



Spécialiste des études de  
réseaux électriques et  
systèmes multi physiques

## Réseaux intelligents

ASPROM Paris  
1-2 avril 2015

**Raymond PAULY**

Fixe : +33 (0)4 42 63 61 17  
r.pauly@capsimulation.com

■ Capsim



## ■ Activités

- Etude des réseaux électriques
- Analyse des systèmes énergétiques
- Ingénierie de la simulation

## ■ Organisation

- Directeur général : Raymond Pauly
- Directeur technique: Ronan Besrest
- 20 Ingénieurs

## ■ Produits et services

- Etudes techniques, calculs, conception, expertises
- Outils/logiciels de calcul et de simulation
- Formation




**Ensemble, maîtrisons vos risques**

**CAPSIM est votre spécialiste du comportement des réseaux électriques et systèmes électrotechniques**

CAPSIM est un bureau d'étude indépendant en électrotechnique.

Spécialisé dans l'assistance à maîtrise d'œuvre ou d'ouvrage sur les réseaux électriques ou les systèmes énergétiques, CAPSIM intervient dans un grand nombre de secteurs d'activités allant de l'industrie au transport en passant par la défense et le recherche.

Ses compétences vont de la parfaite maîtrise des études statiques de dimensionnement, à l'expertise des phénomènes transitoires et d'impact sur les matériels suivants :

- **Électrotechnique et réseaux électriques de la basse tension au niveau HTB** (machines, équipements de distribution et de transports, systèmes de protection, ...)
- **Sources primaires d'énergies** (moteurs Diesel, turbines à vapeur ou à gaz, solaire, éoliennes, ...)
- **Électronique de puissance** (convertisseurs, variateurs, ...)
- **Métiers en interface avec les matériels électriques** (mécanique, thermique, hydraulique, contrôle commande / régulation).

CAPSIM est certifié ISO 9001 V2008 depuis 2003. [...]

**Notre dernière réalisation**

Réalisation d'un simulateur de réseau électrique alimentant le Tokamak ITER

CAPSIM a réalisé un outil de simulation du réseau FER programmé en langage MATLAB. Cet outil permet de partir des courants et tensions DC des bobines ainsi que des paramètres du réseau de calculer les flux de puissances qui transitent ainsi que les niveaux de tension. Ce calcul est rendu possible en intégrant les modèles de la puissance consommée de chaque convertisseur en fonction des diverses topologies envisagées et par la mise en place d'un calcul de load flow (réglage de puissance dans le réseau de distributeur). Une interface graphique permet d'utiliser l'outil et de paramétrer les simulations de manière claire et efficace.

L'interface graphique réalisée permet de faire varier de nombreux paramètres tels que la répartition des charges sur le réseau, la topologie des différents convertisseurs et les caractéristiques des systèmes de compensation de réactif.

Cet outil a, par la suite, été développé de manière à intégrer des calculs de taux de flicker ainsi que des calculs harmoniques [...]

**Nos activités**

Études de réseaux électriques	Ingénierie de la simulation	Systèmes énergétiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Analyse des harmoniques</li> <li>■ Calcul de courants de court-circuit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Développement d'outils de calcul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Analyse fonctionnelle</li> <li>■ Assistance à la conception de</li> </ul>

- 2000 : Création de CAPSIM
- 2001 : Etudes de stabilité programme NTE pour la DGA
- 2003 : Certification ISO 9001:2008  
« Conception d'outils de simulation et réalisation d'études de systèmes énergétiques »
- 2003 - 2009 : étude de réseaux industriels HTB/HTA/BT
- 2009 : Contrat cadre ITER études des réseaux et systèmes électriques
- 2009-2013 : développement de l'activité « études de raccordement » : cogénération, biomasse, solaire, éolien
- 2014 : Etude raccordement du DUS (Diesel Ultime Secours) EDF



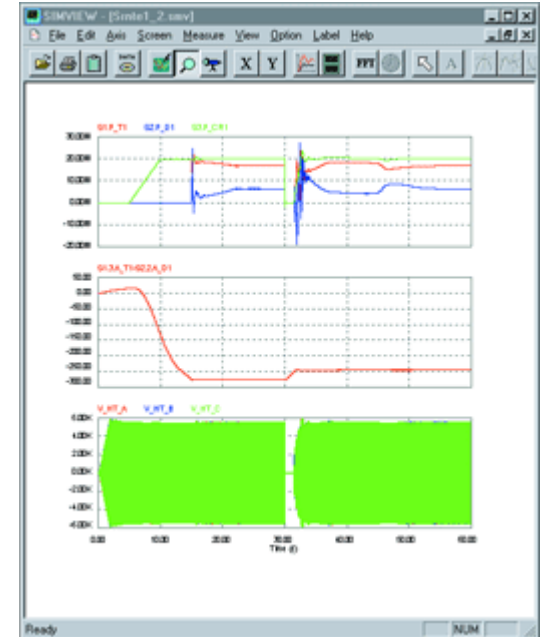
# Cœur de métier



- Analyse du comportement des composants
- Analyse des interactions système et réseau
- Définition validation du contrôle commande

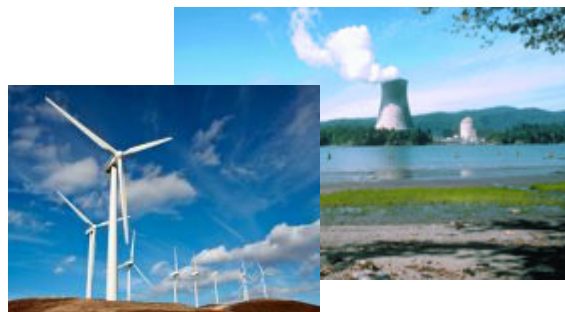


- ETAP, CYME  
POWERFACTORY, EDSA,  
PSS-E, EUROSTAG
- PSIM, EMTP, PSCAD,
- MATLAB SIMULINK
- CYMECAP, J MAG,  
MAGNET
- ...





