



Calcul numérique des structures pour les Energies Marines Renouvelables: défis et structuration de la recherche autour du WeAMECenter

Franck Schoefs

► To cite this version:

Franck Schoefs. Calcul numérique des structures pour les Energies Marines Renouvelables: défis et structuration de la recherche autour du WeAMECenter. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01516621

HAL Id: hal-01516621

<https://hal.science/hal-01516621>

Submitted on 2 May 2017

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.

Public Domain

Calcul numérique des structures pour les Energies Marines Renouvelables : défis et structuration de la recherche autour du WeAMECenter

F. Schoefs¹

¹ LUNAM Université, École Centrale de Nantes, Université de Nantes, CNRS, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), 1 rue de la Nôe, F-44321 Nantes, France.

Résumé — Les structures offshore ont toujours constitué pour l'homme un défi logistique pour leur installation mais aussi en amont lors de leur conception. Apparues peu après la seconde guerre mondiale pour l'exploitation des hydrocarbures à quelques centaines de mètres des côtes, elles ont connues un essor important dans les années 70 et 80 suite aux deux chocs pétroliers. Le challenge depuis 15 ans est une exploitation à plusieurs milliers de mètres de profondeur. La recherche et l'ingénierie ont rivalisés d'ingéniosité dans les concepts et les résultats obtenus dans la modélisation pour obtenir des modèles de comportements et de compréhension de l'environnement de plus en plus réalistes et de plus en plus fiables. Parallèlement les analyses de risques et les enjeux technico-économiques ont conduit à intégrer des incertitudes : cette conquête a été, avec l'aéronautique des années 40, à l'origine de l'essor de la théorie de la fiabilité. La nécessité d'optimisation de la conception dans des contextes parfois économiquement difficiles (fluctuation du prix de la matière première) ont amené à mettre à jour les modèles à partir de mesures notamment grâce à l'instrumentation structurelle et environnementale. L'industrie des Energies Marines Renouvelables (EMR) connaît actuellement son développement avec des enjeux encore plus importants sur la réduction des coûts de conception et d'exploitation. La communauté du calcul de structures doit donc relever de nouveaux défis que cet article propose de présenter. En Pays de la Loire, les travaux scientifiques et d'innovation sont impulsés et animés depuis avril 2015 au sein du West Atlantic Marine Energy Center (WeAMECenter), piloté par l'Ecole Centrale de Nantes, l'Université de Nantes, le pôle EMC2 et l'IRT Jules Vernes.

Mots clés — EMR, calcul de structures, optimisation.

1. Contexte général 'RFI'

L'animation de la recherche sur les EMR en France connaît un fort développement sous l'impulsion d'organismes divers : ADEME, France Energies Marines, ANR, IRT Jules Vernes, Alliance ANCRE etc ... Il s'agit d'un enjeu industriel important [1] pour le pays disposant de la seconde façade maritime mondiale, d'une recherche de premier plan (la COMUE UBL est l'équivalent du Danemark en sciences marines, [2]) et d'une industrie innovante. Afin de rendre son éco-système plus efficace dans cet environnement complexe et mouvant et d'accélérer les phases de maturation de projets collaboratifs, la région Pays de la Loire a débuté en 2013 un travail de structuration de la Recherche, de la Formation et de l'innovation (démarche dite RFI). Après 18 mois d'animation de groupes de travail sur ces trois champs d'action, des feuilles de route, un cadrage financier et une implication des partenaires ont été construits. Il s'agira notamment de lever sur 5 ans, 100 millions d'euros de projets de recherche et de recherche collaborative et de mobiliser 300 chercheurs pour accompagner cette dynamique.

2. Thématiques impulsées

Parmi l'ensemble des défis inter-disciplinaires posés, il s'est agi tout d'abord d'identifier les axes pour lesquels la nécessité d'impulser une recherche s'imposait soit pour rattraper un retard soit pour prendre de l'avance. Cinq défis sont ainsi apparus avec pour ambition à un horizon de 5 ans, un leadership international, toutes technologies confondues, mobilisant 17 laboratoires pour leurs compétences en matière de génie océanique, génie civil & comportement des sols, matériaux, électro-technique, CND, bio-monitoring, économie, ... (GEM, LHEEA, IFREMER, IREENA, IRCCYN, MMS, CDMO, ESO, LETG, LPG-BIAF, LEMNA, IMN, LTN, LARIS, CSTB, IFFSTAR, LAUM) :

