



énergie atomique • énergies alternatives

liten



La prévision de la production des centrales photovoltaïques



Institut National de l'Energie Solaire(INES)

&

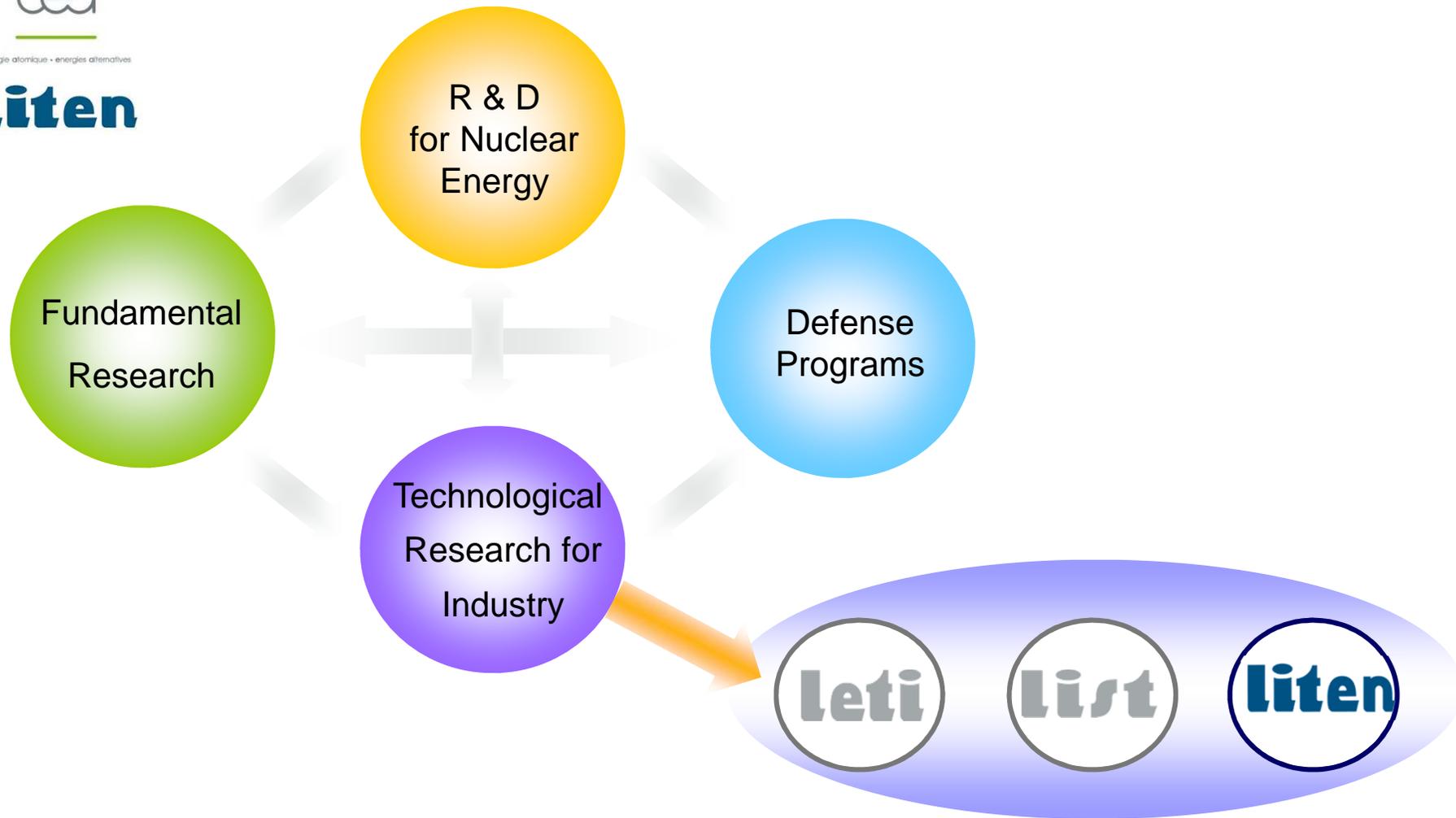
Département des Technologies Solaires (DTS)



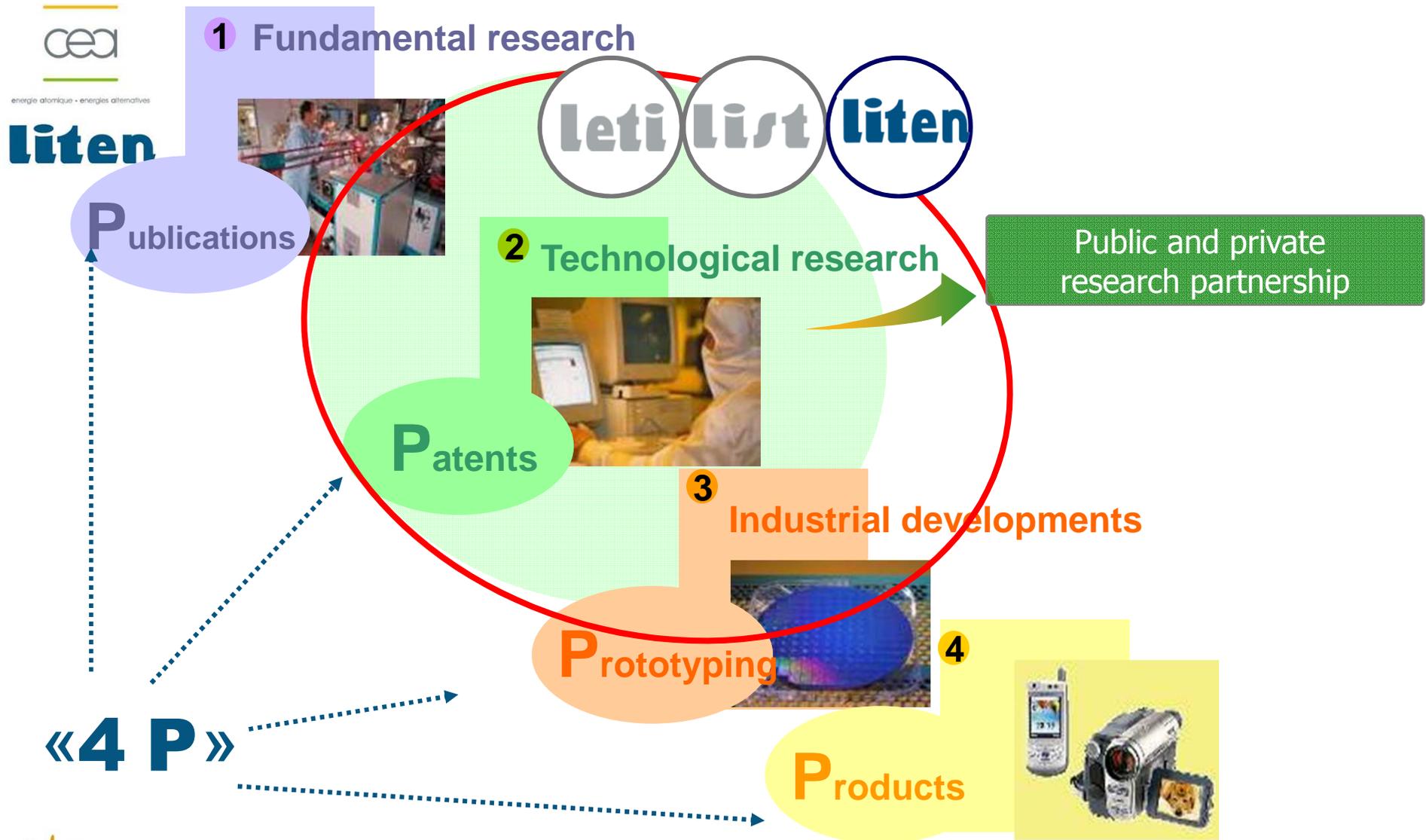
Rhône-Alpes



La Recherche Technologique (DRT) au CEA

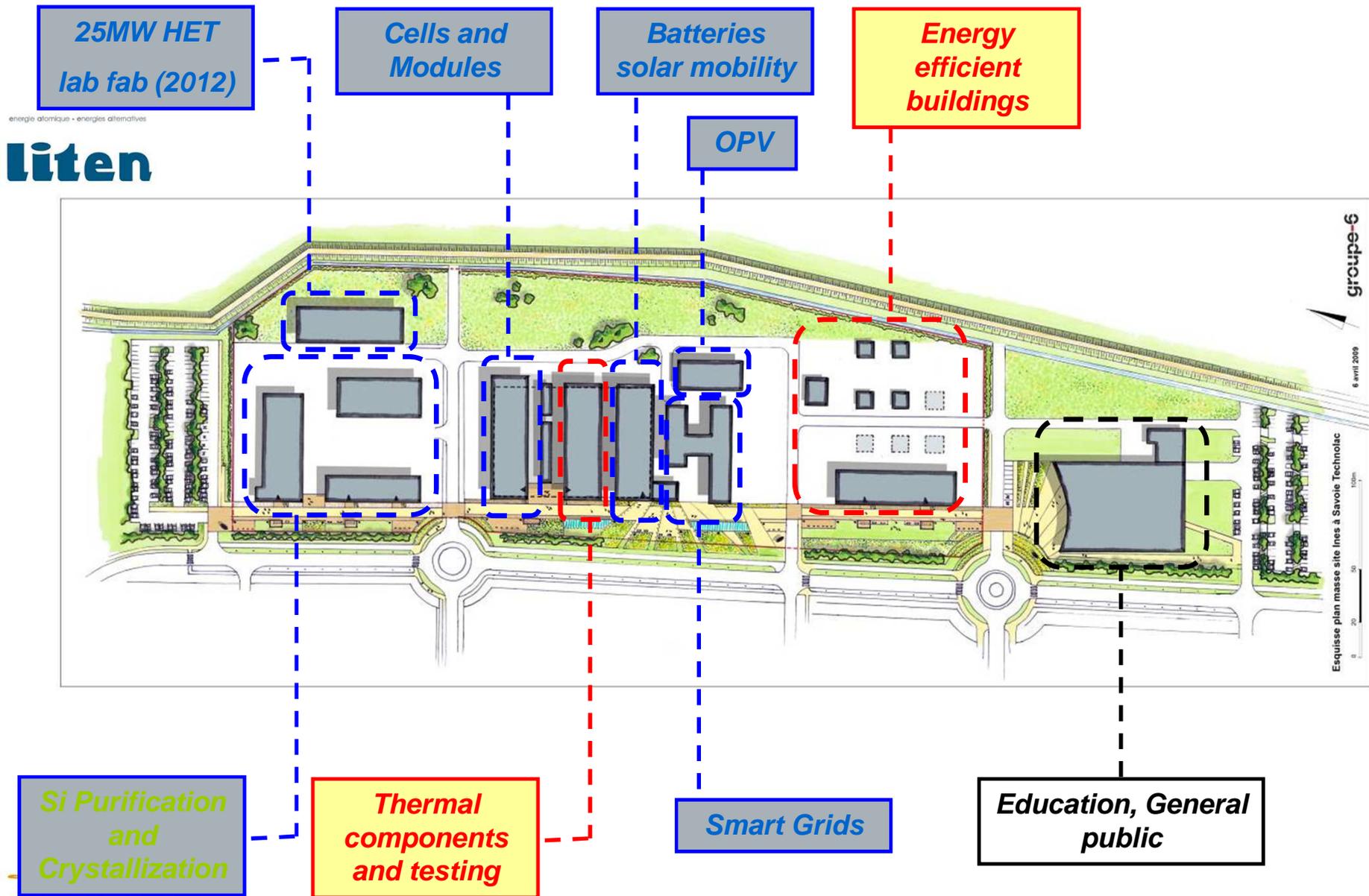


Positioning : between research and industry





INES R&D platform



energie atomique - energies alternatives
liten

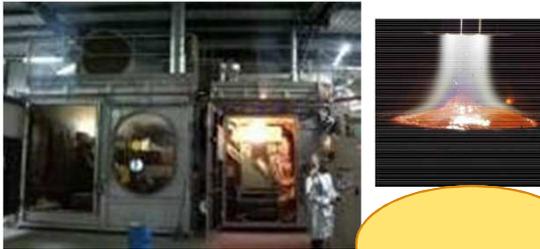
groupe-6

6 avril 2009

Esquisse plan masse site Ines a Savoie Technolac

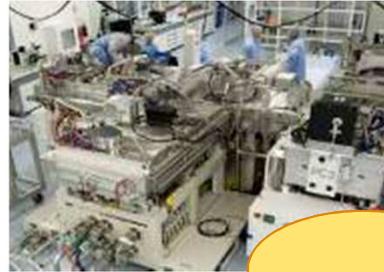
Un ensemble d'infrastructures mis en place rapidement

