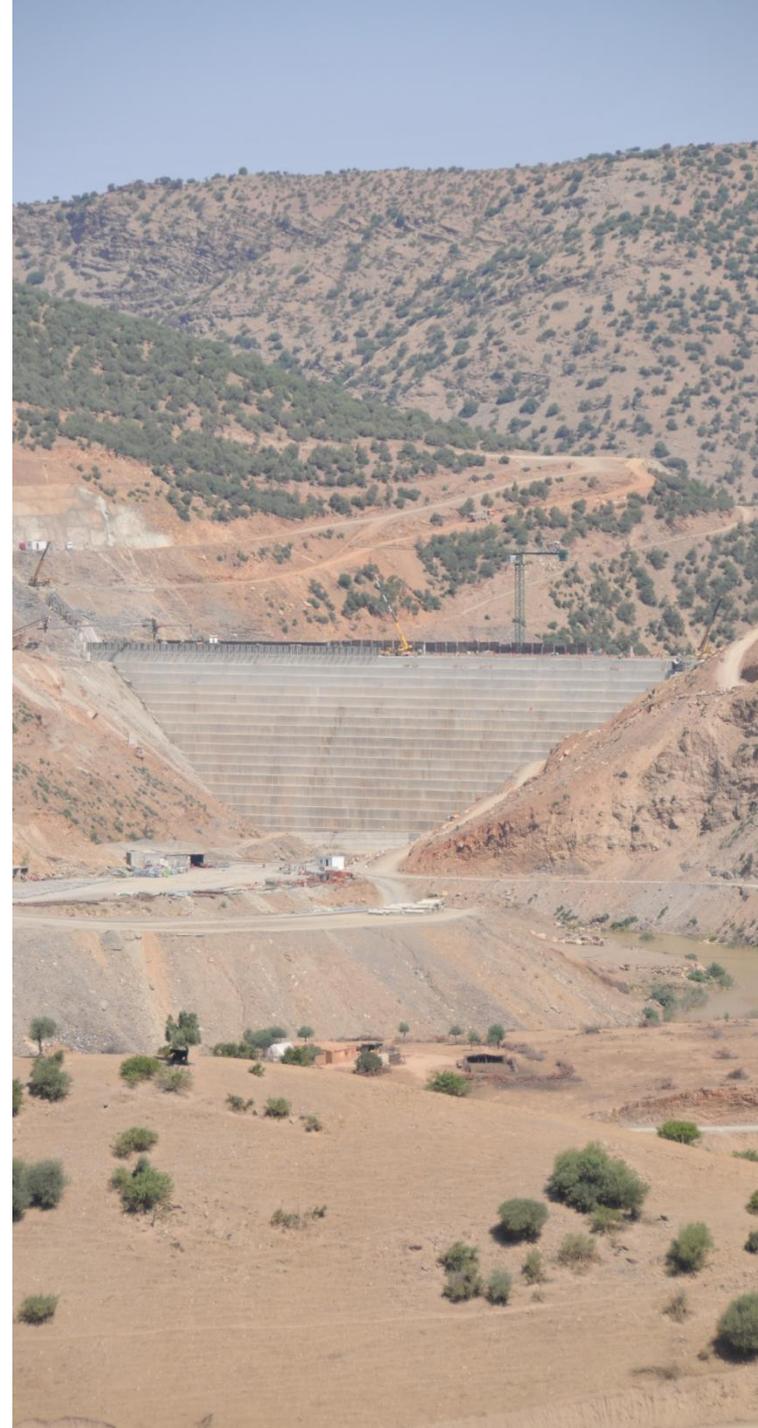


# La STEP marine de Guadeloupe : une solution de stockage pour l'insertion des ENR intermittentes

Pierre BRUN, Directeur de Projet EDF

Michel AYOUB, Chef de Projet EDF

Symposium du CFBR du 29 janvier 2015 à Grenoble (ENSE3)



# SOMMAIRE

## 1.CONTEXTE, HISTORIQUE ET OBJECTIFS DU PROJET

REX DE LA STEP MARINE D'OKINAWA  
CONTEXTE ET HISTORIQUE DU PROJET DE STEP MARINE  
OBJECTIFS DU PROJET DE STEP MARINE DANS LES ZNI

## 2.DESCRPTION DU PROJET

LOCALISATION ET EMPRISE FONCIERE DU PROJET  
MONTAGE ET DEVELOPPEMENT DU PROJET  
PRINCIPE ETUDES ET RECONNAISSANCES  
DES SOLUTIONS TECHNIQUES REpondant AUX CONDITIONS ET CAHIERS DES CHARGES EXIGEANTS  
OUVRAGES GC  
CAISSON PREFABRIQUE ET EQUIPEMENT  
INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES  
ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET MAITRISE DES IMPACTS  
ANALYSE ECONOMIQUE, CAPEX ET FINANCEMENT  
FONCTIONNEMENT ET VARIANTE DE DIMENSIONNEMENT