**Défense**  
**20%**



**Energie**  
**40%**



**Industrie**  
**40%**

# Retour d'expérience sur les raccordements de producteurs

- Cas de raccordement avec Grid code ERDF, RTE, .....

- Cas de raccordement sans Grid code

(Lien smart grid : fonction ou service à réaliser)



- **Projet de parcs solaire de CASTELJALOUX**
  - Parc solaire de 36 MW raccordé sur RTE en 63 kV (57 onduleurs)
  - CAPSIM a réalisé l'ensemble des études de raccordement (fiches RTE et arrêté) et de conception du réseau interne HTA
    - Capacités constructives
    - Etude de stabilité transitoire du réseau (creux de tension,...)
    - impact en court-circuit et harmoniques
    - Définition du système de contrôle de réactif (multi onduleur)





# Exemple de raccordements

## ■ Cas traités :

- UIOM pour CNIM,
- parcs PV/éolien sur ERDF et RTE,
- Turbine Gaz GE Belfort en Europe,
- Intégration massive des Enr sur des quartiers, réseau de ville ou de pays,
- Etudes pour des équipementiers (franchissement creux de tension),
- ...





- Evolution des exigences et maturité des acteurs.
  - Structuration des développeurs,
  - Harmonisation des PTF,
  - Evolutions réglementaires (technique),
    - Essais,
    - Arrêtés du 23 avril 2008 sur les creux de tension.
    - .....
    - Liées à l'augmentation de la pénétration.



## ■ Avantages.

- Contraintes, réglementations connues,
- Si conformité alors absorption de l'énergie,
- Le gestionnaire se fait fort d'adapter son réseau,
- Calcul, simulation et essais connus.

## ■ Inconvénients.

- Capacités constructives enveloppe,
- Coûts de raccordement pas négociables,
- Pas d'optimisation de la puissance,
- Services réseau figés,
- Evolutions réglementaires.

# Marges de manoeuvre à la conception



- Performances à respecter au point de livraison connues.
- Latitudes :
  - Répartition des contraintes sur l'ensemble des composants.
- Apparition d'un besoin de conception optimale intégrant :
  - Les performances statiques,
  - Les performances dynamiques,
  - Avec une dimension statistique (dispersion des caractéristiques composants + ENR variables).

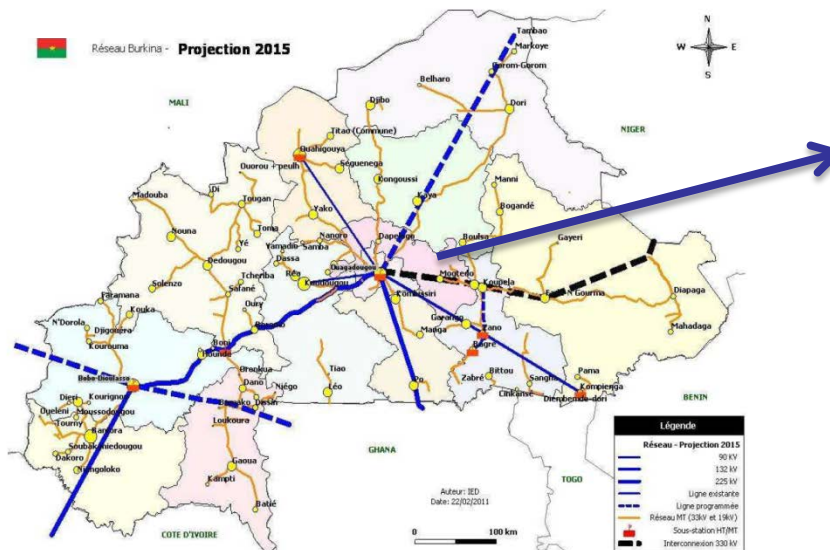
# Retour d'expérience sur les raccordements de producteurs



- Cas de raccordement avec Grid code ERDF, RTE, .....
- Cas de raccordement sans Grid code
  - Plusieurs cas possibles,
    - Gestionnaire de réseau demande les études d'impact à une tierce personne ou au producteur,
    - Réseau isolé :
      - Sans exigence,
      - Ingénierie forte.