Plate-forme "silicium PV"



2005/2007

Plate-forme "cellules silicium"



2007

Plate-forme "PV 3ème génération"



2009

Plate-forme "modules PV"



2007

Plate-forme "systèmes électriques"



2006/2011

Plate-forme "batteries" Test - Diagnostic



2006

Plate-forme "systèmes thermiques"



2006

Plate-forme "bâtiment basse consommation d'énergie"



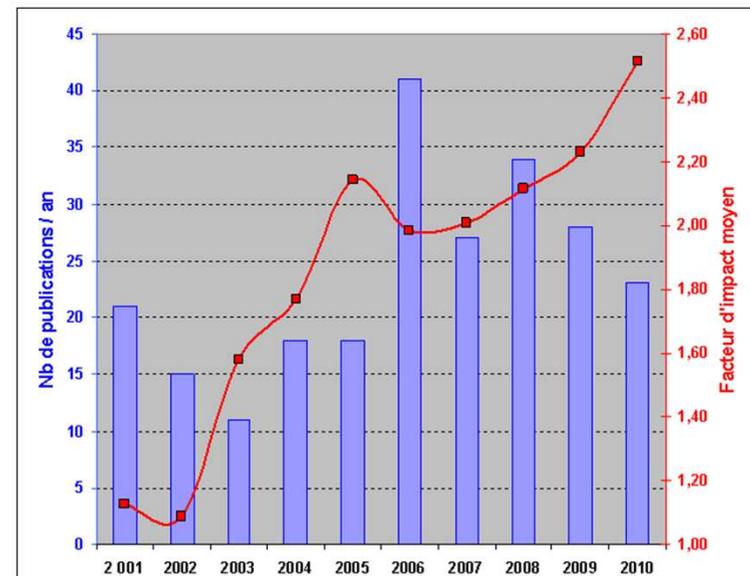
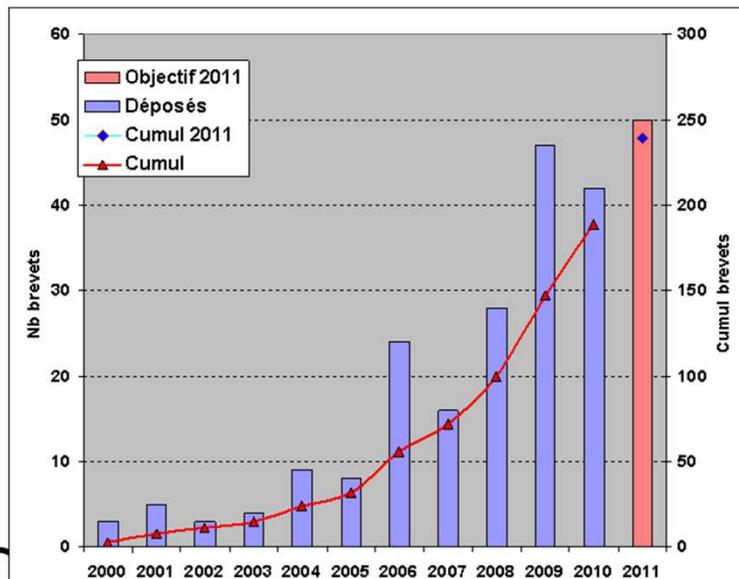
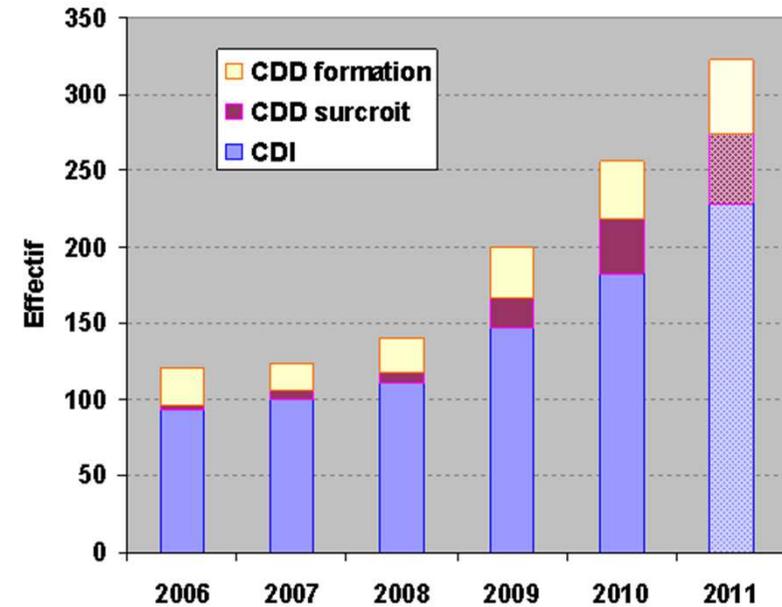
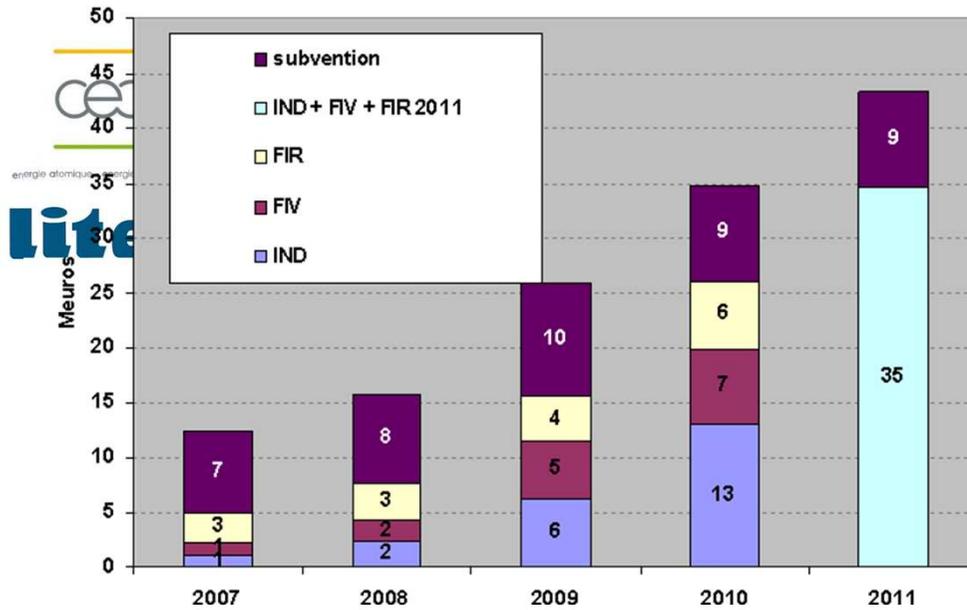
2008

Plate-forme "mobilité solaire"



2010

Croissance de l'INES



Problématique générale solaire - réseaux

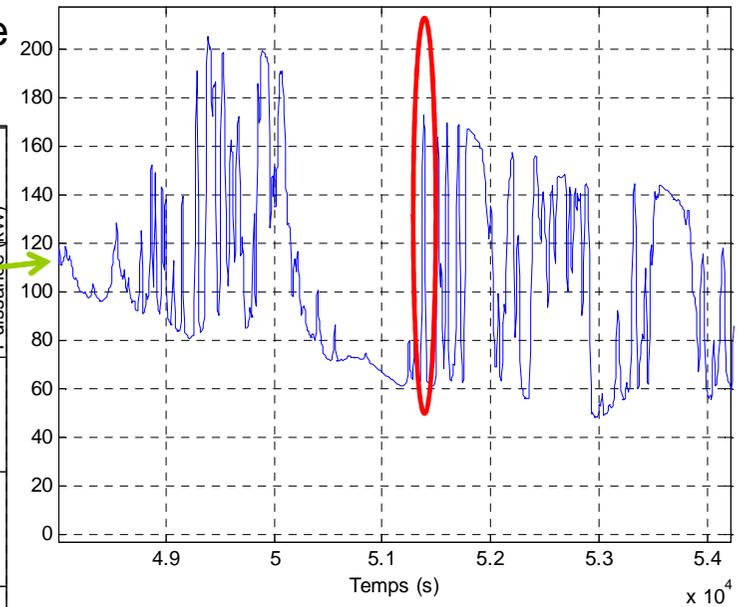
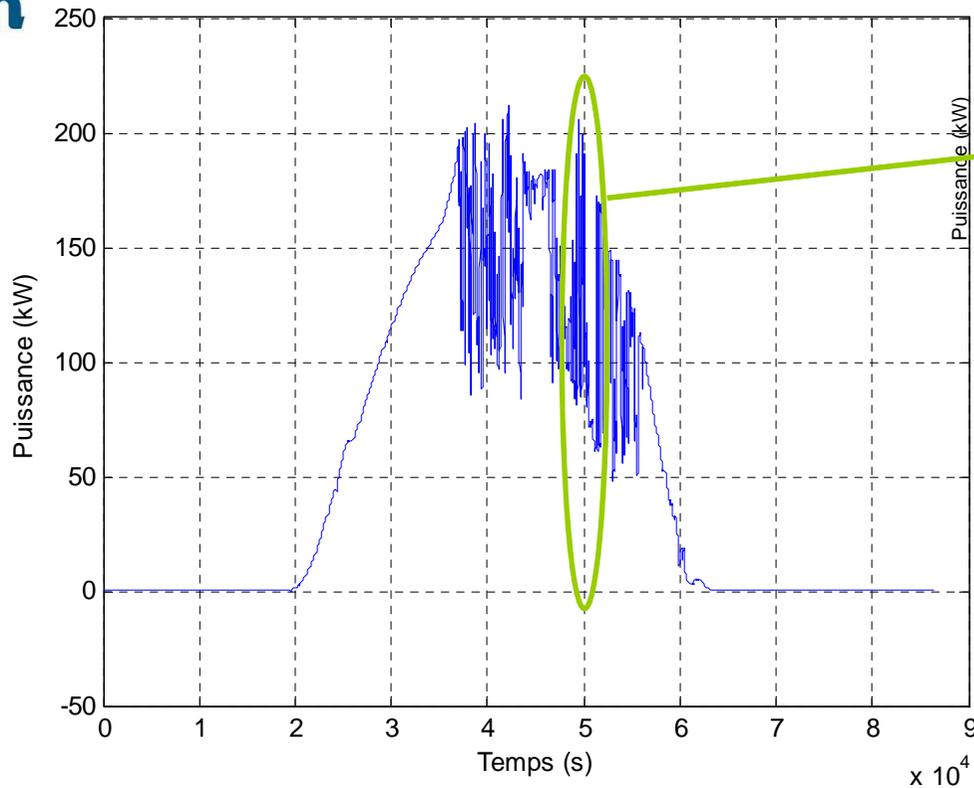


- **Production photovoltaïque dans les réseaux**
 - ◆ **Fort développement** ⇒ deviendra non négligeable
 - ◆ **Non contrôlable et intermittente** ⇒ aléa de production
- ✚ difficulté pour le(s) gestionnaire(s) du réseau qui doit assurer :
 - **L'équilibre production-consommation à chaque instant**
 - **Une bonne qualité de la tension en tout point du réseau**

Intermittence de la production photovoltaïque



Exemple d'une journée de production d'une centrale de 250 kWc dans le sud de la France