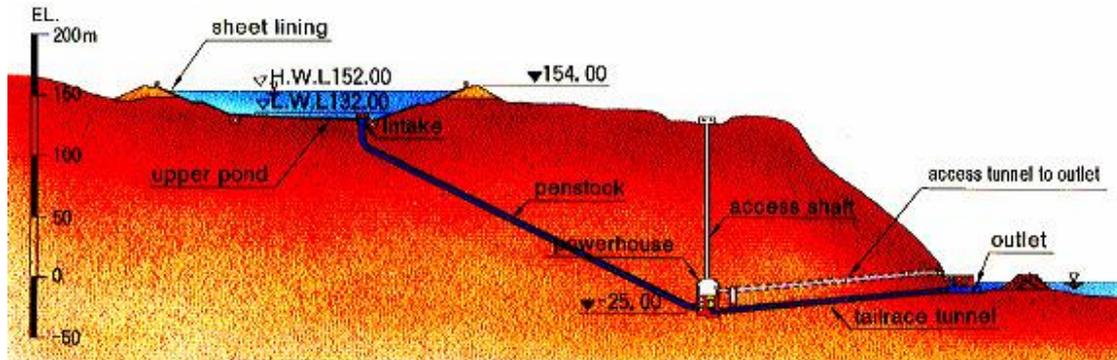
## 3.EMERGENCE DE LA FILIERE STEP MARINE ?

ETUDE DE MARCHE  
DEVELOPPEMENT DE LA FILIERE : MARCHE ET TECHNOLOGIE  
DEVELOPPEMENT DE LA FILIERE : VIABILITE ECONOMIQUE

## 4.CONCLUSION

# REX de la STEP marine d'OKINAWA

- STEP d'Okinawa : 1998 - 30 MW – 150m de chute – digues de 25 m de haut – 0,56 hm<sup>3</sup> – objectif : report de charge et non lissage des EnRI
- Projet expérimental, objet d'un suivi détaillé pendant 5 ans avant autorisation d'exploitation commerciale en 2004
- REX : très bon comportement de l'étanchéité par membrane EPDM de 2mm, pas de problèmes liés à la corrosion saline ni au fouling



# Contexte et historique du projet de STEP marine

- Fort développement attendu des EnR intermittentes en Europe et dans le monde générant une forte demande de stockage d'ici 20 ans avec un enjeu de proximité des champs éoliens offshore
- Même avec un développement du réseau et de la MDE en Europe, besoin à terme de développement de stockage de masse de type STEP : les sites de STEP terrestres sont limités et le relais peut être assuré par les STEPs marines
- Cas particulier des systèmes insulaires : le taux de pénétration des EnR intermittentes est limité à 30% pour des raisons de sûreté du système électrique
- Cas des ZNI : préfigure ce qui pourrait se passer dans des plus grands réseaux
- Technologie appelée de ses vœux par l'OPECST : rapport Birraux/Bataille de 2009 sur la stratégie de recherche dans le domaine de l'énergie
- Précédent au Japon : Centrale d'Okinawa (1998) de 30 MW (Chute 150 m)

# Objectifs du projet de STEP marine dans les ZNI

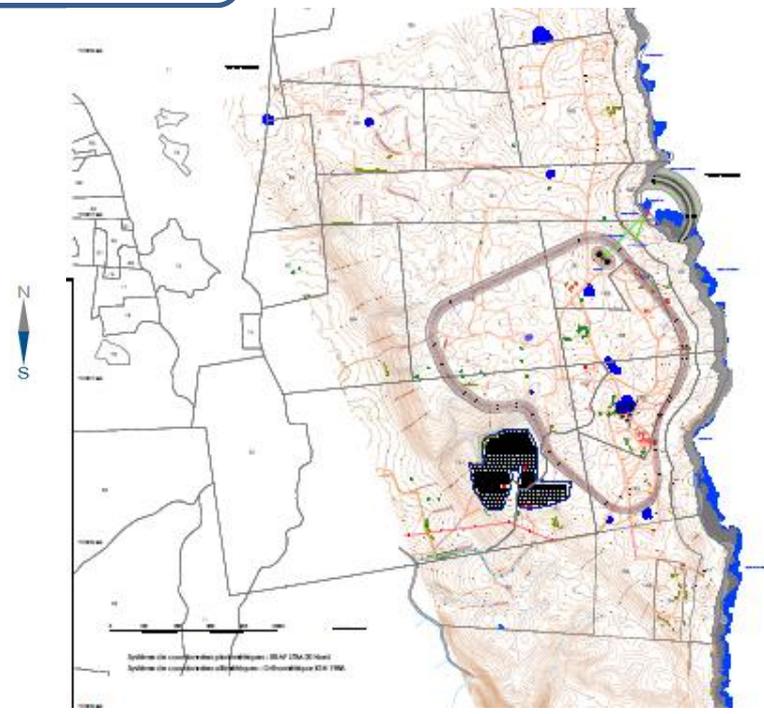
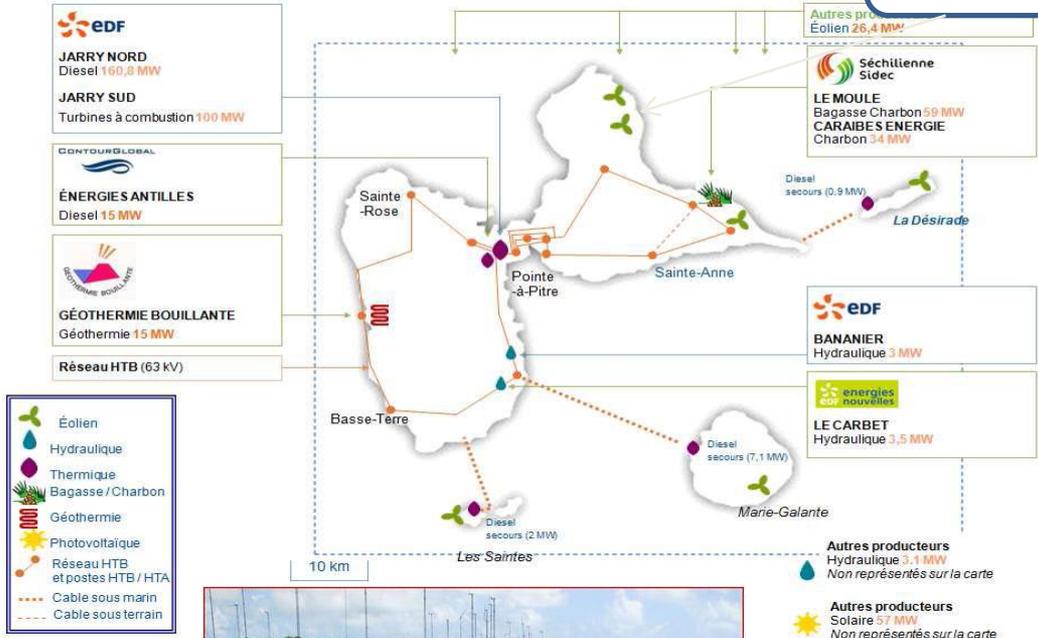
- Lisser les pointes et réduire la consommation de combustibles fossiles (TAC) et éviter l'investissement dans de nouvelles TAC, fortement émettrices de CO<sub>2</sub>
- Limiter les arrêts/démarrages des groupes thermiques et améliorer le rendement des centrales thermiques
- Pallier des ruptures de production d'énergies fatales (période sans vent par exemple) par un report d'énergie sur plusieurs jours
- Lisser la production intermittente (photovoltaïque et éolien) et permettre le développement au-delà des 30%
- Contribuer aux services système



