

## 0.0 L'enseignant Hussein Ibrahim



Hussein Ibrahim, Ph.D. - Antoine Brégaint, M.Sc.A.

*« Un philosophe a dit une fois : "Mon fils, où tu t'adresses, tu apercevras les reflets d'une créativité. Cette créativité est l'enfant d'une imagination. Cette imagination est l'âme d'un ingénieur. Cet ingénieur n'était qu'un génie dans son domaine". Soyons-le alors, chacun dans son domaine »*

*- Hussein Ibrahim-*

# Me joindre

- [cc-Hussein.Ibrahim@etsmtl.ca](mailto:cc-Hussein.Ibrahim@etsmtl.ca) ; [hussein.ibrahim@itmi.ca](mailto:hussein.ibrahim@itmi.ca)
- Sur Zoom, Teams
  - Au telephone : 418-962-9848 Ext : 340
  - En personne quand je suis à l'ÉTS

**Veillez prendre rendez-vous par courriel  
le plus longtemps à l'avance possible.**

# Hussein Ibrahim

- Ingénieur, en énergétique et contrôle, 2002
- Diplôme d'études approfondies (équivalent de la Maîtrise), en dynamique des fluides et transferts thermiques, 2003
- Doctorat en ingénierie, spécialité en systèmes hybrides de production d'énergie, 2010
- Directeur de la recherche à NERGIGA (Gaspé), 2009-2016
- Directeur de la recherche et de l'innovation au Cégep de Sept-Îles, 2016-...

# Hussein Ibrahim

- Directeur de l'institut technologique de maintenance industrielle (ITMI) à Sept-Îles, 2018-2021
- Directeur du centre de recherche et d'innovation en intelligence énergétique (CR2I<sup>e</sup>) à Sept-Îles, 2018-...
- Directeur du centre d'entrepreneuriat et de valorisation des innovations (CEVI) à Sept-Îles, 2017-...

# Hussein Ibrahim

- Chargé de cours
  - Chargé de cours à l'École de technologie supérieure (ÉTS), 2022
  - Chargé de cours à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), 2012
  - Chargé de cours à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), 2007-...
- Professeur associé, invité ou visiteur
  - UQAR, 2010-2020
  - ÉTS, 2017-2020
  - Université de Haute-Alsace, France, 2012, 2013
  - Université Libanaise, Liban, 2012-...
  - Université Saint-Joseph, Liban, 2012-...

# Hussein Ibrahim

- Projets de recherche

De 2009 à 2021, je me suis consacré à des projets concernant notamment :


- l'optimisation de l'exploitation des énergies éolienne et solaire en milieu nordique
- la conception et l'amélioration des systèmes hybrides de production d'énergie
- l'optimisation des systèmes de dégivrage des éoliennes
- les micro-réseaux isolés et connectés
- l'intelligence énergétique, l'efficacité énergétique industrielle
- la valorisation des rejets thermiques
- l'intégration et la gestion des énergies renouvelables et des systèmes de stockage d'énergie
- l'industrie 4.0
- la maintenance prédictive
- l'efficacité opérationnelle
- le développement des outils numériques (dimensionnement de systèmes hybrides, de stockage d'énergie, d'analyse des performances énergétiques, ...)

# Hussein Ibrahim

- Subventions de recherche :
  - Plus que 30 M\$ de subventions pour de projets de recherche et d'infrastructures (CRSNG, FRQNT, MEI, DEC, ...)
- Publications :
  - Près de 200 publications entre articles de revue scientifiques, chapitres de livres, articles dans des conférences, et rapports techniques
- Formation du personnel hautement qualifié
  - Encadrement de plus que 70 étudiants de 2ème et 3ème cycles depuis 2010.

# Hussein Ibrahim

- Quelques exemples de projets de recherche :
  - Exploitation des énergies renouvelables en climat nordique
  - Amélioration de l'offre énergétique dans les sites isolés
  - Développement des outils de dimensionnement et de simulation
  - Conception et optimisation des systèmes hybrides et de stockage d'énergie
  - Contrôle, commande et gestion des flux de puissance
  - Amélioration des performances des systèmes énergétiques
  - Mise en place de bancs d'essais expérimentaux

The background of the slide is a photograph of a wind farm. Several white wind turbines are visible, extending from the foreground into the distance over a calm sea. The sky is a pale, hazy blue with soft, white clouds. The overall tone is clean and professional.

# **EXPLOITATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES EN CLIMAT NORDIQUE**

## Exploitation des énergies renouvelables en climat nordique

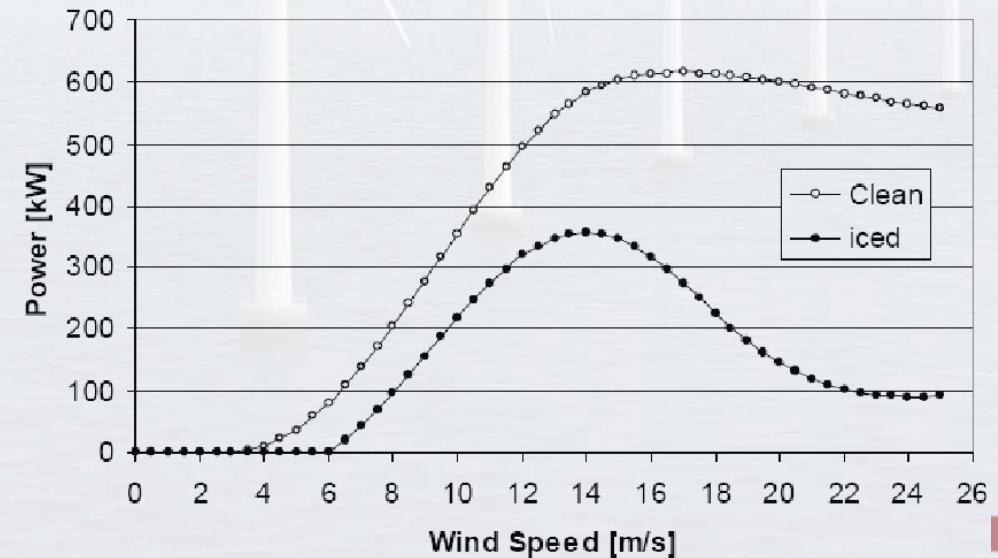
Les défis liés à l'exploitation des énergies renouvelables (éolienne et solaire) en climat nordique se manifestent à travers les contraintes dues aux facteurs suivants :

- Basses températures
- Densité de l'air
- Humidité et condensation
- Tempêtes et avalanches
- Pergélisol
- **Givrage atmosphérique**

# Exploitation des énergies renouvelables en climat nordique

## Le givrage affecte :

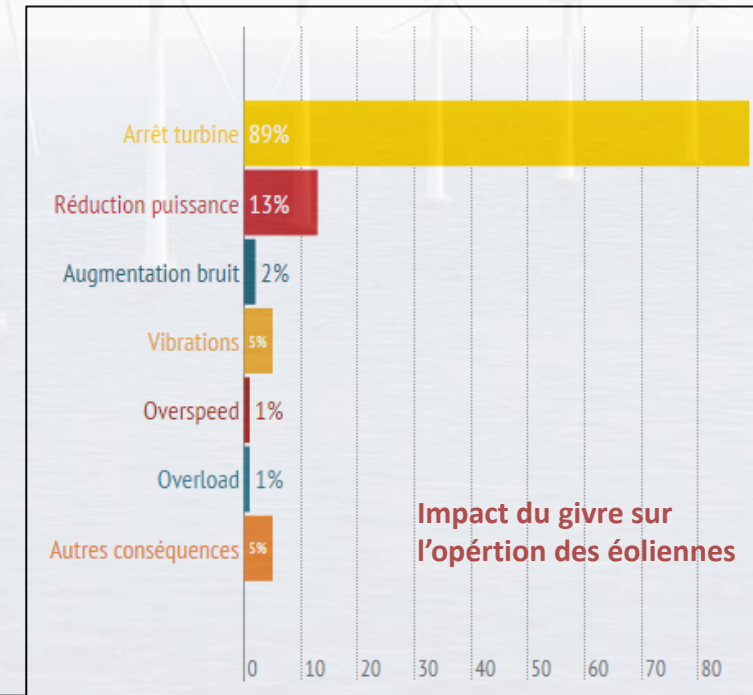
- La structure des éoliennes et panneaux solaires, la sécurité, l'accès au site, les lignes de transport d'électricité, le climat sonore et les génératrices (cas des éoliennes), les instruments de mesures et la qualité de données **ET**
- La production énergétique des éoliennes et des panneaux solaires



# Exploitation des énergies renouvelables en climat nordique

## Solutions possibles :

- Évaluation des pertes énergétiques dues au givre (pendant la prospection et l'opération des parcs éoliens et solaires)
- Détection du givrage atmosphérique et du givre sur les pales d'éoliennes et les surfaces des panneaux solaires
- Développement et optimisation des systèmes de protection contre le givre
- Détermination de la technologie de protection contre le givre la plus appropriée en fonction des contraintes du site, de la technologies des éoliennes/PV et des contraintes opérationnelles
- Développement de stratégies de maintenance prédictive et détection de défaillances et de sous-performances

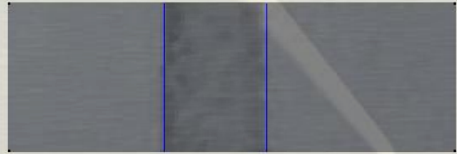


# Projet 1 : Système de détection visuelle du givre sur les pales d'éoliennes




**Ice Accretion Measurement**

ROI Image



Preview



ROI

Start X:

Start Y:

Size X:

Size Y:

Options

- Median Filter
- Rotate
- Show Debug
- Auto Process

Calibration

W:  (mm)

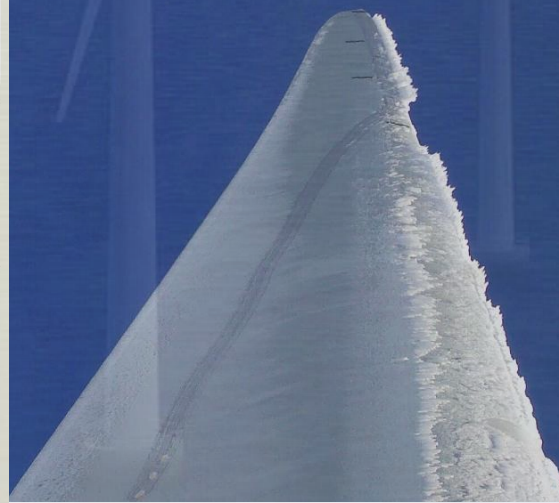
Scale:  (mm / px)

Results

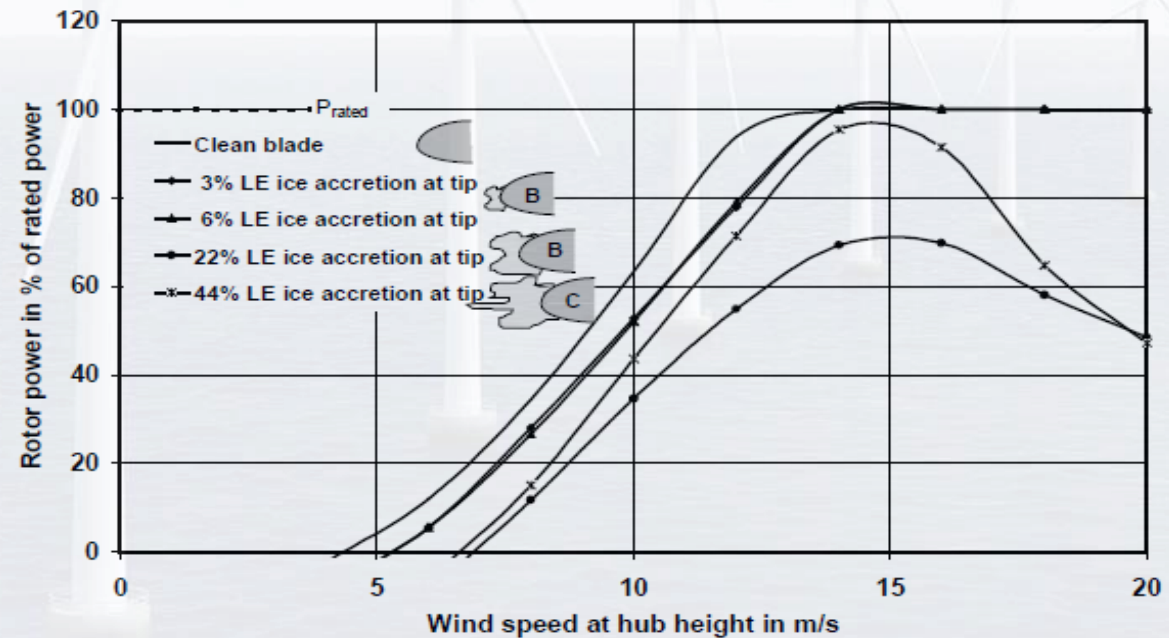
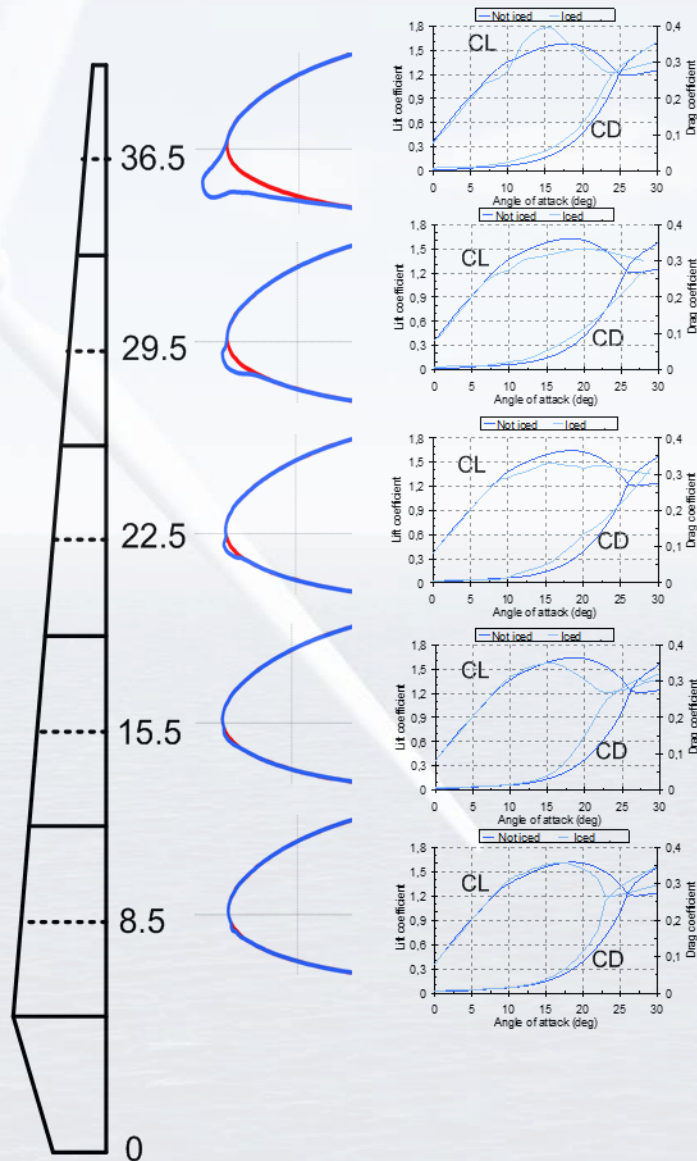
D:  (mm)

m:  (kg / m)

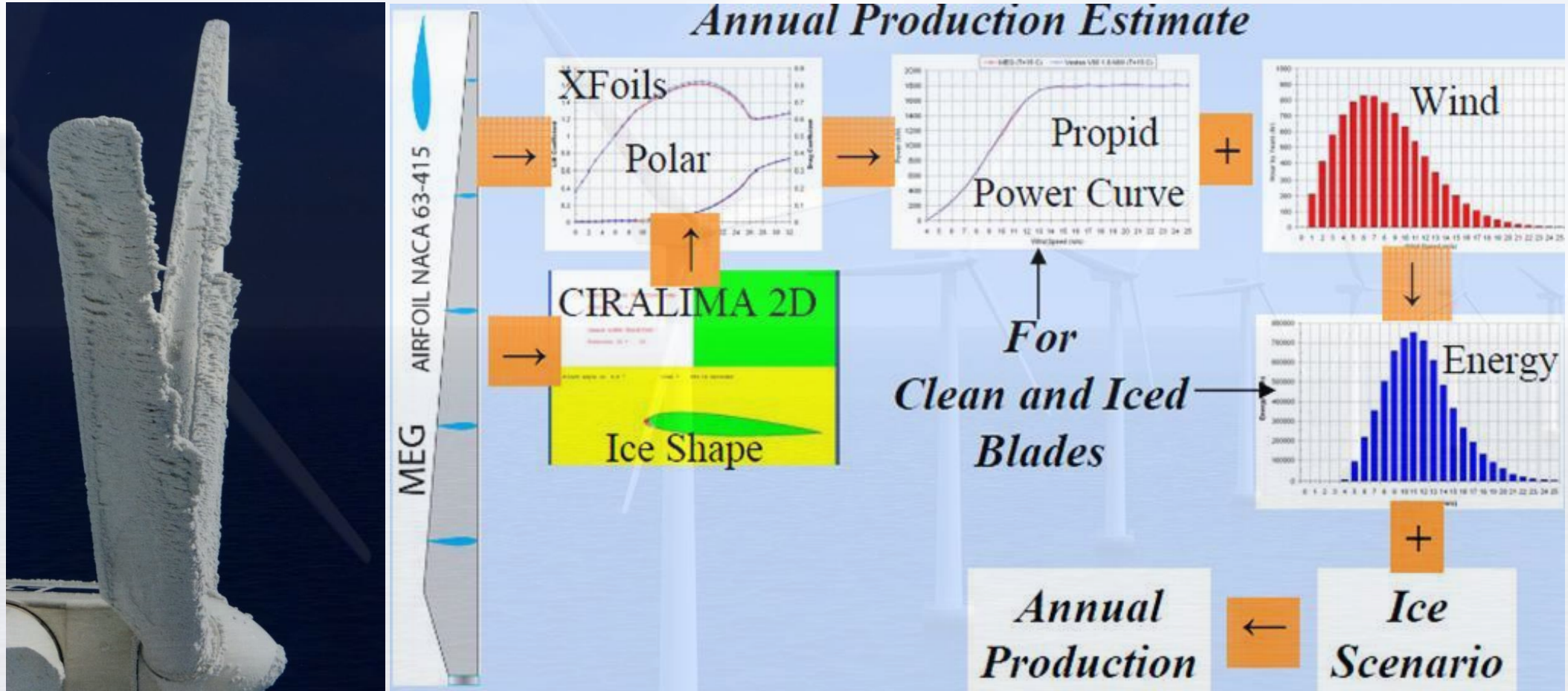
ICR:



# Projet 2 : Évaluation des pertes énergétiques dues au givre



## Projet 2 : Évaluation des pertes énergétiques dues au givre



# Projet 3 : Outil de dimensionnement des systèmes de protection contre le givre



## Bienvenue dans l'outil EVA !

EVA permet d'Explorer, de Valider, ou encore d'Analyser le retour sur investissement de Systèmes de Protection Contre le Givre installé sur les éoliennes, couramment appelés les SPCG.


EVA possède plusieurs étapes dans sa navigation, qui sont :

1. Le paramétrage du projet réalisé dans EVA
2. L'acquisition des données relatives au SPCG et à son environnement
3. La génération des résultats

Plusieurs définitions des concepts utilisés dans EVA sont disponibles dans le feuillet "Définitions", accessible en tout temps de la navigation. Ceux qui sont décrits sont indiqués par une \*

[Démarrer un projet !](#)

EVA est un outil développé dans le cadre d'un projet de maîtrise, issu d'un partenariat entre le TechnoCentre Éolien situé à Gaspé et l'ÉTS de Montréal.



## 1. PARAMÉTRAGE DU PROJET

Nom du projet: MonProjet  
 Auteur: Moi  
 Entreprise: TCE  
 Date: Aujourd'hui


Objectif du projet:

[Générer le projet](#)

- Évaluation rapide du meilleur SPCG
- Exploration du ROI
- Comparaison de SPCG pour un même site
- Comparaison de sites pour un même SPCG

Si « Exploration du ROI » entrée, s'ouvre un volet sur le type du SPCG :

- Actif
- Passif



## 3. RESULTATS

Objectif : évaluation rapide du meilleur SPCG adapté aux contraintes de l'exploitant

[Éditer](#) [Exportation en pdf](#) [Nouveau Projet](#)

Contraintes de l'exploitant	
Installation en rétrofit	Non
Capacité de puissance de l'éolienne	Moyenne
Possibilité de faire fonctionner le WEC avec le SPCG*	Oui
Classe de sévérité du site*	3

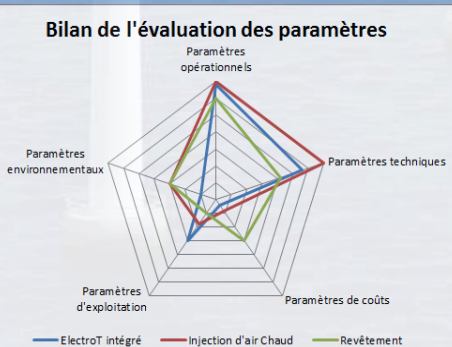

**Classement du meilleur SPCG (hors considération des contraintes)**

1	Injection d'air Chaud
2	ElectroT intégré
3	Revêtement

**Classement du meilleur SPCG adapté aux contraintes**

1	Injection d'air Chaud
2	ElectroT intégré
3	Revêtement

### Bilan de l'évaluation des paramètres

## 3. RESULTATS

Objectif : exploration du retour sur investissement d'un SPCG actif

Caractérisation depuis une description exhaustive de tous les paramètres

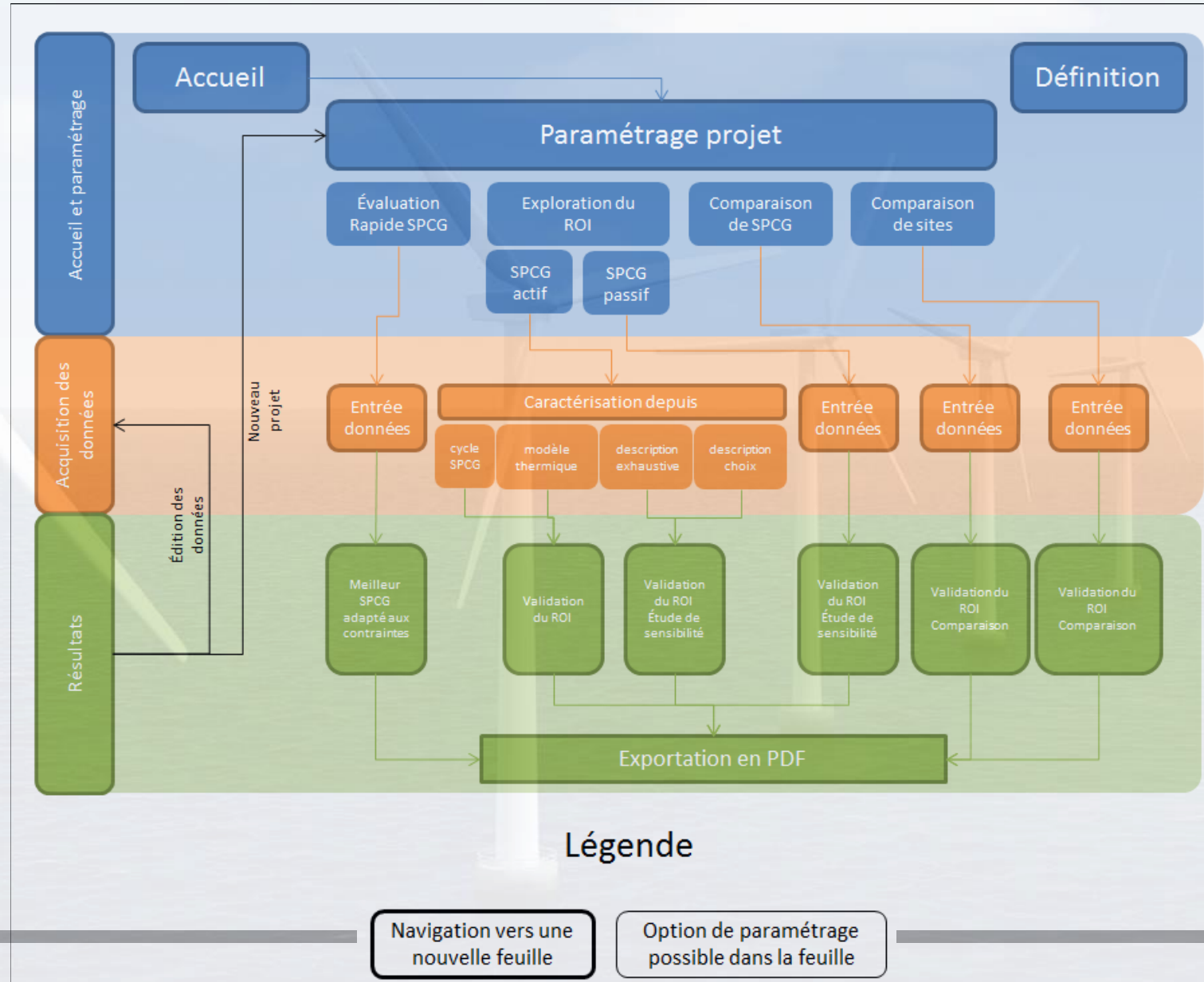
MonProjet  
 Type de SPCG : Électrothermique de surface