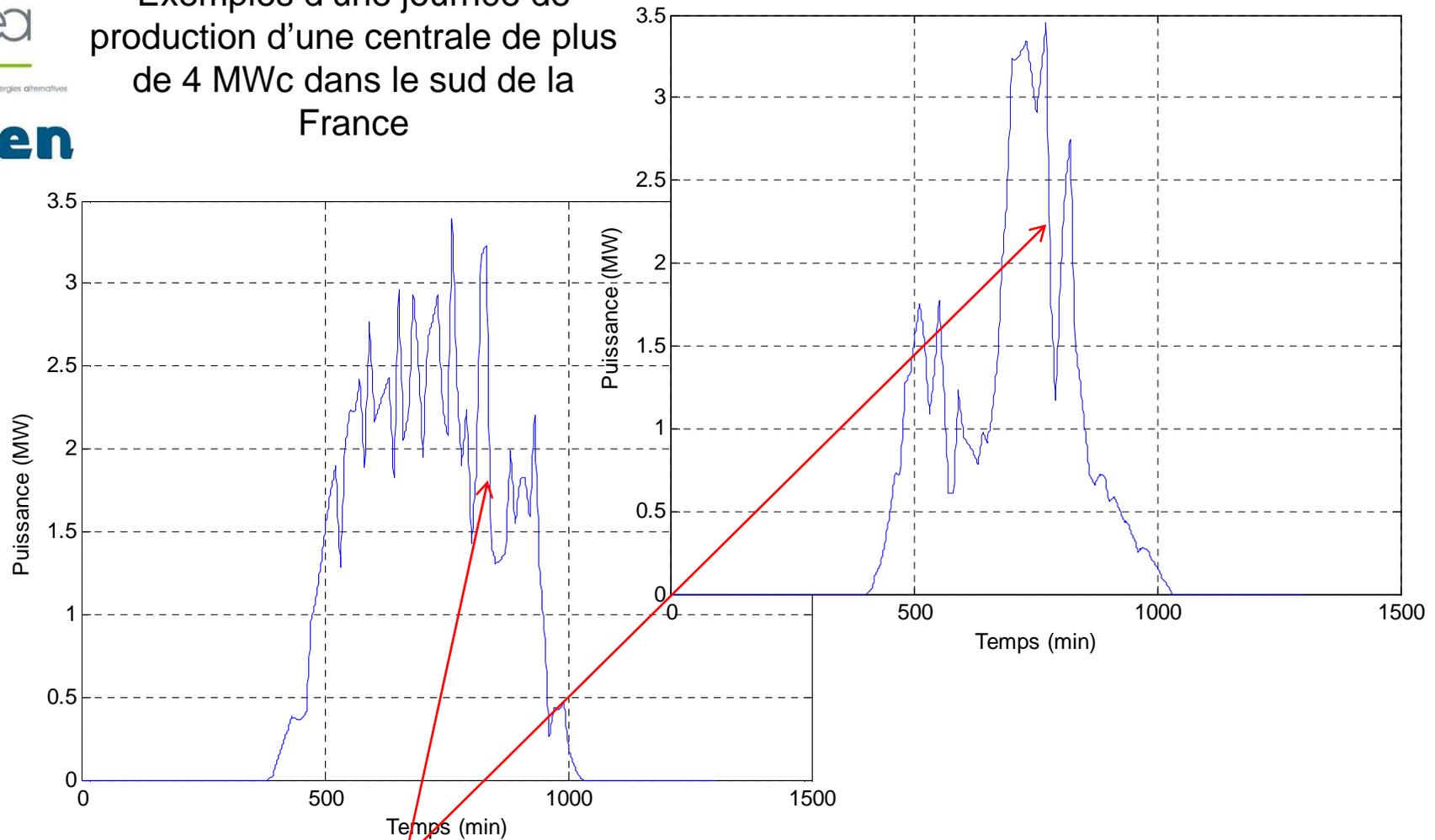


Perte de 100 kW (40% de P_{nom})
en 10 s

Intermittence de la production photovoltaïque



Exemples d'une journée de production d'une centrale de plus de 4 Mwc dans le sud de la France



Perte de 1,8 MW en 10 min ($=\Delta t$ monitoring)

Problématique générale solaire - réseaux



- **Production photovoltaïque dans les réseaux**
 - ◆ **Fort développement** ⇒ **deviendra non négligeable**
 - ◆ **non contrôlable** ⇒ **aléa de production**
- ⇒ difficulté pour le gestionnaire du réseau qui doit assurer :
 - **L'équilibre production-consommation à chaque instant**
 - **Une bonne qualité de la tension en tout point du réseau**

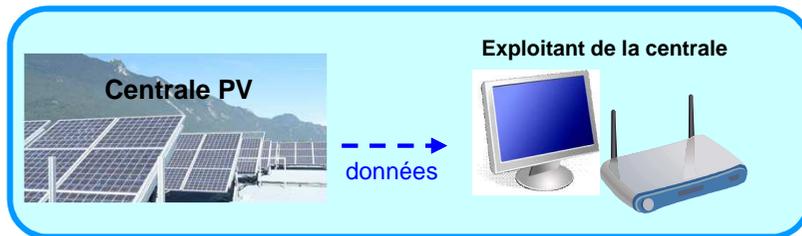
- ⇒ Trois solutions pour améliorer l'intégration du PV dans le système électrique :
 - **La prévision de la production**
 - La gestion de la demande
 - Le stockage

Historique de l'activité et travaux actuels



- **Outil de prévision à J+1**
 - ◆ **2008 : développement de la 1^{ère} version des algorithmes**
 - ◆ **2009 : outil opérationnel**
 - ◆ **2010 : suivi de systèmes PV CEA**
 - ◆ **2011 : version plus robuste, suivi de centrales non CEA**
 - ◆ **Aujourd'hui : une quinzaine de 1 kW à 4,5 MW**
 - ◆ **D'ici fin 2011 : une trentaine pour une puissance totale > 20 MW**
- **Autres développements**
 - ◆ **Depuis 1 an : prévision PV à très court terme (1-30 minutes)**
 - ◆ **Utilisation des images satellites**
 - ◆ **Adaptation à la prévision du solaire à concentration**
 - ◆ **Prévision de la consommation d'un bâtiment**

Outil de prévision de la production PV à J+1



Données J-1
Prévisions J+1

Données J-1
Prévisions J+1

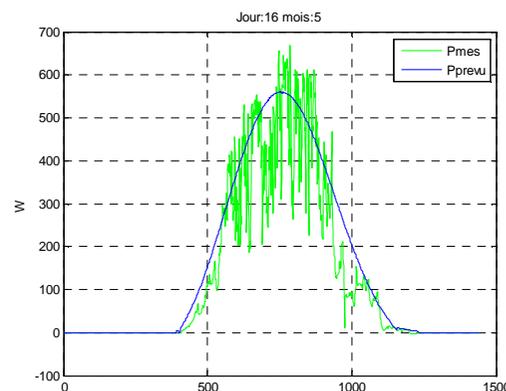
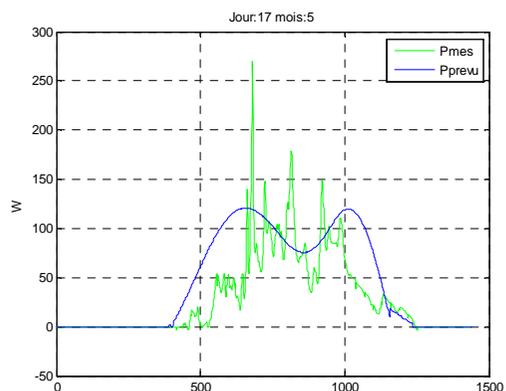
Données J-1
Prévisions J+1



CEA / INES

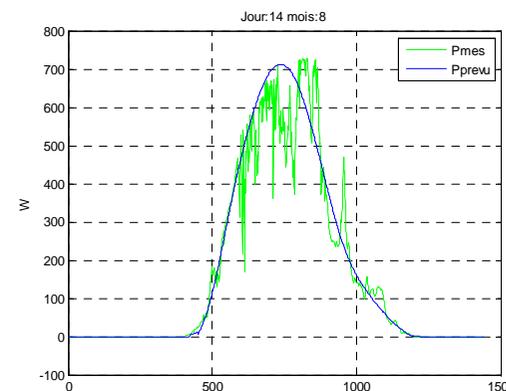
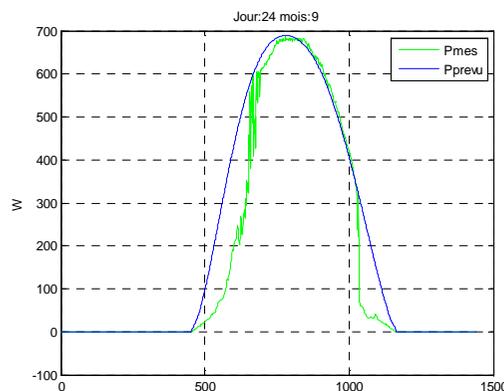
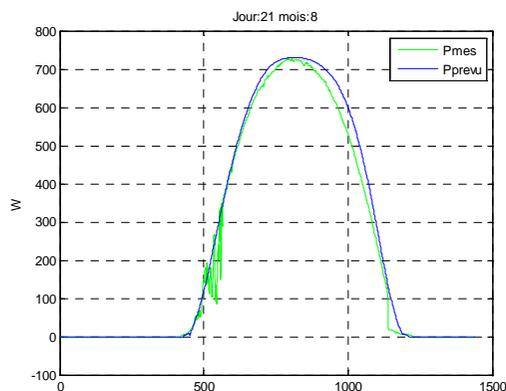
prévisions météo J+1

Exemples de résultats (système de 1 kW)



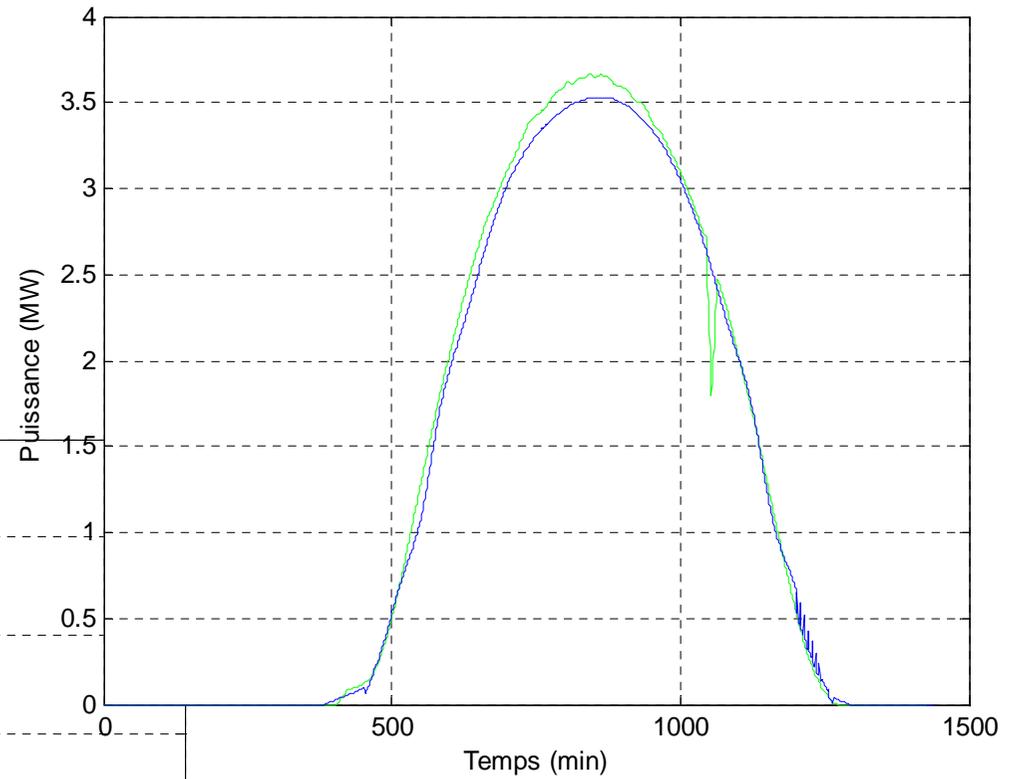
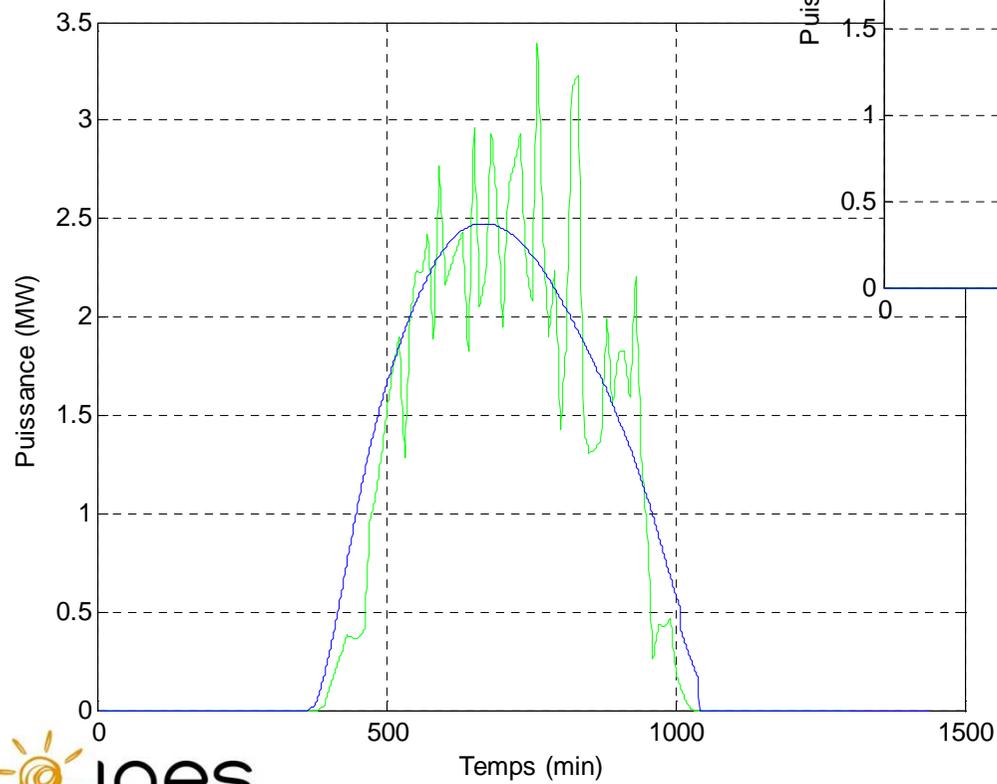
Bleu : prévision