# Localisation et emprise foncière du projet

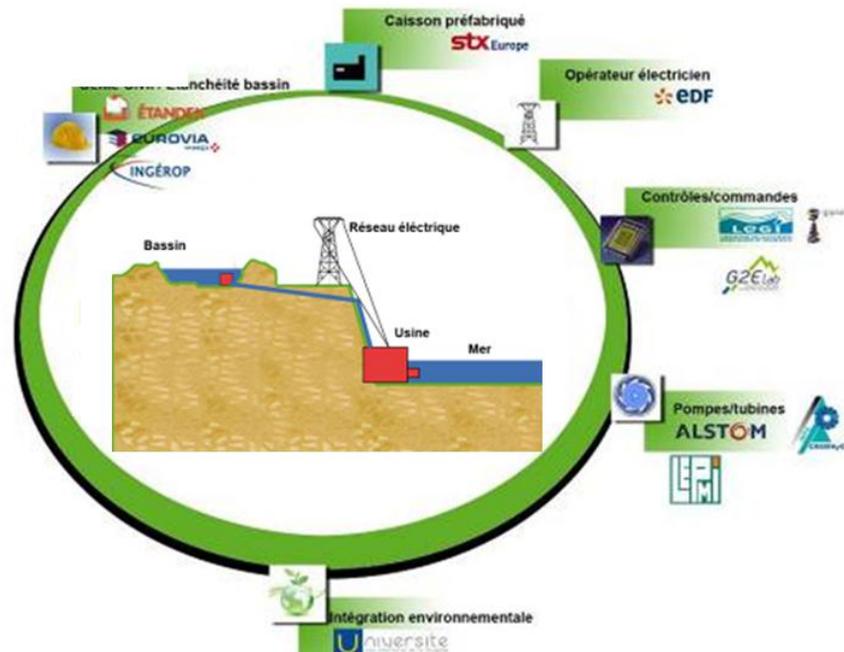
Schéma du système électrique guadeloupéen

**Projet de STEP marine de Petit Canal**



# Montage et développement du projet

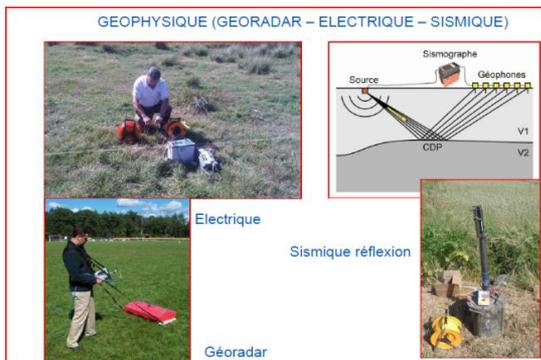
- Consortium d'entreprises dans le cadre d'un AMI ADEME :



- Autorisations : au titre de la loi sur l'eau, concession DPM, au titre du code de l'Énergie, PdC, liée au raccordement au réseau électrique
- Challenge de la compatibilité avec le SAR : procédures pour modification
- Respect de la loi littoral : adaptation possible grâce à l'habilitation Énergie

# Principes études et reconnaissances

- STEP hebdomadaire de 50 MW caractérisée par un réservoir de 4,7 hm<sup>3</sup> permettant de turbiner 12 heures à pleine puissance et assurant 15 MW de réserve primaire,
- Etudes : schémas avec ouvrages souterrains et prise d'eau en mer en pied de falaise ou usine en caisson immergé
  - Etudes environnementales (milieux terrestres et marin)
  - Etudes des conditions marines
  - Topographie du site
  - Etudes géologiques
  - Géophysique (faille active)
  - Forages
  - Auscultation des forages transformés en piézomètres