# Etude d'impact d'une centrale PV sur le RNI Burkinabé

- Contexte : projet de parc solaire de 33 MW raccordé sur RNI (Réseau National Interconnecté) sur un poste source 225/90/33 kV
- Travail réalisé pour le compte de l'UE :
  - Analyse de stabilité du RNI avec le futur parc PV
  - Préconisations sur
    - Les renforcements (lignes, transformateurs,...),
    - Les moyens additionnels envisageables (compensation de réactif, stockage,...),
    - L'exploitation (ordre de marche des moyens de production, les réserves de puissance, gestion des interconnexions)



# Etude d'impact d'un parc éolien sur le réseau du Togo

- Contexte : projet de parc éolien de 25 MW raccordé sur un poste de distribution 20 kV à Lomé
- Travail réalisé pour le compte du développeur (justification auprès du DSO):
  - Analyse de l'impact du parc sur le réseau du **Togo et du Benin**
  - Préconisations sur
    - Les renforcements (lignes, transformateurs,...),
    - L'exploitation (ordre de marche des moyens de production, les réserves de puissance, gestion des interconnexions)



Raccordement sur le poste 161/20kV de Lomé B



# Analyse taux de pénétration éolien – Wind Diesel

- Analyse du taux de pénétration maximal de l'énergie éolienne sur un réseau d'un port minéralier en Mauritanie (Wind Diesel)
  - Parc éolien raccordé sur un réseau îloté alimenté par centrale Diesel 4 x 4 MW
  - CAPSIM a réalisé l'étude du taux de pénétration maximal :
    - Essais de caractérisation sur la centrale (réserve de puissance)
    - Modélisation du réseau existant et du nouveau parc
    - Simulation statiques et transitoires (pertes du parc, rafale extrêmes, défauts,....)
    - Spécification taux de pénétration (tables intégrées dans le contrôle commande)





## ■ Contexte

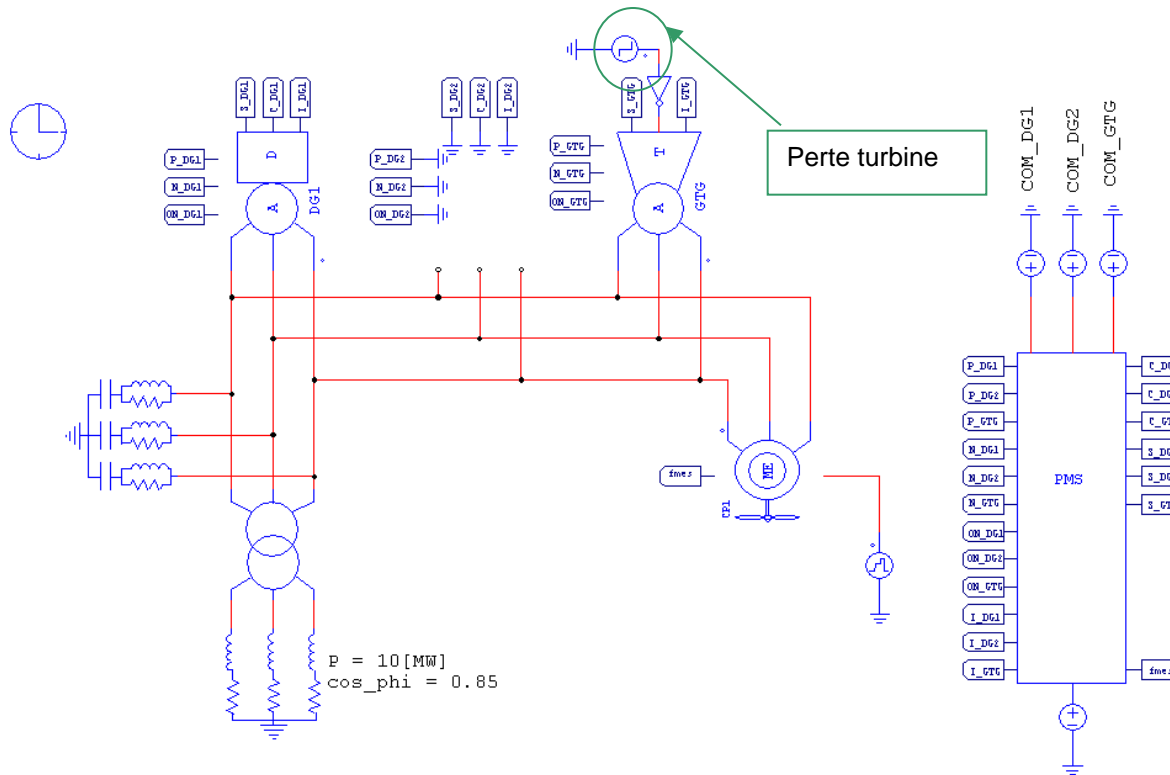
- **Client** : Chantiers de l'Atlantique (Alstom)
- **Modèle** : Générateurs, Turbine gaz, Diesel, réseau, charges Hôtel, propulsion
- **Prestations** :
  - Validation association TG / Diesel
  - Validation dimensionnement équipements
  - Définition et validation contrôle commande
- **Résultats** : Couverture de risque sur process étude
- **Gains** :
  - Mise en service
  - Communication armateur