Vert : production mesurée



Abscisse : temps en minute, ordonnée : production en W

Exemples de résultats (centrale de 4,5 MW)



Evaluation de la performance sur pas demi-horaire

Abscisse : temps, ordonnée : production (en W)

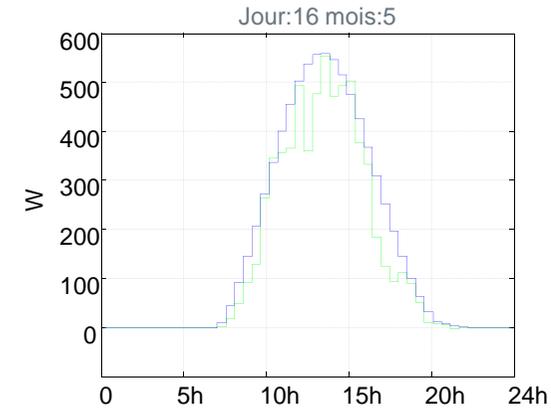
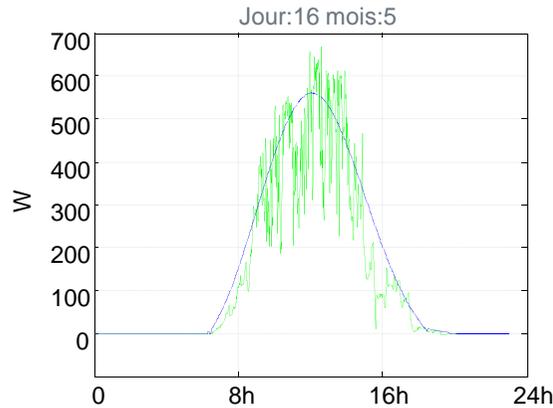
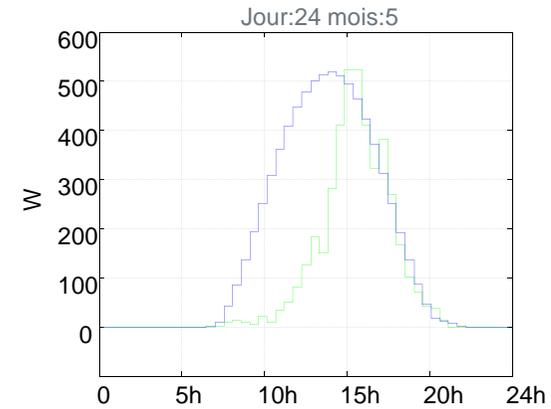
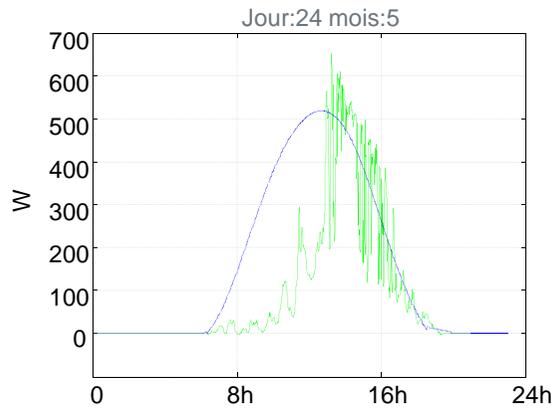
Bleu : prévision

Vert : production mesurée



Prévision de production
-pas de la minute-

Prévision de production
-pas demi-horaire-



Résultat de l'algorithme

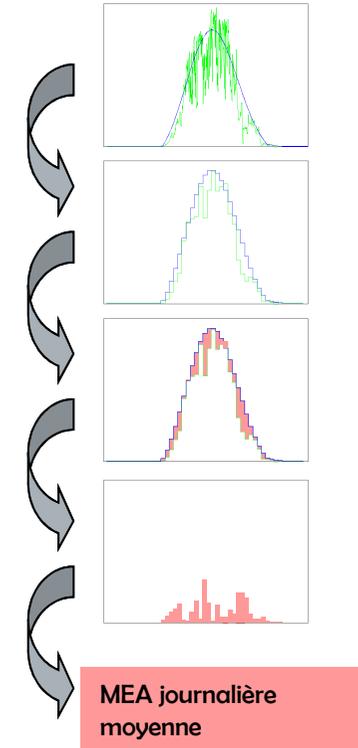
Pour l'évaluation



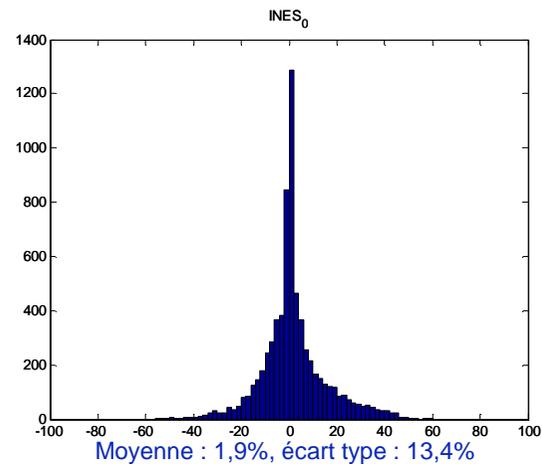
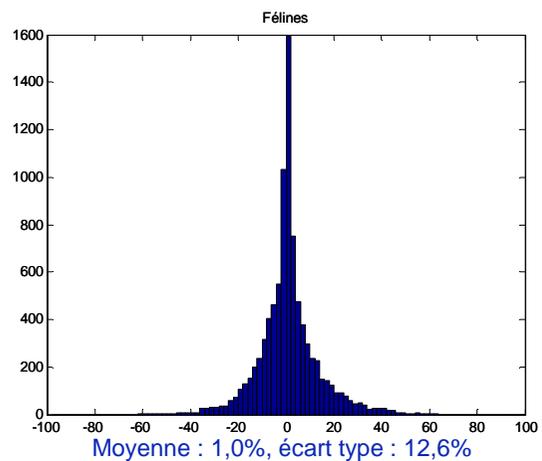
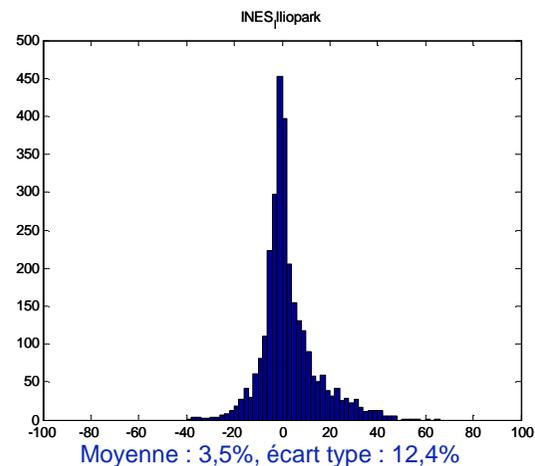
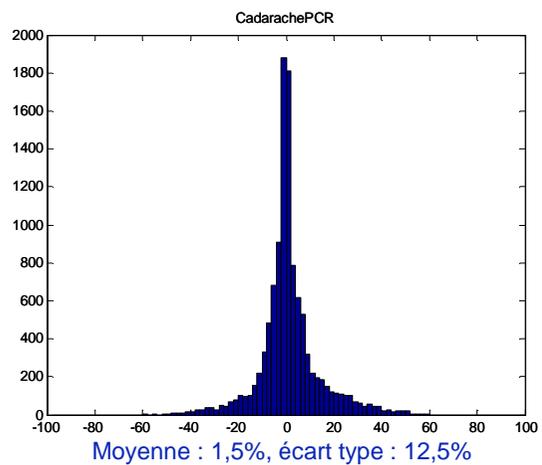
Méthode pour évaluer la performance



MAE journalière	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Puissances normalisées par la puissance crête. ◆ Moyennes sur des fenêtres d'une demi-heure ◆ Nuit non prise en compte. ◆ MAE moyenne calculée pour chaque jour. $MAE_{\frac{1}{2}h} = \sum_{\frac{1}{2}h} \frac{ E_{forecasted} - E_{produced} }{P_{peak}} \quad MAE_{day} = \frac{\sum_{sunrise}^{sunset} MAE_{\frac{1}{2}h}}{N_{\frac{1}{2}h}}$
MAE centrale	<ul style="list-style-type: none"> ◆ MAE pour la centrale = moyenne des MAE journalières. $MAE = \frac{\sum_{sunrise}^{sunset} MAE_{day}}{N_{day}}$
Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Evaluation = MAE pour la centrale / MAE obtenue avec prévision par persistance ($P_{J+1} = P_{J-1}$)