# Des solutions techniques répondant aux conditions et cahiers des charges exigeants 1/2

## ▪ EM

- Gamme de chute brute : 58 m – 73 m
- Puissance fournie/consommée réglable sur la plage [-50 MW ; +50 MW] sous toute chute
- Réserve primaire : +15 MW en 10s.
- Prise/Baisse de charge :  $\pm 15$  MW/min.
- Puissance unitaire max. : Turbinage 30 MW, Pompage 20 MW

## ▪ GC

- Géologie défavorable, zone la plus sismique de France et proximité d'une faille active
- Zone cyclonique
- Etanchéité totale
- Durée de vie des ouvrages > 50 ans

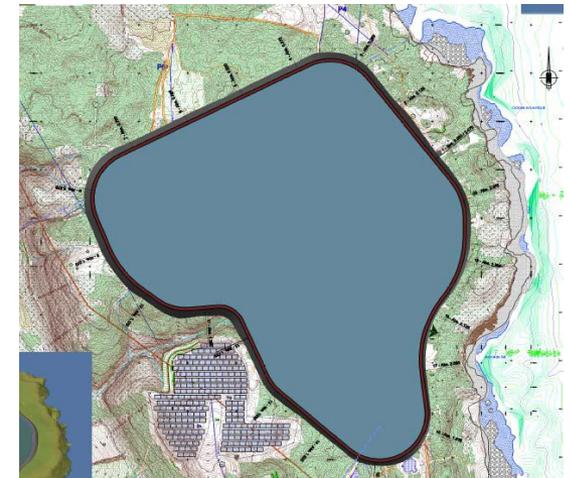
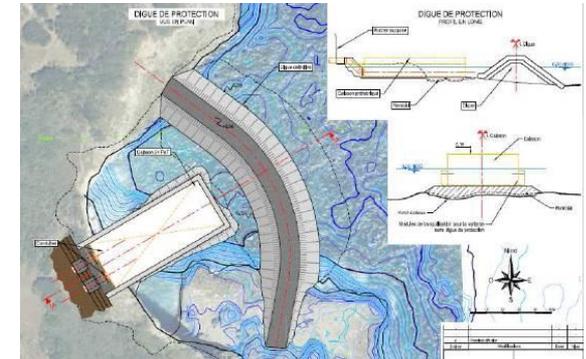
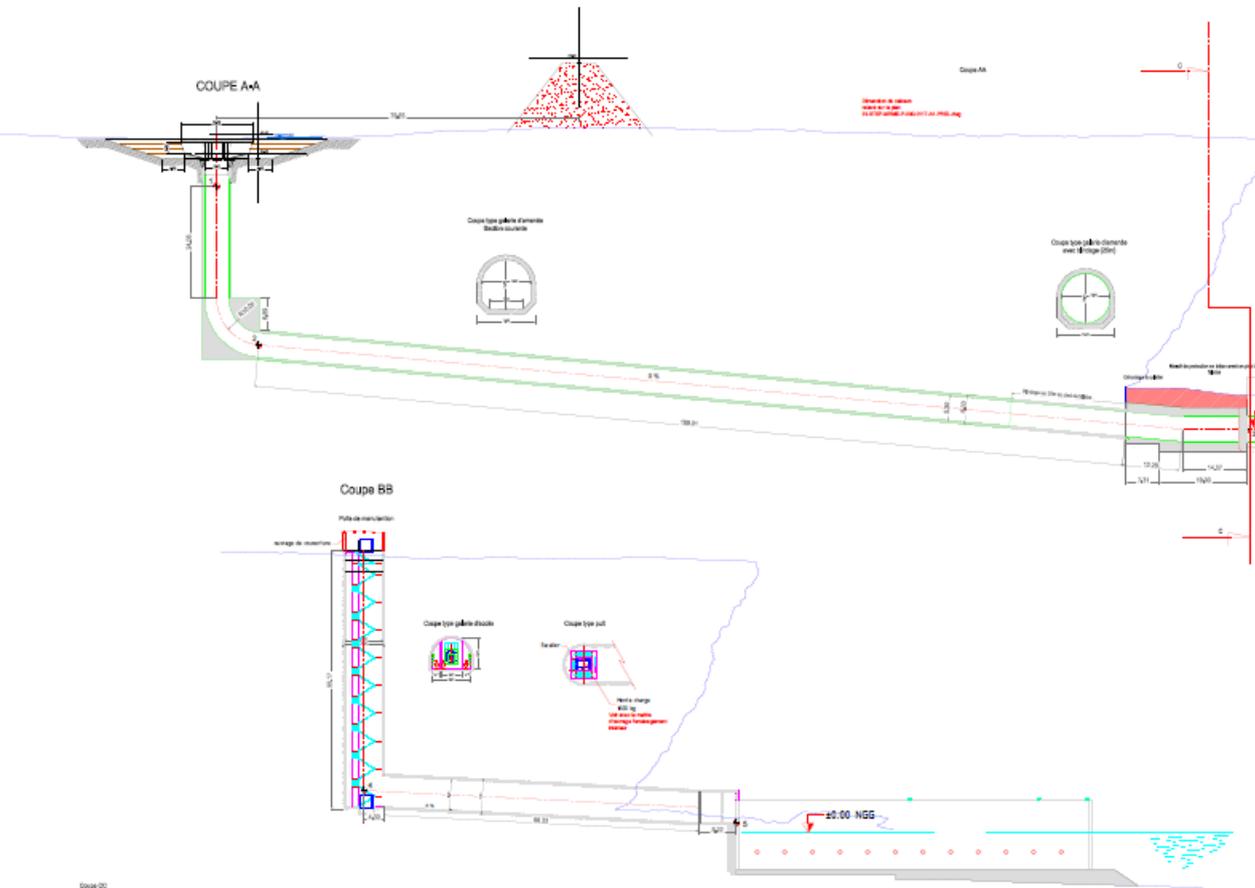
# Des solutions techniques répondant aux conditions et cahiers des charges exigeants 2/2

