



# Photovoltaïque: Des prévisions météo aux prévisions de production



*a joint venture :*



## Carte d'identité

- Création en 2007
- Effectif : 15
- Actionnaires :



## Notre métier

- Proposer des services de prévision météo et courbes de charges au secteur Energie,
- Déployer des solutions de modélisation & prévision des risques & opportunités météo,
- Fournir des indicateurs d'impact météo,
- Accompagner les entreprises dans les diagnostics de météo-sensibilité.

## Notre offre dans l'énergie

- Services de prévision de charge,
- Analyses d'historiques,
- Quantification de l'impact météo,
- Services de prévision de productible EnR (éolien + PV + autres),

## Nos solutions Energie

- Logiciel DECIDE
- Service de trading
- Prévision EnR

## Participations



## Partenariats & Alliances

- Politique active & diversifiée



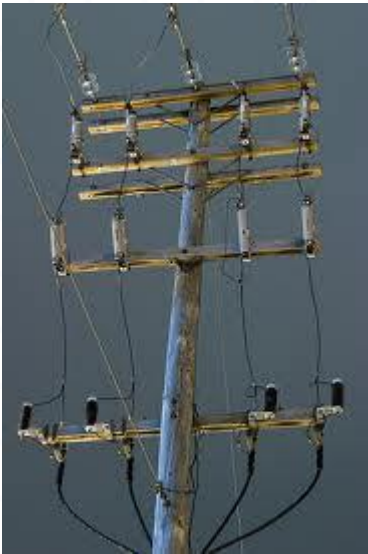


Les différentes problématiques de la prévision photovoltaïque

La prévision météorologique pour le PV: connaître son fonctionnement, et ses limites

Quels outils pour la prévision de productible PV aujourd'hui et demain...?

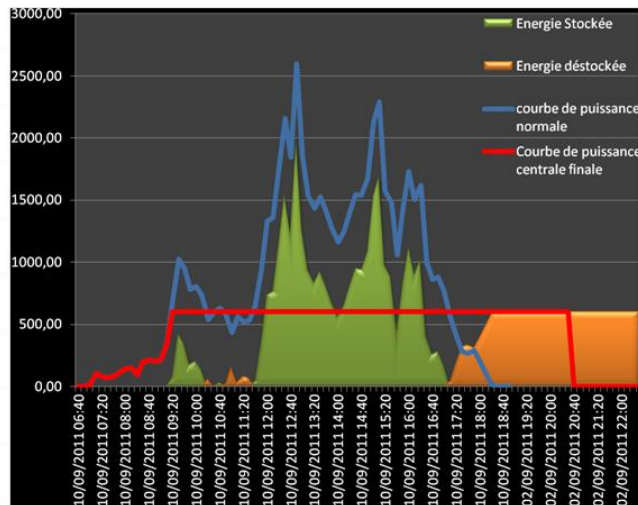
- Assurer l'équilibre offre-demande de son réseau



- Une énergie intermittente représente un aléa supplémentaire dans le système électrique
- Le gestionnaire doit pouvoir à tout moment répondre à la demande avec la même sécurité
- Il doit chercher aussi à réduire les coûts des réserves nécessaires pour pallier l'intermittence des productions EnR

- Le gestionnaire a un besoin impératif d'anticiper la production EnR sur son territoire

- Assurer la rentabilité financière de son installation
- Respecter les prévisions fournies au GRD/GRT pour éviter les pénalités financières (DOM-TOM)



Recours à des systèmes de stockage

- Préparer la sortie du tarif de rachat  
Vente sur le marché SPOT
- Optimiser les plages de maintenance de son parc