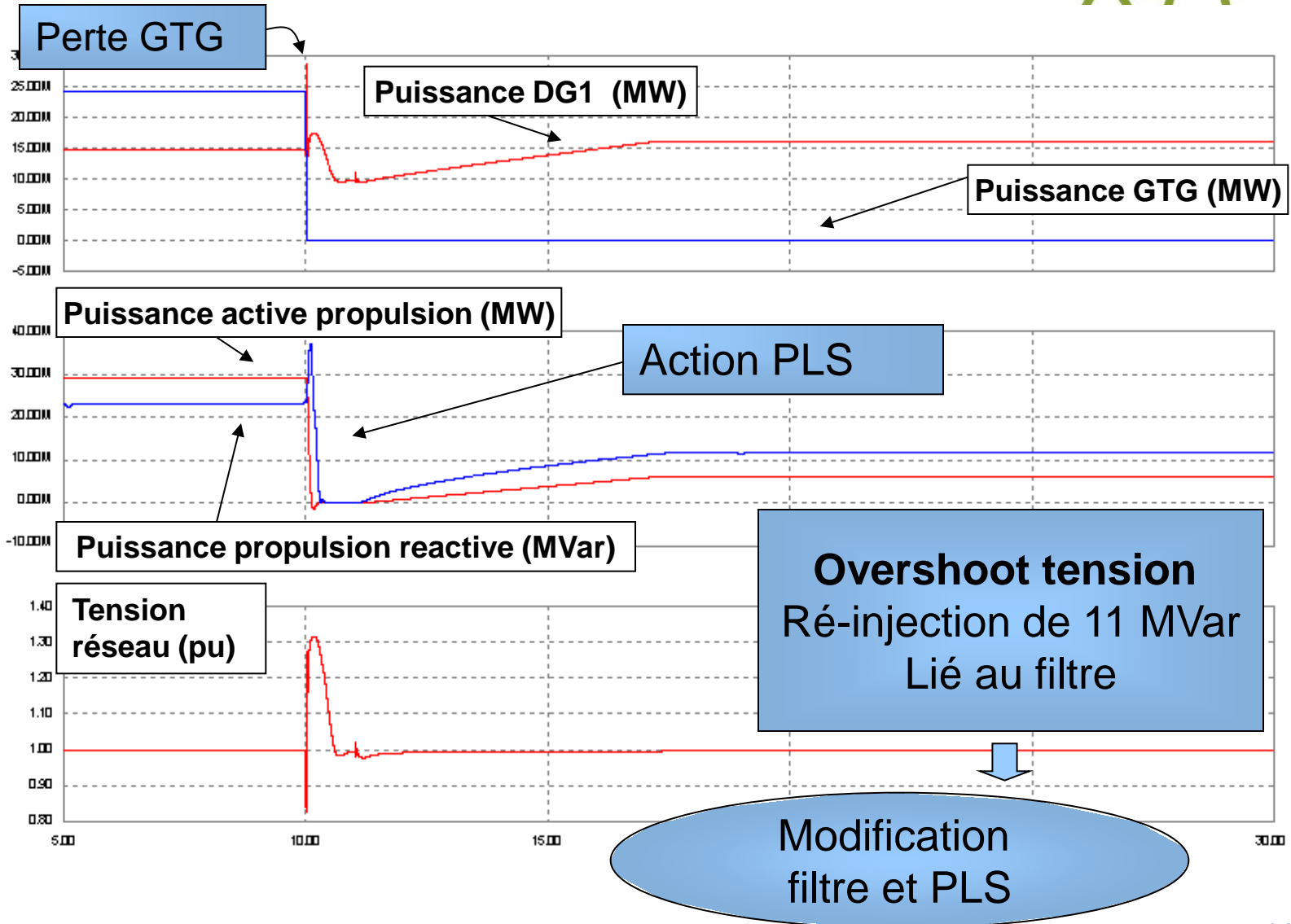
# Exemple : perte générateur : 2/3

## Conditions

1 diesel + 1 turbine à 95% de Pn. Perte de la turbine



# Exemple : perte générateur 3/3





- L'intelligence peut avoir un impact non négligeable sur le comportement du réseau.
- Compétence sur la gestion des réseaux isolés est peu répandue pour couvrir la globalité des risques :
  - Sources (prime movers),
  - Charges (moteur + comportement de la charge mécanique, four à arc, convertisseurs, ...),
  - Electrotechnique (transport, distribution, protections, harmoniques, etc ...).

## ■ Avantages.

- Accès aux caractéristiques du réseau,
- Liberté dans la conception,
- Dimensionnement au juste nécessaire,
- Optimisation des puissances / raccordement,
- Possibilité d'être innovant sur les services réseaux
- Impact potentiel sur l'ensemble du réseau,
- Pas de réglementation pour les réseaux isolés (hors technique)

## ■ Inconvénients.

- Pas de gestionnaire de réseau fort,
- Financement plus complexe,
- Part d'étude plus importante.