Bilan de performance	
Pertes énergétiques du site (sans le SPCG)	613,2 MWh
Pertes énergétiques du site (avec le SPCG)	299,4444444 MWh
Coût investissement annualisé	13121,59324 \$/an
Coût de la maintenance	2000 \$/an
Coût de la consommation	5700 \$/an
	en % de l'AEP: 7,99%
Coût lié aux stops WEC induits	3073,777778 \$/an
	en % de l'AEP: 4,31%
Taux de recouvrement énergétique*	51,16692035 %
Taux de recouvrement économique*	10,14764095 %

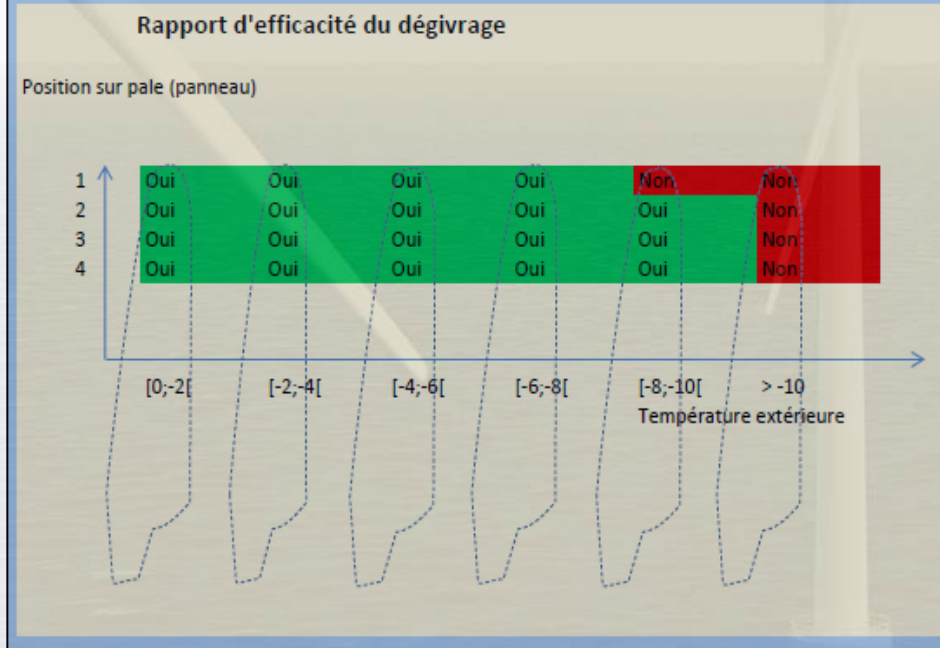
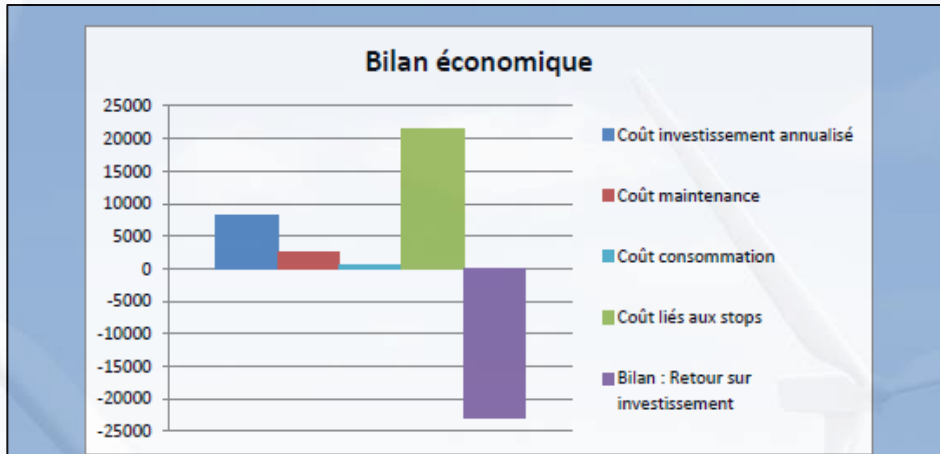
Bilan économique	
Retour sur investissement	5911,406756 \$/an
Payback	16,45631979 années
VA en % de l'investissement	145,05%
VAN	43 825,60 \$

Bilan opérationnel	
Fraction active du WEC pendant les heures de givre météorologique	88,88888889 %
Fraction inactive du WEC pendant les heures de givre météorologique	11,11111111 %
Durée totale d'activité du SPCG	333,3333333 heures
Durée totale où le SPCG et le WEC fonctionnent	222,2222222 heures
Durée totale où le SPCG fonctionne mais le WEC est arrêté	111,1111111 heures

# Projet 3 : Outil de dimensionnement des systèmes de protection contre le givre



# Projet 3 : Outil de dimensionnement des systèmes de protection contre le givre



### 3. RESULTATS

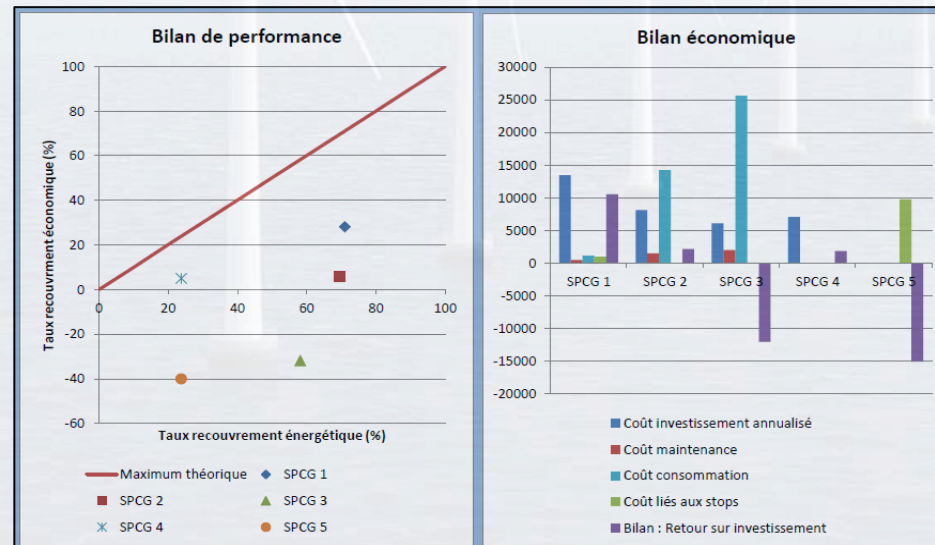
Objectif : comparaison de SPCG sur un site

MonProjet

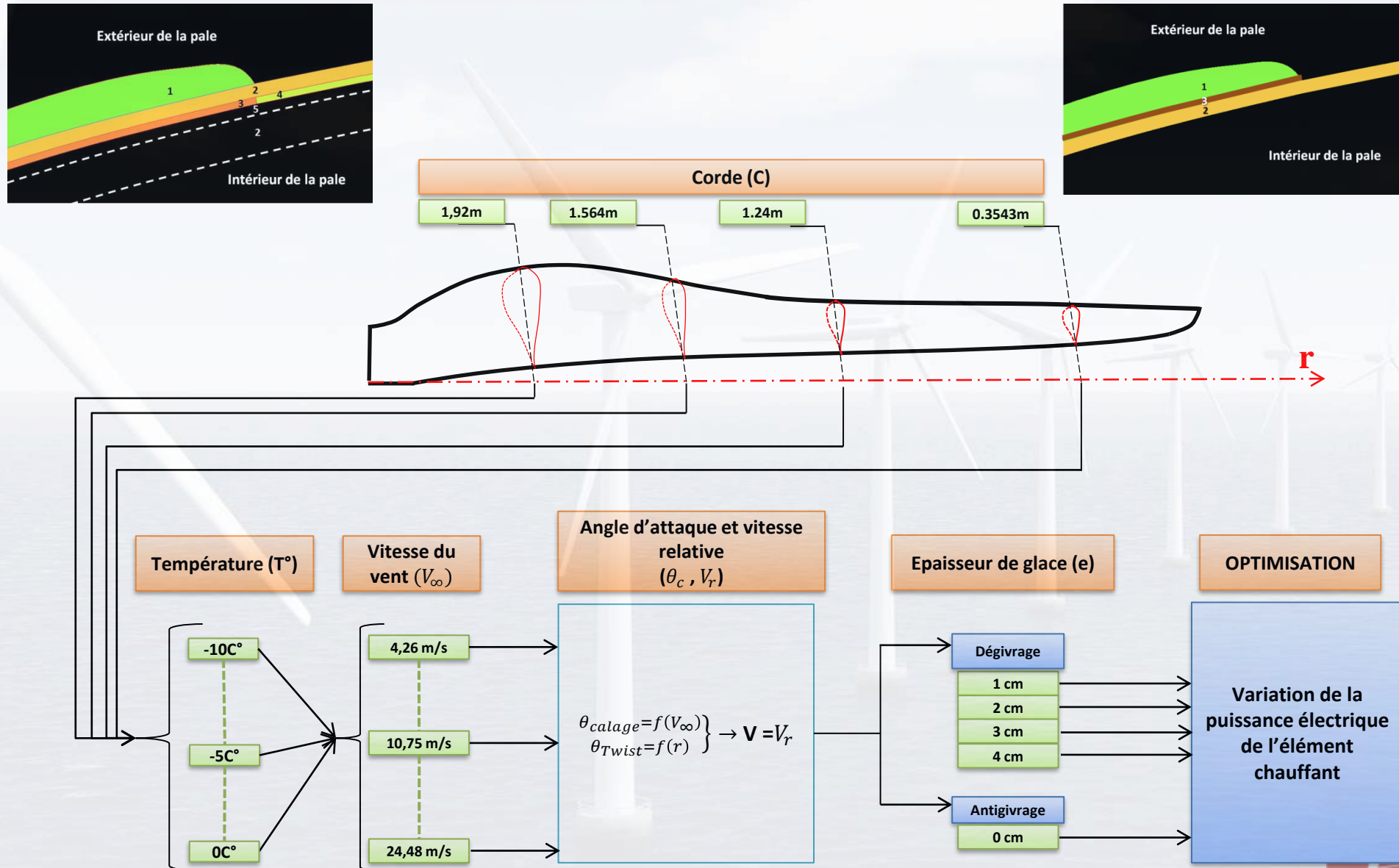
Bilan de performance		SPCG 1	SPCG 2	SPCG 3	SPCG 4	SPCG 5
Pertes énergétiques du site (sans le SPCG)	MWh	114	120	165	300	450
Pertes énergétiques du site (avec le SPCG)	MWh	13488,4799	8154,874569	6116,155927	7092,27464	0,105847
Coût investissement annualisé	\$/an	500	1500	2000	0	0
Coût de la maintenance	\$/an	1140	14250	25650	0	0
Coût de la consommation	\$/an	2,47%	31,25%	62,07%	0,00%	0,00%
Coût lié aux stops WEC induits	\$/an	977,55	0	0	0	9775,5
Taux de recouvrement énergétique*	%	2,12%	0,00%	0,00%	0,00%	68,60%
Taux de recouvrement économique*	%	71,08066971	69,5585997	58,14307458	23,89649924	23,89649924
	%	28,0727659	5,725454434	-32,02263325	4,958010522	-40,25903455

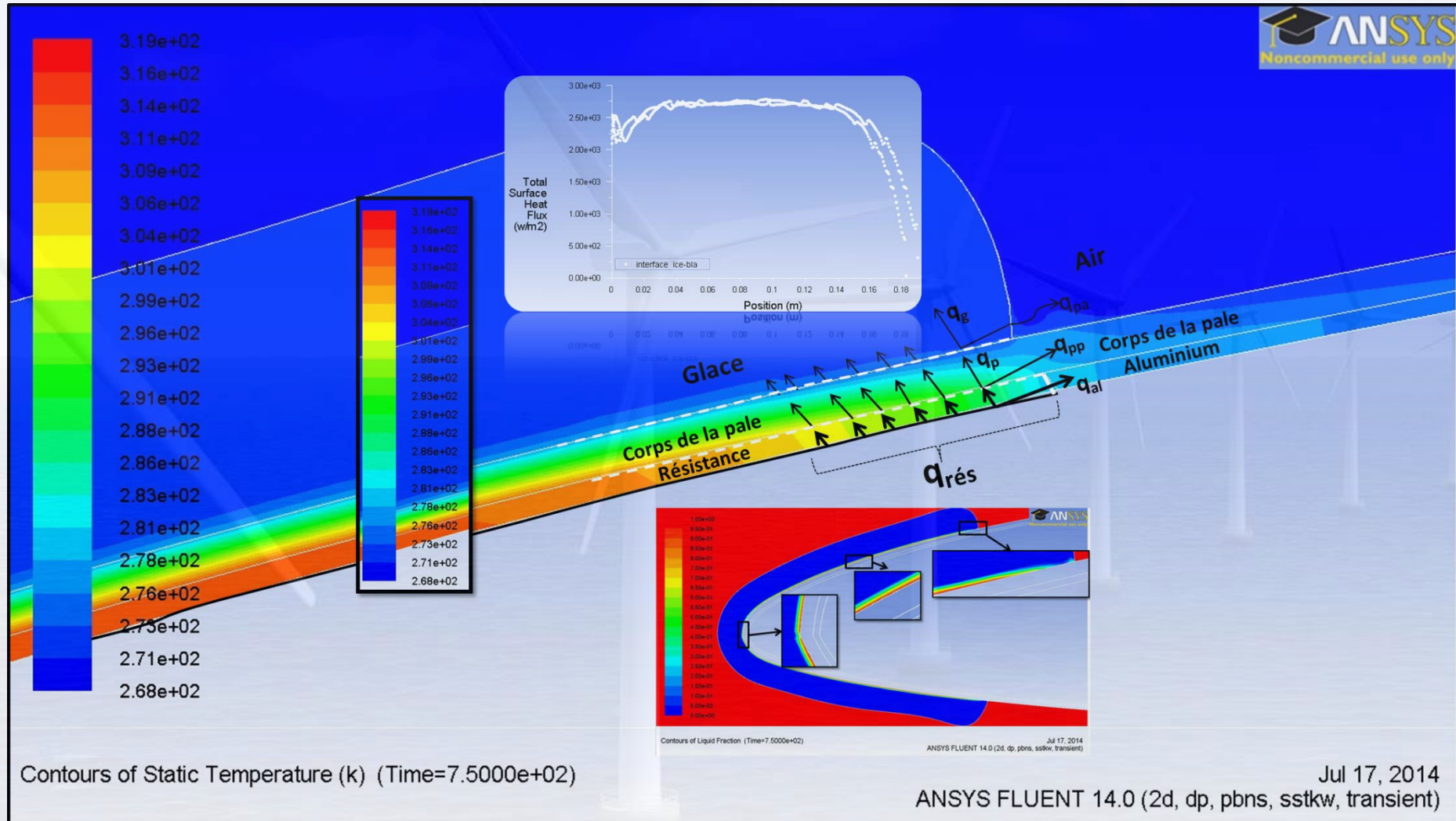
Bilan économique		SPCG 1	SPCG 2	SPCG 3	SPCG 4	SPCG 5
Retour sur investissement	\$/an	10512,9701	2144,125431	-11992,15593	1856,72536	-15076,60585
Payback	années	9,512059772	37,31125001	-5,003270502	16,15747845	-6,63279E-06
VA en % de l'investissement		177,9%	126,3%	-192,1%	126,2%	-14243672,5%
VAN		77 940,36 \$	21 034,05 \$	-175 288,10 \$	7 853,86 \$	-14 243,77 \$



# Projet 4 : Optimisation du fonctionnement d'un système de dégivrage électrothermique



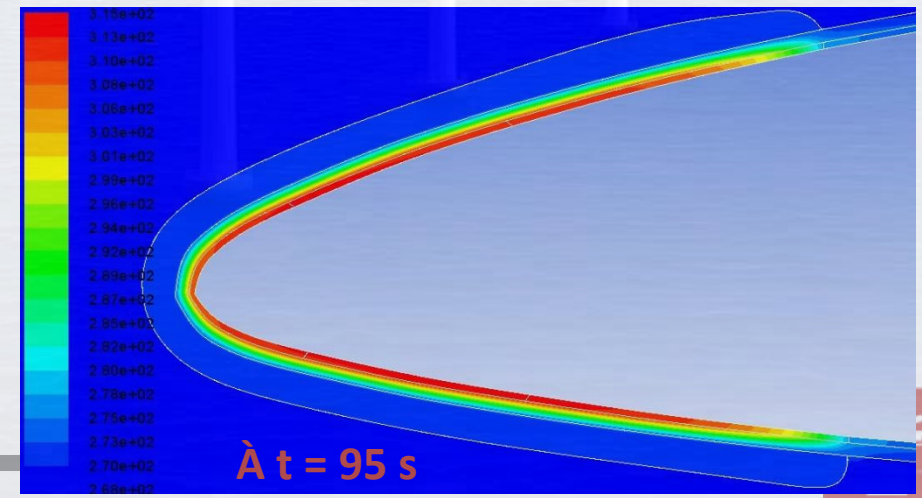
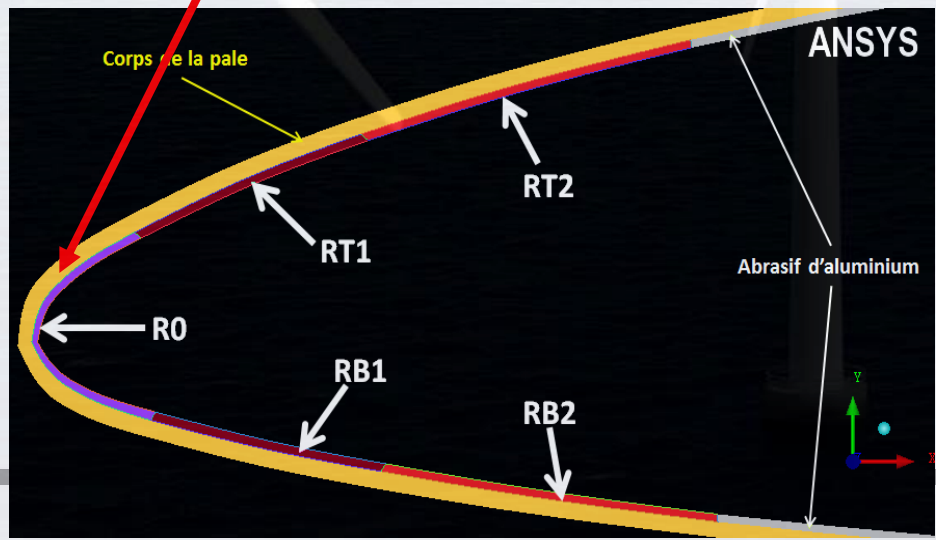
# Projet 4 : Optimisation du fonctionnement d'un système de dégivrage électrothermique



# Projet 4 : Optimisation du fonctionnement d'un système de dégivrage électrothermique

Par subdivision de la résistance et chauffage variable le long de la corde

Subdivisions de la résistance	Numéro de séquence (par ordre croissant)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Temps cumulatif (s)														
	40	50	90	95	135	140	170	175	225	250	275	285	310	320	325
	Temps de chauffage par étape du scénario (s)														
40	10	40	5	40	5	30	5	50	25	25	10	25	10	5	
Flux thermique par étape du scénario (kW/m2)															
R0	6.2	0	4.2	0	4.2	0	1.5	0	3.6	3.6	3.6	0	3.4	0	0.5
RT1	6	0	4	0	4	0	1	0	1.5	2	1.8	3	3	0	0.5
RT2	6	0	4	0	4	0	1	0	3.6	3.6	3.6	0	3.4	3	0.5
RB1	6	0	4	0	4	0	1	0	1.5	2	1.8	3	3	0	0.5
RB2	6	0	4	0	4	0	1	0	3.6	3.6	3.6	0	3.4	3	0.5



# Projet 4 : Optimisation du fonctionnement d'un système de dégivrage électrothermique

Par subdivision de la résistance et chauffage variable

Economie d'énergie

Economie d'énergie

123,91 Wh

110,53 Wh

13,38 Wh

1.24m

En  
seulement  
325 s

72,25 kWh

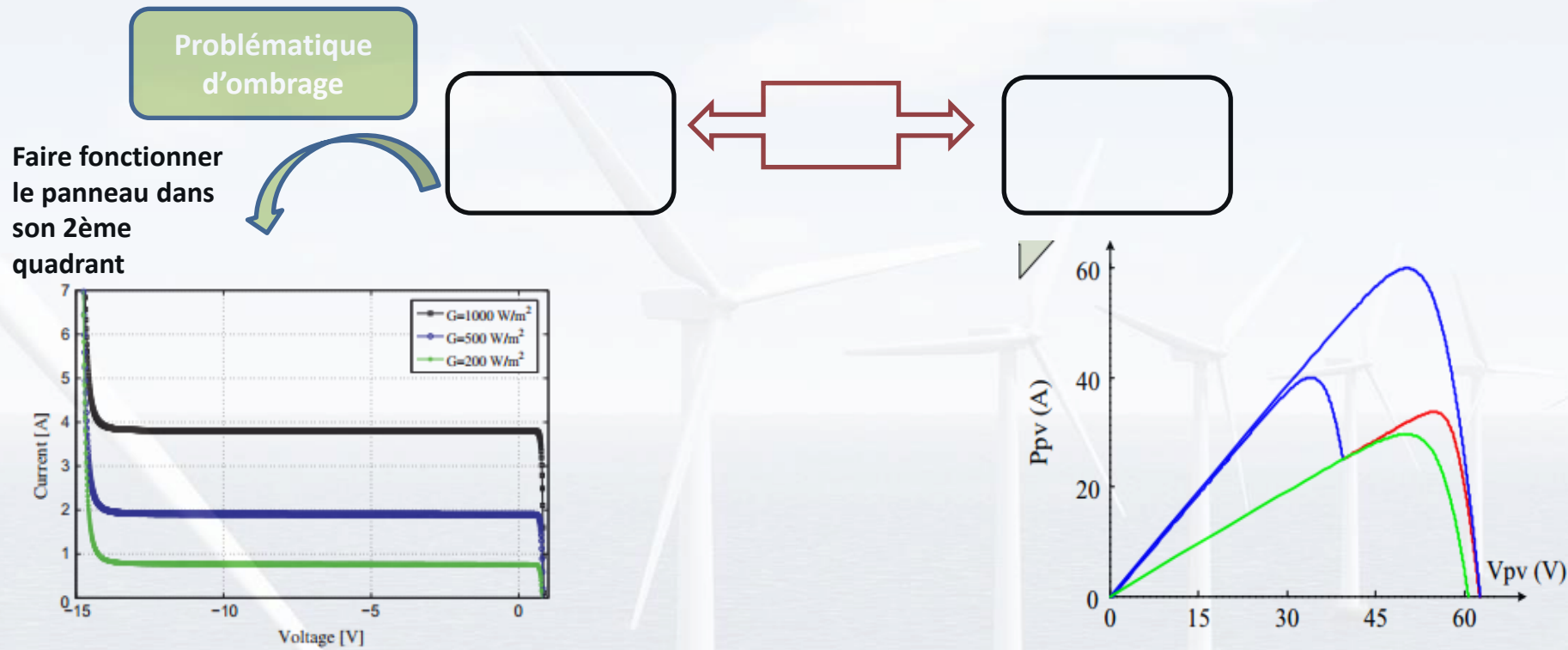
40 MM92

« Saint-Robert-Bellarmin »