## ■ Solutions

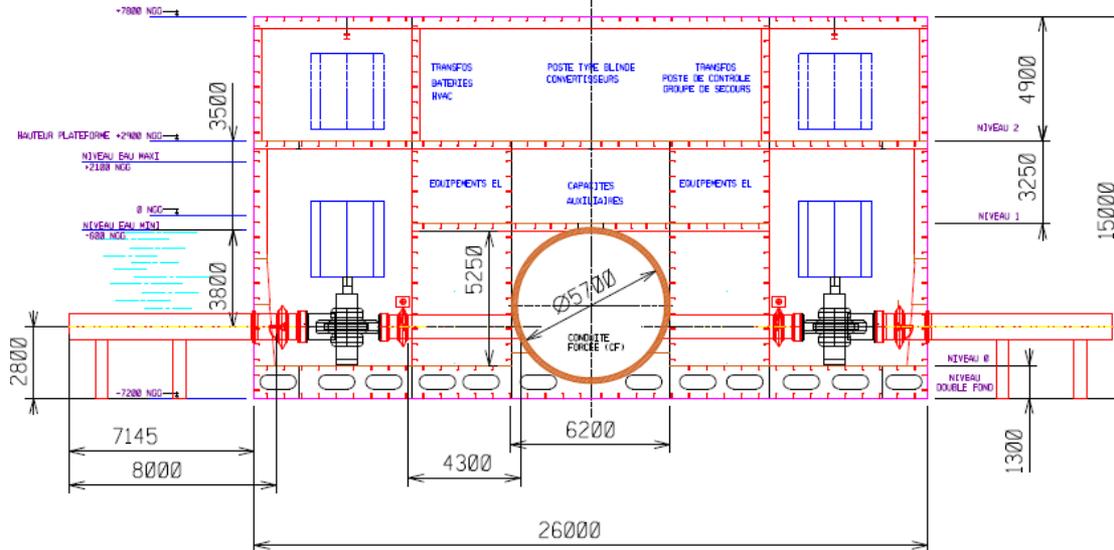
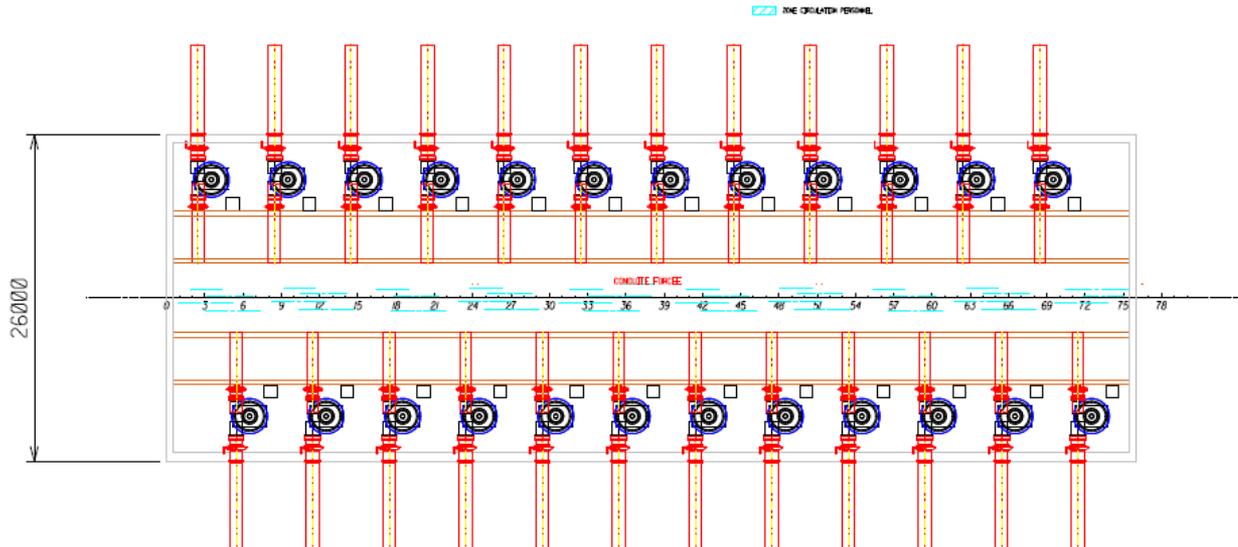
- Groupes réversibles : 4 turbines-pompe FRANCIS
- Groupes séparés : 6 pompes + 2 turbines FRANCIS
- 24 petits groupes de pompage réversibles (Pumps As Turbines)
- Usine en puits ou en caisson béton ou en caisson acier