# Marges de manœuvre à la conception



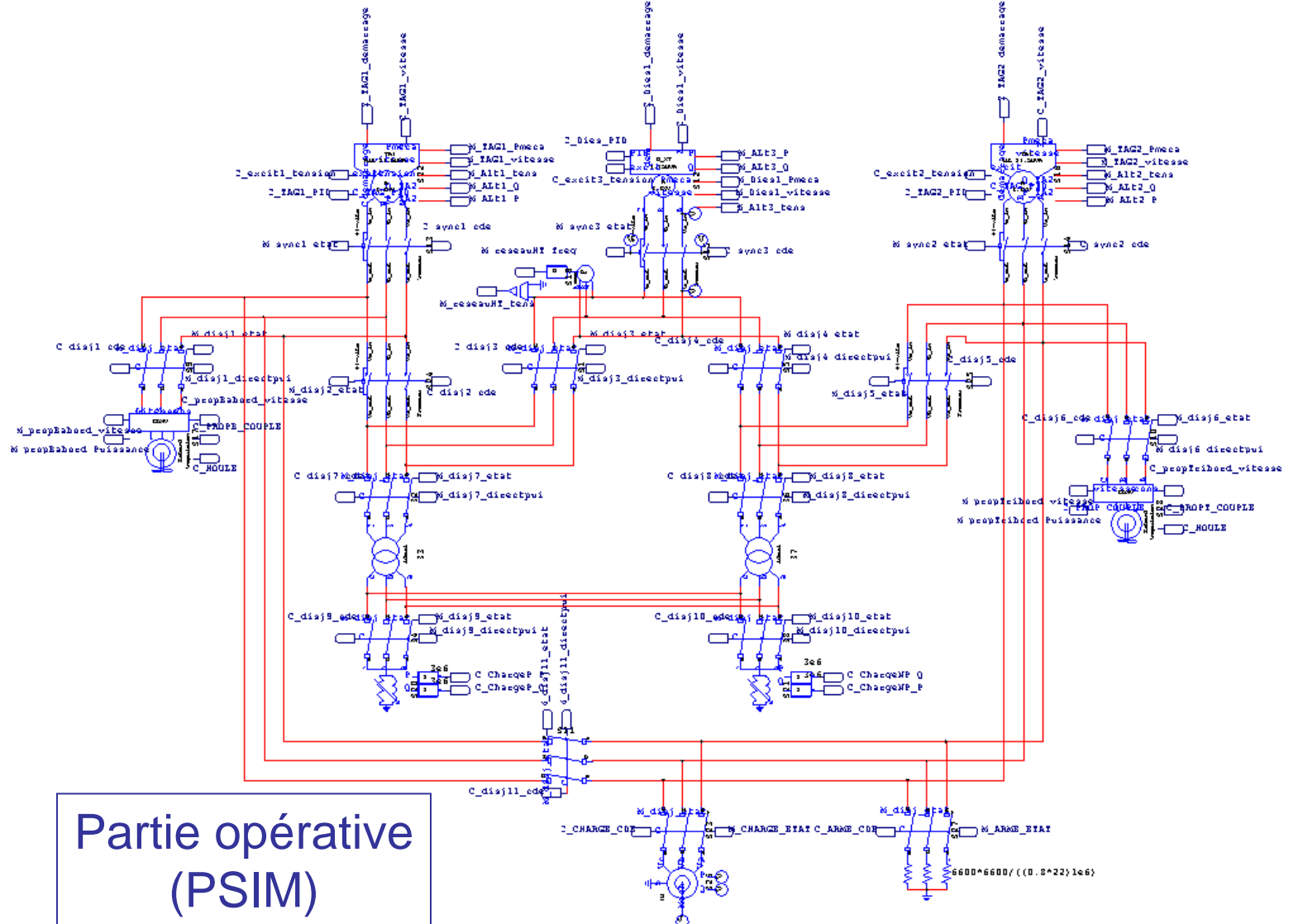
- Performances à respecter au point de livraison à adapter.
- Latitudes :
  - Répartition des contraintes sur l'ensemble des composants.
  - Intégration d'intelligence possible.
- Apparition d'un besoin de conception optimale intégrant :
  - Les performances statiques et dimensionnement de chaque composant,
  - Les performances dynamiques,
  - Avec une dimension statistique (dispersion des caractéristiques composants + ENR variables).

- Un potentiel formidable.
- Un impact certain sur les systèmes (comportement dimensionnement)
- Un nouveau challenge technique sur la partie physique :