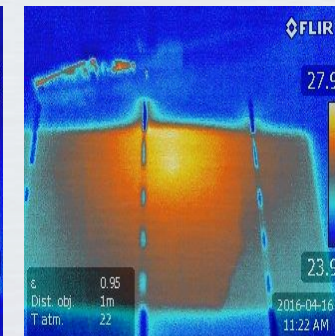
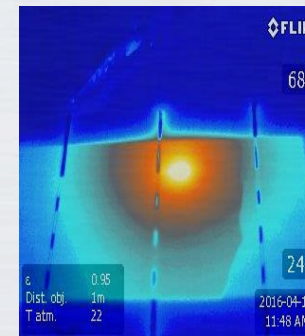
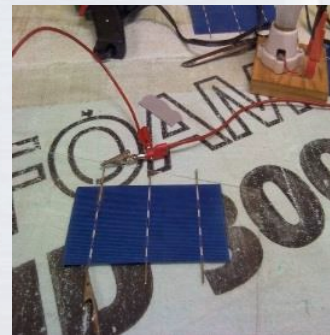
602,2 Wh / Pale

1,81 kWh / turbine

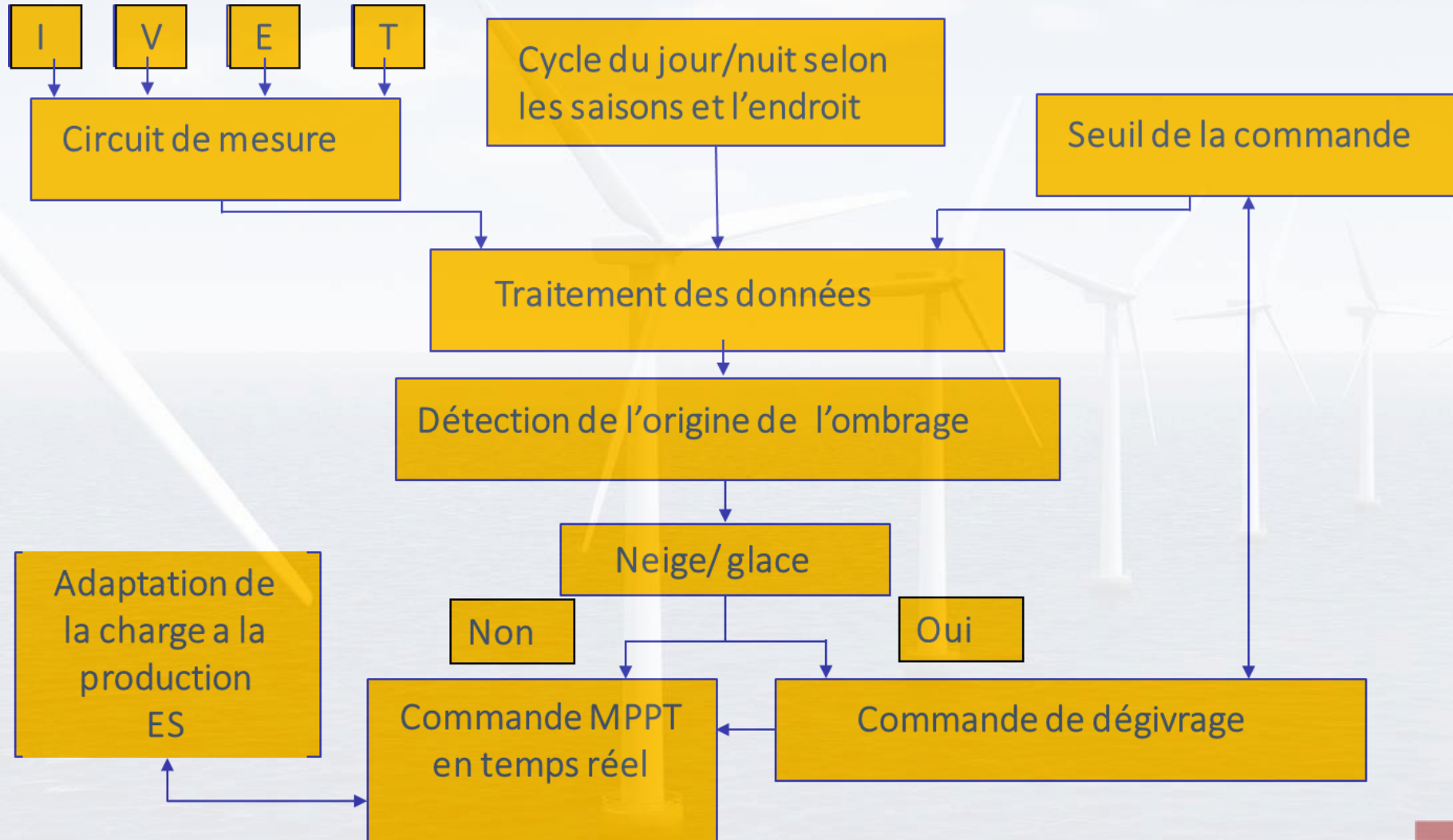
# Projet 5 : Développement d'un système de protection contre le givre pour des panneaux solaires photovoltaïques



Envoyer des impulsions de courant à une certaine fréquence aux cellules des PV tout en monitorant les températures des cellules. Les pertes qui en résultent font monter la température des cellules ainsi que celle du panneau, ce qui est favorable à la fonte de la neige ou de la glace.



# Projet 5 : Développement d'un système de protection contre le givre pour des panneaux solaires photovoltaïques



# Projet 6 : Utilisation des données de SCADA dans la prédiction des défaillances dans les éoliennes

**Panneau de gestion principal**

Menu: Accueil, CQ, Analyses, **Gestion**

**Infrastructure**

WEC001  
WEC002  
Enercon001

Ajouter  
Modifier  
Supprimer

Description:  
Courte description de l'infrastructure

**Composantes**

Gearbox  
Nacelle  
Mat

Ajouter  
Modifier  
Supprimer

Description:  
Courte description du composante

**Capteurs**

Temp  
OilPres  
Viscosité

Ajouter  
Modifier  
Supprimer

Description:  
Courte description du capteur

**Paramètres et Mesurandes du capteur**

Paramètres du capteur

Point PI:  
SNEEC.WEC001/WTRM.T1m

Unité

Celcius  
 Fahrenheit  
 m/s  
 psi  
 Autre:

Paramètres CQ du capteur

Moyennes

Crédibilité Min:   
Crédibilité Max:

Écart type

Crédibilité Min:   
Crédibilité Max:

Seuil tolérance supérieur

Niveau alerte 3

Limite	Redondance	Persistance
<input type="checkbox"/>	Fréq. Pér. Temps	<input type="text"/>

Niveau alerte 2

Limite	Redondance	Persistance
<input type="checkbox"/>	Fréq. Pér. Temps	<input type="text"/>

Niveau alerte 1

Limite	Redondance	Persistance
<input type="checkbox"/>	Fréq. Pér. Temps	<input type="text"/>

Seuil tolérance inférieur

Niveau alerte 3

Limite	Redondance	Persistance
<input type="checkbox"/>	Fréq. Pér. Temps	<input type="text"/>

Niveau alerte 2

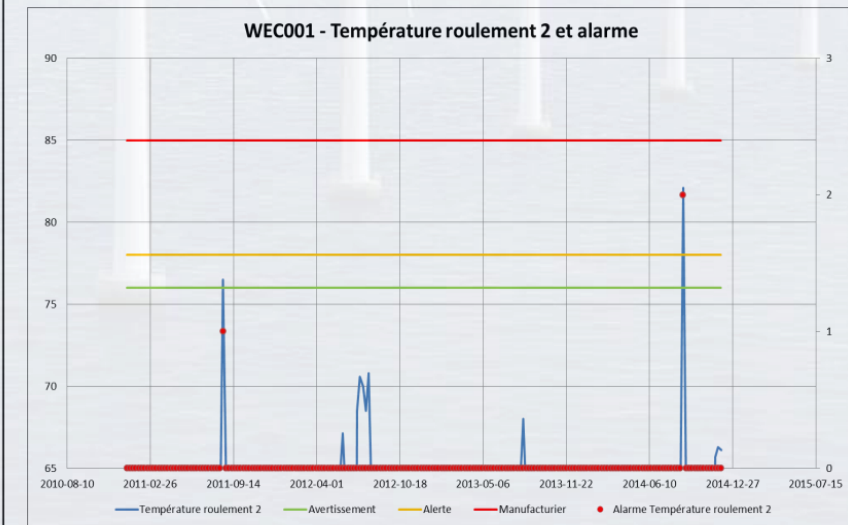
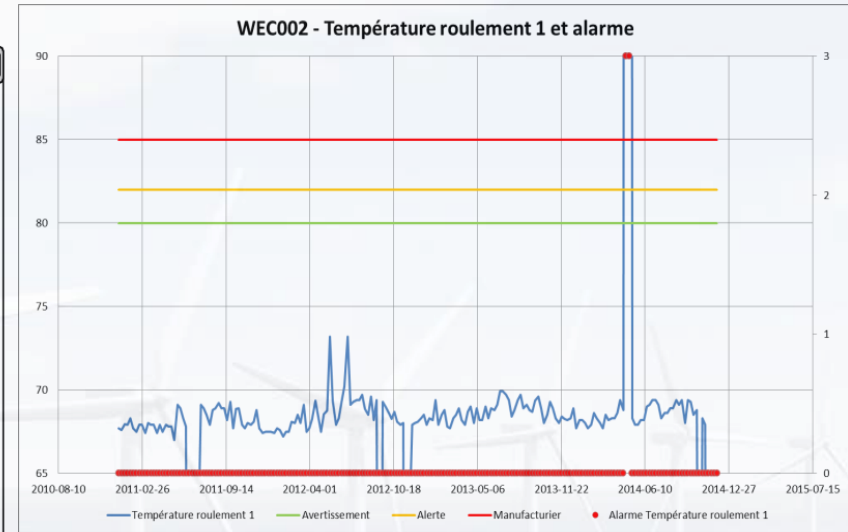
Limite	Redondance	Persistance
<input type="checkbox"/>	Fréq. Pér. Temps	<input type="text"/>

Niveau alerte 1

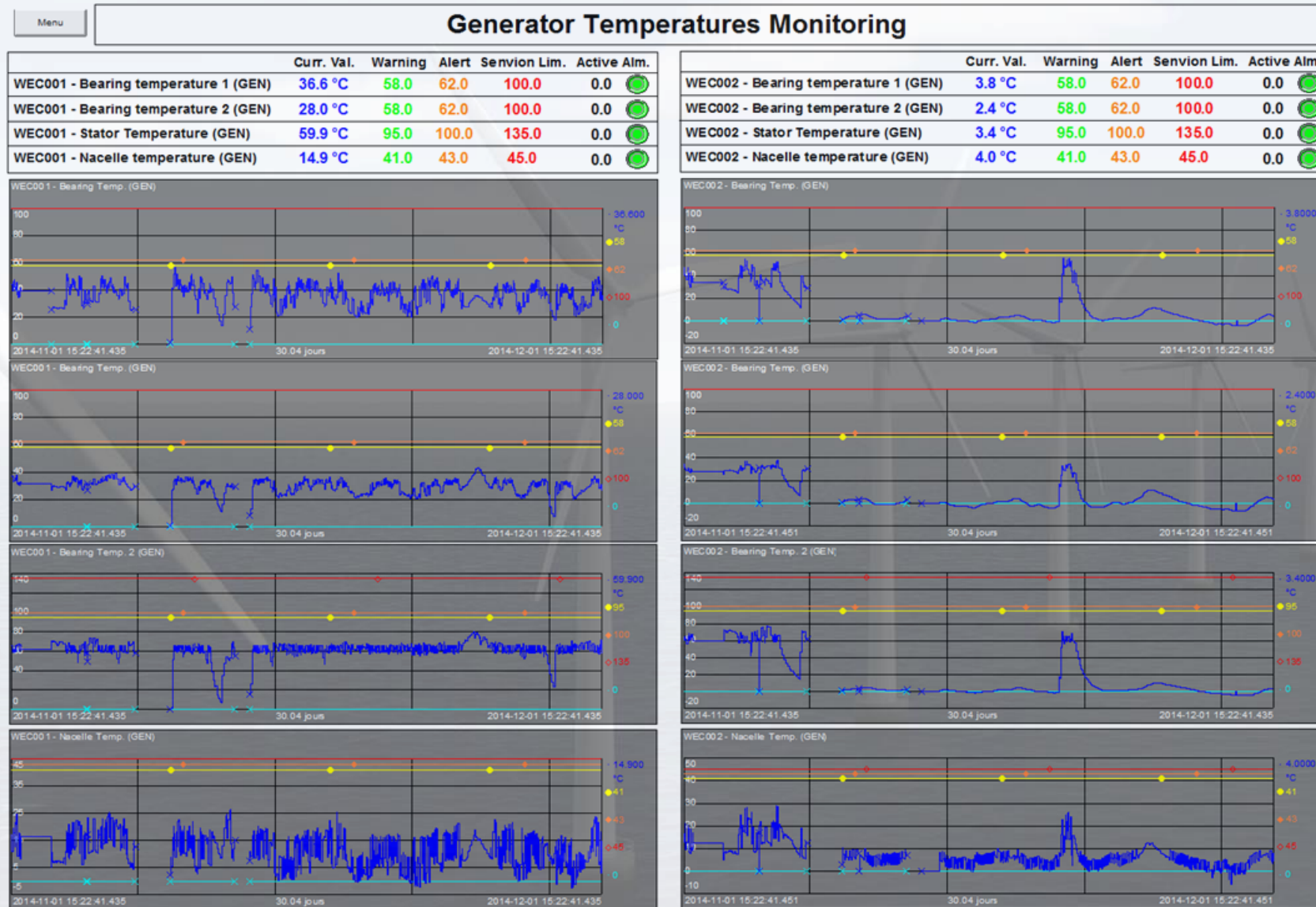
Limite	Redondance	Persistance
<input type="checkbox"/>	Fréq. Pér. Temps	<input type="text"/>

Notification SMS/Courriel

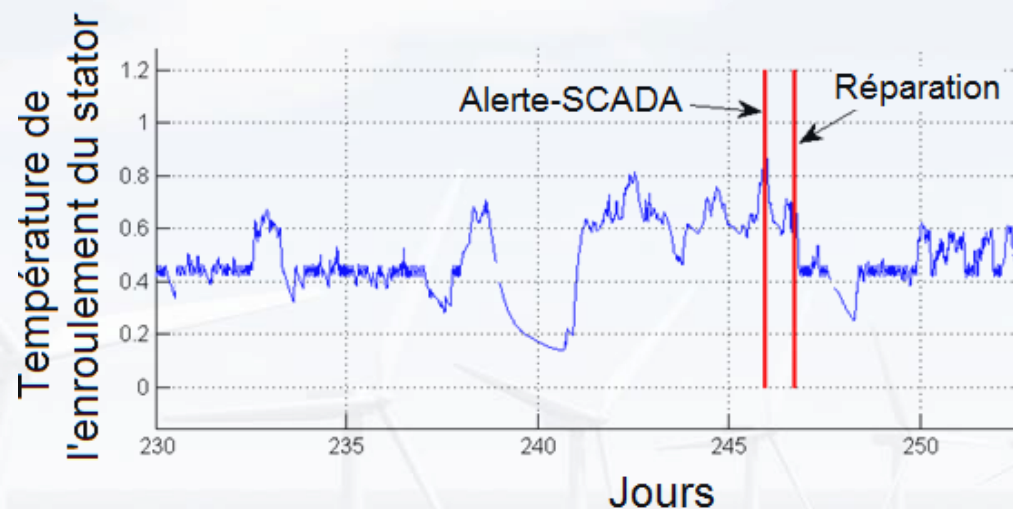
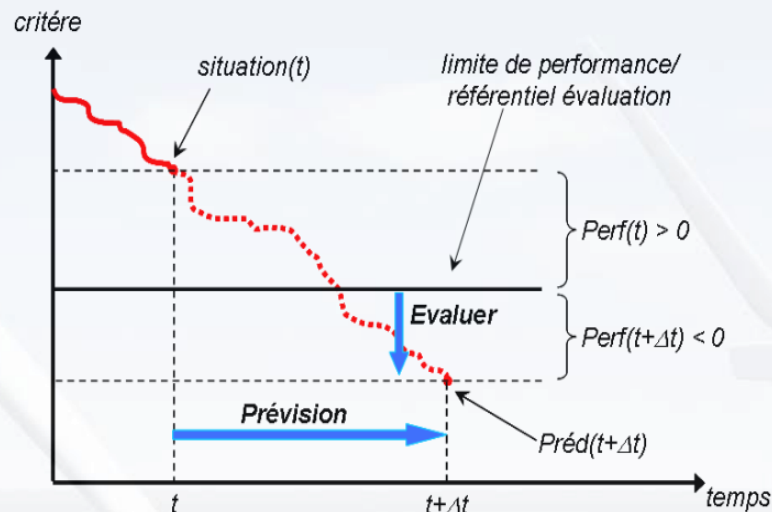
Activer	Nom	Courriel
<input checked="" type="checkbox"/>	Denis Pelletier	dpelletier@eolien.qc.ca



# Projet 6 : Utilisation des données de SCADA dans la prédiction des défaillances dans les éoliennes



# Projet 6 : Utilisation des données de SCADA dans la prédiction des défaillances dans les éoliennes



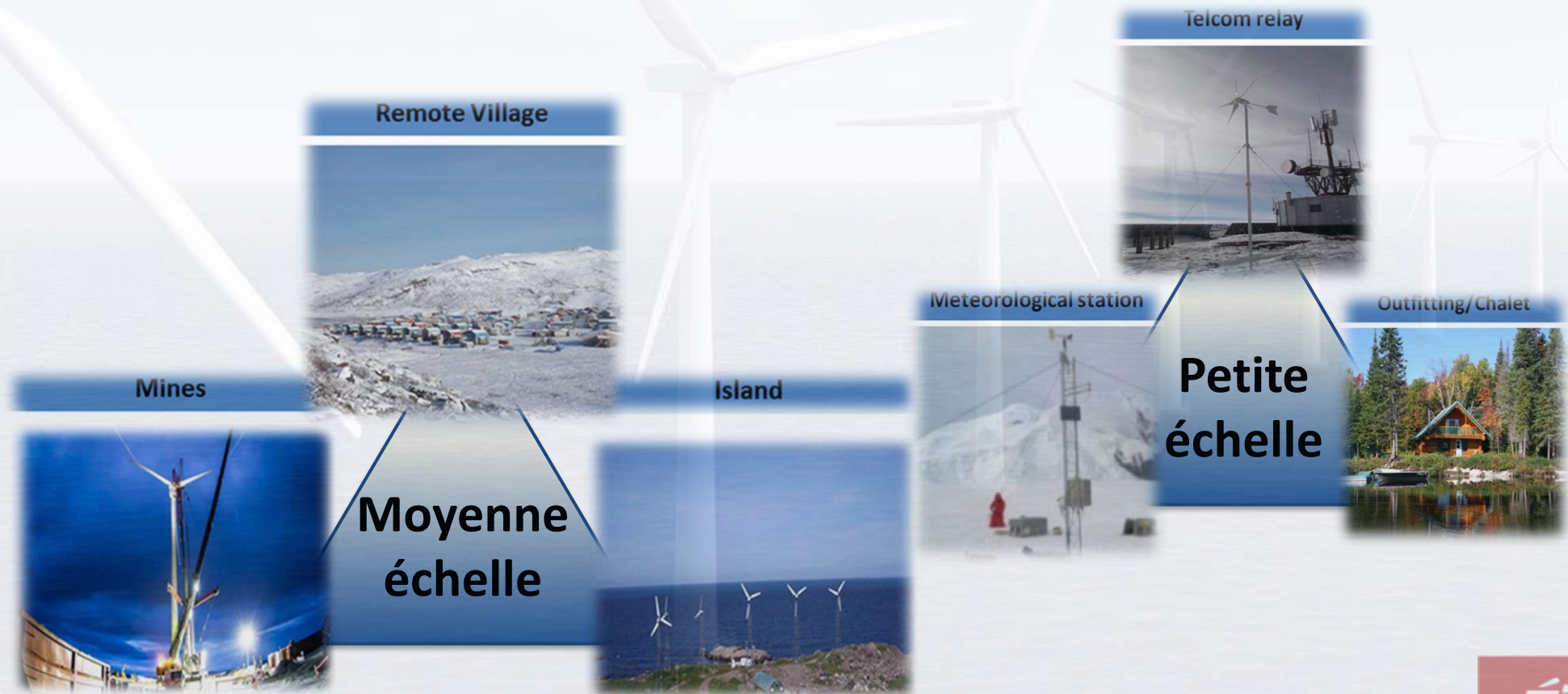
Items	Turbine 1 (sans suivi via le SCADA)	Turbine 2 Avec suivi des signaux de SCADA
Pertes de production Facteur d'utilisation = 45%	9.5 jours avec une limitation de puissance 13 340\$	¾ jour avec une limitation de puissance 1 050\$
Temps du technicien	900\$	480\$
Fuel pour le transport	170\$	84\$
Total	14 410\$	1 614 \$
Différence	12 796\$ or 89%	



# AMÉLIORATION DE L'OFFRE ÉNERGÉTIQUE DANS LES SITES ISOLÉS

# Amélioration de l'offre énergétique dans les sites isolés

**Sites isolés** : *Communauté, région ou site qui n'est pas ou ne peut pas être reliée au réseau public de transport et distribution d'électricité et de gaz naturel*