- I. Modélisation et Simulation multi-physique et approches systèmes : simulations océaniques et météorologiques, mécaniques et physico-chimiques (matériaux, ...), modélisation du couplage fluide-structure-sol, réalité virtuelle pour la maintenance, Modélisation globale de la ressource au réseau, approche système, optimisation
- II. Expérimentation du modèle réduit au prototype : bases de données expérimentales, modélisations physique et expérimentale de composants ou de systèmes complets (modèles réduits et in situ)
- III. Evaluation et maîtrise des impacts environnementaux et sociétaux : descripteurs de impacts EMR, observation et suivi LT, intégration connaissance pluridisciplinaire
- IV. Maîtrise des risques, fiabilité, exploitation et cycle de vie : sollicitations, structures instrumentées, auscultation, fiabilité et cycle de vie
- V. Matériaux avancés et structures EMR : : choix des matériaux, procédés de fabrication, fiabilité matériaux, démantèlement, recyclage

La recherche reposera aussi sur un ensemble très significatif d'infrastructures de données, d'équipements de recherche, de moyens de simulation et d'expérimentation placé au cœur de ce réseau : plateformes de mesures, plateformes de simulation, de caractérisation, outils numériques, moyens de mesure, bancs d'essais, outils d'élaboration, ...

Nous nous concentrons dans cet article sur le détail des défis I, II, IV et V qui interpellent à différents niveaux la communauté de calcul de structure.

3. Les enjeux de la mécanique numérique

On donne ci-dessous, défi par défi, les niveaux de maturités évalués : le positionnement actuel est estimé à partir de 3 critères notés de 1 à 3 : Mobilisation effective des compétences recherche sur les EMR, reconnaissance académiques, ampleur des infrastructures / projets structurants.

3.1. Défi I : Modélisation et Simulation multi-physique et approches systèmes

Briques	Positionnement actuel	Mobilisation EMR	Reconnaissance académique	Infrastructures et projets structurants
Simulation méso-échelle (échelle d'un parc, d'un département) océanique et météorologique		-/+	- Reconnaissance académique sur la simulation de niveau national (LARIS) à international (CSTB, LHEEA, quelques compétences clés de l' RSTV)	- Plate-forme Unity3D - Peu d'équipements expérimentaux hors soufflerie (effet de sillage) - Code de calcul dédié HOS, Wavewatch
Simulation mécanique et physico-chimiques des matériaux en milieu marin		-/+	- Reconnaissance académique de niveau national à international : GEM, CSTB, FFSTAR (béton et acier) - Fort lien à établir avec le défi 5 sur la physique des matériaux avec l'IMN	- Plateformes de mesures importantes et de caractérisation ; capacité de dialogue entre observations à différents échelles du matériaux et modélisation multi-échelles - Site SEMREV pour test de matériaux en mer
Couplage fluide-structure-sol		-/+	- Reconnaissance académique de niveau international en modélisation et simulation autour du CSTB, GEM, et des compétences complémentaires de l'ICAM - Une brique stratégique pour l'appréhension du fonctionnement global	- Souffleries atmosphérique et climatique - Cluster HPC (High Performance Computing) - Cellules triaxiales de toute taille (dont cyclique), machine de cisaillement simple cyclique (unique en France); codes de calcul dédié - Bassin avec balance affleurante pour essais de structure fixe en interaction houle-vent-structure (LHEEA).
Réalité virtuelle pour l'installation et la maintenance		-	- Reconnaissance académique sur la simulation de niveau national (LARIS) à international (CSTB)	- Maquette numérique des installations en réalité virtuelle augmentée - Simulateur d'éclairage - Logiciels de réalité virtuelle et augmentée (Unity3D/vuforia)
Modélisation globale de la ressource au réseau, approche système, optimisation		-	- Compétences au LHEEA sur la modélisation et la simulation numérique des systèmes EMRs (reconnaissance internationale pour le houlomoteur, nationale pour l'éolien et l'hydrolien) - Compétences REENA en simulation et optimisation à l'échelle de chaîne de conversion ou de parc (éolien, hydrolien) briques disponibles autour de l'Ircyn et du CSTB (reconnaissance nationale)	- Simulateurs de modèles de systèmes type EMR intégrant les interactions fluide-structure - Métrologie environnementale et climatique - Logiciel de simulations de systèmes EMR et des réseaux électriques