## ■ Comparaisons multicritères des 9 solutions techniques

# Ouvrages GC



# Caisson préfabriqué et équipement



# Innovations technologiques

- **Les innovations nécessaires par domaine (matériel et génie-civil) sont les suivantes :**
- **Equipement**
  - Plage de réglage en mode turbine
  - Temps de conversion entre modes
  - Amélioration des performances des Pumps as Turbines
  - Insertion dans le réseau
  - Dispositifs limitant la corrosion et le fouling
  - Conception, industrialisation, installation du caisson préfabriqué
- **Génie Civil**
  - Conception de digues en remblai dur rustique avec les matériaux du site
  - Défi de l'étanchéité sur les ouvrages du bassin (technologie, coût, cadence de chantier)
  - Procédés d'étanchéité des bétons

# Enjeux environnementaux et maîtrise des impacts

**Bassin : bon site, milieu dégradé sans enjeux patrimoniaux rédhibitoires mais compensation à prévoir à proximité**



**Bonne insertion paysagère**

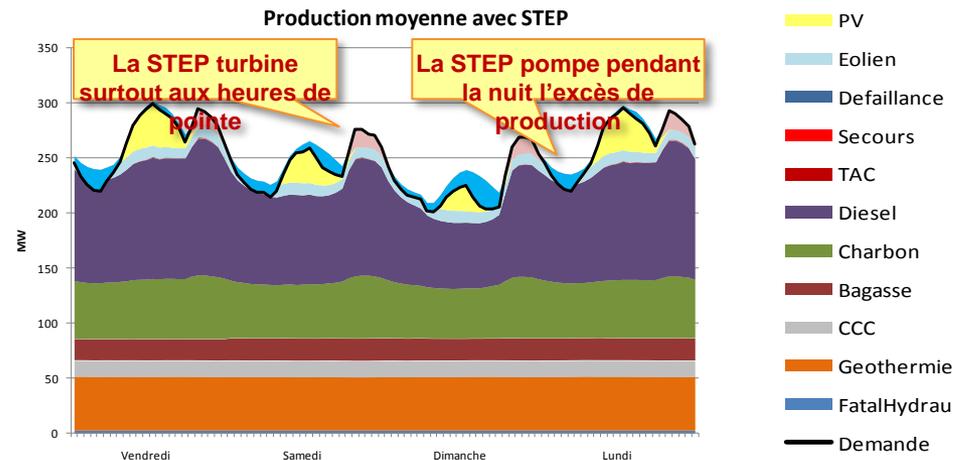
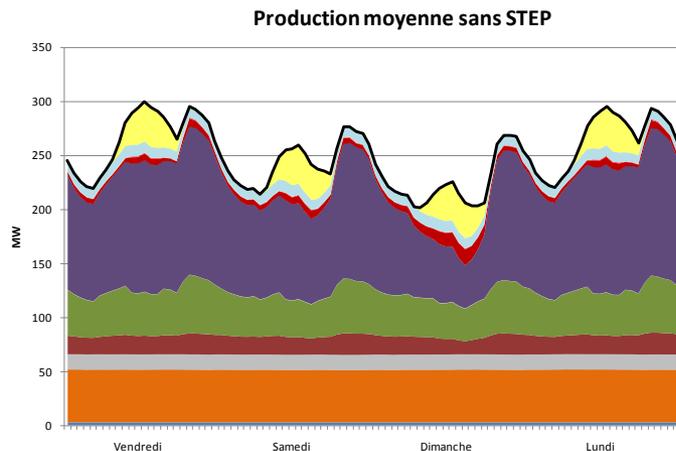


**Enjeux patrimoniaux en falaise**



# Analyse économique, CAPEX et financement

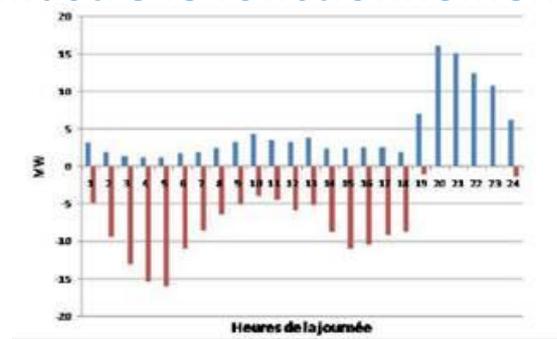
- Transferts des heures pleines vers les heures creuses
- Réduction des démarrages des TAC et des groupes diesel
- Economie en investissements en moyens de pointe



- CAPEX : important mais nouveau modèle économique garantissant la rémunération des capitaux investis pour les ouvrages de stockage à la condition d'un gain de CSPE (c'est le cas)
- Malgré la valorisation CSPE espérée, nécessité de lever des financements (subventions Collectivités Territoriales + ADEME + FEDER et Avances remboursables ADEME)

# Fonctionnement et variante de dimensionnement

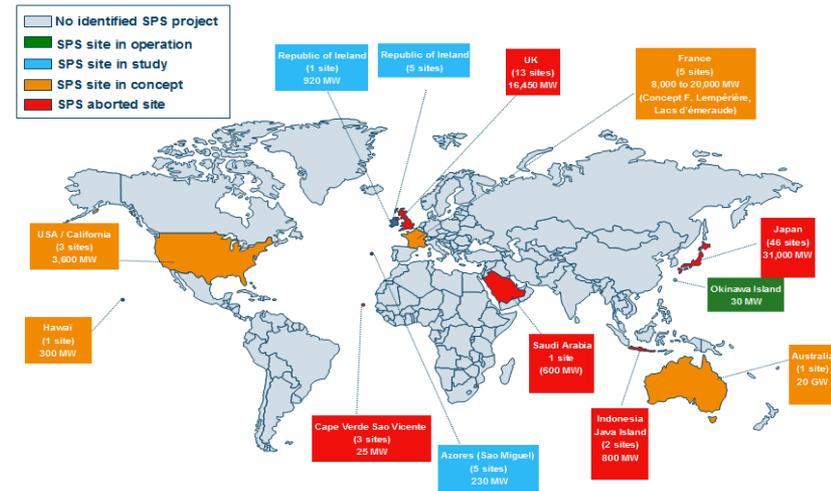
- La STEP fournit 38 GWh en turbinage durant 3300 h dans l'année
- Pour assurer les 15 MW de réserve, elle fonctionne surtout entre 0 et 35 MW
- La STEP consomme 57 GWh en pompage durant 2100 h
- Le graphe ci-dessous illustre le fonctionnement moyen de la STEP sur une journée