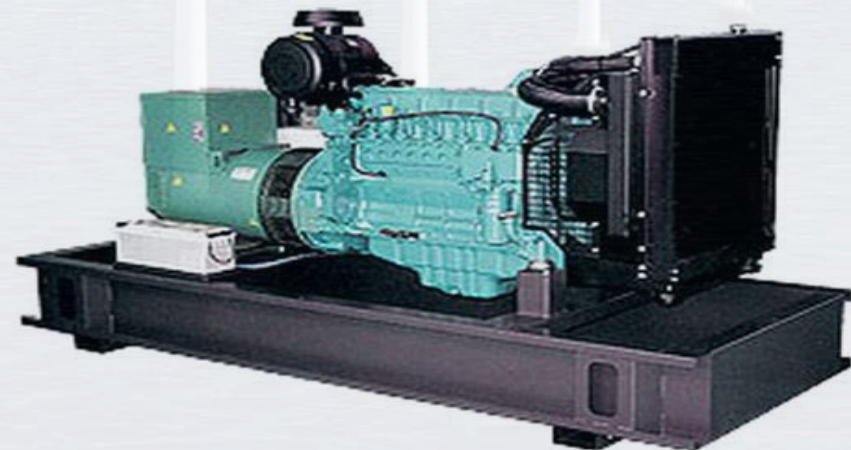
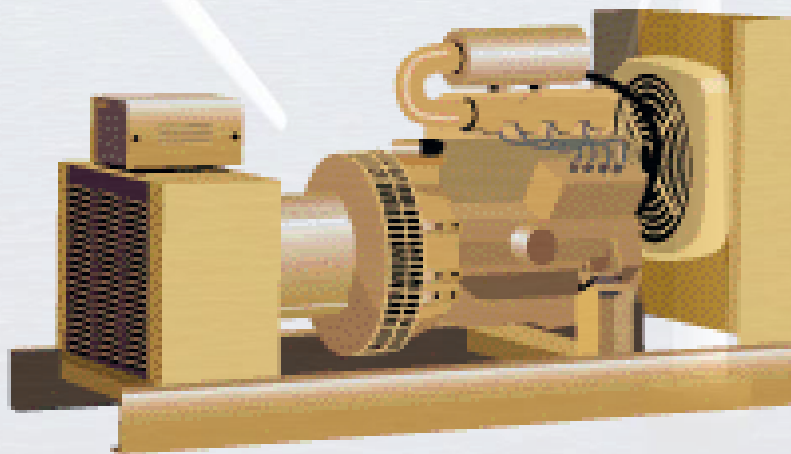


## Amélioration de l'offre énergétique dans les sites isolés

**Les sites isolés sont généralement alimentés par des génératrices diesel**



**Méthode non optimale sur les plans : énergétique, économique et environnemental**



# Amélioration de l'offre énergétique dans les sites isolés

## ■ Les centrales thermiques au diesel :

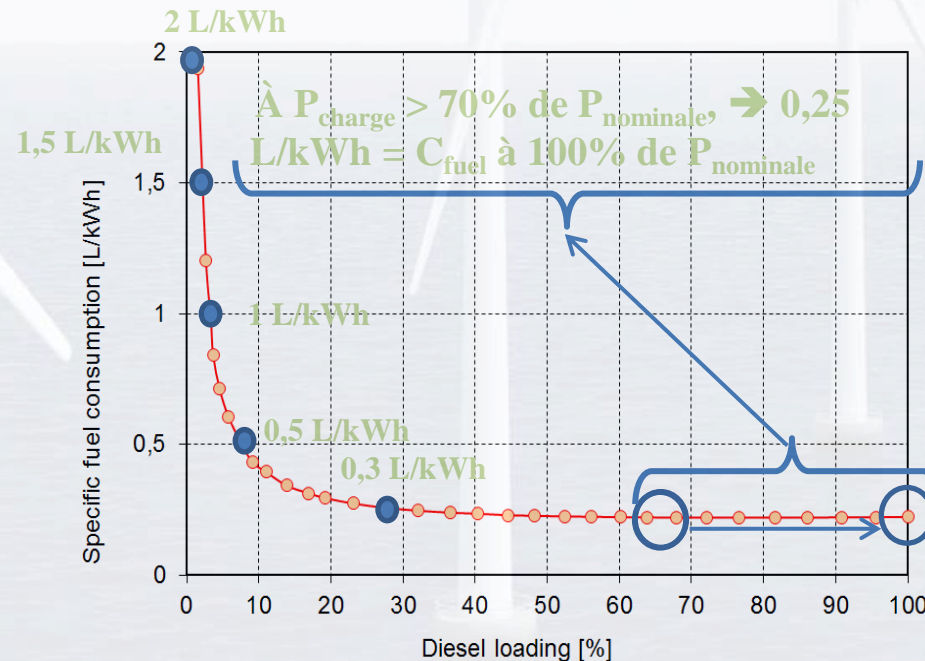
- Nécessitent de fréquentes visites de service et/ou de maintenance
- Dépendent fortement du carburant importé et du mode de transport
- Se caractérisent par une complexité de l'approvisionnement en carburant en temps utile
- Se caractérisent par un coût d'exploitation assez élevé → Déficit annuel près de 135M\$ (réseaux québécois)
- Représentent une source continue d'émission des gaz à effet de serre (140000 tonnes de GES/année)



# Amélioration de l'offre énergétique dans les sites isolés

## ■ Les centrales thermiques au diesel

- Se caractérisent par une contrainte opérationnelle qui limite la puissance minimale d'exploitation à 30% de la puissance nominale à cause de l'usure des groupes électrogènes sous faibles facteurs d'utilisation



## Amélioration de l'offre énergétique dans les sites isolés

La plupart de ces communautés possèdent de bonnes ressources d'énergies renouvelables

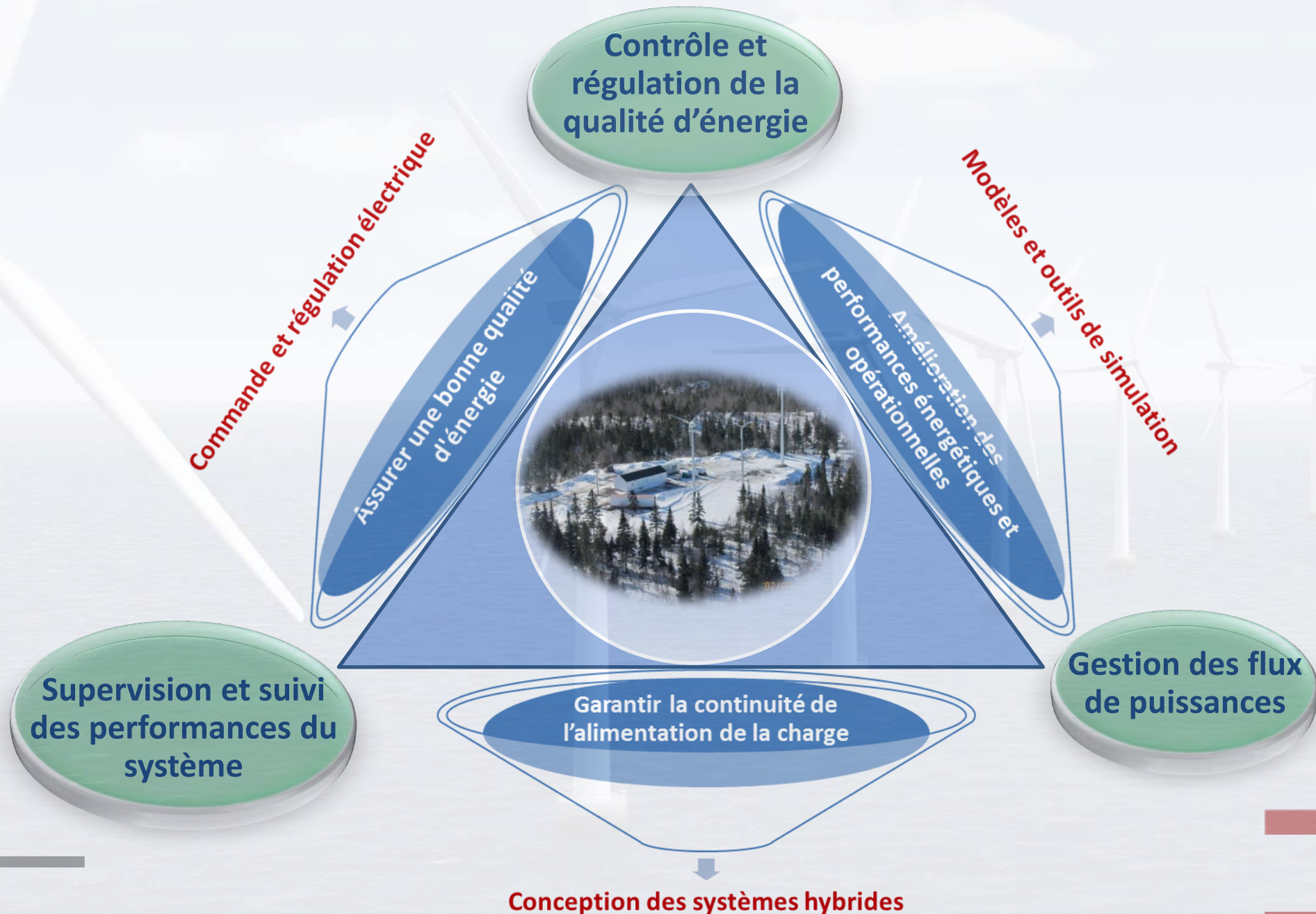


En privilégiant ces ressources, de carburants locaux, plutôt que le diesel, un carburant importé, les déficits d'exploitation des réseaux autonomes peuvent être réduits et la situation énergétique des sites isolés peut ainsi être améliorée



Micro-réseaux, systèmes hybrides de production d'énergie

# Projets en lien avec les micro-réseaux





# Projets en lien avec le développement des outils de dimensionnement et de simulation



# Projet 1 : outil d'aide à la décision - énergies renouvelables et efficacité énergétique

thesis MCC 23-

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View

AQ61

## PROMOTHEE & GAIA

Preference ranking organization method for enrichment evaluation

**ENVIRONMENT**

action	Phi	Phi+	Phi-
PV	0,6400	0,7333	0,5333
PV+STORAGE	0,6667	0,8333	0,4667
hydraulienne	-0,2000	0,2333	0,8333
wind	-0,4667	0,2667	0,7333

**COST**

action	Phi	Phi+	Phi-
PV	0,5333	0,7333	0,2000
PV+STORAGE	0,6667	0,2333	0,4667
wind	-0,4667	0,4667	0,8333
hydraulienne	-0,5333	0,2000	0,7333

**OPERATING**

action	Phi	Phi+	Phi-
PV	0,6667	0,6000	0,5333
PV+STORAGE	-0,4667	0,2333	0,4000
hydraulienne	-0,2667	0,2000	0,4667
wind	-0,2333	0,2000	0,5333

**EFFICIENCY**

action	Phi	Phi+	Phi-
PV+STORAGE	0,4040	0,7475	0,2555
PV	0,4040	0,7172	0,2322
hydraulienne	-0,2322	0,2424	0,4447
wind	-0,5240	0,2020	0,7400

MCDTool AHP MCDTool PROMOTHEE Sheet2

thesis MCC 23-05-2014 FINAL - Microsoft Excel

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View

AE46

## Savings, Indicators & economic study

Many scenarios were elaborated (without PV power)

TRIS %	profitable project	TRIS %	not profitable project	TRIS %	not profitable project
loan interest	5,000%	loan interest	3,2100%	loan interest	0,00%
capital interest	1,00%	capital interest	0,00%	capital interest	0,00%
period interest	5,2	period interest	5,2	period interest	0,00%
profit/lossing	\$ 133,614	profit/lossing	\$ 133,614	profit/lossing	\$ -
absolute profit	\$ 140,709	absolute profit	\$ 133,614	absolute profit	\$ -
Le nombre solaire cells	YAN \$ 0	Le nombre solaire cells	YAN \$ (0)	Le nombre solaire cells	YAN \$ -
The annual cost	ABCQ \$ 0	The annual cost	ABCQ \$ (0)	The annual cost	ABCQ \$ -
TBI	TBI 5,000%	TBI	TBI 3,2100%	TBI	TBI 0,00%
BDP	BDP 20%	BDP	BDP 20%	BDP	BDP 0%

UNIT	air conditioning	connection	zooing
TOTAL FINAL ELEC. [kW]	200916	102104	032
ABC	54793	29394	032
EQUIPMENT [kW]	54387	54387	032
LIGHTING [kW]	00240	227016	032
HOT WATER [kW]	00305	5000	032
AVERAGE FINAL ELEC. CONSUMPTION [kWh]	530	537	032
AVERAGE PRIMARY ENERGY [kWh]	5285	551	032
CO2 EMISSION [tCO2]	563	202	032

cooling/heating	hot water	lighting	rain water	pv system	
loan interest	5,0%	loan interest	5,0%	loan interest	5,0%
capital interest	1,00%	capital interest	1,00%	capital interest	1,00%
period interest	6,0	period interest	6,0	period interest	6,0
profit/lossing	\$ 40,009	profit/lossing	\$ 46,284	profit/lossing	\$ 49,721
absolute profit	\$ 42,470	absolute profit	\$ 47,445	absolute profit	\$ 51,719
Le nombre solaire cells	YAN \$ 5,340	Le nombre solaire cells	YAN \$ 8,286	Le nombre solaire cells	YAN \$ 53,315
The annual cost	ABCQ \$ 1,085	The annual cost	ABCQ \$ 1,635	The annual cost	ABCQ \$ 10,342
TBI	TBI 1,0%	TBI	TBI 1,0%	TBI	TBI 1,0%
BDP	BDP 20%	BDP	BDP 20%	BDP	BDP 20%
PPV	PPV 5	PPV	PPV 5	PPV	PPV 5


cooling/heating	hot water	lighting	rain water	pv system
\$ 5,340	\$ 8,286	\$ 53,315	\$ -	\$ -

**VAN**


cooling/heating hot water lighting rain water storage pv system

SUMMARY TABLE SAVINGS, INDICATORS & ECO. STUDY IN

# Projet 2 : logiciel de dimensionnement et de simulation du SHEDAC



Votre centre de ressources en éolien



Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne

## Simulation D'Un Système Hybride Éolien-Diesel Avec Stockage D'Air Comprimé

**Utilisateur**

**Administrateur**

Stratégie:  Privilégier l'éolien pour couvrir la demande

Privilégier le diesel pour couvrir la demande

Affichage des propriétés:  Oui

Non

**Choix de l'éolienne**

Fabricant: ENERCON

Modèle: E-33-330kw-50m

Taux de pénétration: 120%

Puissance nominale: 330,0 kw

Nombre d'éoliennes: 4

Hauteur du moyeu: 50 m

Rayon du rotor: 33,4 m

Surface de balayage: 876,16 m<sup>2</sup>

**Choix de la génératrice diesel**

Fabricant: CATERPILLAR

Modèle: D100-4S

Rendement volumétrique: 90%

Puissance nominale: 90,0 kw

Nombre de génératrices: 10

**Fonctionnement Suralimenté**

Fonctionnement maximal: 110%

Puissance maximale: 99,00 kw

Pression d'injection optimale: 3,13 bar

Quantité de fuel correspondante: 17,73 L/h

**Compresseur**

Nombre d'étages: 5

Exposant polytropique: 1,3

Pression atmosphérique: 1 bar

Pression de stockage: 50 bar

Rendement polytropique: 75%

Rendement moteur électrique: 90%

Température de stockage: 23 °C

**Résultats**

Charge minimale: 241,27 kw

Charge moyenne: 505,56 kw

Charge maximale: 851,00 kw

Fuel consommé par le diesel seul: [ ]

Fuel consommé par le SHED: [ ]

Fuel consommé par le SHEDAC: [ ]

**Stockage**

Puissance minimale admissible pour le stockage: 1 kw

Nombre de jours d'autonomie souhaités: 3

Masse d'une unité: 275,04 kg/lh

Volume d'une unité: 3,86 m<sup>3</sup>

Nombre d'unités: 1349

Masse totale: 230065 kg

Volume du stockage: 4931,16 m<sup>3</sup>

**Courbe de puissance de l'éolienne**



**Courbe de consommation du diesel**



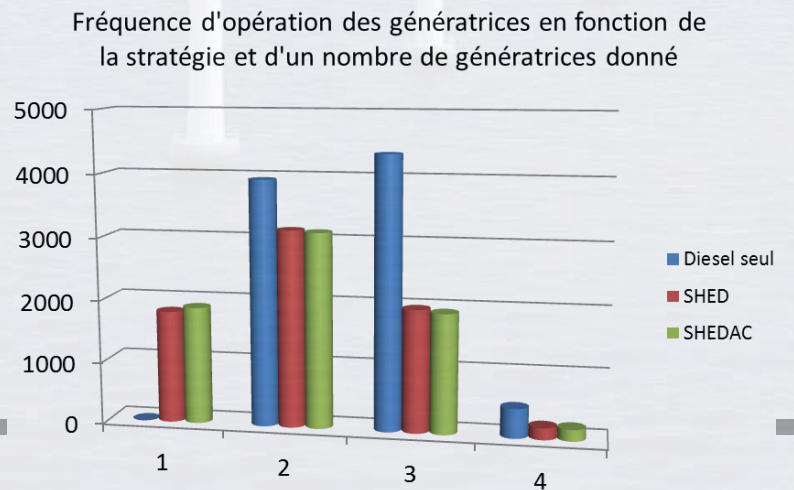
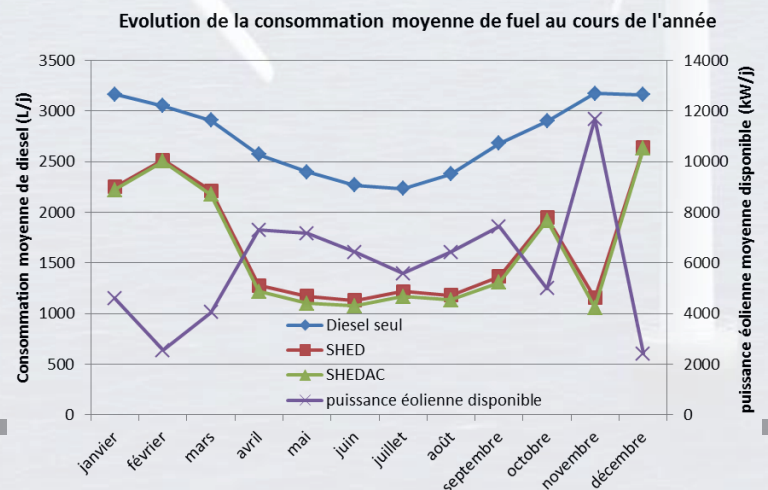
Lancement des calculs