### ● Horizons de prévisions

#### ● Très court terme (pour l'exploitant qui optimise ses moyens de stockage):

- Pas de temps de quelques minutes
- Actualisation horaire

#### ● intra-day (exploitant, gestionnaire de réseau)

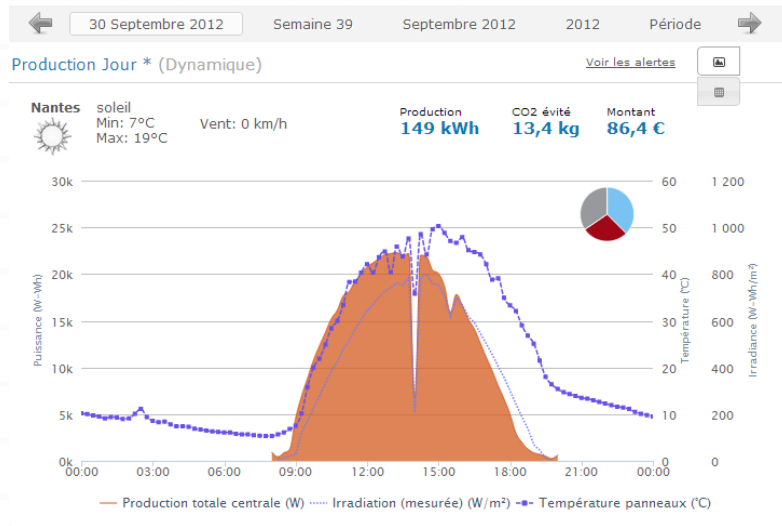
#### ● day-ahead (exploitant, gestionnaire de réseau)

### ● Echelle géographique souhaitée

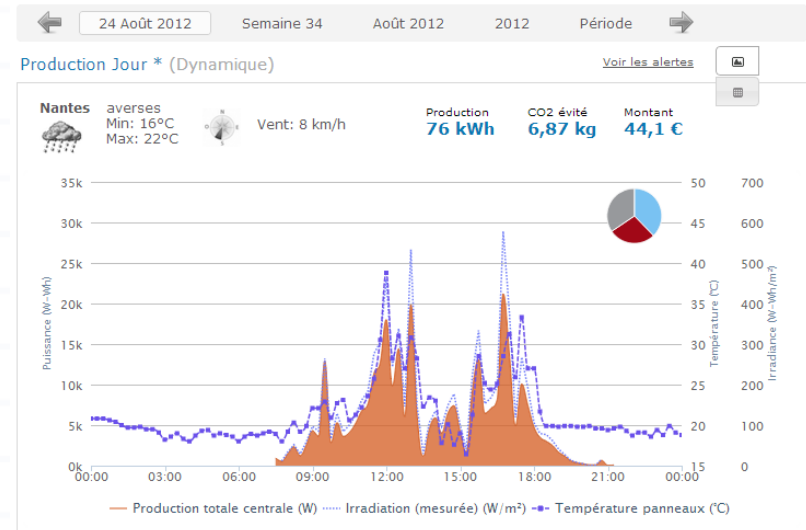
#### ● Sur l'ensemble d'un territoire pour un gestionnaire de réseau, mais avec une vision a minima régionale, voire au niveau local