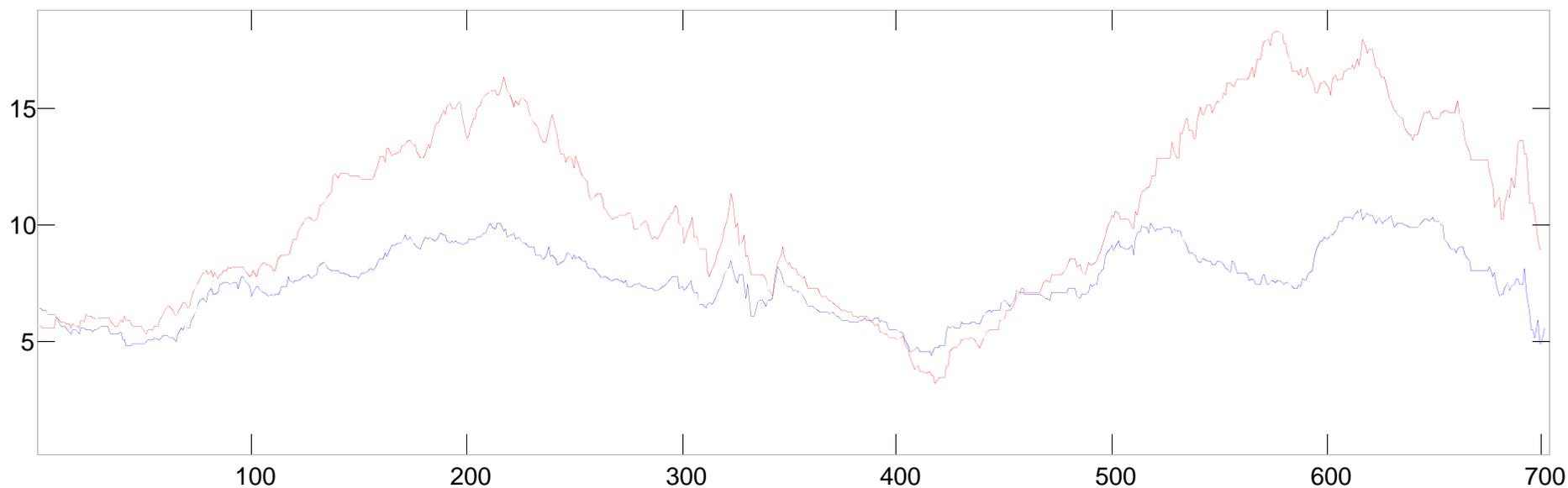
Distribution des erreurs - dt=30' outil J+1



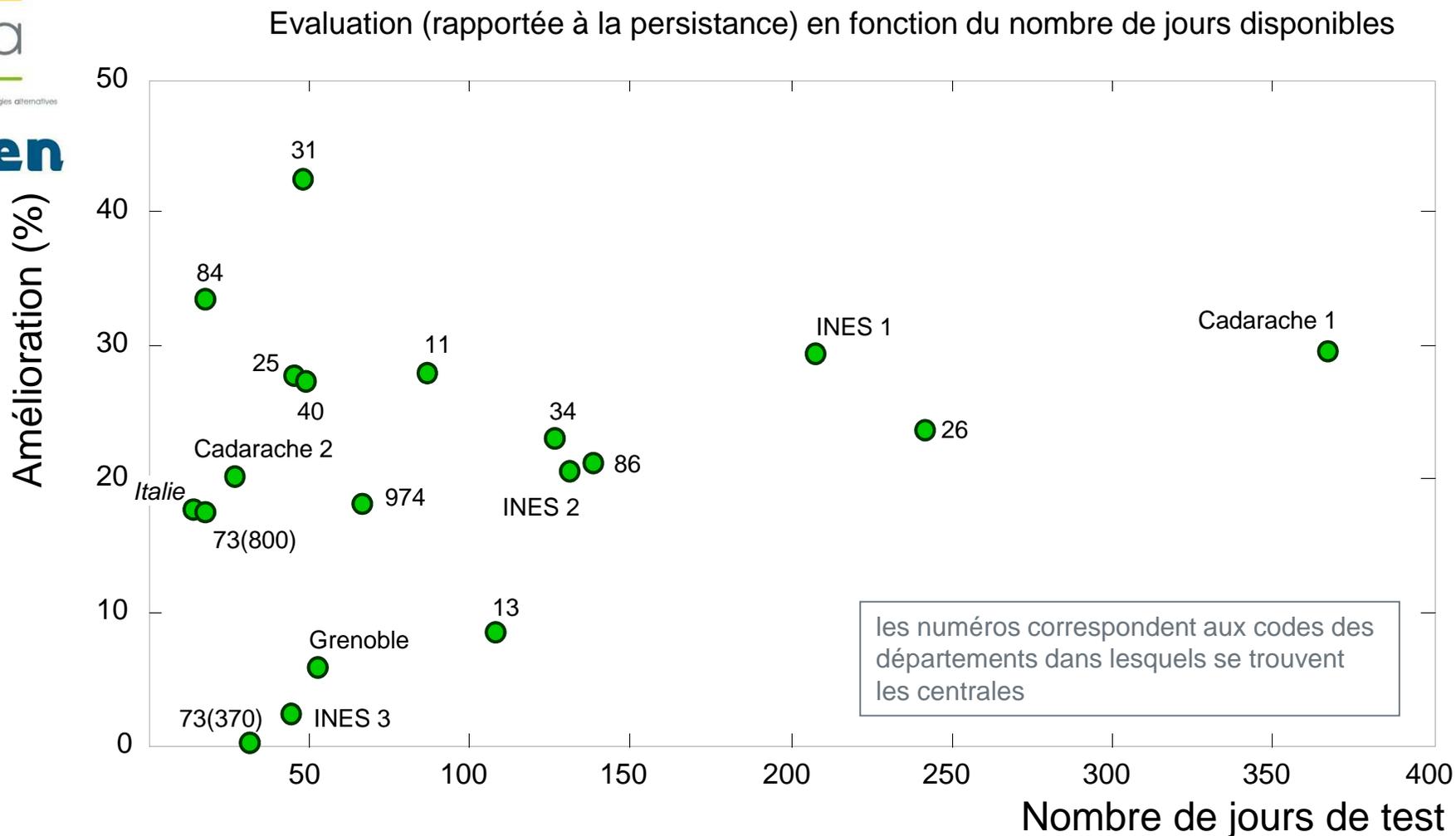
Evolution de l'erreur sur 2 ans



Pour Cadarache, évolution de la MAE journalière (moyenne glissante sur 2 mois)
et comparaison à la persistance

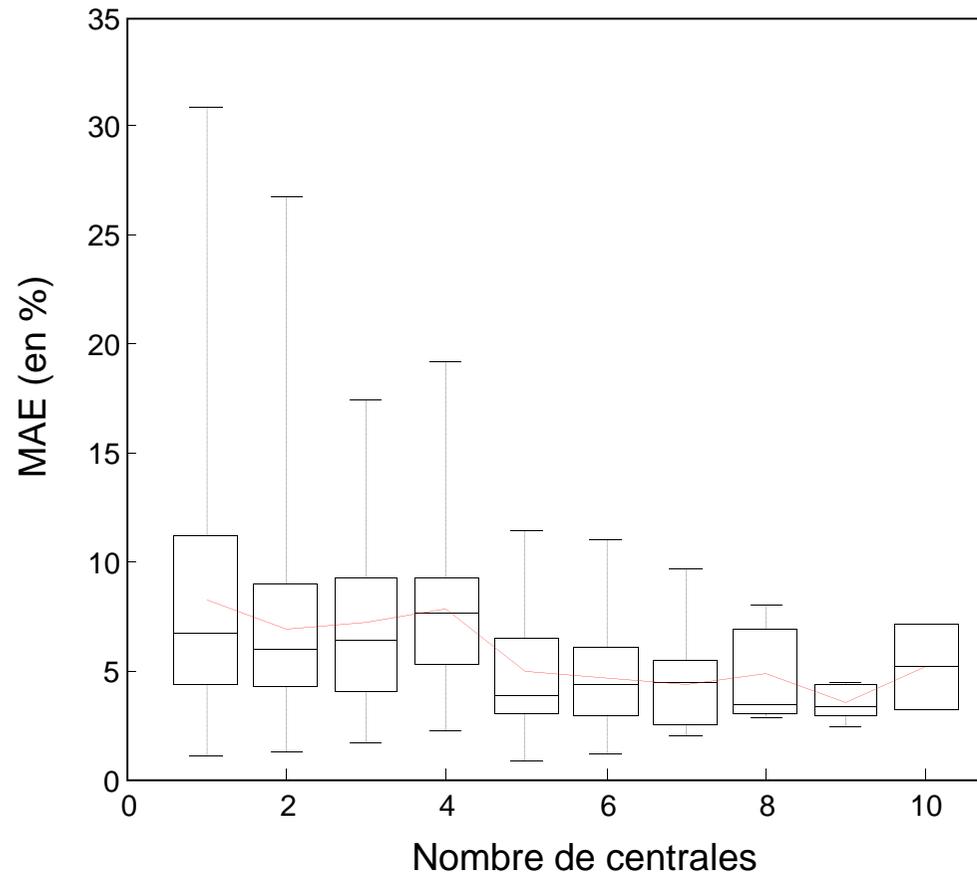


Retour d'expérience sur la performance de l'outil J+1



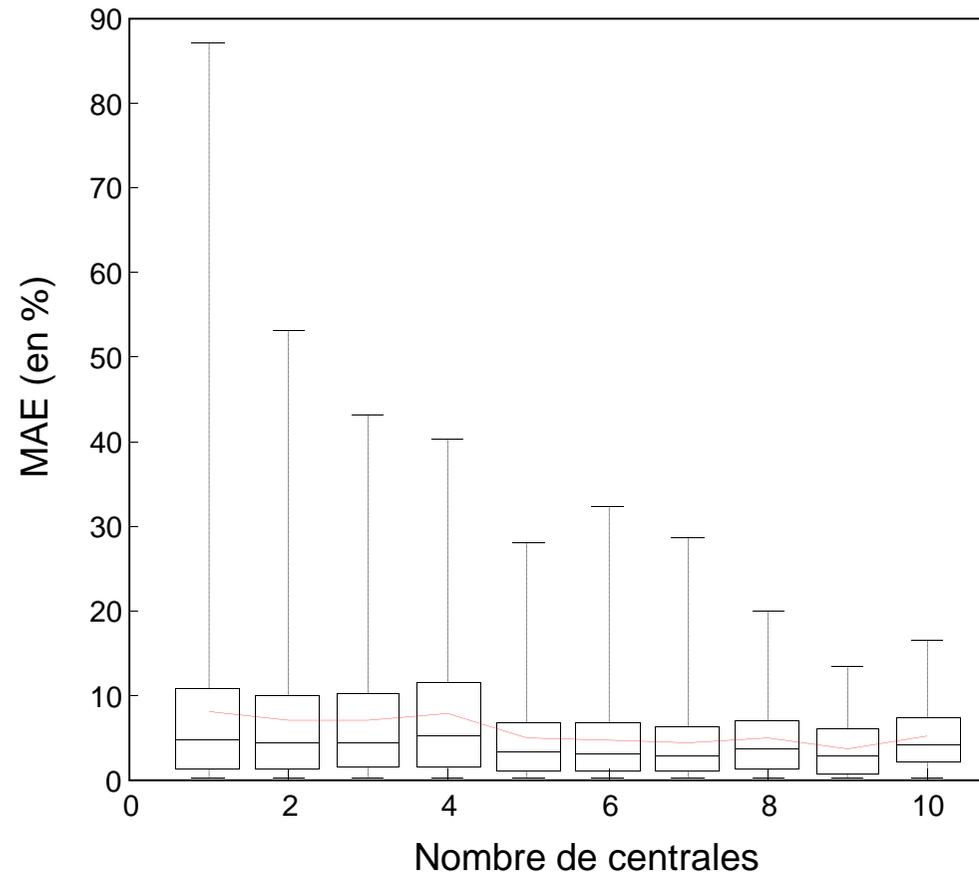
⇒ **Plus la centrale est suivie depuis longtemps, plus notre système de prévision est efficace.**

Impact du foisonnement sur la prévision J+1 multi sites



MAE journalière (en %), quartiles et *moyenne*

Impact du foisonnement sur la prévision J+1 multi sites



MAE par pas de 30mn (en %), quartiles et *moyenne*

Prévision de production solaire à très court terme



Les fluctuations rapides sont très contraignantes pour les zones non interconnectées

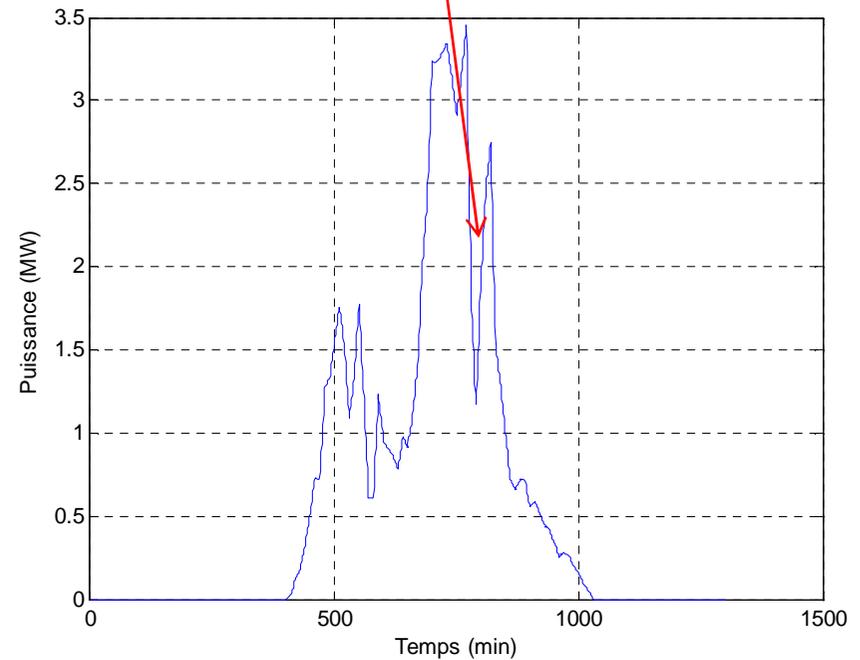
energie atomique - energies alternatives



Prévoir une chute de production 20 minutes à l'avance laisse le temps de démarrer un groupe de production



Perte de 1,8 MW en 10 min (=Δt monitoring)



Prévision de production solaire à très court terme



Le concept : à partir du traitement d'images du ciel prises de la centrale, l'évolution du masque nuageux est anticipé, ce qui permet ensuite de prévoir la production pour les prochaines minutes.