**Economie de fuel par rapport à l'utilisation du diesel seul**

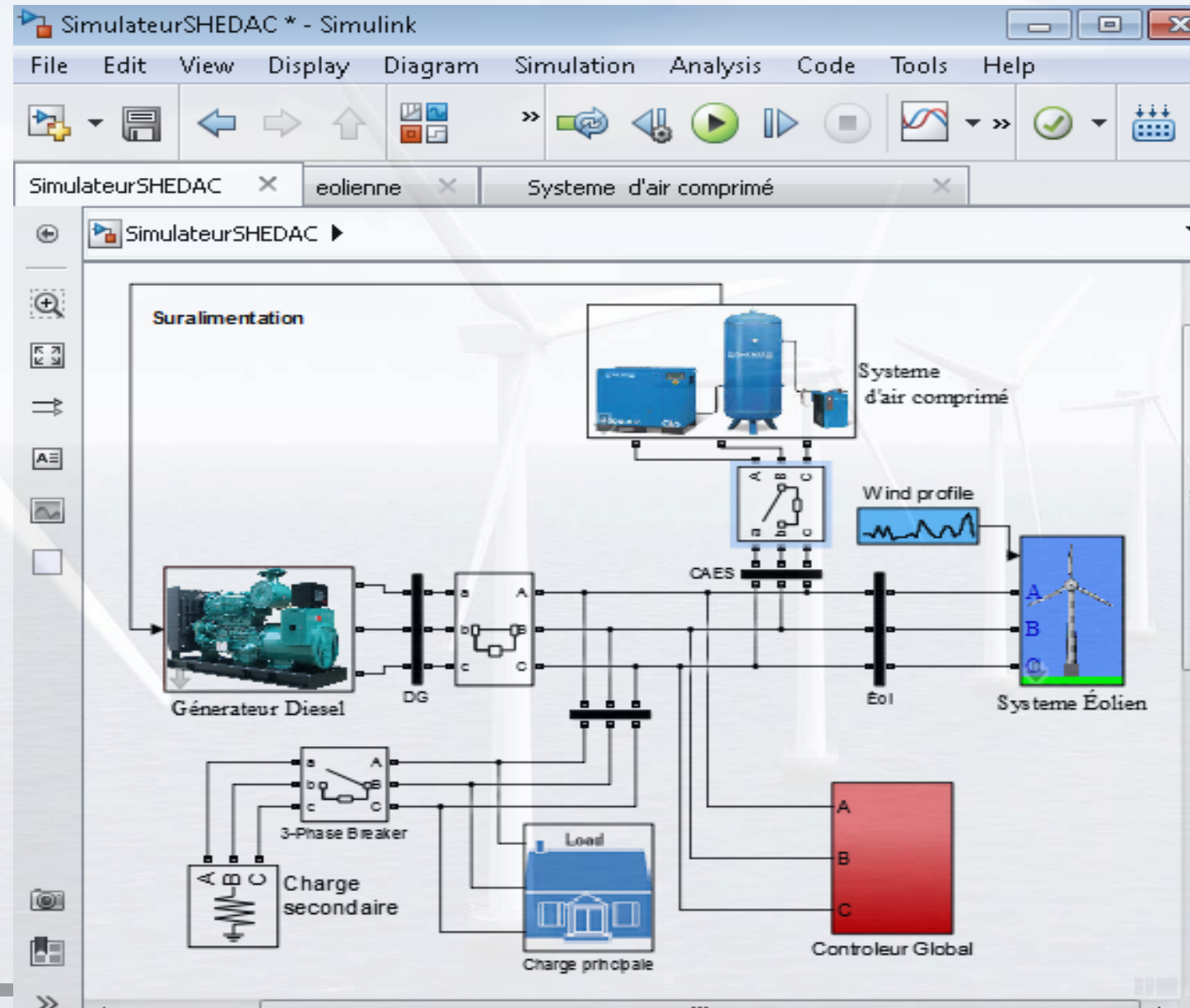


**Pourcentage d'utilisation des génératrices pour le SHEDAC**

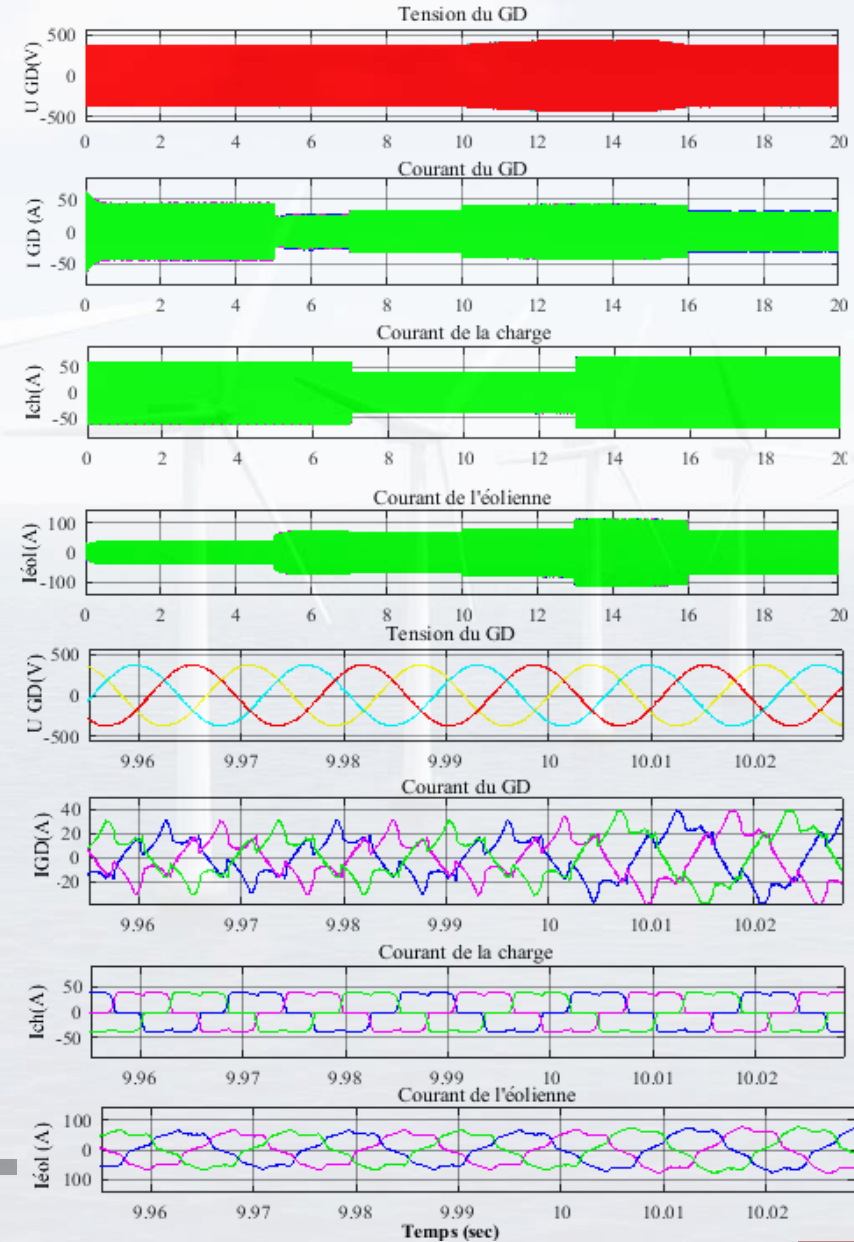
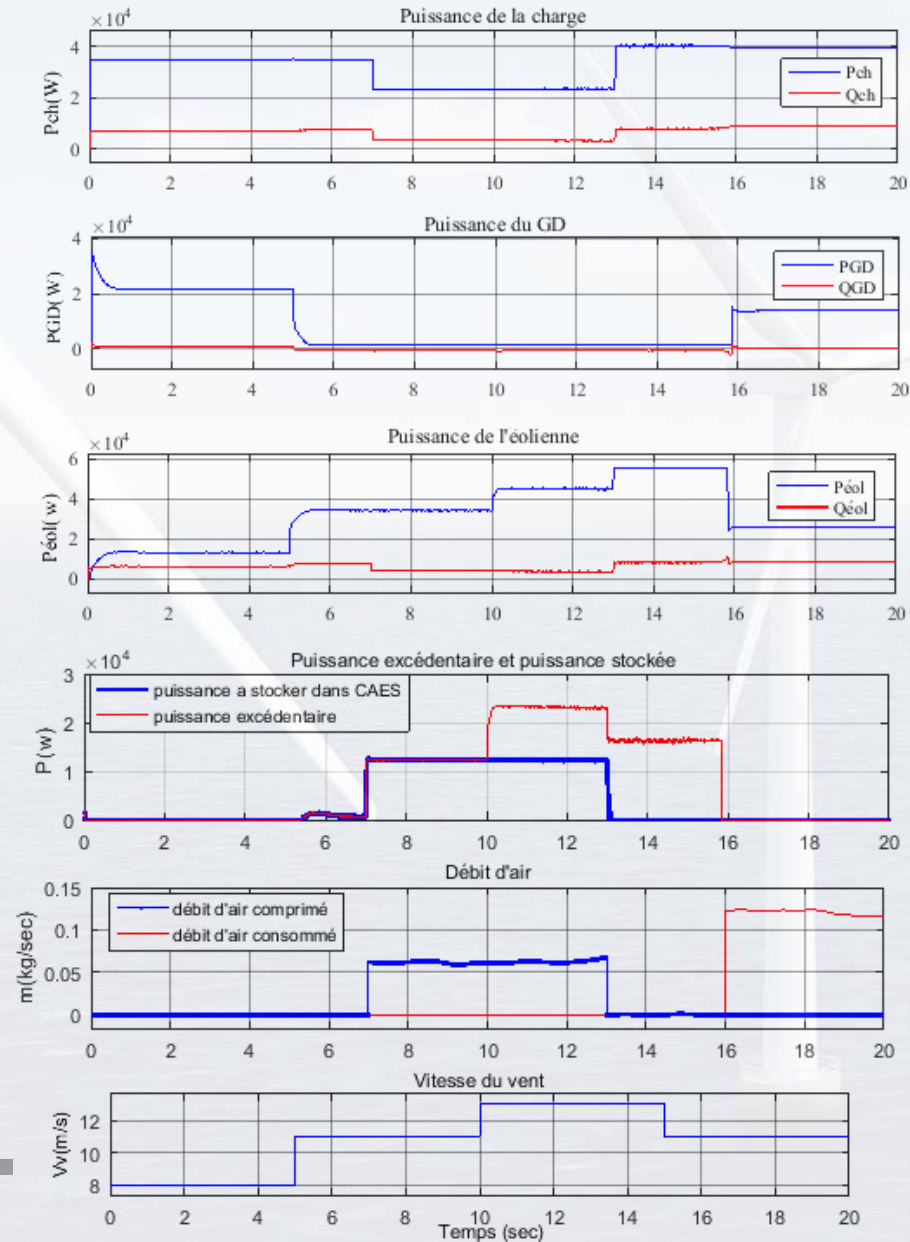




## Projet 3 : simulateur dynamique des systèmes hybrides



# Projet 3 : simulateur dynamique des systèmes hybrides

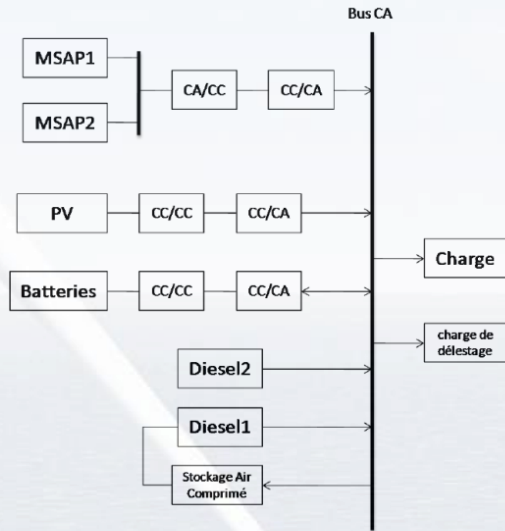


The background of the slide is a photograph of a wind farm. Several white wind turbines are visible, extending from the foreground into the distance over a calm sea. The sky is a pale, hazy blue with soft, white clouds. The overall tone is clean and professional.

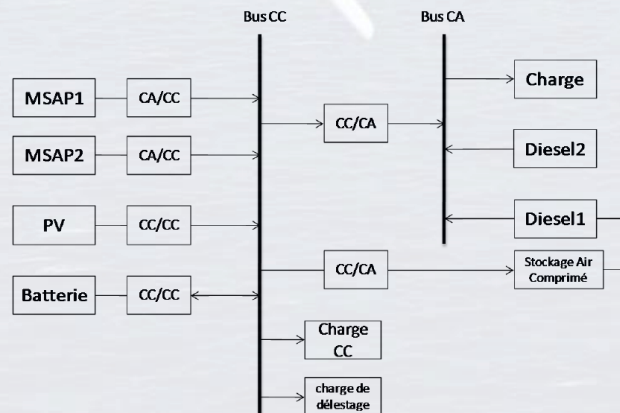
# Projets en lien avec la conception et l'optimisation des systèmes hybrides et de stockage d'énergie

# Projet 4 : Architectures de systèmes hybrides

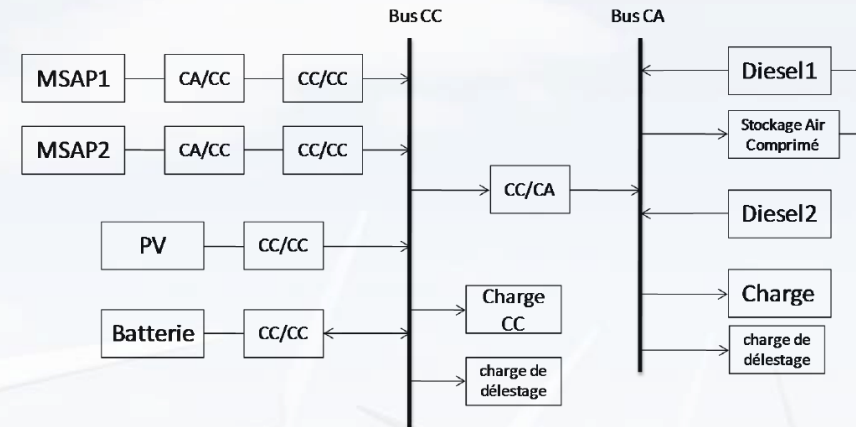
10 configurations ont été élaborées et analysées



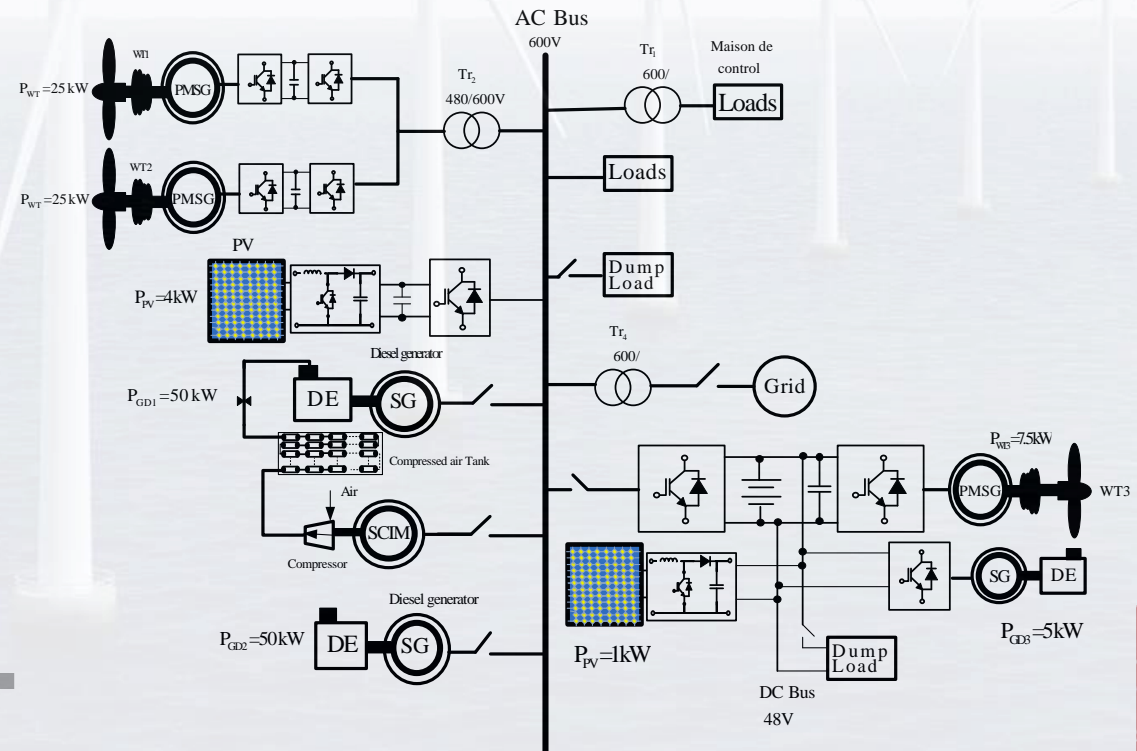
BUS CA avec les éoliennes regroupées



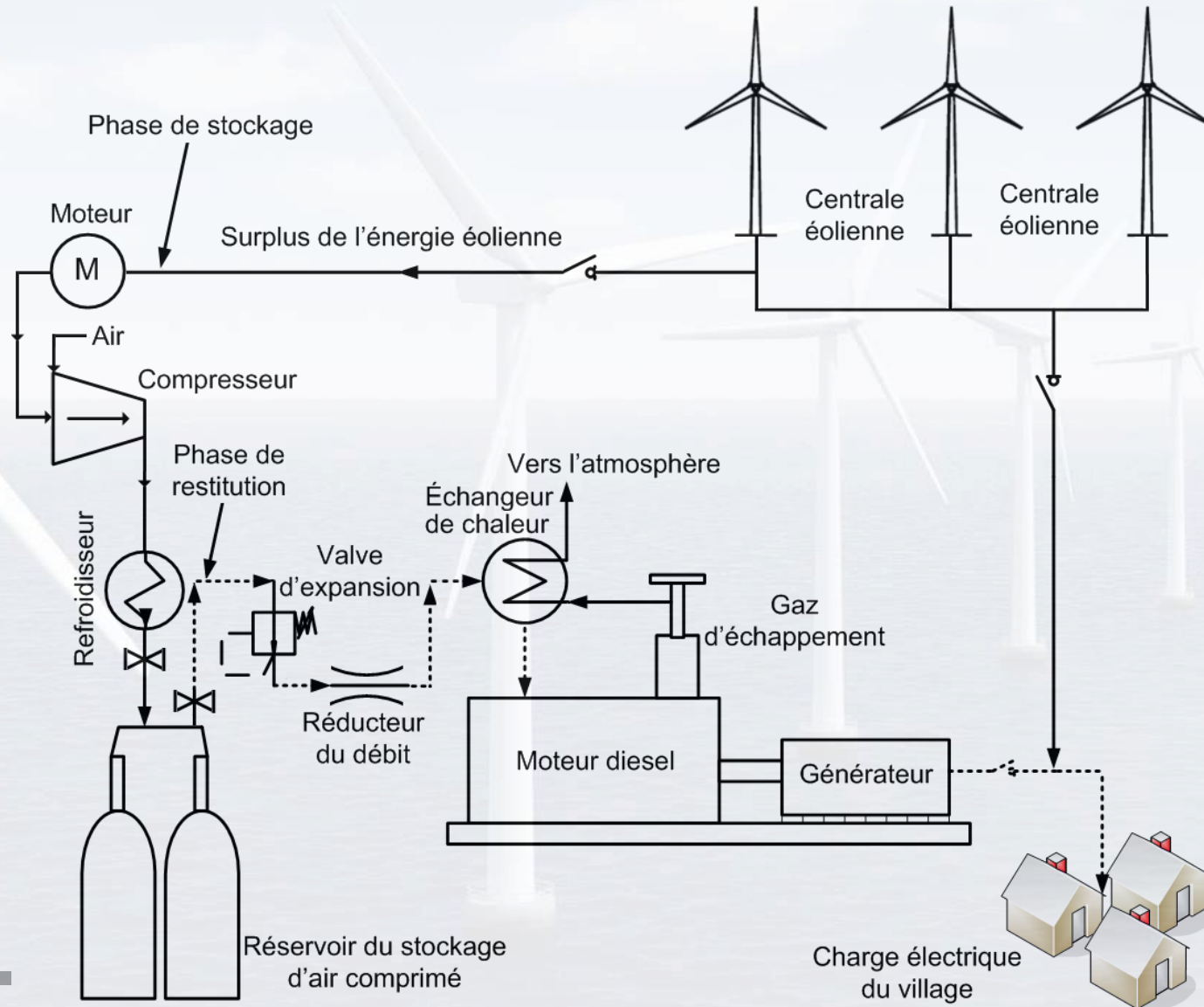
BUS CC-CA avec les charges secondaires et stockage au bus CC



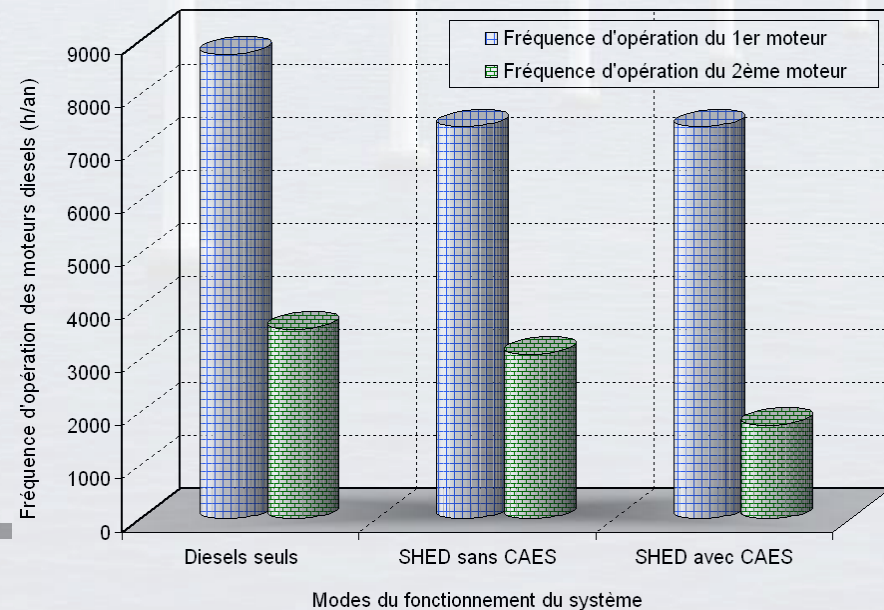
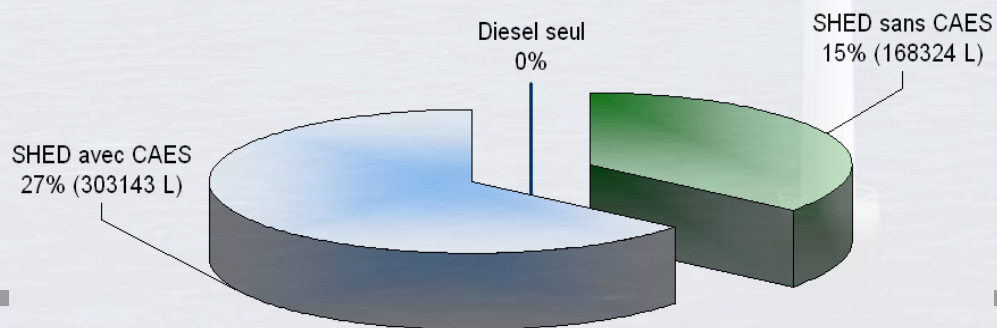
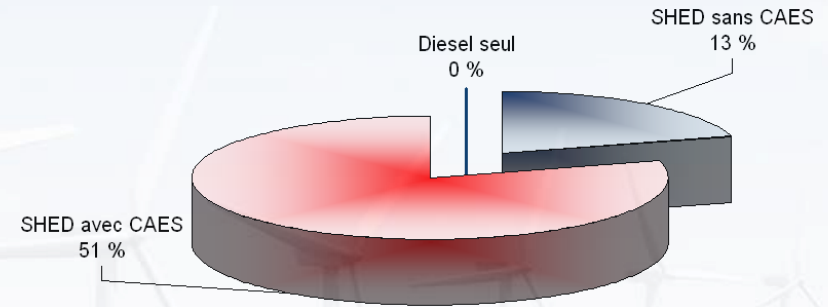
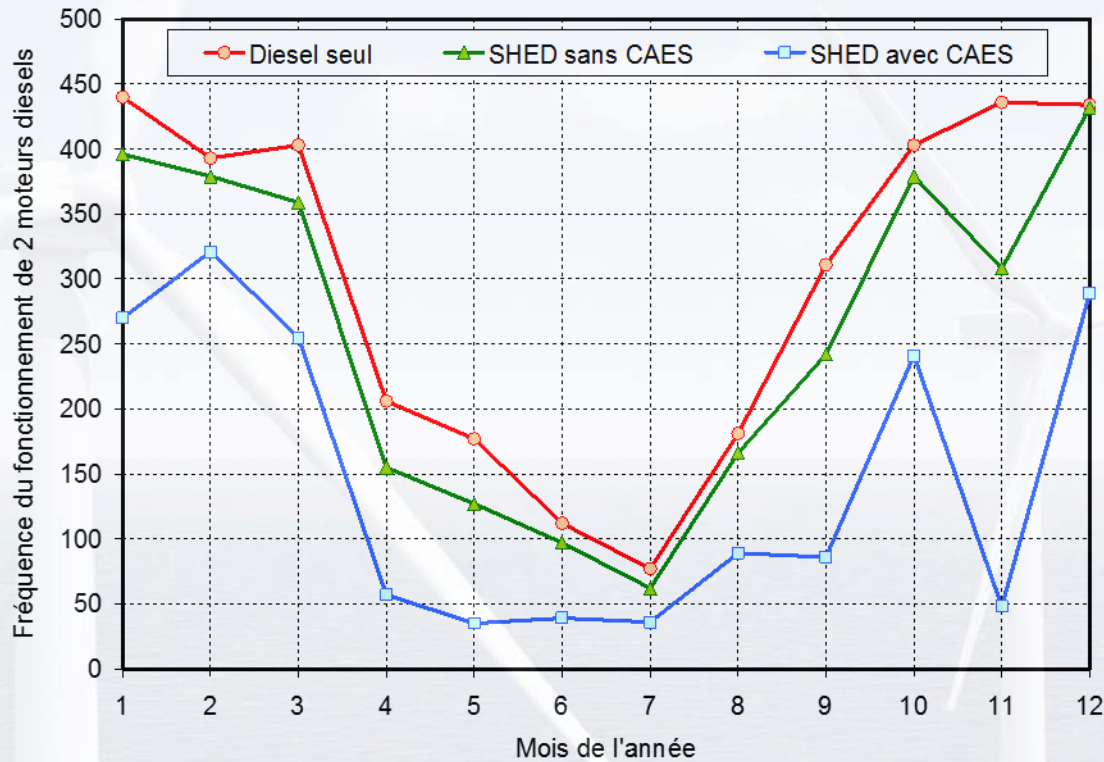
BUS CC-CA avec des hacheurs et les charges secondaires au bus CC et bus CA