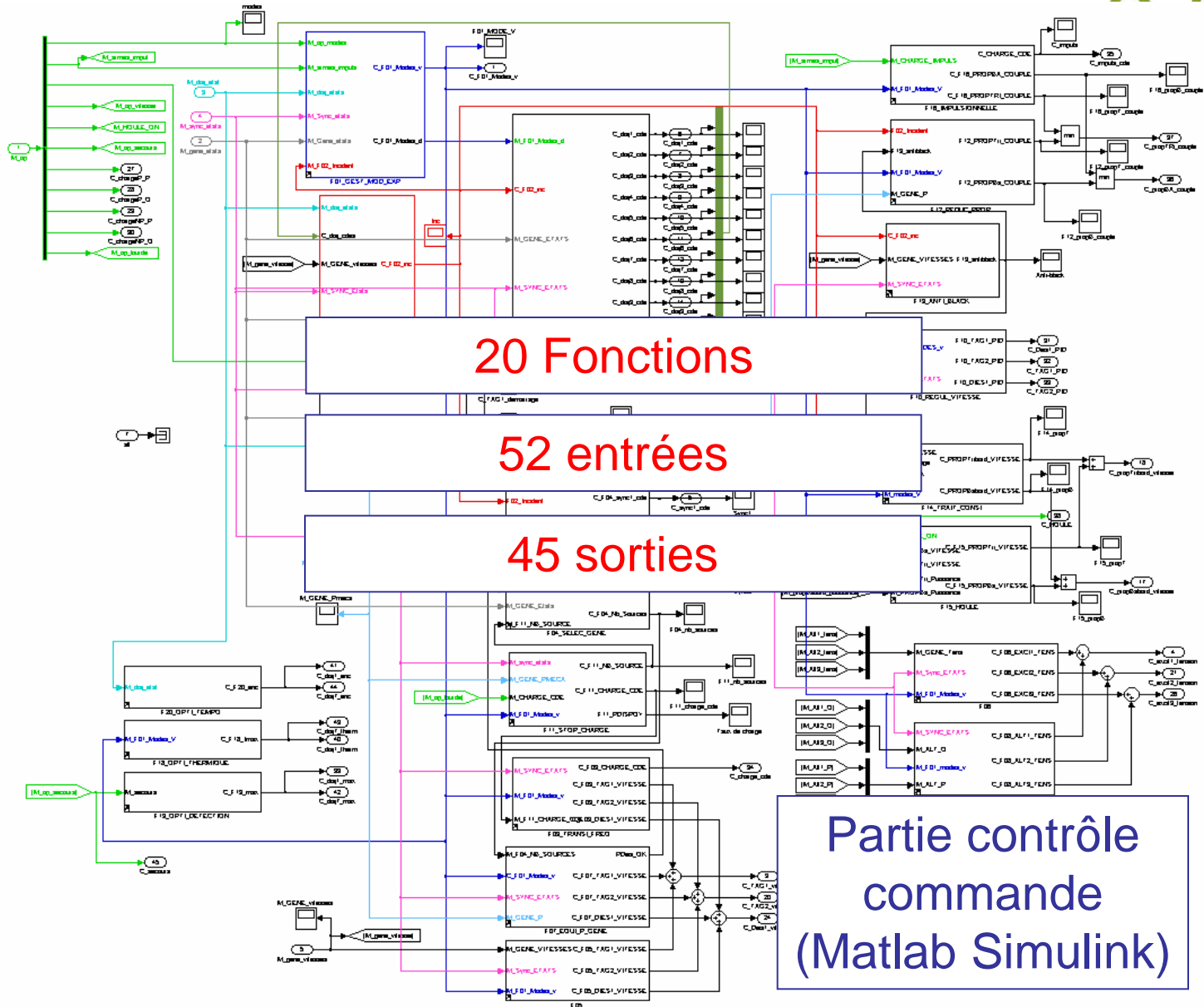
Actions de R&D

# PMS Navire tout électrique





# PMS Navire tout électrique



# Systeme énergétique

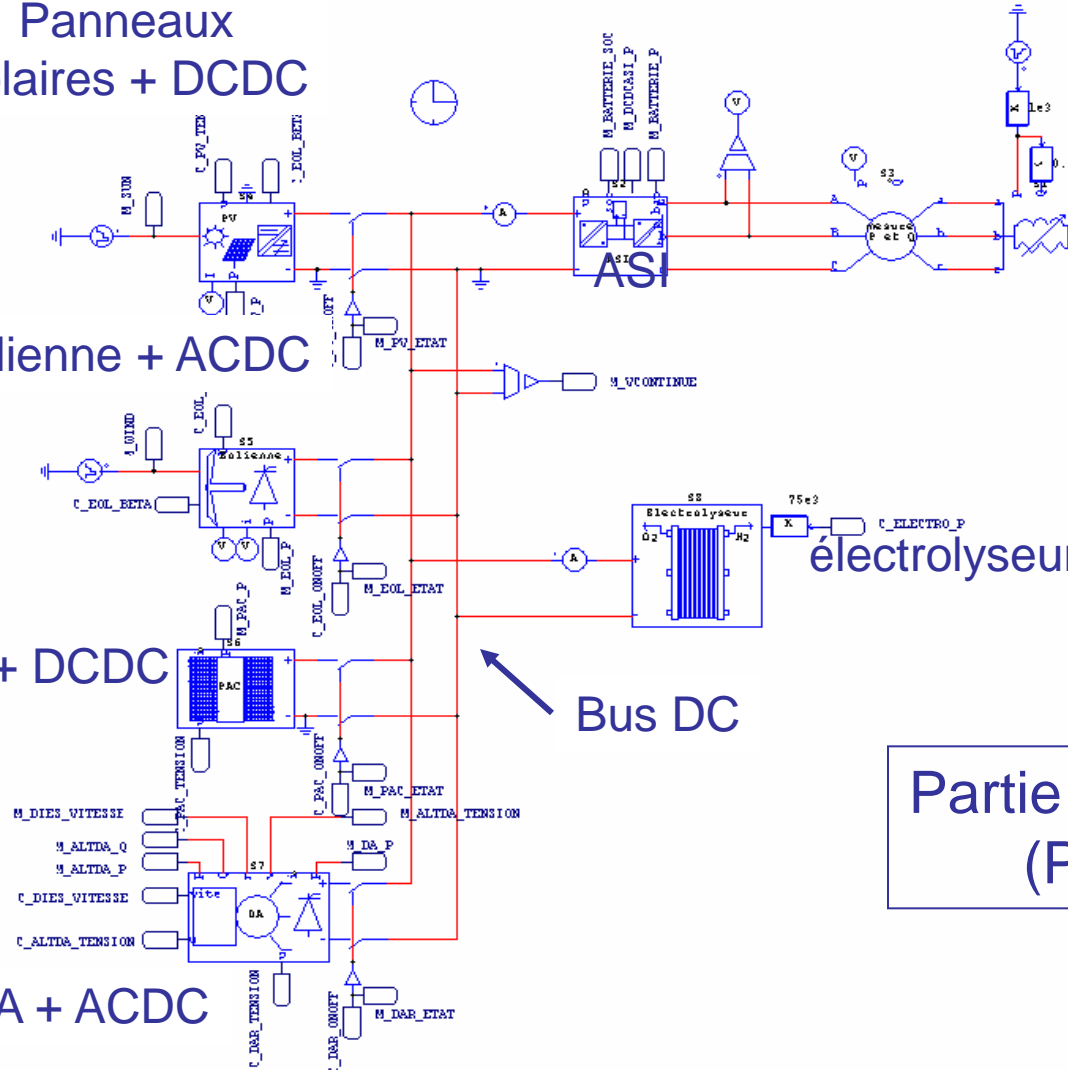