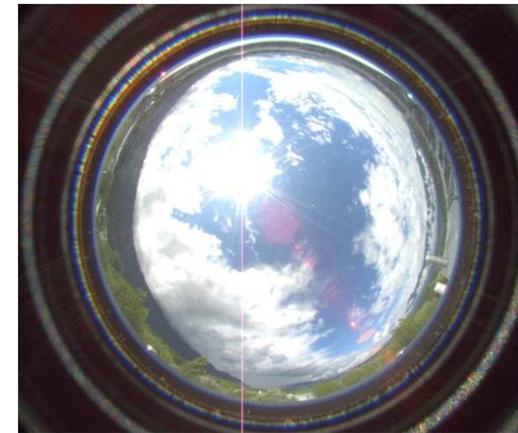
Le système d'acquisition



Sur la plateforme de l'INES

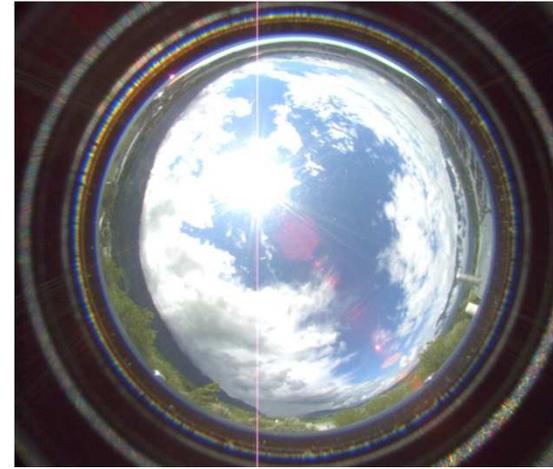
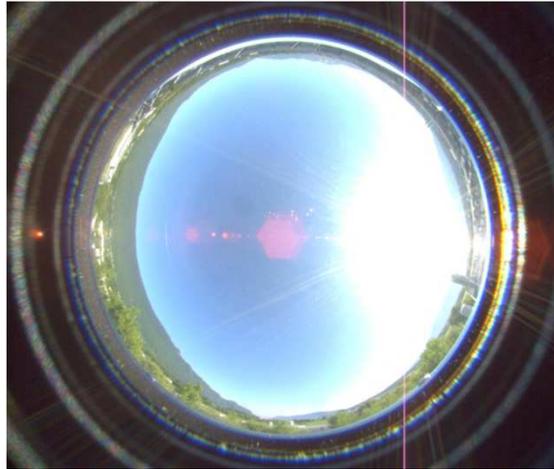


L'image obtenue

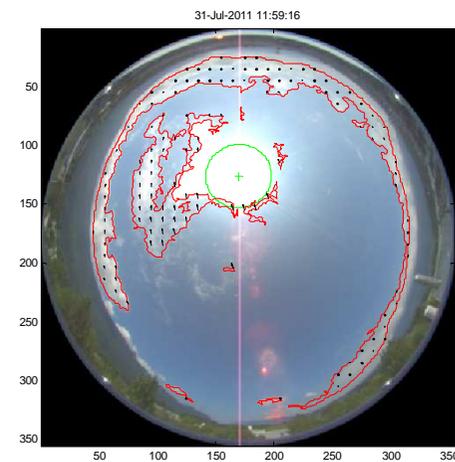
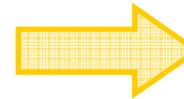
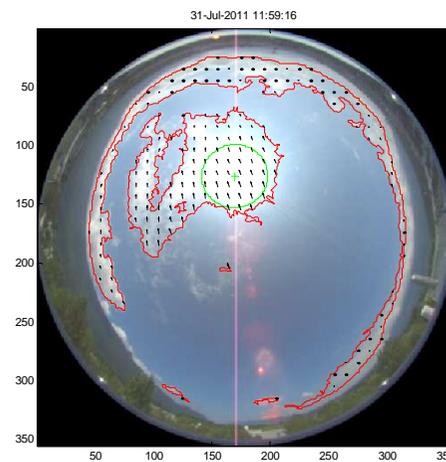
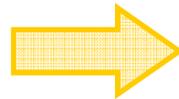
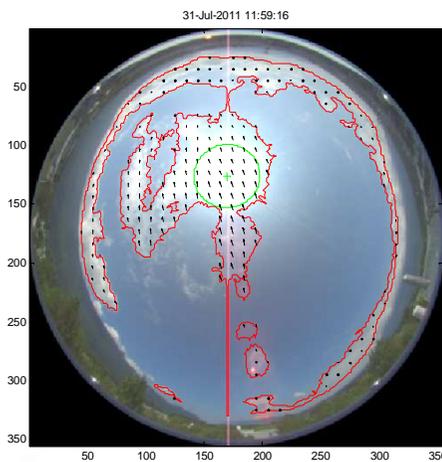


Prévision de production solaire à très court terme

images obtenues avec reflets parasites et saturation

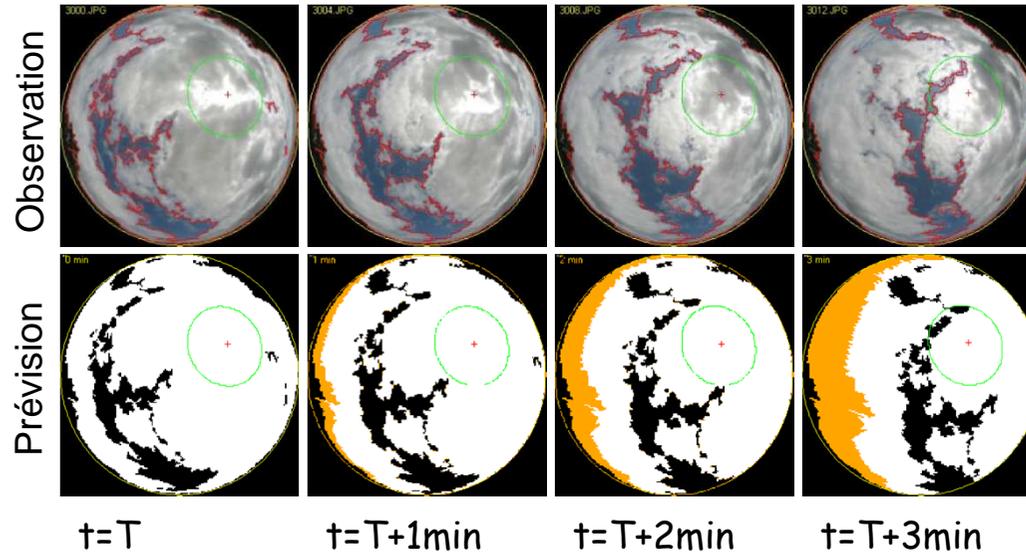


Quelques aspects du traitement d'image à effectuer:

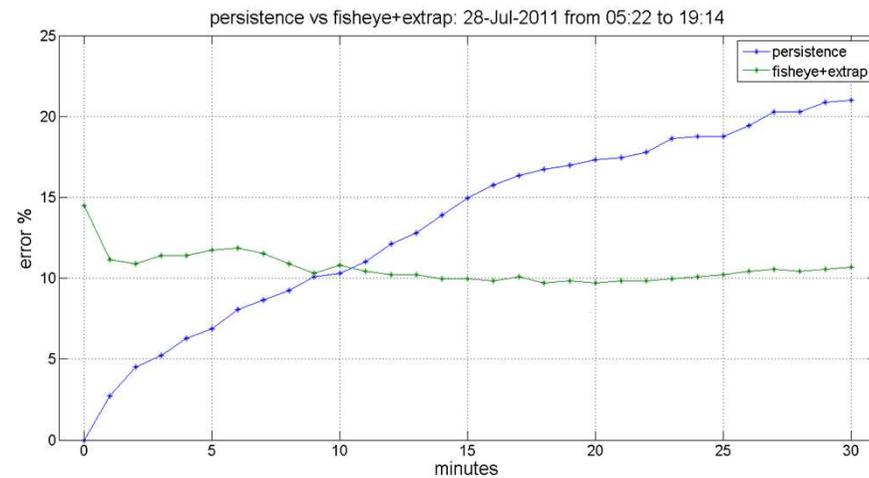


Prévision de production solaire à très court terme

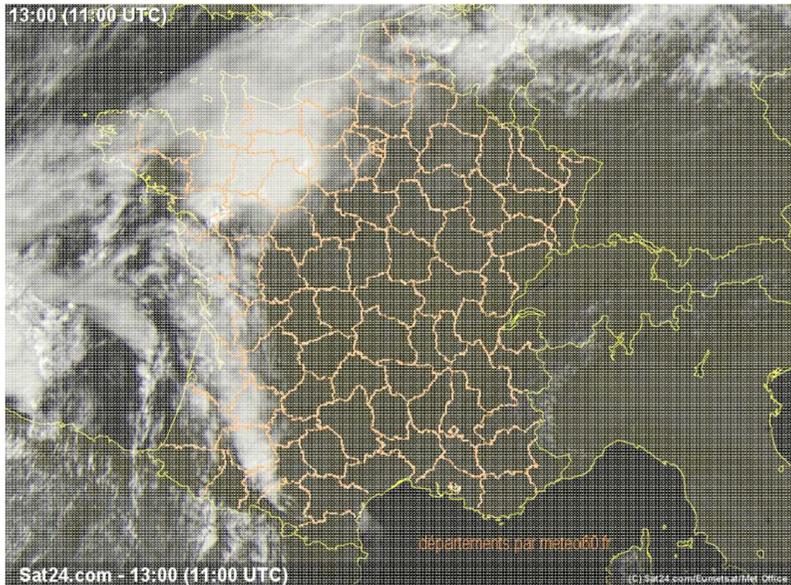
Résultats préliminaires:



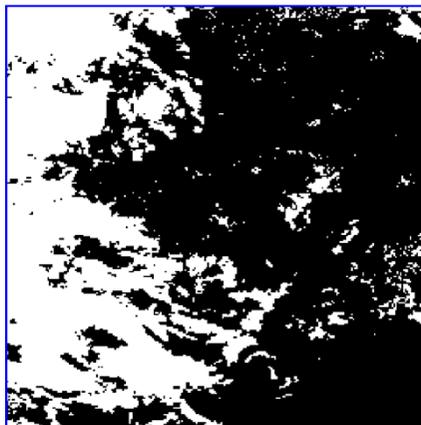
Capacité à prévoir la présence d'un masque nuageux : comparaison des taux d'erreur de prédictions « CEA-INES » et *persistance* en fonction de l'horizon temporel (28/07/2011)



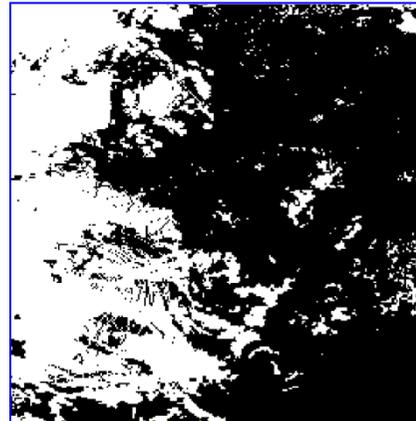
Prévision de production solaire à 30 min \Rightarrow 6h



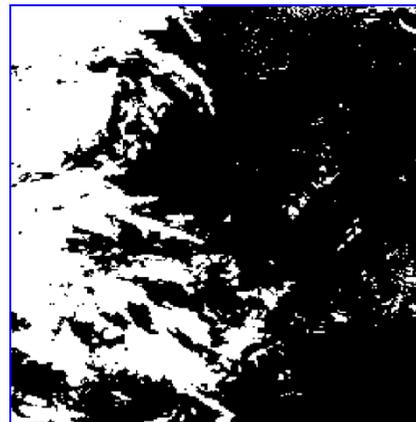
A partir du traitement d'images satellites, l'évolution du masque nuageux est anticipé, ce qui permet ensuite de prévoir la production pour les prochaines heures.