#### ● Un besoin très local pour le producteur

- Les puissances produites sont très variables et très dépendantes de la météo



89,8 MWh - 8,09 T de CO2 - 52 104 €



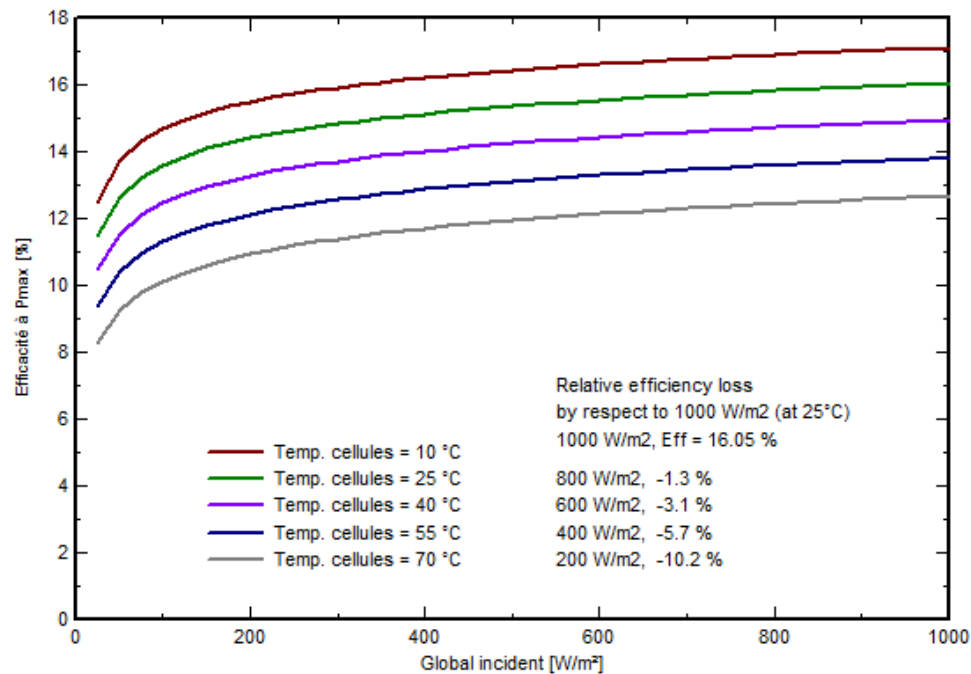
89,8 MWh - 8,09 T de CO2 - 52 104 €





- Les rendements de machines dépendent aussi de la météo...

Module PV: Suntech, STP 260S-20/Wd



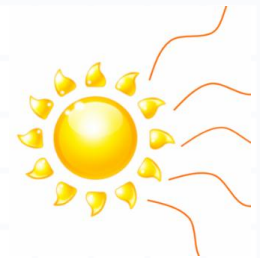
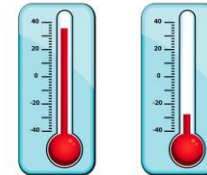
(source GBSOLAR)





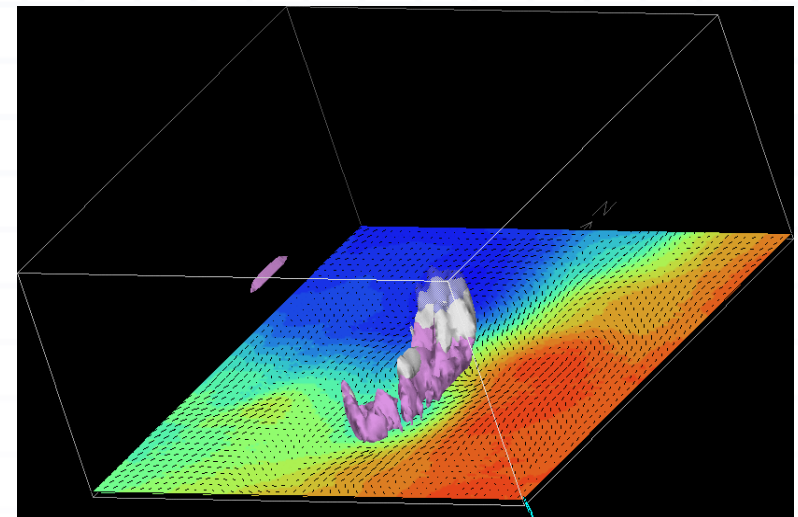
- 3 paramètres météorologiques sont majeurs pour la production d'électricité photovoltaïque:

- La nébulosité (=les nuages)
- Le rayonnement (global? Direct? Diffus)
- La température

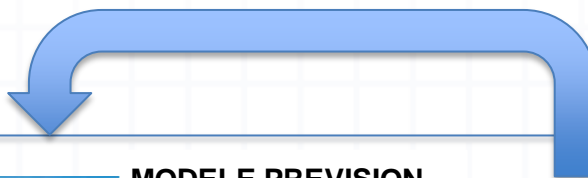


- D'autres paramètres peuvent jouer, de manière moins directe:
  - Le vent
  - La pluie
  - La neige.....

- L'enjeu majeur de la prévision de production PV est la prévision météorologique associée.
- C'est un challenge pour les météorologues car prévoir les nuages est beaucoup plus difficile que de prévoir une température moyenne!
- Pourquoi?
  - la genèse d'un nuage fait intervenir un très grand nombre de processus physiques (et chimiques) complexes
  - La prévision dépend de ce qu'il se passe sur l'ensemble de la planète, et sur une bonne partie de l'atmosphère



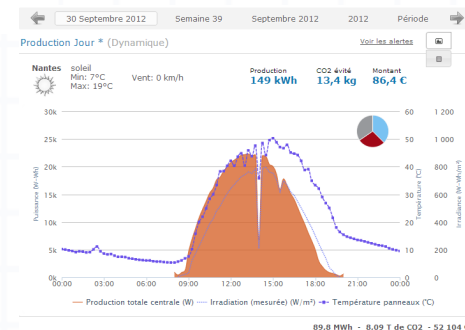
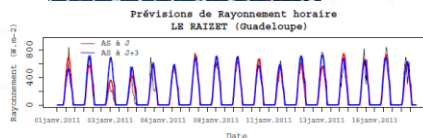
- Utilisation des données temps réel pour actualiser les prévisions