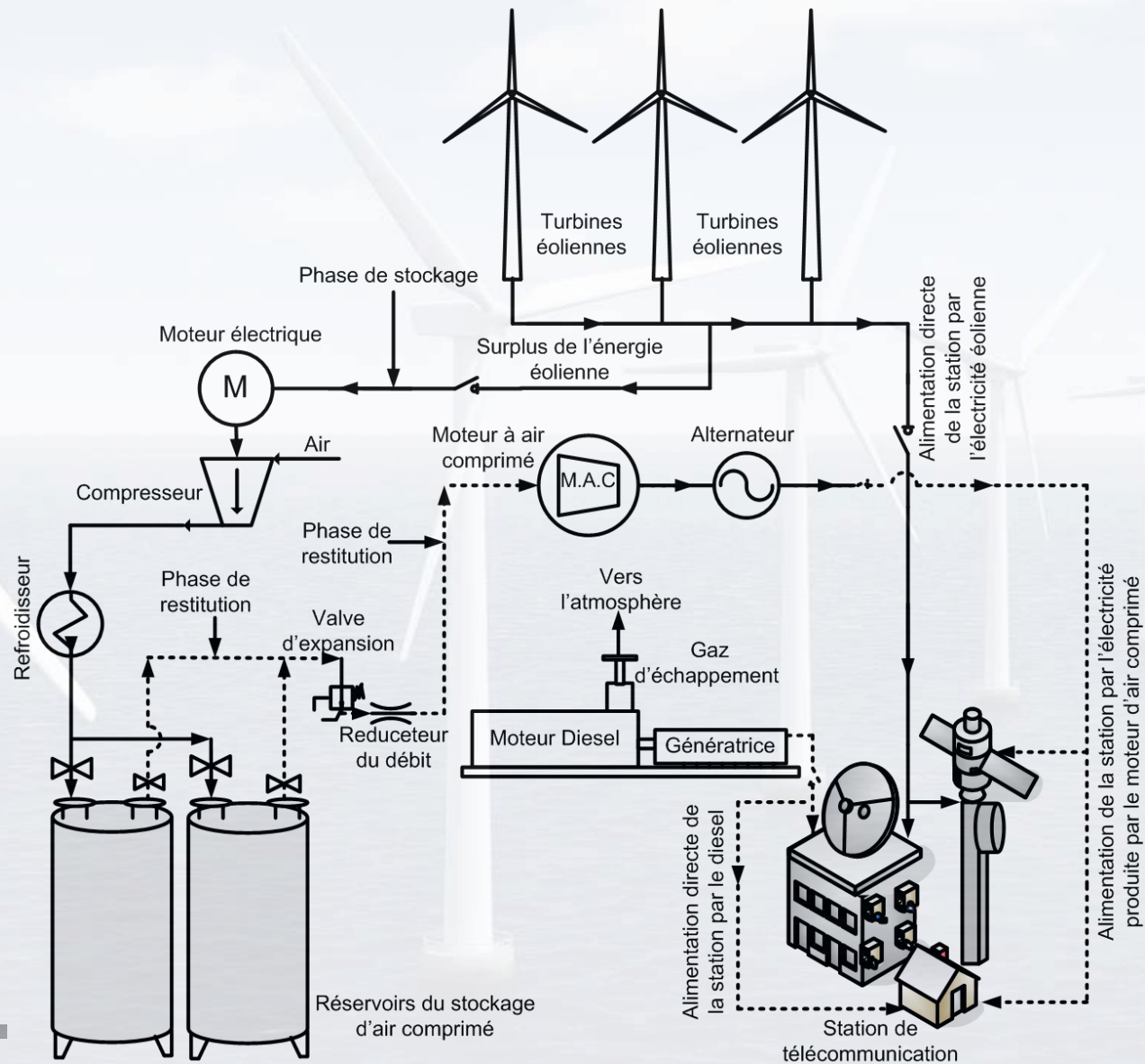
# Projet 5 : conception d'un système hybride de type éolien-diesel stockage d'air comprimé (SHEDAC)



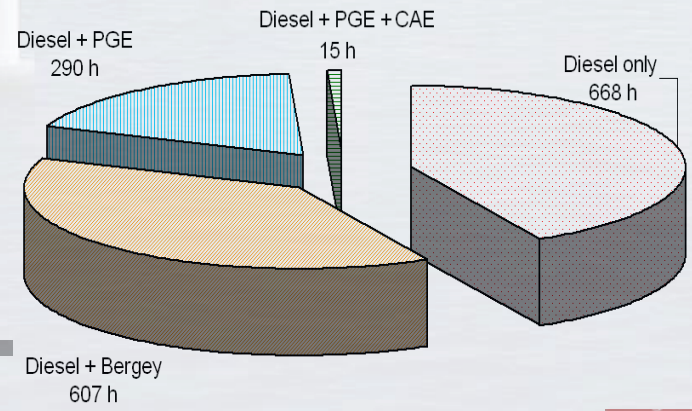
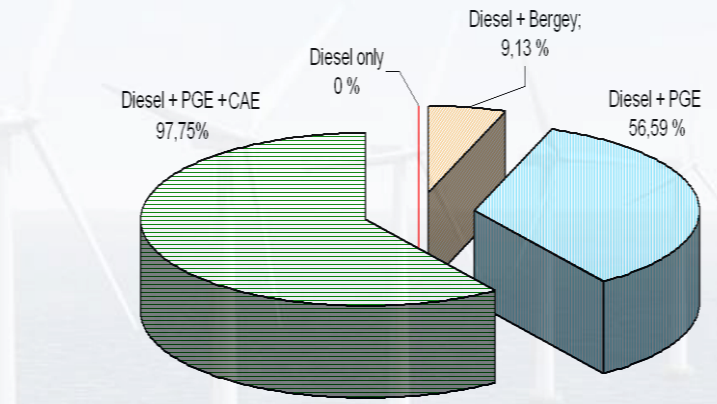
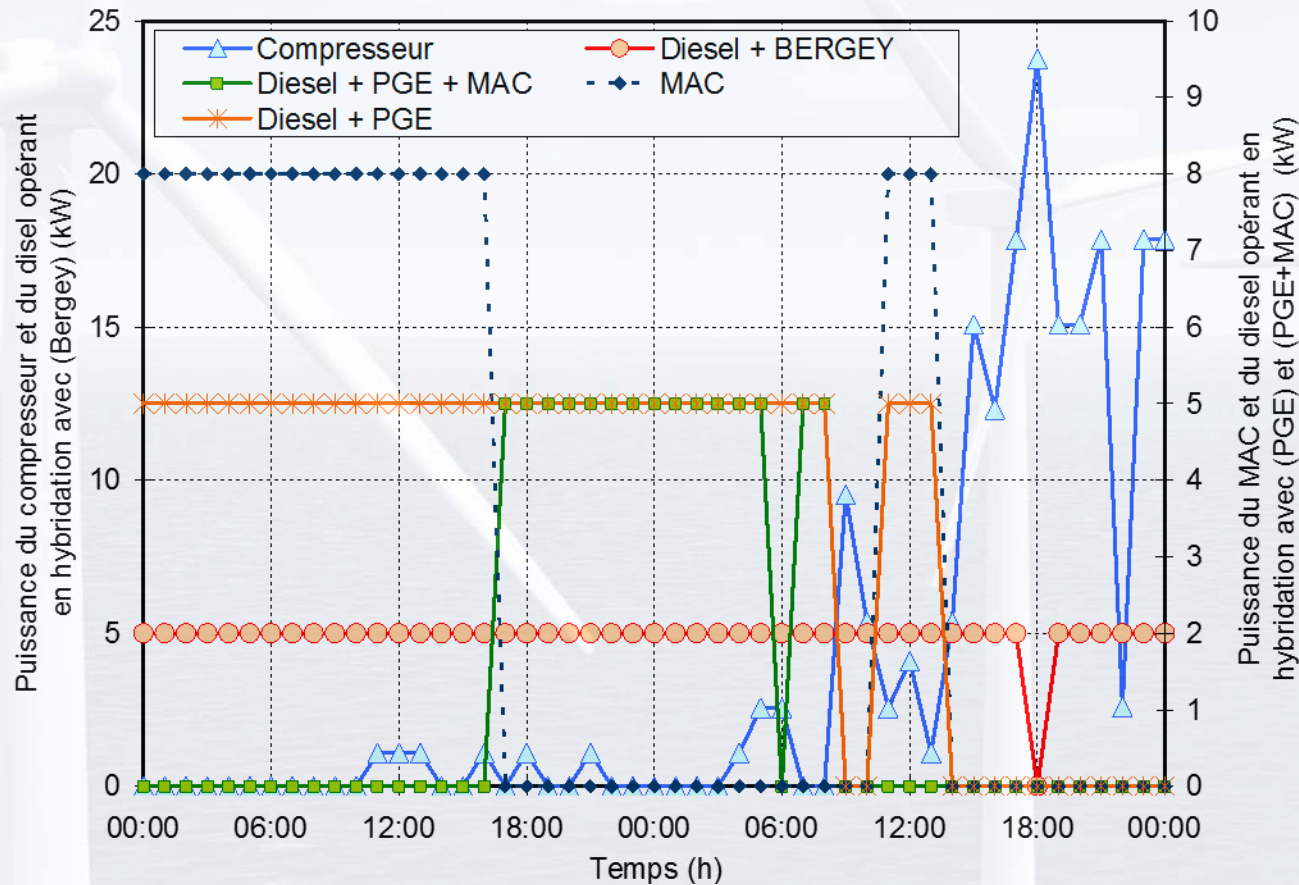
# Projet 5 : conception d'un système hybride de type éolien-diesel stockage d'air comprimé (SHEDAC)



# Projet 5 : conception d'un système hybride de type éolien-diesel stockage d'air comprimé (SHEDAC)



# Projet 5 : conception d'un système hybride de type éolien-diesel stockage d'air comprimé (SHEDAC)

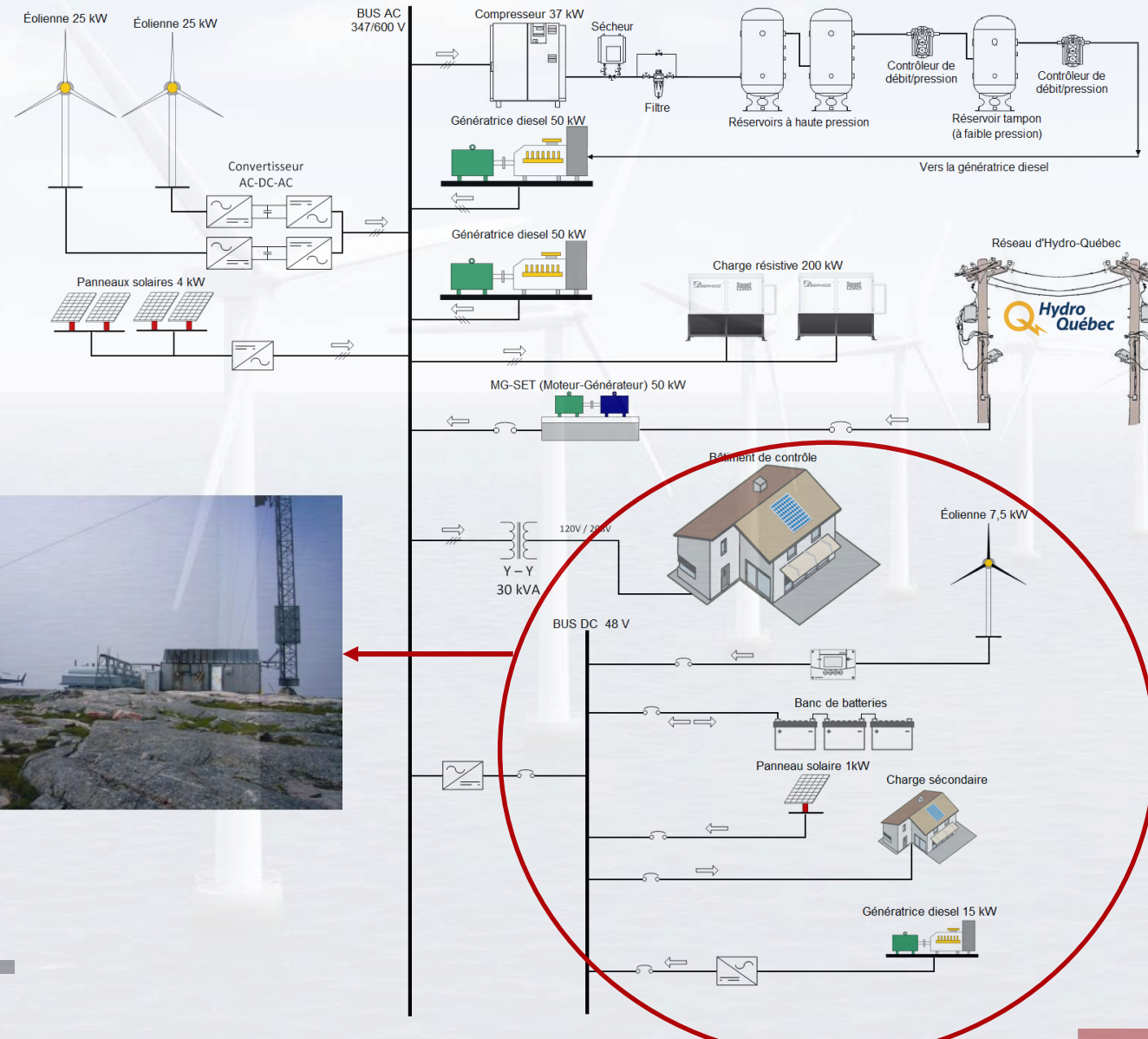


The background of the slide is a photograph of a wind farm. Several white wind turbines are visible, extending from the foreground into the distance over a calm sea. The sky is light blue with some soft, white clouds. The overall tone is bright and clean.

# Projets en lien avec le contrôle, la commande et la gestion des flux de puissance

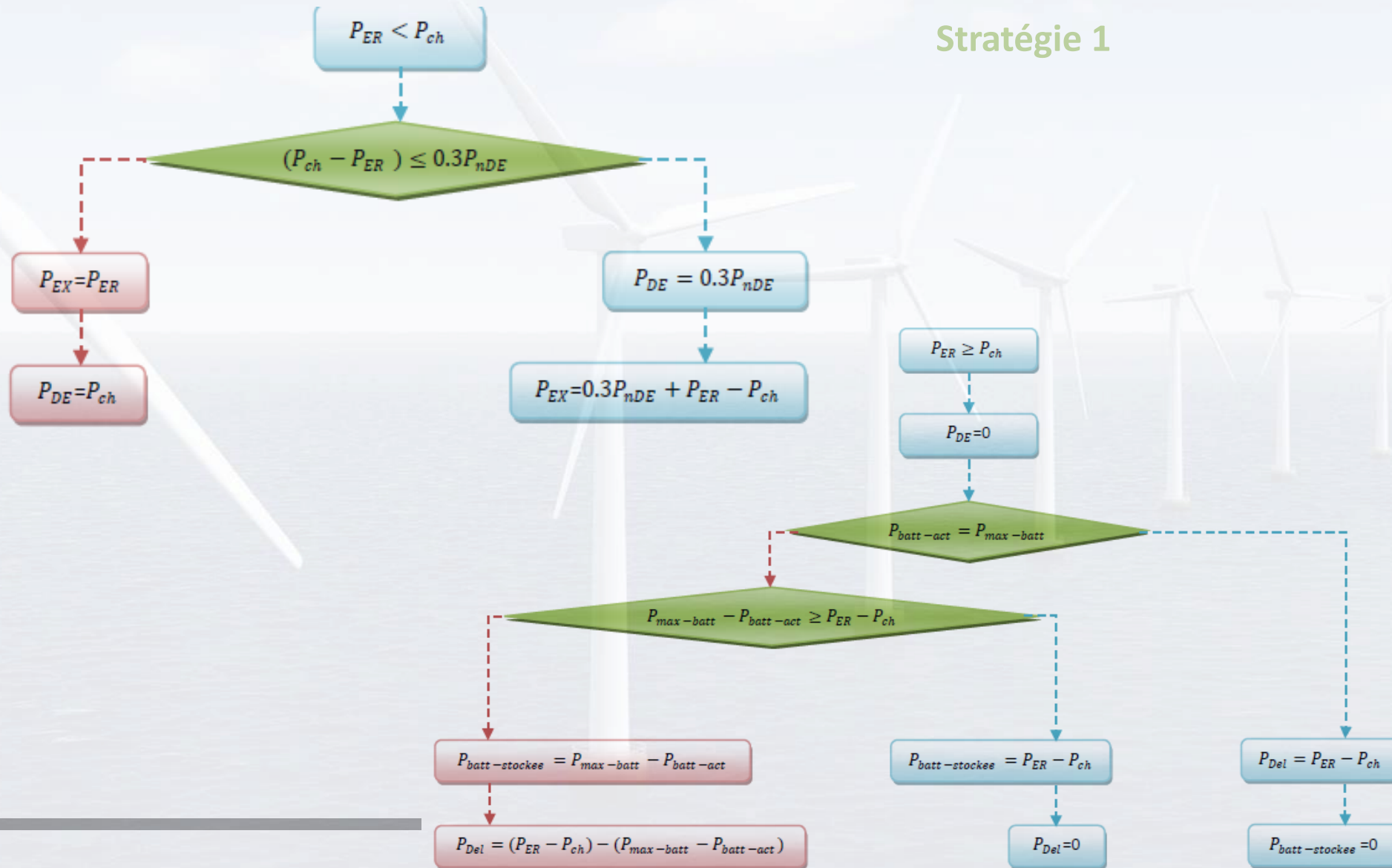
# Projet 6 : stratégies de Gestion des flux de puissance dans un Système hybride

5 Stratégies de gestion de flux de puissances ont été élaborées

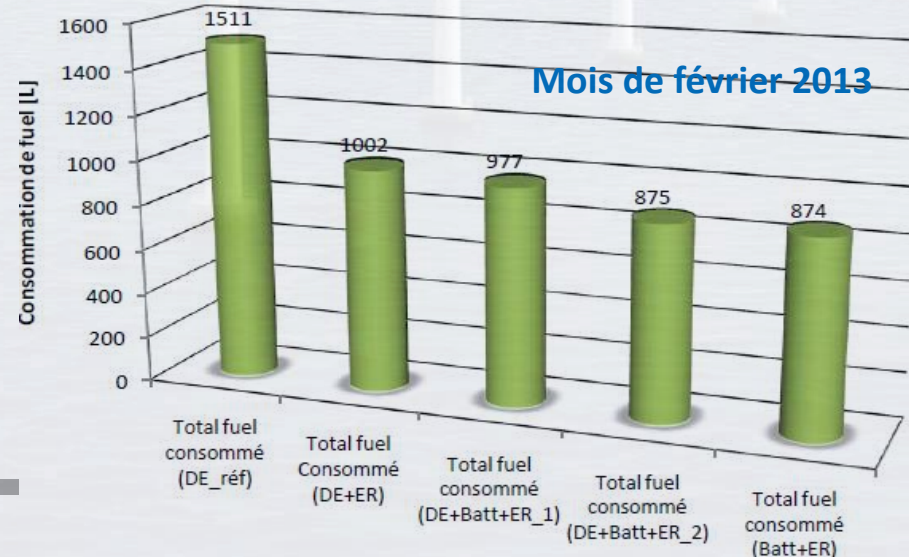
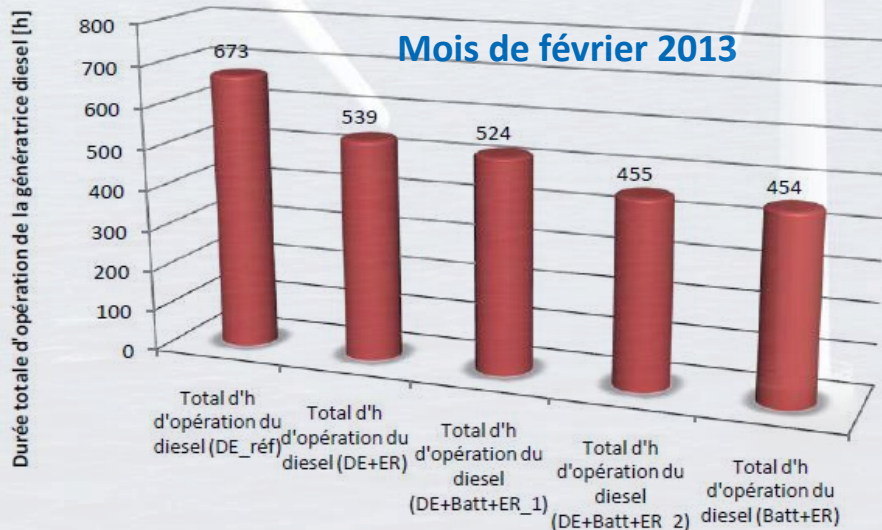
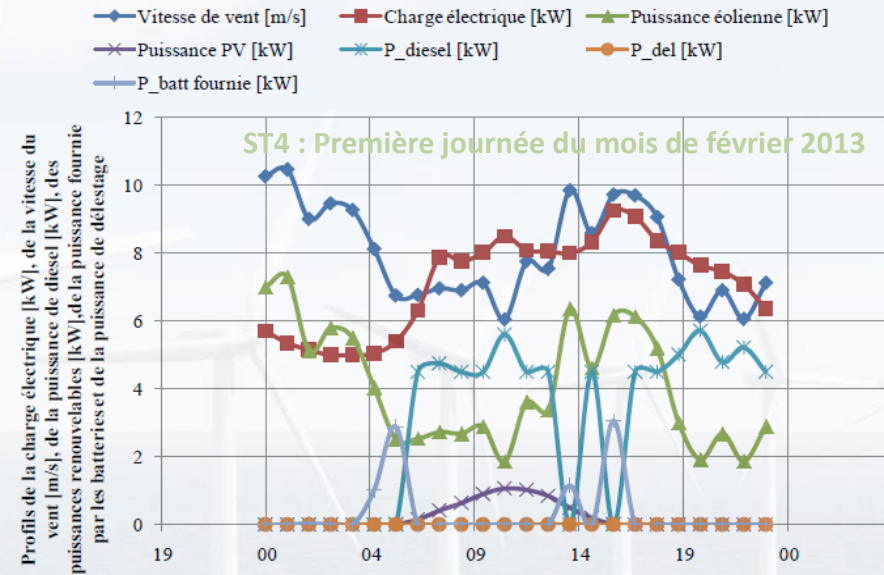
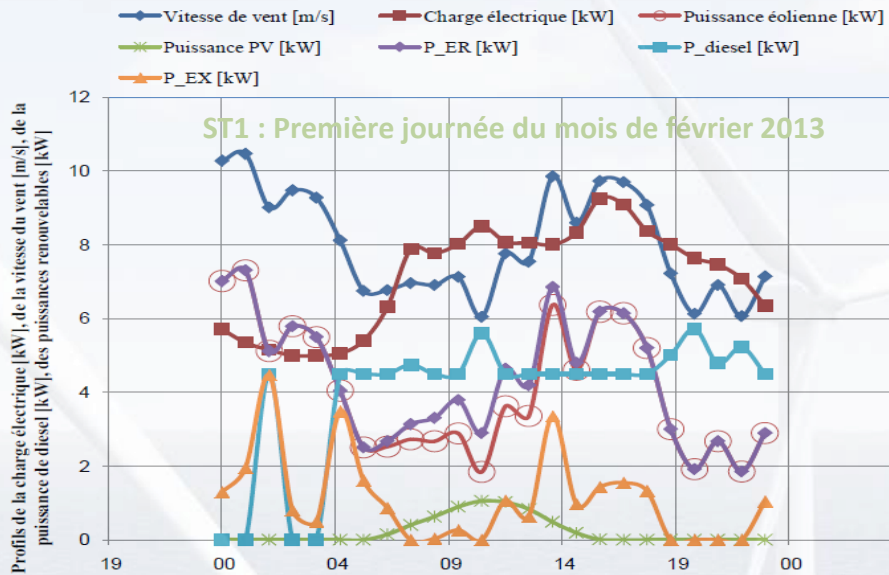