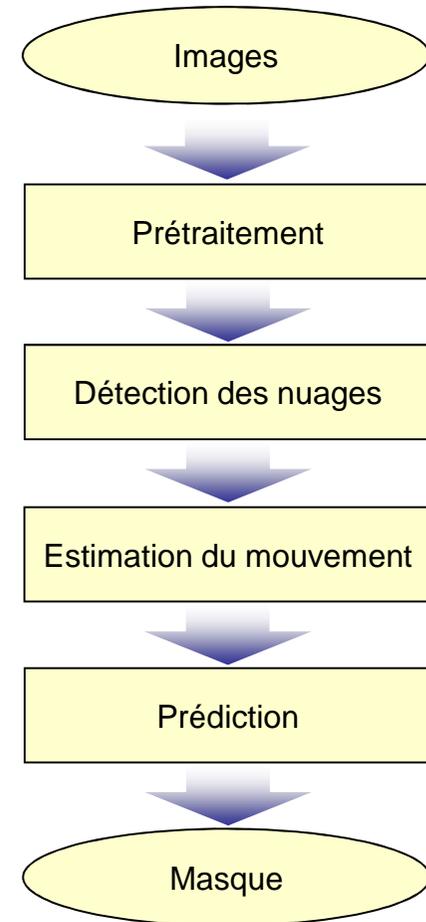
Couverture nuageuse à T0



Couverture prévue à T0 + 1h



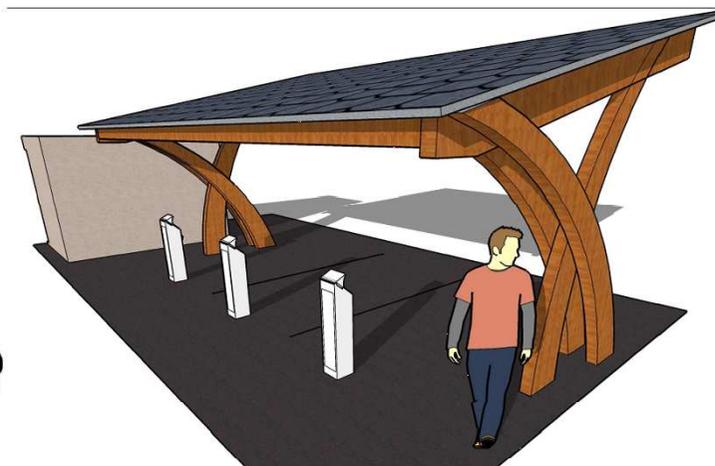
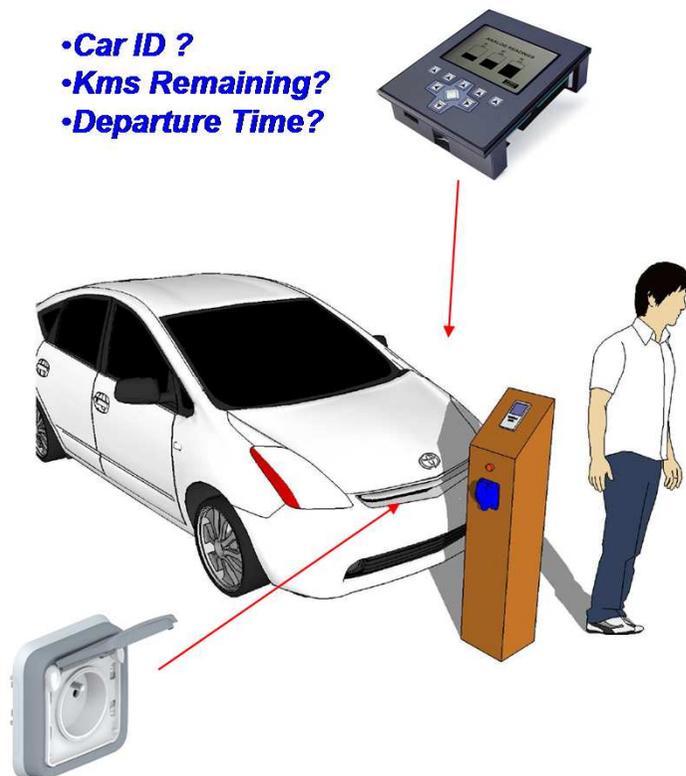
Couverture observée à T0 + 1h



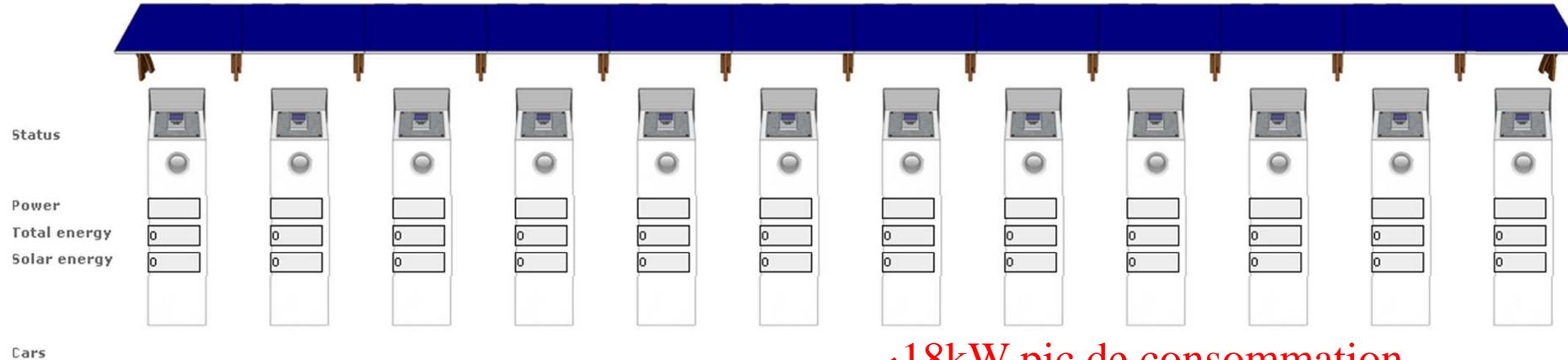
QUELQUES APPLICATIONS

Exemple d'application : la mobilité solaire

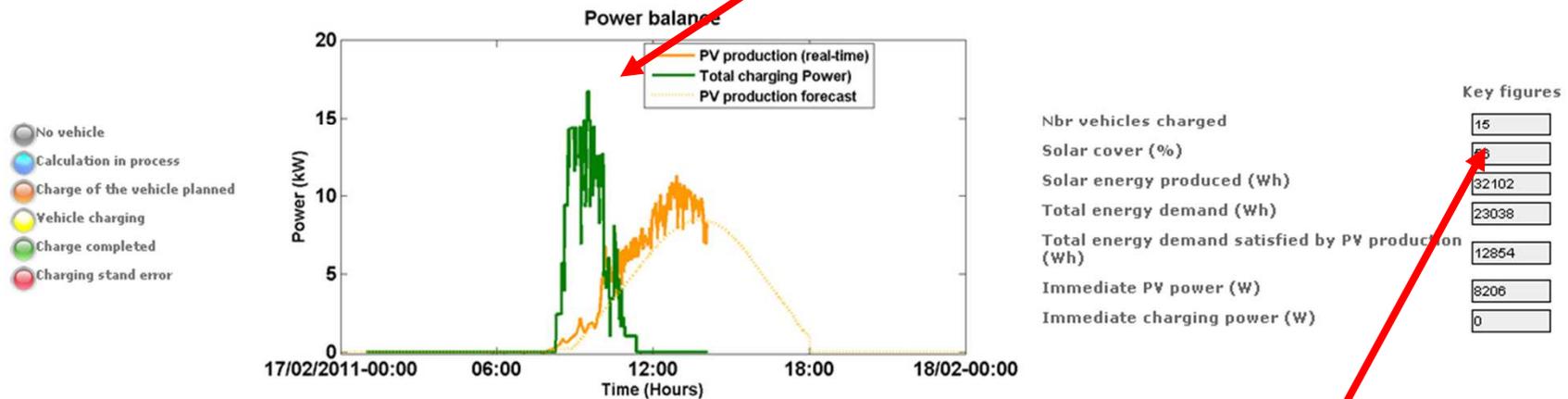
- Car ID ?
- Kms Remaining?
- Departure Time?



Sans pilotage de la recharge



18kW pic de consommation

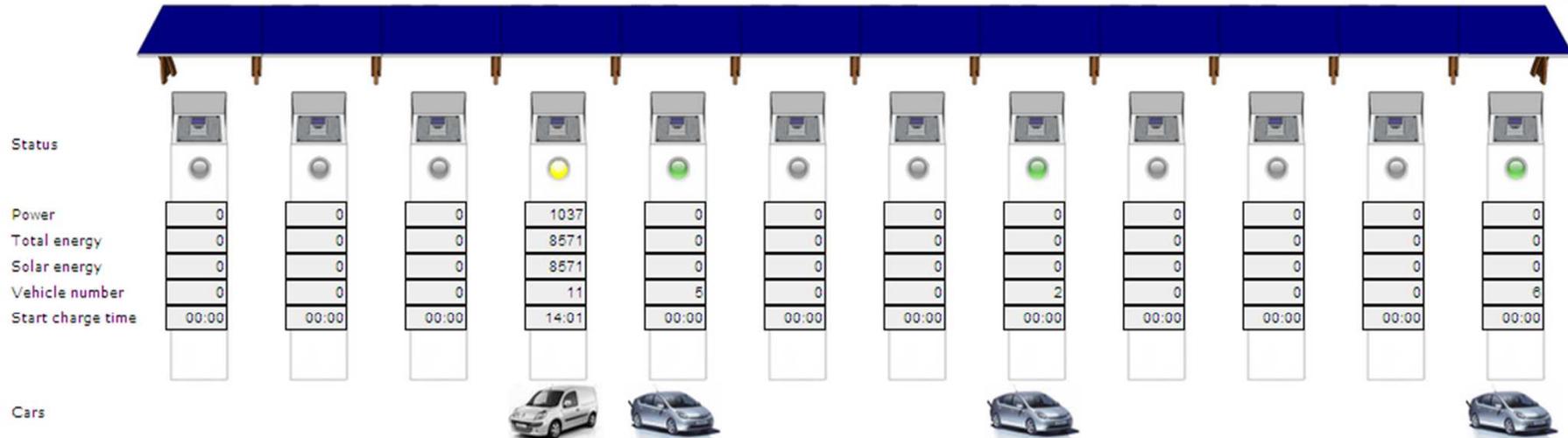


34% de couverture solaire

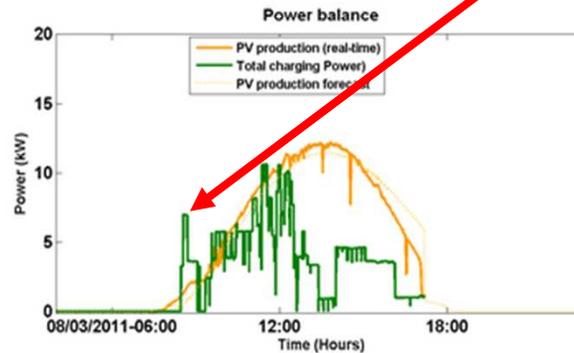
Avec pilotage de la recharge

DE L'ENERGIE SOLAIRE

croisic atomia



- No vehicle
- Calculation in process
- Charge of the vehicle planned
- Vehicle charging
- Charge completed
- Charging stand error