- Compte tenu de l'appel de cette STEP, l'optimisation économique montre que 2/3 de la valorisation est obtenu pour 50 % de la puissance équipée (25 MW) avec quelques dégradations mineures en terme de service rendu (principalement l'augmentation de la défaillance).
- Un dimensionnement à 25 MW permet de réduire le CAPEX d'environ 1/3 et d'améliorer légèrement la rentabilité : il est donc préconisé un aménagement phasé avec un équipement à 25 MW durant les 25 premières années

# Etude de marché 1/3

- Périmètre : Développement de STEP marines dans le monde
- Demande :
  - Existant
  - Besoin de stockage (report de charge, EnR intermittentes)
- Même avec des hypothèses très conservatoires : demande très importante en 2050 pour la sélection de 56 pays « cibles » hors îles



Pays	Besoin en stockage			Pays	Besoin en stockage		
	Report de charge (GW)	Intermittence (GW)	Total (GW)		Report de charge (GW)	Intermittence (GW)	Total (GW)
Pays-Bas	5	3	8	Algérie	6	-	6
Allemagne	24	20	44	Tunisie	2	-	2
France	18	7	25	Libye	1	-	1
Royaume-Uni	19	33	52	Egypte	16	5	16
Belgique	3	0	3	Soudan	7	-	7
Danemark	2	6	8	Chili	5	1	5
Irlande	2	6	8	Pérou	2	1	2
Grèce	13	4	17	Équateur	1	0	1
Italie	3	5	8	Venezuela	6	2	6
Portugal	3	1	4	Costa Rica	1	0	1
Espagne	14	6	20	Mexique	17	6	17
Croatie	1	0	1	Canada	34	9	34
Monténégro	0	-	0	Etats-Unis	194	37	194
Bosnie-Herzégovine	0	-	0	Australie	14	4	14
Slovénie	0	1	1	Nouvelle-Zélande	2	1	2
Albanie	0	-	0	Oman	1	0	1
Pologne	8	5	13	Turquie	8	2	8
Lituanie	0	-	0	Géorgie	0	0	0
Estonie	0	-	0	Myanmar	0	0	0
Lettonie	0	-	0	Chine	606	241	606
Bulgarie	1	1	2	Corée du Sud	31	8	31
Roumanie	4	0	4	Russie	46	9	46
Ukraine	9	-	9	Inde	128	52	128
Suède	7	5	12	Indonésie	13	4	13
Finland	3	2	5	Cap-Vert	0	0	0
Norvège	5	7	12	Canaries	1	0	1
Islande	0	0	0	Açores	0	0	0
Maroc	6	1,6	8	Hawaï	1	1	1

# Etude de marché 2/3

- Offre : Etude topographique des pays sélectionnés (Critères topographique, distance à la mer du bassin, surface disponible pour le bassin, proximité de centres de consommation, d'infrastructures de transport, de zones protégées, proximité et qualité du réseau électrique)
- Nombre de sites possibles : très importants

Pays	Nb de sites		Pays	Nb de sites	
	Plateau	Collinaire		Plateau	Collinaire
Allemagne	0	0	Chili	49	81
France	17	59	Venezuela	0	17
Royaume-Uni	69	25	Mexique	17	32
Italie	50	26	Canada	43	88
Espagne	56	57	Etats-Unis	12	20
Pologne	0	0	Australie	42	73
Ukraine	6	21	Turquie	13	69
Suède	6	20	Chine	0	23
Norvège	30	148	Corée du Sud	3	13
Maroc	45	30	Russie	31	86
Algérie	14	53	Inde	6	10
Egypte	7	16	Indonésie	46	157
Soudan	0	0			

- Nécessité d'affiner et de compléter l'étude mais d'ores et déjà conclusion très prometteuse en terme d'émergence de la filière

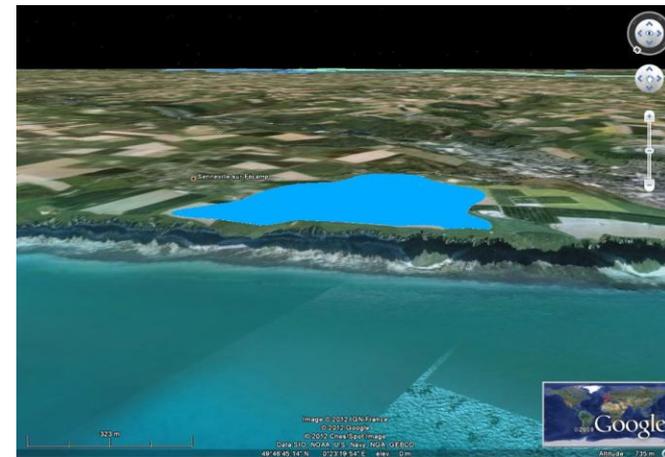
# Sites France métropolitaine (exemple) 3/3