# Projet 6 : stratégies de Gestion des flux de puissance dans un Système hybride

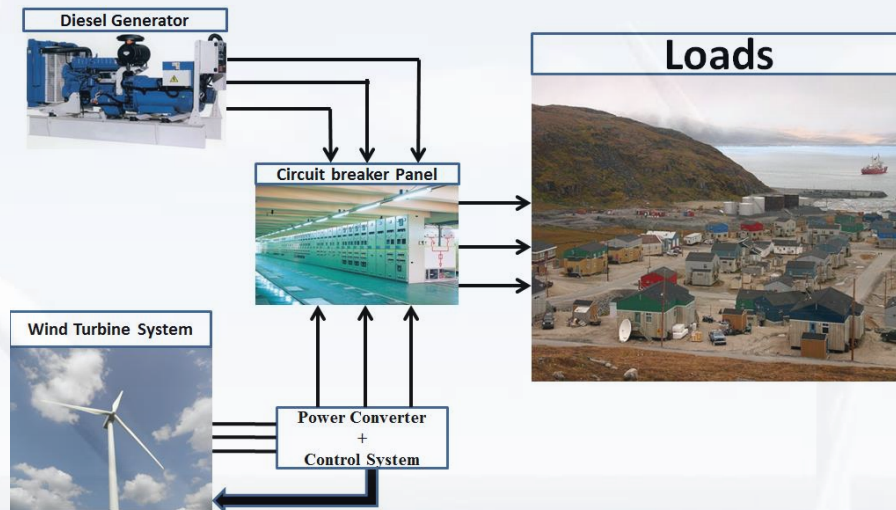
## Stratégie 1



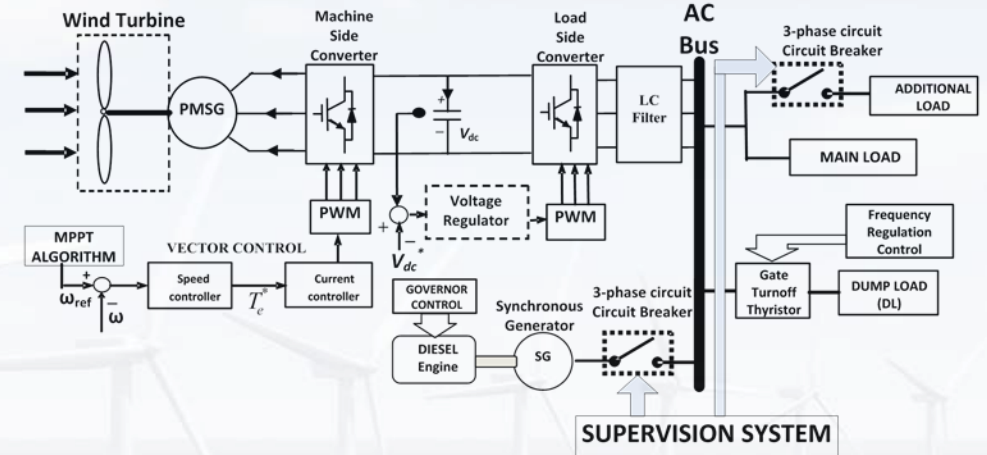
# Projet 6 : stratégies de Gestion des flux de puissance dans un Système hybride



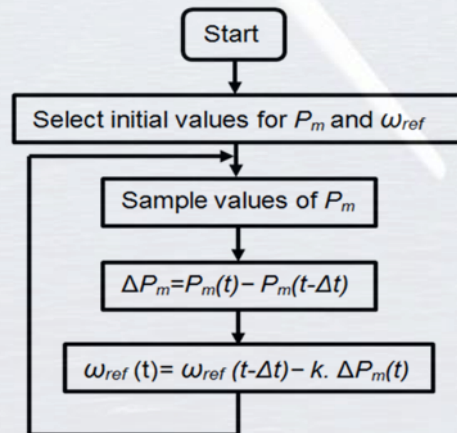
# Projet 7 : algorithme de contrôle et de régulation



Control/Supervision System Schematic

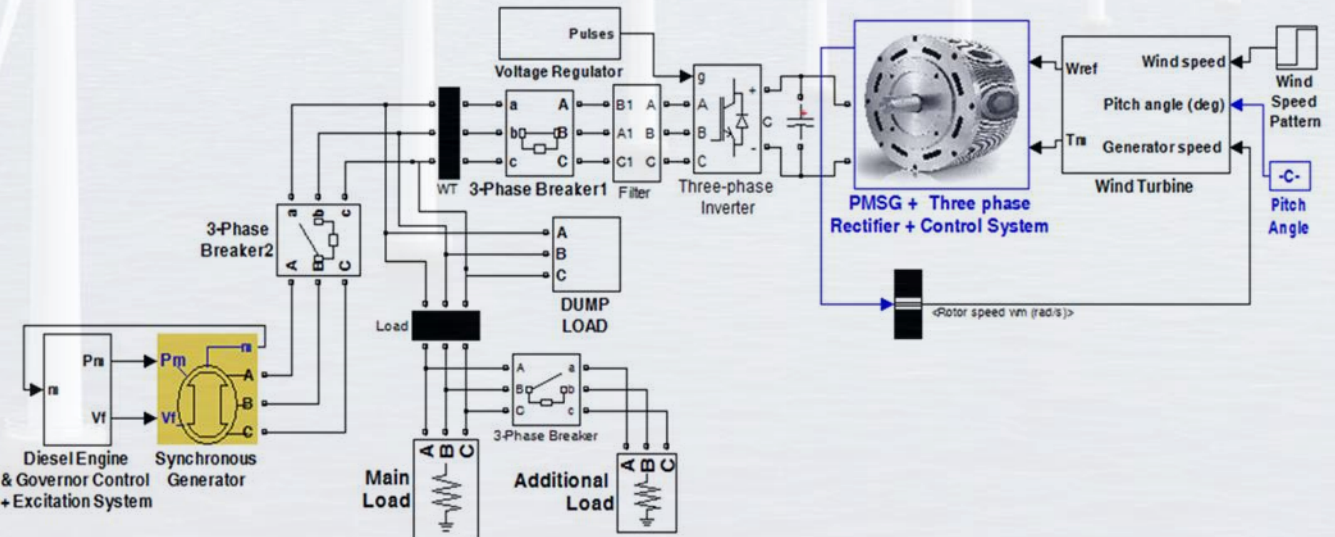


MPPT Algorithm



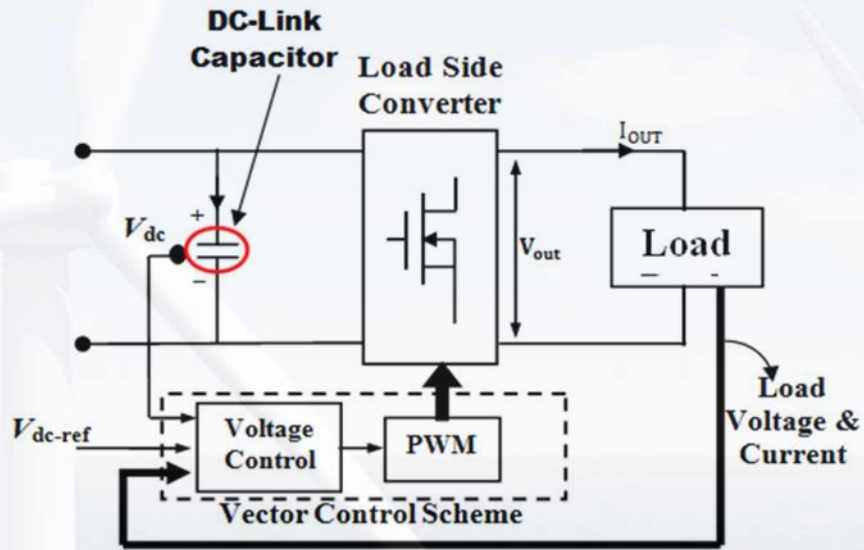
- Based on the difference between present and previous value of power, the reference speed is corrected

Simulation model of HWDS based stand-alone power system

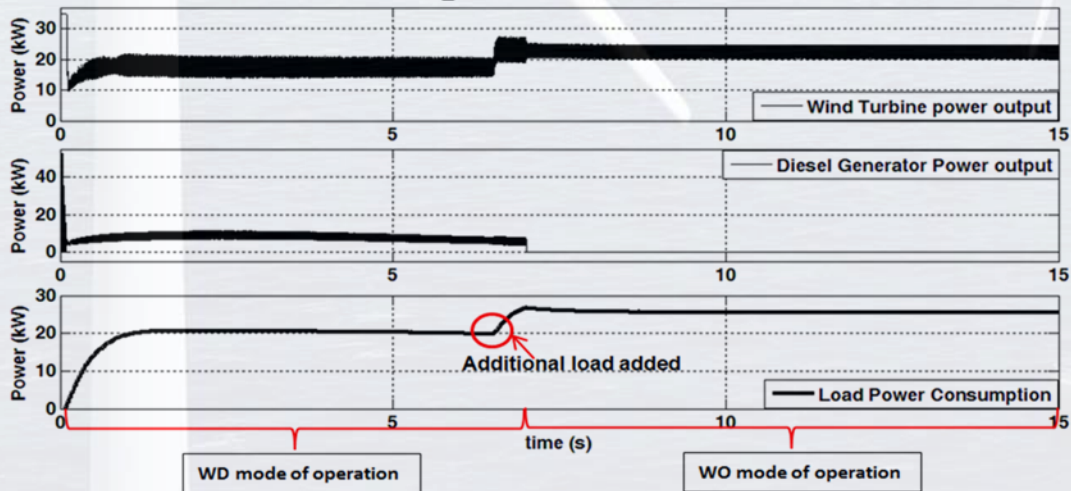


# Projet 7 : algorithme de contrôle et de régulation

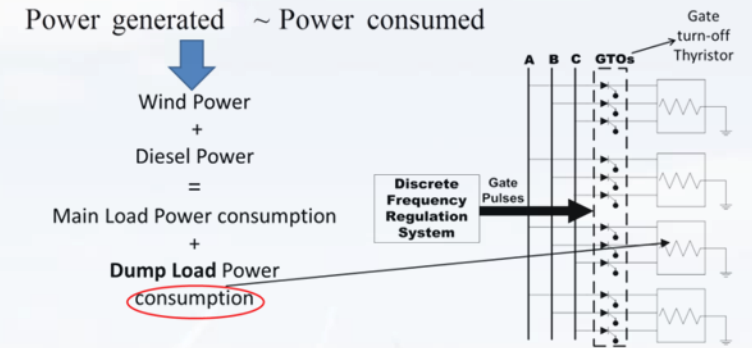
## Load voltage regulation system



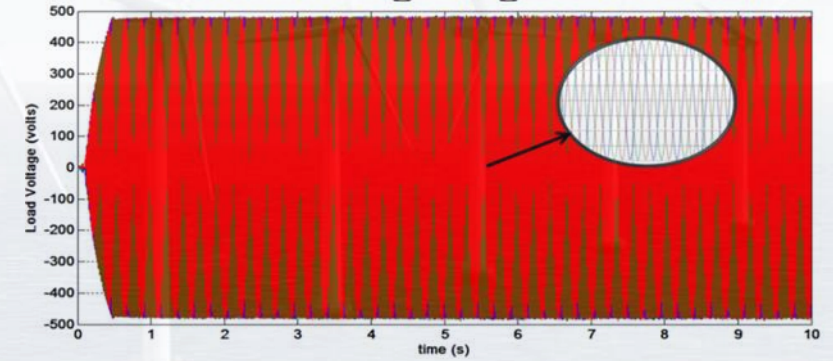
## Power Sharing of Stand-alone HWDS



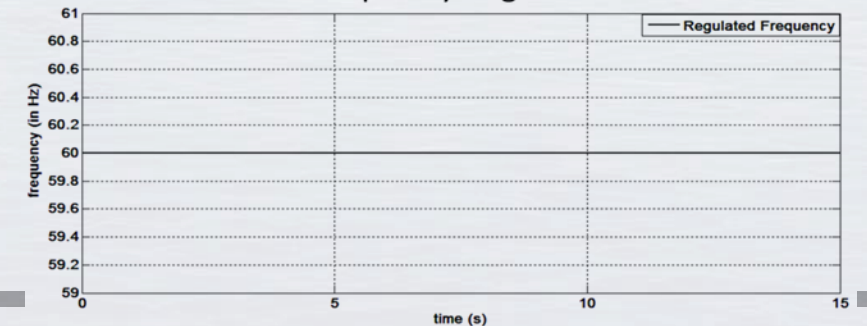
## Frequency Regulation System



## Load Voltage Regulation

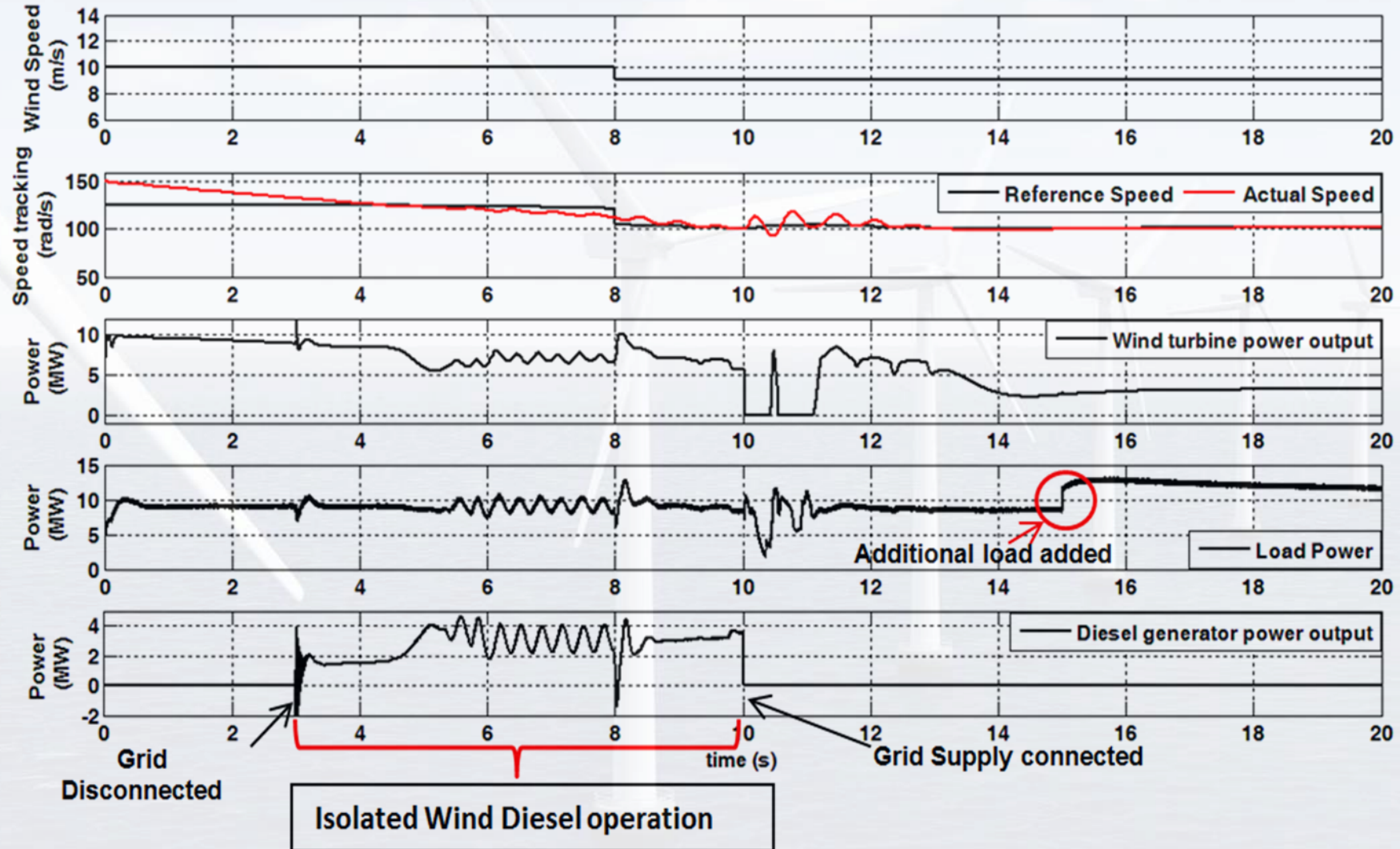


## Frequency Regulation

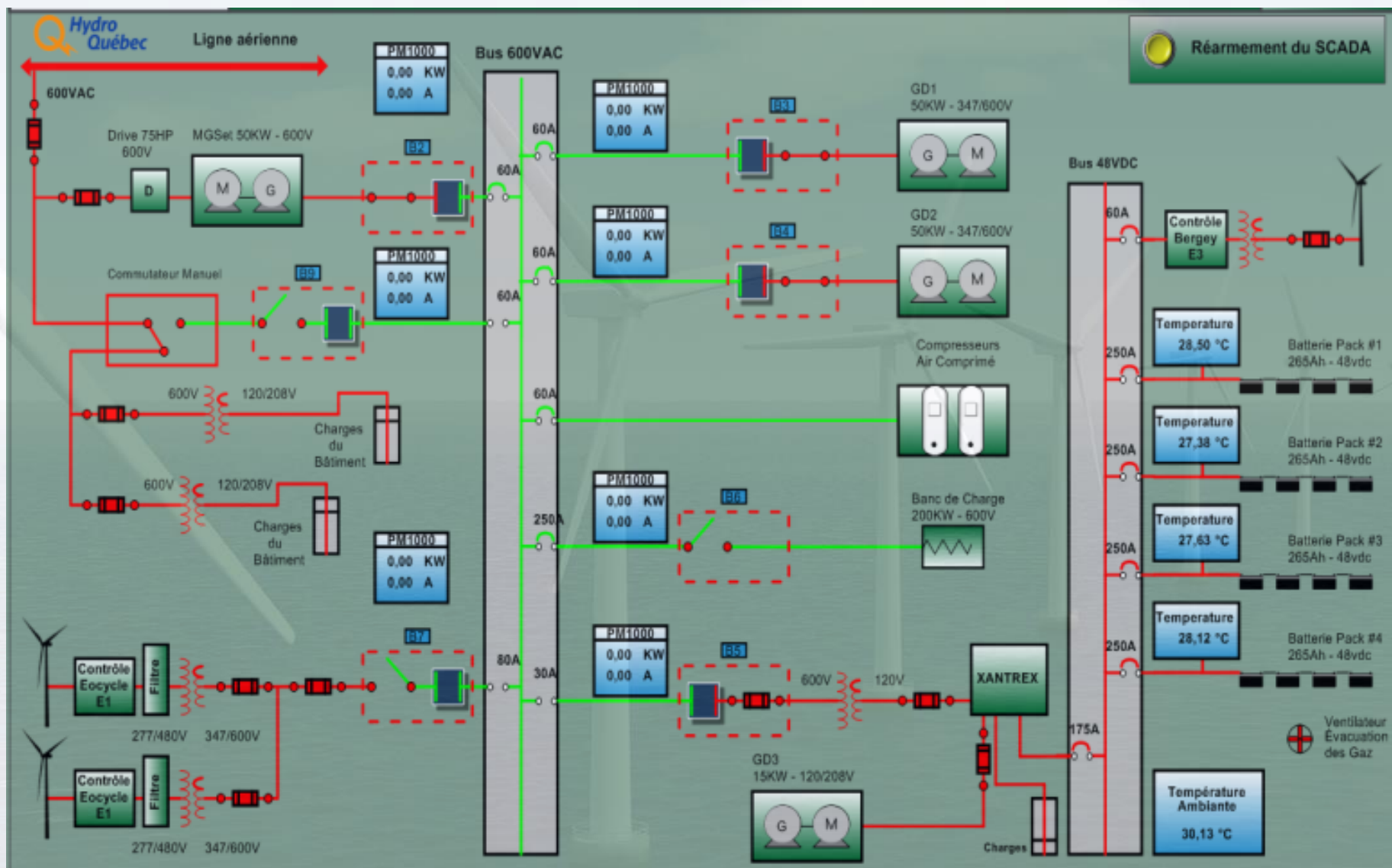


# Projet 7 : algorithme de contrôle et de régulation

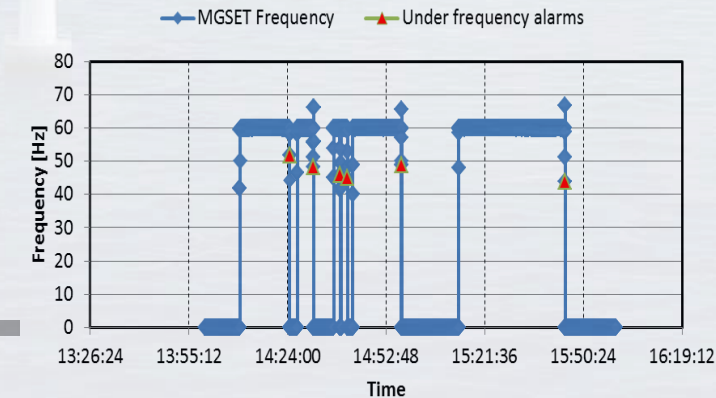
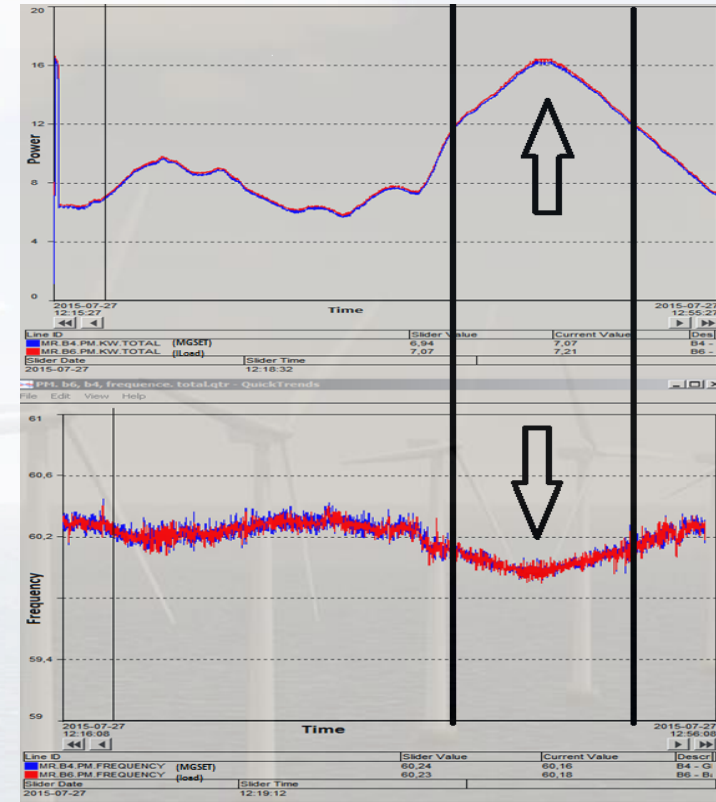
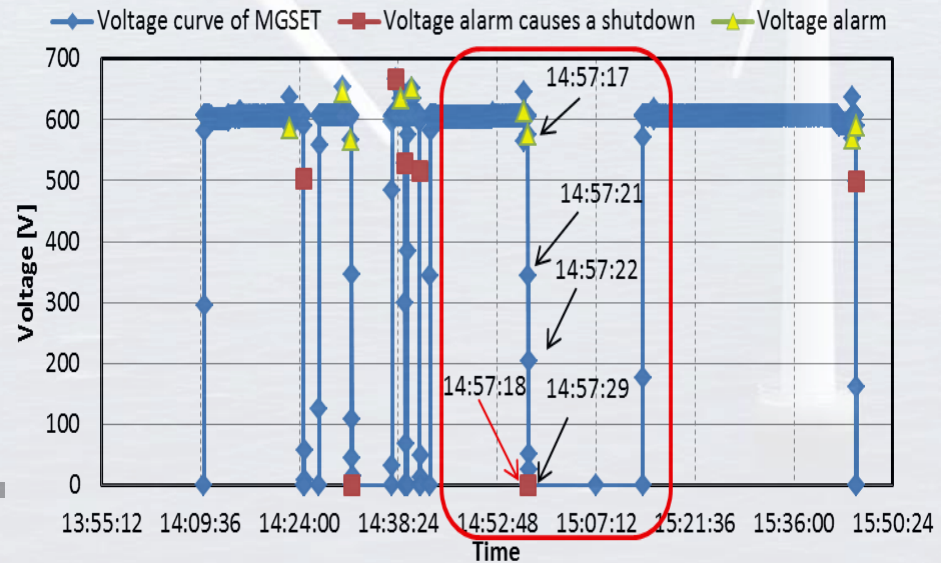
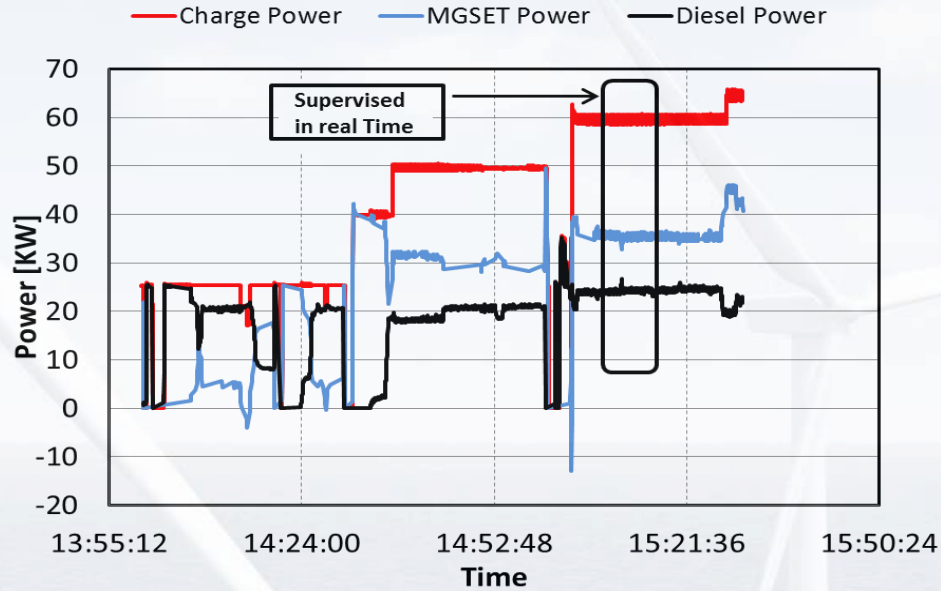
## Results for HWDS Based Microgrid System