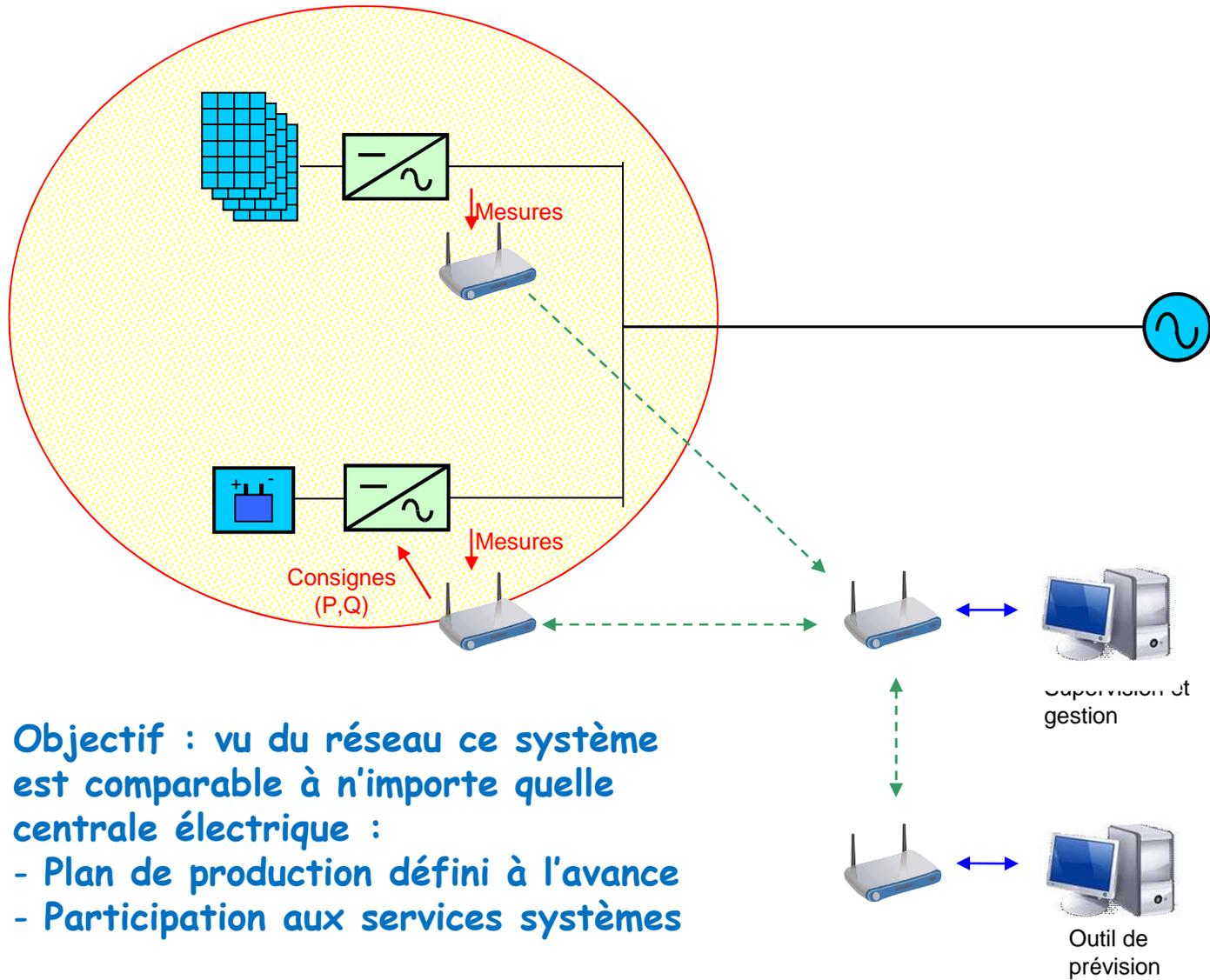
4kW pic de consommation

Key figures

Nbr vehicles charged	11
Solar cover (%)	91
Solar energy produced (Wh)	8463
Energy demand (Wh)	26699
Energy demand satisfied by PV (Wh)	24419
Immediate PV power (W)	1138
Immediate charging power (W)	1037

91% couverture solaire

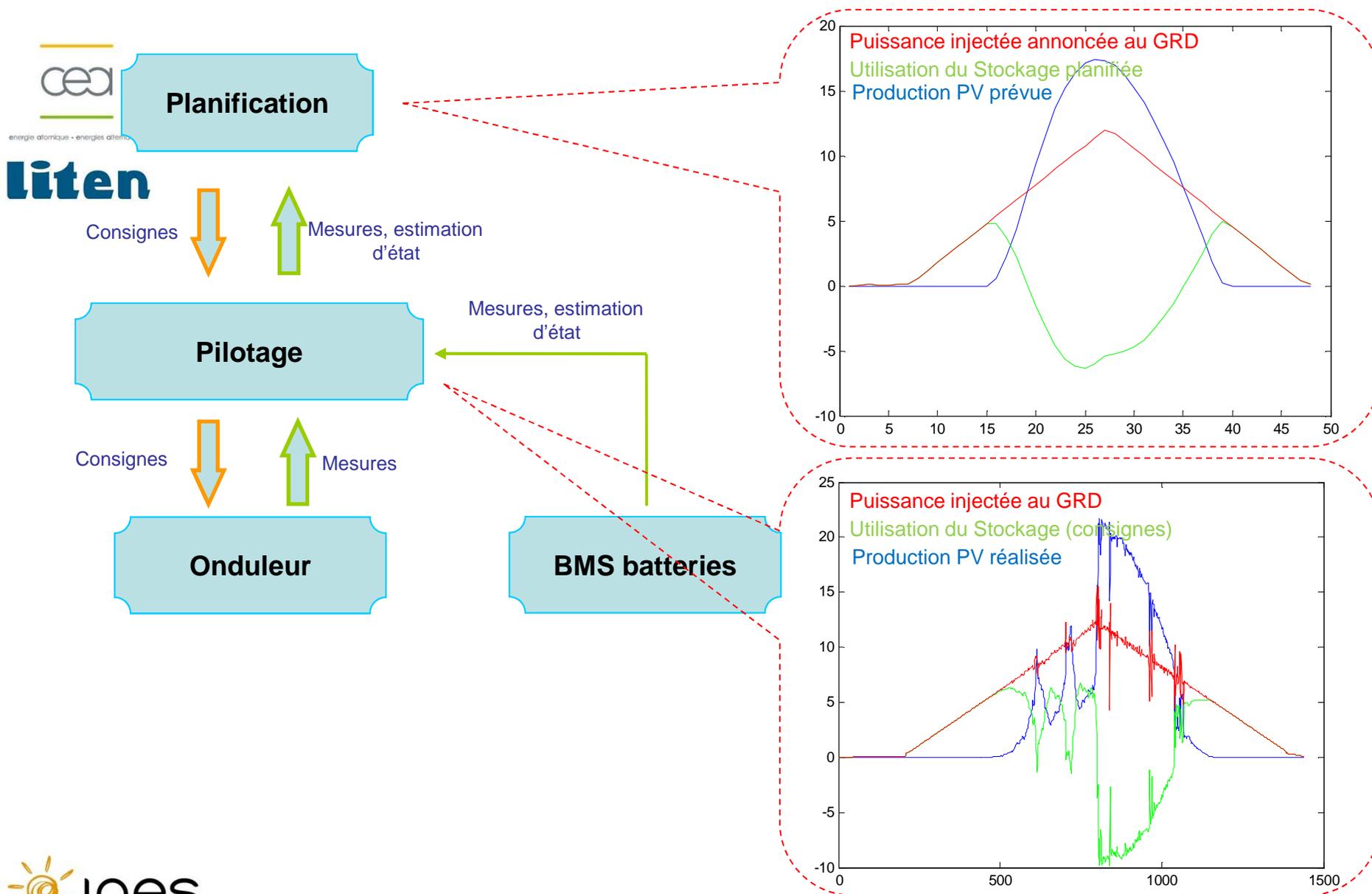
Stockage et prévision : vers le PV garanti



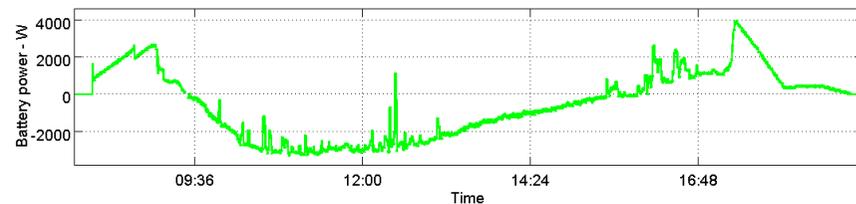
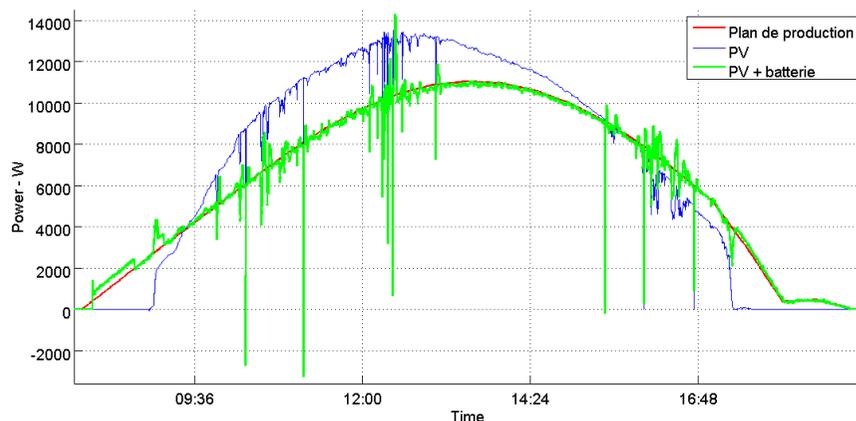
Objectif : vu du réseau ce système est comparable à n'importe quelle centrale électrique :

- Plan de production défini à l'avance
- Participation aux services systèmes

Gestion et pilotage du système



Test d'un système de stockage en mode PV garanti



Mesures PV garanti du 21/10/2010

- PV : 20 kW
- Stockage : 100 kWh / 15 kW

Fréquence d'échantillonnage: 1000

Chemin Ecriture Fichier: L:\STORE\Batterie Redox - Cellstrom\Supervision\FBC_data

Defaut ecriture fichier: état code, source

Exception ModBus:

Stop Execution V1: STOP

Objet de récupération des données batterie en temps réel pour son pilotage

Données temps réel

Etat de Charge: Batterie en décharge, Batterie en charge

SOC (%): 21,4

T Electrolyte (°C): 31,6

Puissance DC (kW): -8,76

Tension DC (V): 59

Courant DC (A): -148

Tension Max. de Charge (V): 62

Courant Max. de Décharge (A): 250

Etat de Marche: 0

Pointeur SOC: 01:33:21, 32,0455

Etat de Marche: RAS, Normal, Dysfonctionnement -> Opérations, Dysfonctionnement -> Système Coupé, Bouton Arrêt d'Urgence pressé, Batterie Chargée, Batterie Déchargée, Batterie en Surchauffe, Panneau Partie hydraulique Ouvert



Supervision du système de stockage