M. Benbouzid, S. Guemard, "Pré Dimensionnement d'une Machine Axiale à Double Stator pour un Cahier des Charges d'une Hydrolienne à Entraînement Circconférentiel", *Electrotechnique du Futur, EF'2011, Belfort, 13 et 14 décembre 2011*, 9 p. dans les actes de la conférence.
- [11] T.J.E Miller, M.I McGilp, D.A Staton, J.J Bremner, "Calculation of inductance in permanent-magnet DC motors", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 146, No. 2, March 1999.
- [12] M. Aydin, S. Huang and T. A. Lipo "axial flux permanent magnet disc machines: a review" Research Reportn, 2004..
- [13] Montague R, Marine Current Turbines Ltd, "The Seagen Turbine" <http://www.seageneration.co.uk/downloads/recent/General%20Documents/Seagen%20Facts%20EXTERNAL%202.pdf>, November 2008, accessed April 2010.
- [14] T.J.E Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives" *Oxford science publications*, 1989.
- [15] [www.mineralprices.com](http://www.mineralprices.com) (last accessed: March, 2013).
- [16] F. Beauclair, J.P Delvinquier and J.P Gros "Transformateurs et Inductances," *Technique de l'Ingénieur*, Traité d'Electronique, E2130.
- [17] F. Viale, "Alliage fer-silicium," *Technique de l'Ingénieur, Traité de Génie Electrique*, d195, 1972.
- [18] [www.asianmetal.com](http://www.asianmetal.com) (last accessed: March, 2013).
- [19] [19] S. Djebbari, J.F. Charpentier, F. Sculler, J.F Charpentier, « Génératrice à aimants permanents à flux axial à grand diamètre à entrefer immergé -Eléments de conception et analyse des performances pour un cahier des charges d'hydrolienne » à paraître dans EJEE.