# Projet 8 : SCADA pour un système hybride



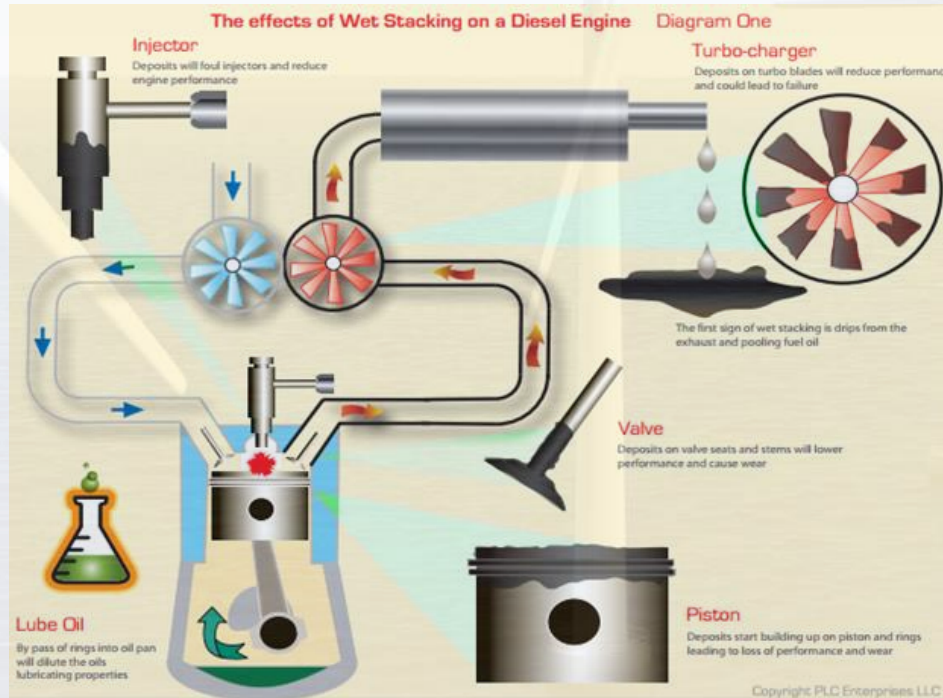
# Projet 8 : SCADA pour un système hybride



The background of the slide is a photograph of a wind farm. Several white wind turbines are visible, extending from the foreground into the distance over a calm sea. The sky is light blue with some soft, white clouds. The overall image has a slightly faded or semi-transparent appearance, allowing the text to be clearly legible.

**Projets en lien avec l'amélioration des performances des systèmes énergétiques (efficacité énergétique industrielle)**

# Projet 9 : détection des sous-performances d'un groupe électrogène diesel



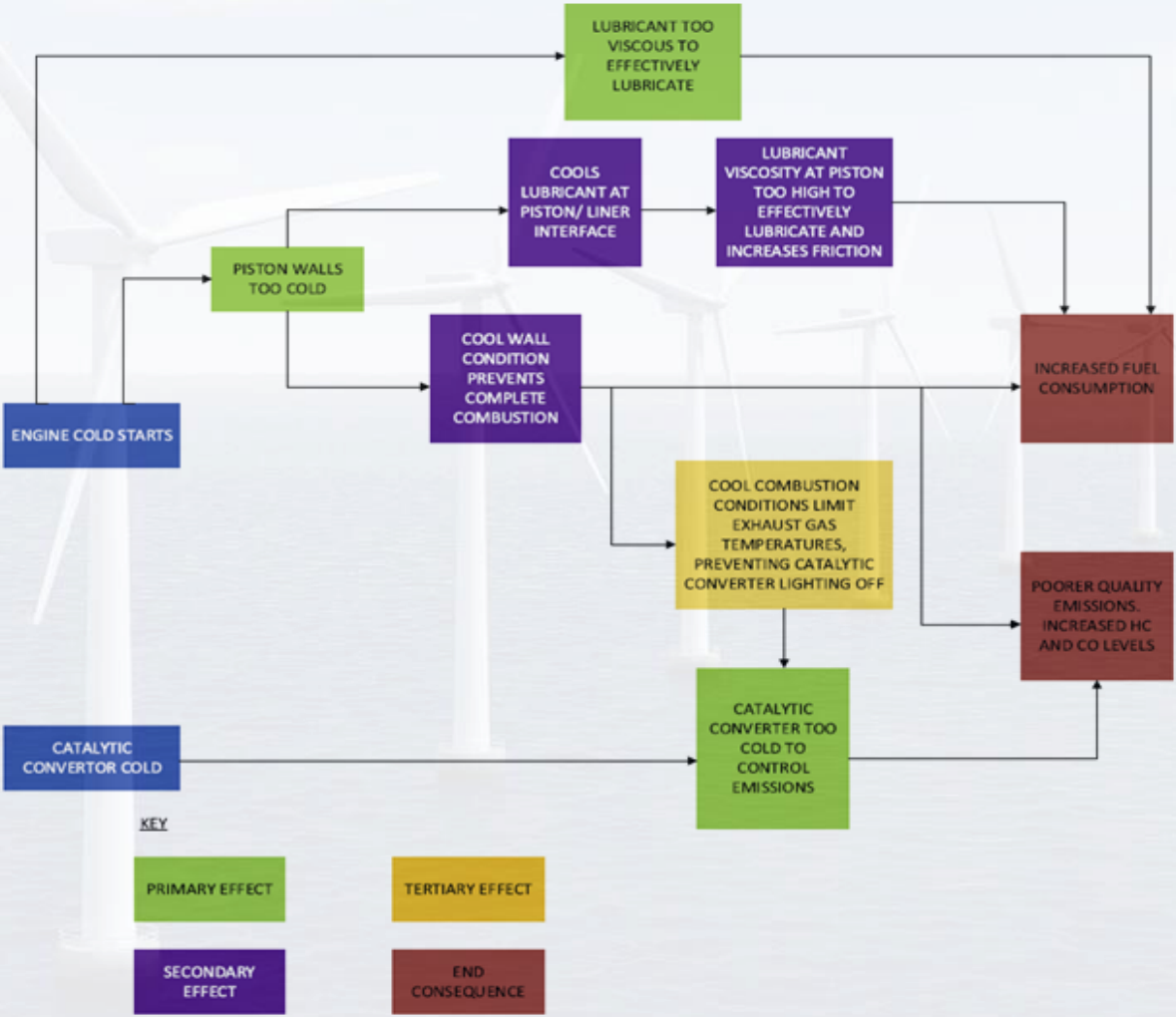
# Projet 9 : détection des sous-performances d'un groupe électrogène diesel



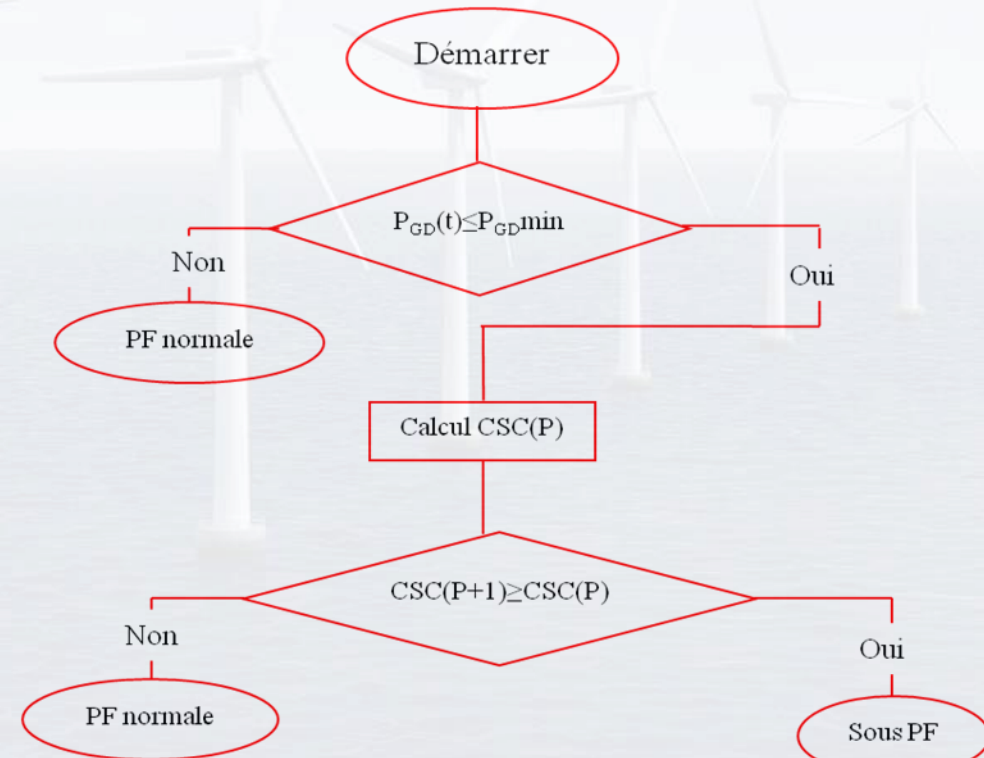
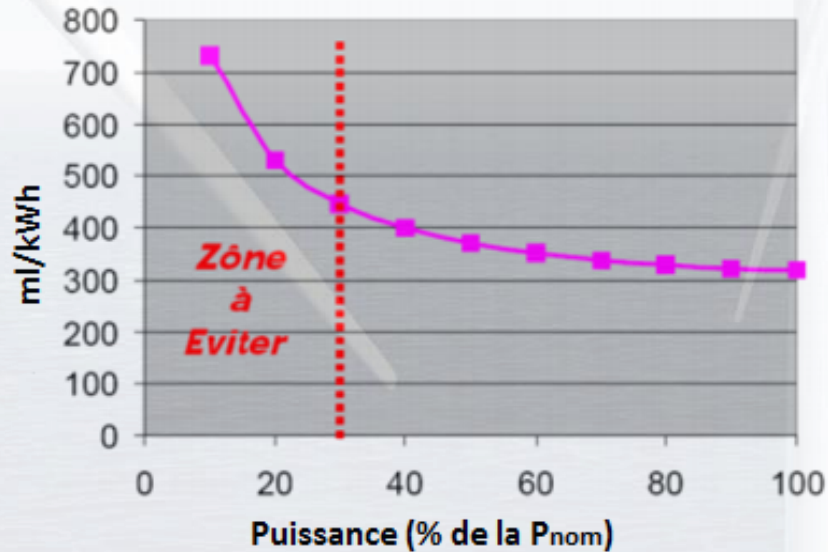
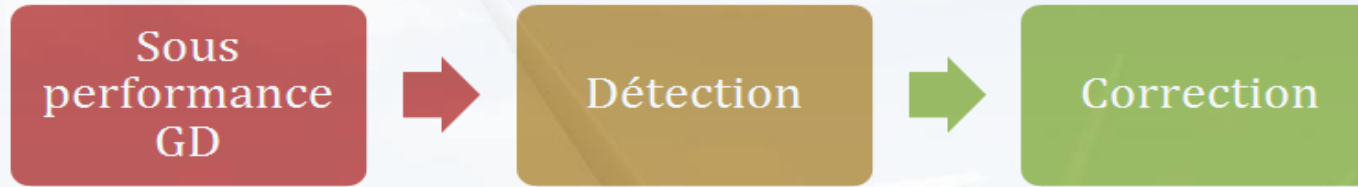
A) Givre poreux



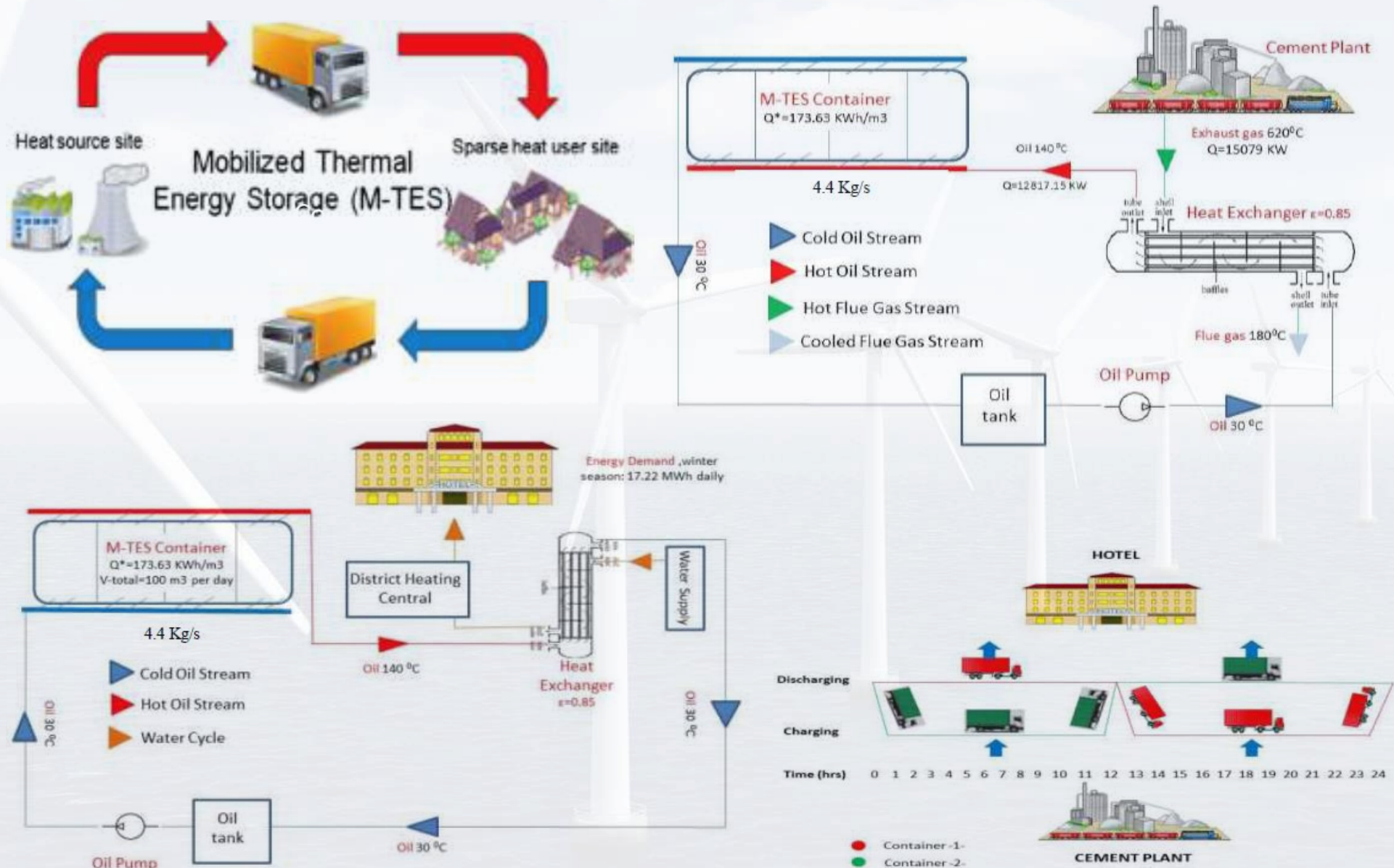
B) Glace compact



# Projet 9 : détection des sous-performances d'un groupe électrogène diesel



# Projet 10 : Valorisation des rejets thermiques



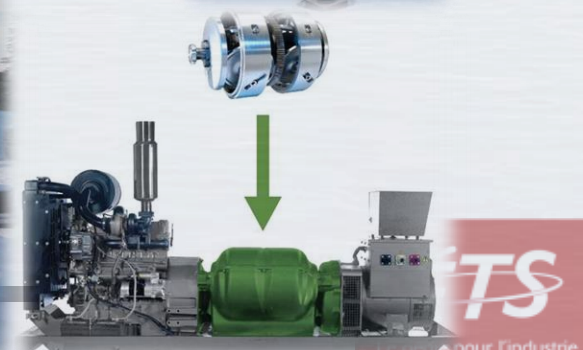
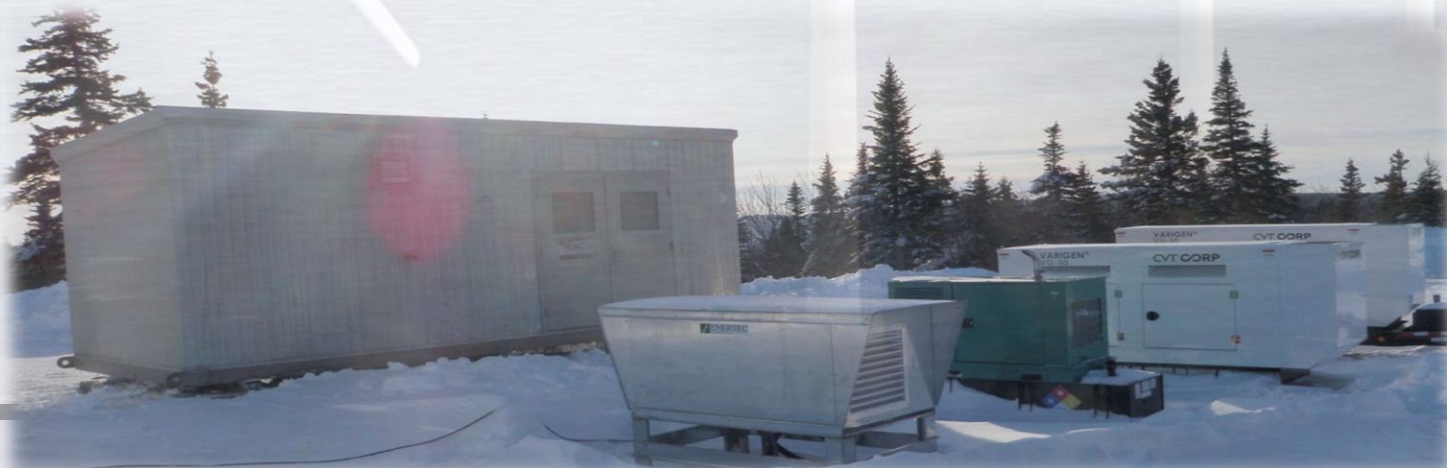


# Projets en lien avec la mise en place de bancs d'essais expérimentaux

# Banc d'essais du micro-réseau du Technocentre éolien (NERGICA)



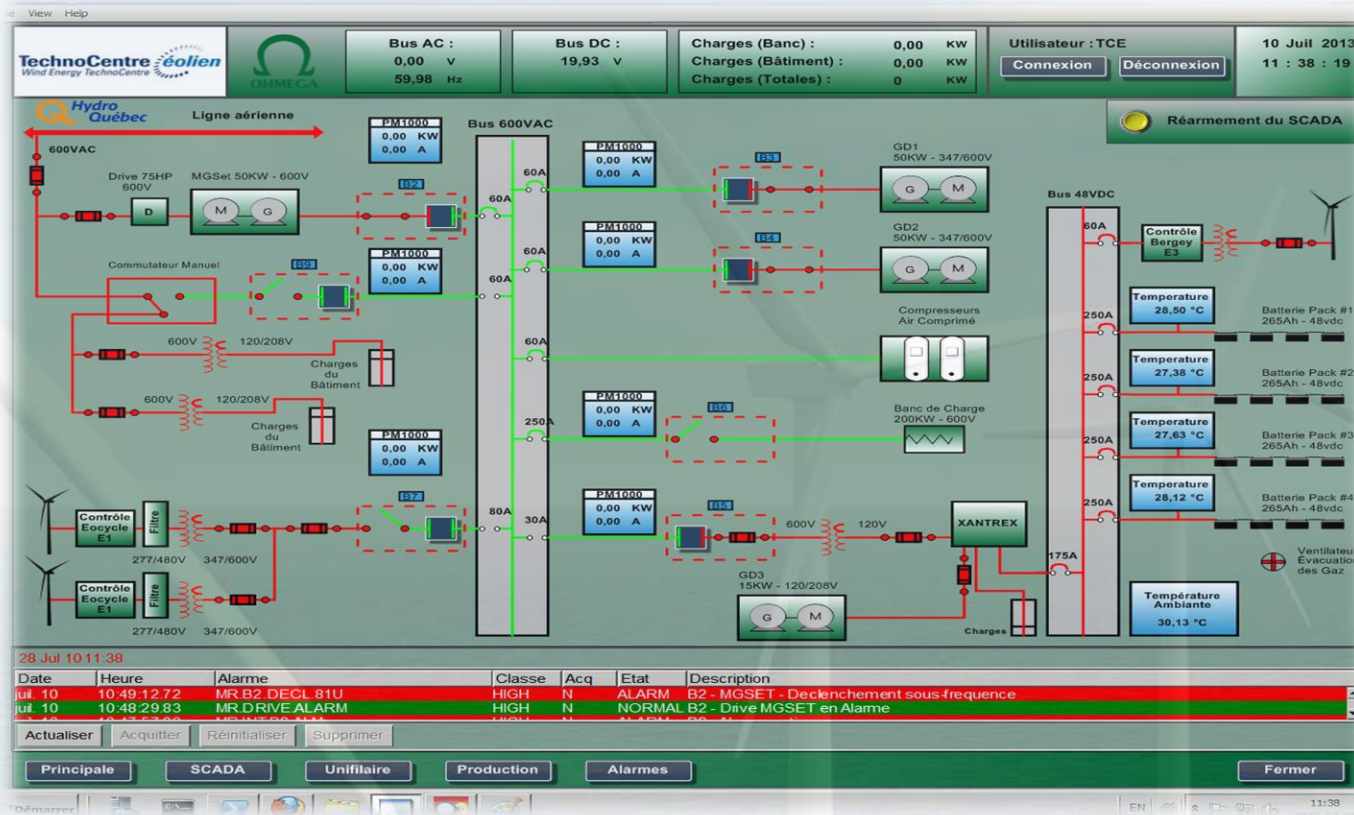
# Banc d'essais du micro-réseau du Technocentre éolien (NERGICA)



# Banc d'essais du micro-réseau du Technocentre éolien (NERGICA)



# Banc d'essais du micro-réseau du Technocentre éolien (NERGICA)



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION !**



# **MERCI**



## *Questions ?*

**Hussein IBRAHIM, Ph.D**

**Tél: 418-962-9848 # 340**

[cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca](mailto:cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca)

[Hussein\\_ibrahim01@uqar.ca](mailto:Hussein_ibrahim01@uqar.ca)

[Hussein.ibrahim@itmi.ca](mailto:Hussein.ibrahim@itmi.ca)