Briques	Positionnement visé à 5 ans	Résultats attendus	Levers
Simulation méso-échelle (échelle d'un parc, d'un département) océanique et météorologique		• Accroissement de la visibilité nationale et internationale. Renforcement des collaborations régionales et inter-régionales.	• Projets collaboratifs : expérimentation, benchmarks, capacité de produire des données sur modèles réduits, mesures in situ • Projets collaboratifs pour accélérer l'expérimentation et amélioration du modèle de simulation • Compétences : centre de calcul régional à mettre en place, notamment autour du projet ICI • Développement de modèles de simulation globale (houle-vent) de l'environnement marin
Simulation mécanique et physico-chimiques des matériaux en milieu marin		• Visibilité internationale sur le comportement macroscopique des matériaux en remontant des informations à l'échelle micro • Visibilité internationale sur la modélisation béton en grande profondeur et sur les composites abrasés en milieu maritime	• Projets collaboratifs sur la relation physique des matériaux et simulation. Charnière entre travail sur les matériaux / nouveaux matériaux et ceux qui en font la simulation (en lien avec défi 5) • Insertion dans les réseaux : 2-3 réseaux clés à identifier
Couplage fluide-structure-sol		• Visibilité internationale sur le couplage complet aérodynamique-hydrodynamique-sol: devenir centre d'excellence de niveau européen pour les problématiques ISS (Interaction Sol-Structure)	• Projets collaboratifs pour orienter sur les EMR
Réalité virtuelle pour l'installation et la maintenance		• Accroissement de la visibilité nationale et internationale sur réalité virtuelle appliquée aux EMR	• Projets collaboratifs pour orienter sur les EMR avec les industriels en position de spécificateurs et testeurs
Modélisation globale de la ressource au réseau, approche système, optimisation		• Visibilité internationale sur la modélisation et l'optimisation des systèmes EMRs et intégration réseau, dont systèmes de stockage • Visibilité nationale sur commande des grands systèmes, avec comme domaine d'applications les Réseaux Electriques et l'intégration à ces réseaux de systèmes de production d'énergie renouvelable.	• Projets collaboratifs pour orienter sur les EMR avec les industriels en position de spécificateurs et testeurs • Projets collaboratifs, académiques et sur technologies génériques fédératrices de développements sur des composants spécifiques.

Figure 1 – Positionnement dans le Défi I

3.2. Défi II : Expérimentation du modèle réduit au prototype

Briques	Positionnement actuel	Mobilisation EMR	Reconnaissance académique	Infrastructures et projets structurants
Réalisation de bases de données expérimentales pour le défi 1.		+	- Reconnaissance nationale à internationale (LHEEA, GeM, IREENA, CSTB, LAUM, FFSTAR) mais compétences dans les EMR encore largement à construire : des séries de données existent mais inexploitable pour benchmarker des méthodes de simulation	Equipements très significatifs : - Moyens de mesure en mer - Bancs d'essais : géotechniques, structures, électrotechniques, acoustique. - Bassins de houle et canal de circulation - Souffleries - Profileurs ultrasonore, sonar, ADV
Modélisations physique et expérimentale de composants ou de systèmes complets (modèles réduits)		+	- Reconnaissance académique de niveau national à international (LHEEA, GeM, IREENA, CSTB, LAUM, LTN, IFFSTAR, IRCCYN, ICAM), avec forte visibilité sur l'aérodynamique, le comportement des sols	Equipements très significatifs : - soufflerie climatique Jules Verne (CSTB), centrifugeuses - Structures innovantes de conversion et/ou tolérantes aux défauts REENA, - Bassin de houle - Centrifugeuse géotechnique
Modélisation expérimentale en environnement marin, observatoire en mer, prototypes (In situ)		+	- Reconnaissance académique de niveau national à international (LHEEA, GeM, CSTB, MMS, Ifremer)	Equipements très significatifs : - Site d'essais en mer (SEM-REV) - Observatoires in-situ - CANDHIS (réseau mesures houle du CETMEF) - Sites d'expositions des matériaux en environnement marins de Bouin du CSTB - Profileurs ultrasonore, sonar, ADV