Panneaux Solaires + DCDC

Éolienne + ACDC

PAC + DCDC

DA + ACDC



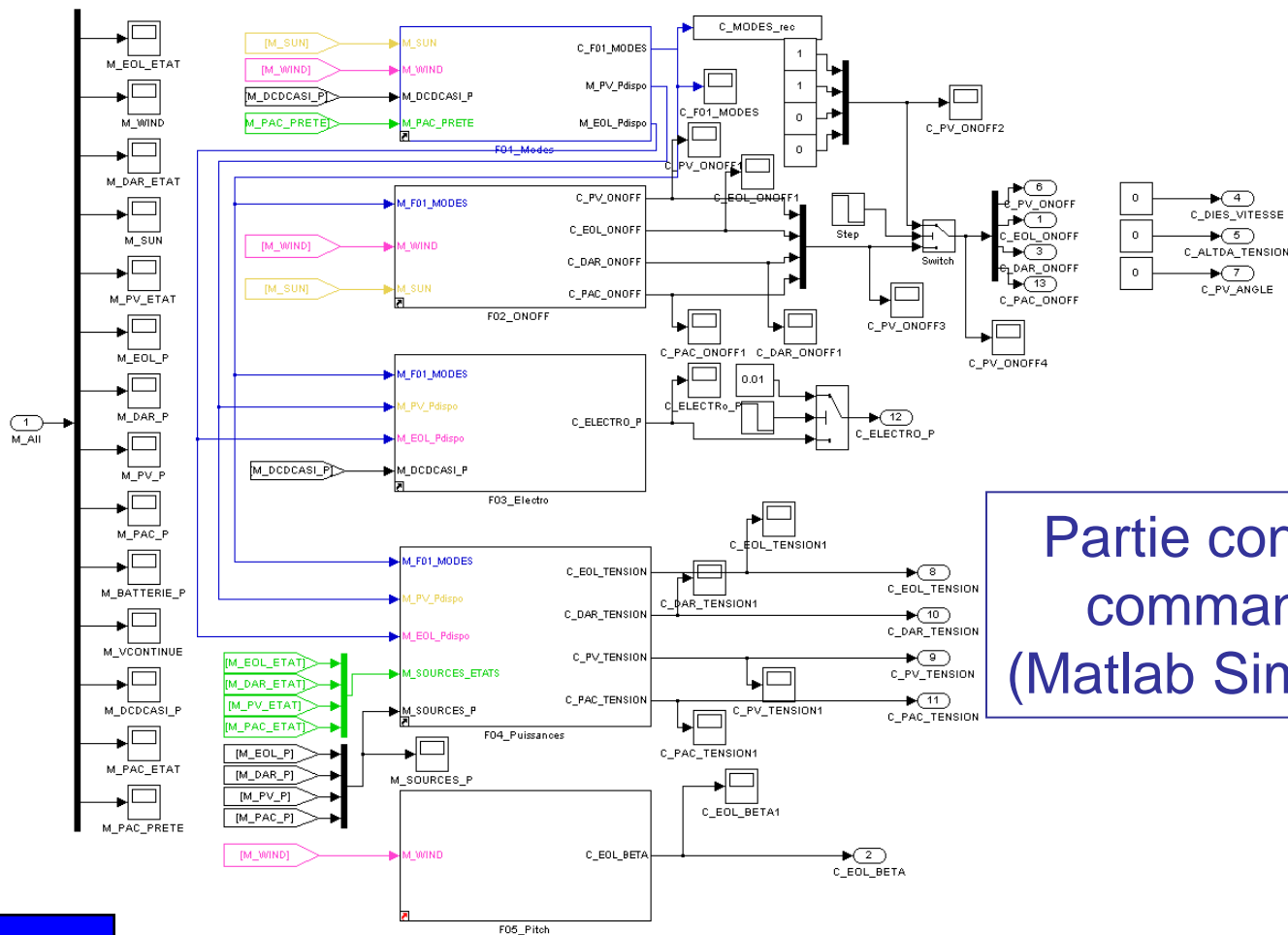
Charge

électrolyseur

Bus DC

Partie opérative (PSIM)