N° du bassin	type	altitude moyenne (m)	forme	surface (km2)	proximité à la mer (km)	proximité habitation (km)	Puissance (w) (prof:10m, demi-cycle:6h)
1	plateau	120	triangle	3,68	0,0	0,0	1 683 766 941
2	plateau	130	rectangle	1,17	1-1,5	0,0	584 788 815
3	plateau	140	triangle	0,78	0-0,5	0,0	422 347 478
4	plateau	110	triangle	0,66	0,0	0,0	274 900 725
5	plateau	100	rectangle	0,77	0,0	0,0	288 645 761
6	plateau	120	triangle	0,45	0-0,5	0,0	206 175 544

Bassin 4 – vue 2D

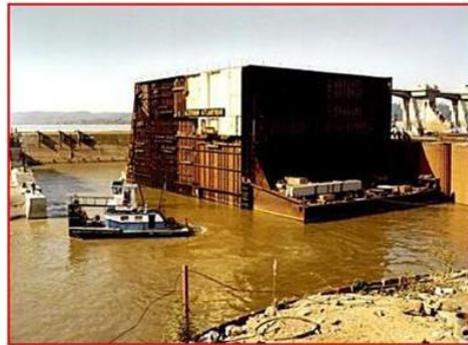
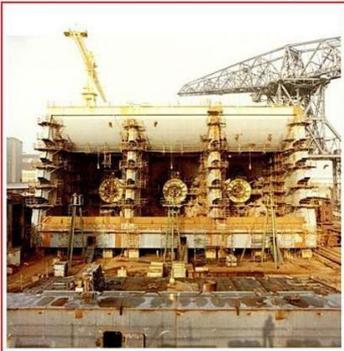


Bassin 4 – vue 3D



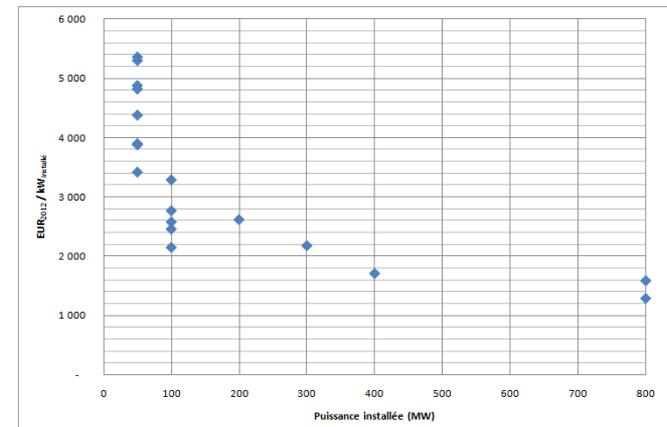
# Développement de la filière : marché et technologie

- Segment de marché « petites hauteurs de chute » ( $50 \text{ m} < < 100 \text{ m}$ ) : la solution caisson avec PAT est optimale
- Segment de marché « hauteur de chute moyenne » ( $100 \text{ m} < < 200 \text{ m}$ ) : la solution caisson peut répondre mais avec des turbines/pompes et non plus des PAT (étudié dans le cadre du projet (étude de cas))
- Le caisson peut répondre à toute la gamme pour autant que sa mise en place soit compatible avec la bathymétrie et les états de mer et comporte de nombreux avantages :
  - Standardisation (industrialisation)
  - Rapidité de réalisation, peu dépendante des conditions de site (géologie)
  - Aléas limités, fiabilité et compétitivité (surtout si la géologie est difficile)



# Développement de la filière : viabilité économique

- Coût brut d'investissement de la STEP de Guadeloupe : de l'ordre de 5500 €/kW installé hors raccordement mais dû aux spécificités de la Guadeloupe (faible hauteur de chute, petite puissance, cahier des charges insulaire exigeant, zone sismique et cyclonique,...)
- Trajectoire des CAPEX associée à la courbe d'apprentissage : estimations préliminaires pour plusieurs scénarios de lieux d'implantation et de puissance à partir d'extrapolations des coûts estimés pour le projet guadeloupéen
- Première analyse : le coût au kW installé peut être inférieur de l'ordre de 1500 €/kW pour des projets de grande capacité en zone continentale et avec des hauteurs de chute favorables.



# Conclusion

- Faisabilité technique de la STEP marine en Guadeloupe confirmée
- Viabilité économique possible compte tenu du nouveau mécanisme de financement des ouvrages de stockage issu de la modification de l'article 121-7 du Code de l'énergie dans les ZNI
- Faisabilité réglementaire assurée grâce à la volonté des services de l'Etat (modification du SAR) et à l'Habilitation Energie de la Région (loi littoral) mais nécessité d'une évolution législative pour la métropole
- Solution technologique avec usine en caisson pré-fabriquée : industrialisable pouvant permettre l'émergence de la filière (courbe d'apprentissage permettant d'atteindre 1500 €/kW hors raccordement pour les meilleurs sites)
- Rentabilité des STEP marines : dépendant du contexte réglementaire et économique qui pour l'instant ne favorise pas le développement de ces projets en Europe
- Décision de EDF fin novembre 2014 de ne pas développer le projet (même réduit à 25 MW) pour des raisons de priorisation de CAPEX mais ouverture à négocier un contrat d'achat avec un éventuel repreneur du projet

# MERCI