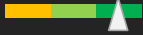
Briques	Positionnement visé à 5 ans	Résultats attendus	Leviers
Réalisation de bases de données expérimentales pour le défi 1		- Expertise de renommée internationale sur bases de données de validation pour les ss-briques du défi 1 - Disposer de moyens étendus pour la mesure en mer et de supports d'instrumentation autonome	Projets collaboratifs à mener, en connexion étroite avec le défi 1, pour définir les benchmarks internationaux (format de la simulation attendue, constitution d'une sorte de label) sur lesquels s'appuyer pour lancer des expérimentations
Modélisations physique et expérimentale de composants ou de systèmes complets (modèles réduits)		Réalisation d'une plateforme de systèmes multi-énergétiques : études à l'échelle de composants, systèmes ou parc	- Equipements : renforcement des plateformes de mesure (plateforme de systèmes multi-énergétiques, Extension du BHGO pour applications EMR, Hexapode pour la simulation des mouvements des structures à intégrer dans la soufflerie climatique Jules Verne) - Projets collaboratifs pour orienter sur les EMR
Modélisation expérimentale en environnement marin, observatoire en mer, prototypes (In situ)		Visibilité internationale en matière de capacité d'essai et d'observation: SEM-REV, site du Bouin du CSTB, CSMAR,	- Equipements : mise en place d'une plateforme d'essai en réseau avec renforcement de SEM-REV et d'équipements d'observatoires multi-fonctions - Projets collaboratifs pour mettre en application les moyens d'essais

Figure 2 – Positionnement dans le Défi II

3.3. Défi IV : Maîtrise des risques, fiabilité, exploitation et cycle de vie

Briques	Positionnement actuel	Mobilisation EMR	Reconnaissance académique	Infrastructures et projets structurants
Reconnaissance géophysique et géotechnique (fondations et enfouissement des câbles)		-	- Reconnaissance internationale de l'IFFSTAR sur la validation de méthodes sur modèles physiques centrifugés; identification géotechnique des sols marins; validation de méthodes d'imagerie sismiques sur modèles réduits (imagerie fine de la sub-surface)	- Centrifugeuse géotechnique - Plateforme géomatériaux - Laboratoire MUSC pour la modélisation à échelle réduite des méthodes sismiques
Connaissance des sollicitations (acquisition de données, exploitation, détermination des extrêmes, ...)		-	- Reconnaissance nationale à internationale (IFFSTAR, CSTB, LARIS) sur l'étude des impacts des conditions environnementales, climatologie, monitoring / instrumentation d'ouvrages en milieu marin, modélisation statistique	- Outils et logiciels pour des analyses statistiques - Métrologie environnement et climatique multipoint synchrone
Structures nativement instrumentées intelligentes		-/+	- Groupement de compétences très larges dans ECND-PdL*, « des fondations aux pales », leader, tiré par des laboratoires à forte visibilité internationale (LAUM, GEM, Ifstar, ...) avec une complémentarité des laboratoires pour des approches conjointes matériaux/structures et instrumentation/auscultation.	- Nombreux équipements ECND/SHM - Banc de fatigue des câbles (ancrages) - Plateformes d'essais de structures - Plateforme de caractérisation de composites - Grande chambre climatique
Méthodes plein champ d'auscultation et de monitoring		-/+	- Ensemble unique (RFI) de structures relevant de l'acoustique et du son : Le Mans Acoustique - Longue pratique de l'instrumentation de sites et d'ouvrages - Groupement de compétences très larges dans ECND-PdL et de haut niveau	- Nombreux équipements ECND/SHM - Plateformes d'essais de structures - Grande chambre climatique
Contrôle commande en phase d'exploitation		+	- Compétences de visibilité nationale à internationale (IRCCyN, LARIS, IREENA, GeM, ICAM) en analyse des systèmes, méthodologies de commandes, contrôle de processus, conception, optimisation et commande de chaînes de conversion d'énergie.	- Bancs d'essais de machines électriques - Soufflerie et Bassin océanique - Logiciels de simulations
Fiabilité cycle de vie		-/+	- Compétences de visibilité nationale à internationale (IRCCyN, LARIS, IREENA, CSTB, IFFSTAR, GeM) sur la logistique, la fiabilité structurale, l'optimisation de la maintenance	- Plateforme de caractérisation de différents matériaux (bétons, composites, acier, ...) - Banc de fatigue de câble - Plateformes d'essais de structure

Briques	Positionnement visé à 5 ans	Résultats attendus	Leviers
Reconnaissance géophysique et géotechnique (fondations et enfouissement des câbles)		- Visibilité internationale sur : - Géophysique de surface sous-marine appliquée aux EMR	Projets collaboratifs
Connaissance des sollicitations (acquisition de données, exploitation, détermination des extrêmes, ...)		Visibilité internationale sur le traitements des données EMRs (construction d'une banque de données mutualisée sur les conditions d'environnement et structurales des EMRs)	Projets collaboratifs
Structures nativement instrumentées intelligentes		- Leadership a minima européen sur le monitoring et l'instrumentation des EMRs. - Renforcer notre position au sein des réseaux de recherche nationaux et internationaux liés aux énergies renouvelables.	Projets collaboratifs et compétences : développement de la plateforme ECND en collaboration avec des industriels (projet Equipage déposé au guichet Région non sélectionné).
Méthodes plein champ d'auscultation et de monitoring		Devenir une interface à rayonnement international.	Projets collaboratifs et développement de la plateforme ECND pour la validation et le transfert industriel sur les pièces / structures de grandes dimensions
Contrôle commande en phase d'exploitation		Accroître la visibilité des laboratoires sur les activités EMR au niveau international en modélisation, optimisation, (technique et économique) et commande de système EMR à l'échelle des composants, des parcs et intégration au réseau.	Projets collaboratifs
Fiabilité cycle de vie		Apparaître au sein des 5 réseaux internationaux référents sur les EMR	