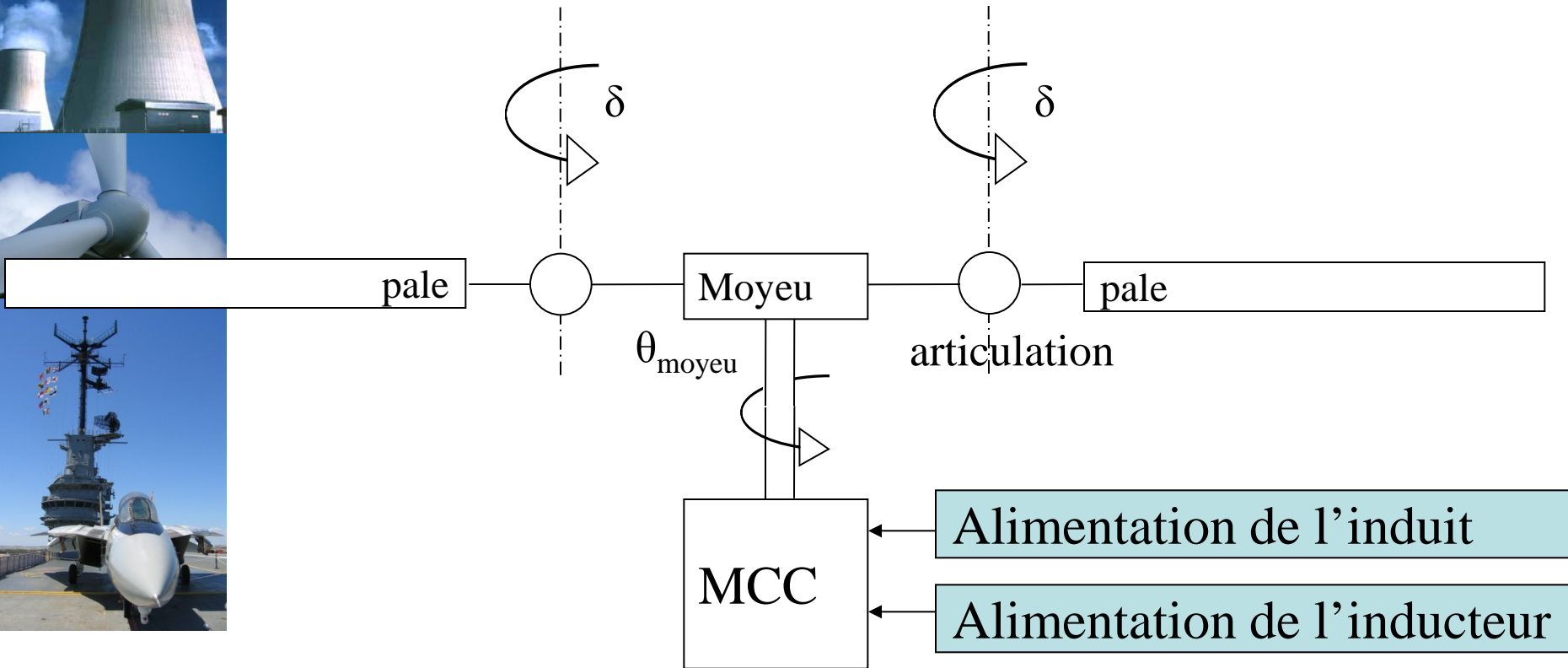
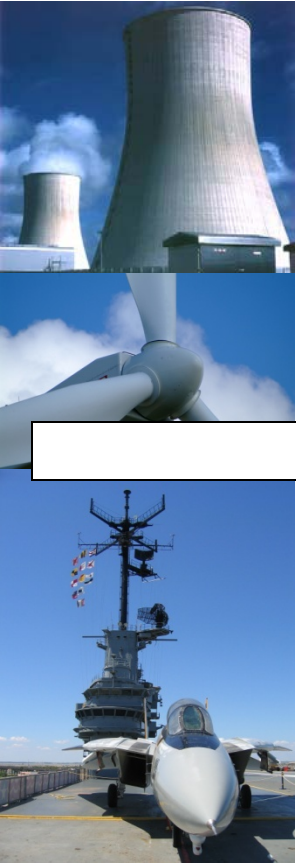
# Systeme énergétique



Partie contrôle commande (Matlab Simulink)

[Retour sommaire](#)

# Couplage outils statistiques



# Prise en compte de la statistiques et des probabilités

- Cas des ports CMA CGM.
- Cas des systèmes ENR + Stockage.





- Fuel saving sur sites isolés.
  - Cimenterie, (Diesel + PV),
  - Mines (Diesel + PV + stockage),
  - Sites industriels (Turbine à combustible + PV).
  
- Environnement complet de simulation et développement de contrôle commande de site isolé.
  
- Réseau de navire tout électrique.



Spécialiste des études de  
réseaux électriques et  
systèmes multi physiques

Merci pour votre attention

**Raymond PAULY**

Fixe : +33 (0)4 42 63 61 17  
r.pauly@capsimulation.com

■ Capsim