**MODELE DESCENTE D ECHELLE**



**MODELE PREVISION PRODUCTION**



**Prévisions météo point de grille**

**Prévisions météo locales**

**Prévisions de productible**

- Utilisation de prévisions météorologiques (modèles)
- Utilisation de données satellites
- Utilisation d'images caméra
- Utilisation de mesures locales météorologiques (modèles)
- Utilisation des productions réalisées



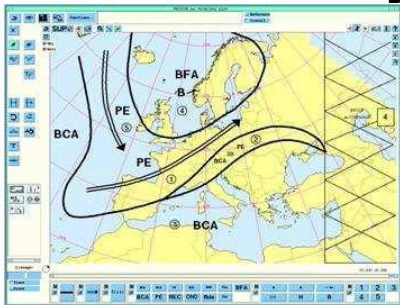
Les différentes problématiques de la prévision photovoltaïque

La prévision météorologique pour le PV: connaître son fonctionnement, et ses limites

Quels outils pour la prévision de productible PV aujourd'hui et demain...?

# La prévision météo

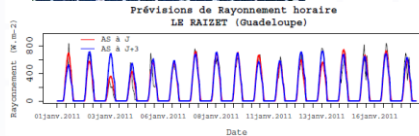
## MODELE DESCENTE D ECHELLE



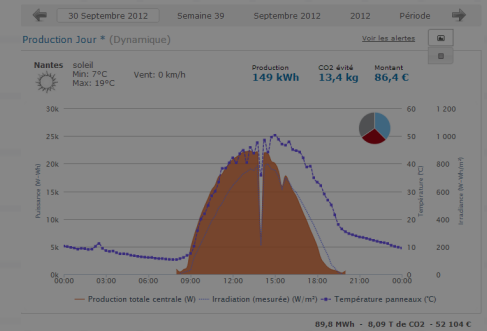
Prévisions météo point de grille



## MODELE PREVISION PRODUCTION



Prévisions météo locales



Prévisions de productible

a joint venture :

- De manière générale, la prévision numérique consiste à ***simuler sur un ordinateur l'évolution de l'atmosphère de manière réaliste*** et surtout plus vite qu'elle ne se déroule dans la réalité!
- Cette simulation repose sur les lois physiques qui gouvernent l'évolution de l'atmosphère, lois qui mathématiquement parlant ne possèdent pas de solutions.
  - Recherche de solutions approchées
  - Recours à la discrétisation (calcul de proche en proche), à l'analyse numérique [maillage]
- Ces équations sont complétées par d'autres processus présents dans l'atmosphère, qui sont paramétrés dans les modèles (changements d'état de l'eau, turbulence,...)