Figure 3 – Positionnement dans le Défi IV

3.4. Défi V : Matériaux avancés et structures EMR

Briques	Positionnement actuel	Mobilisation EMR	Reconnaissance académique	Infrastructures et projets structurants
Choix et élaboration de matériaux (structuraux, instrumentés, fonctionnels)		-/+	- D'importantes compétences en physico-chimie/ durabilité des matériaux avec des entités très visibles à l'échelle au moins au niveau national (IMN, GeM, IFSTTAR)	- Batterie quasi exhaustive des outils d'élaboration (fibres, couches minces, métaux, céramiques, bétons ...) et de caractérisation structurale (DRX, tomographie, microscopies) et physique (tests mécaniques, électriques, spectroscopies) des matériaux
Optimisation des procédés de fabrication et d'assemblage		-/+	- Reconnaissance nationale à internationale (LTN, IRCCYN, IFSTTAR, IMN, IREENA, ICAM), sur le couplage caractérisation-mise en forme, analyse du procédé, instrumentation et modélisation de l'échelle du laboratoire au process industriel, maîtrise transverse des différents et éco-fabrication	- Moyens complets de caractérisation des propriétés thermophysiques (Hot disk, PVT...) - Moyens de mise en œuvre de composites à échelle labo et instrumentation - Simulation des procédés
Fiabilité des matériaux - vieillissement des matériaux		-/+	- Reconnaissance majoritairement internationale (GeM, IFSTTAR, CSTB, IREENA, IMN)	- Simulateur de vieillissement climatique - Dalles d'essais - Bancs de marnages de grandes dimensions ou pour grand nombre d'éprouvettes - Bancs physico chimiques pour l'étude des bétons
Démantèlement et recyclage des matériaux		-/+	- Reconnaissance nationale (LTN, IRCCYN, IFSTTAR, IMN, ICAM) sur l'analyse de cycle de vie, recyclage des composites par solvolysse	

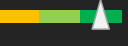
Briques	Positionnement visé à 5 ans	Résultats attendus	Leviers
Choix et élaboration de matériaux (structuraux, instrumentés, fonctionnels)		• Visibilité internationale à amplifier • Devenir incontournable sur les fondations et ancrages dans le domaine des EMR	• Projets collaboratifs, en s'appuyant sur les équipements laboratoires, .. Et projets de tests matériaux en conditions réelles
Optimisation des procédés de fabrication et d'assemblage		• Visibilité internationale sur le traitements des données EMRs (construction d'une banque de données mutualisée sur les conditions d'environnement et structurales des EMRs)	• Projets collaboratifs, notamment dans le cadre de l'IRT Jules Verne
Fiabilité des matériaux - vieillissement des matériaux		• Visibilité EMR parmi les 10 européens • Visibilité internationale sur la simulation des dégradations des composites abrasés en milieu maritime, sur la tenue des câbles d'ancrage d'éoliennes	• Projets collaboratifs
Démantèlement et recyclage des matériaux		• Recherche de solutions innovantes et adaptées afin de lever les verrous technologiques limitant le recyclage des matériaux composites	• Projets collaboratifs, notamment dans le cadre de l'IRT Jules Verne sur le recyclage des composites

Figure 4 – Positionnement dans le Défi V

4. Conclusion

En conclusion le projet WeAMECenter vise à :

- établir un réseau de recherche régional sur les EMR
- accélérer des projets collaboratifs : académiques, publics-privés, européens
- renforcer les compétences ciblées
- s'insérer dans les réseaux internationaux

Références

- [1] EWEA (the european wind energy association), « Wind energy scenarios for 2020 », A report by the European Wind Energy Association - July 2014, 8 pages.

- [2] Schoefs F., Delfour O, Baron R., « projet FR CNRS Institut Universitaire Mer et Littoral: Bibliométrie pour le projet 2017-2022 », avril 2015, commission recherche de l'Université de Nantes.