### Un état initial

### Des équations

### Un supercalculateur

$$\frac{\partial Z(x, t)}{\partial t} = A[Z(x, t)]$$

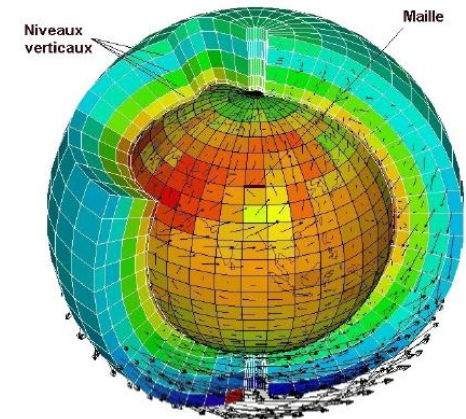
de l'atmosphère

de l'océan

de la végétation

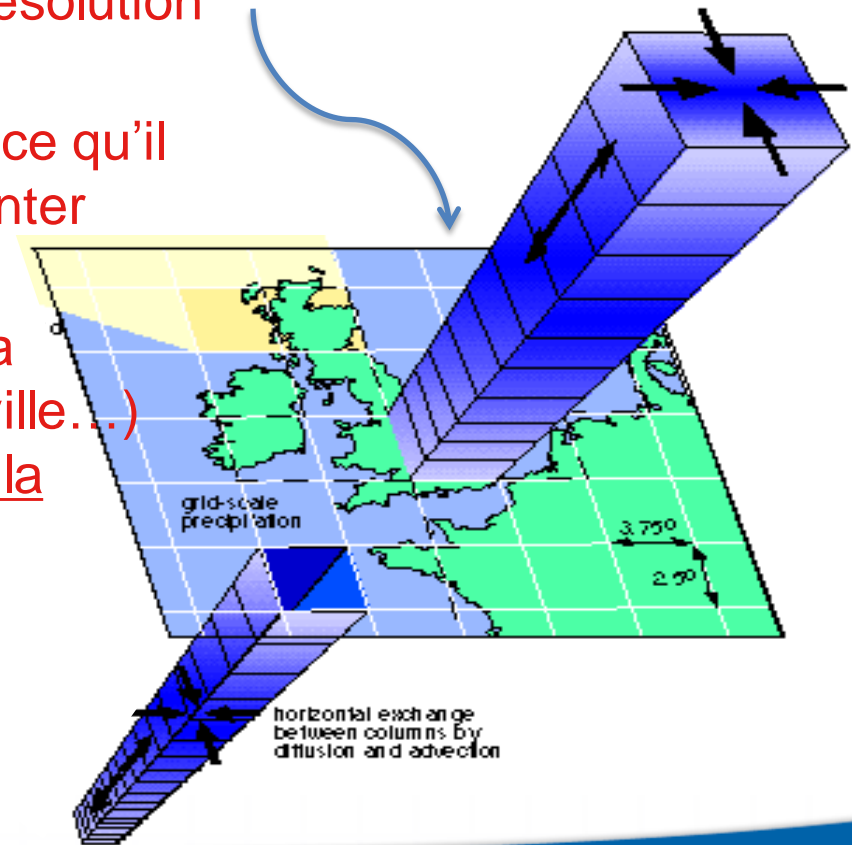


### Des prévisions sur le globe

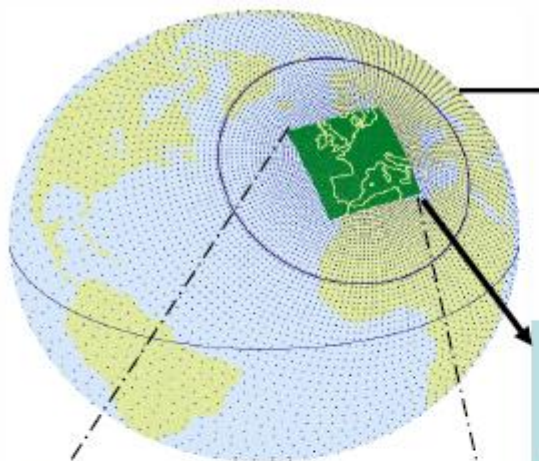




- Limite # 1 - La prévision est faite sur des mailles
  - La taille des mailles est la résolution du modèle
  - De cette résolution dépend ce qu'il va être possible de représenter dans le modèle
  - Les informations d'état de la surface (relief, végétation, ville...) sont toutes moyennées sur la maille.

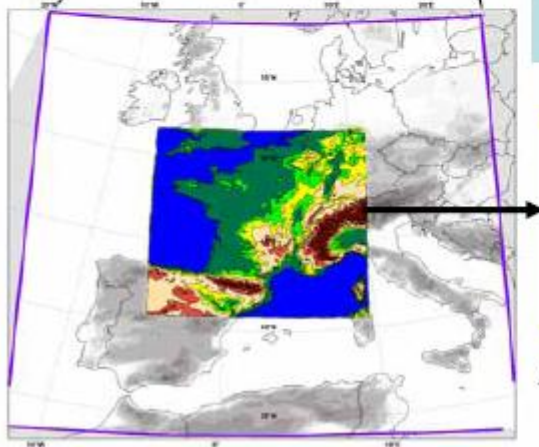


- Descente d'échelle par emboitements successifs de différents modèles:



### Modèles globaux (CEP, ARPEGE, GFS, ...)

Résolution 25km, 16km, 10km, ...  
Prévisions allant jusqu'à J+4, J+14

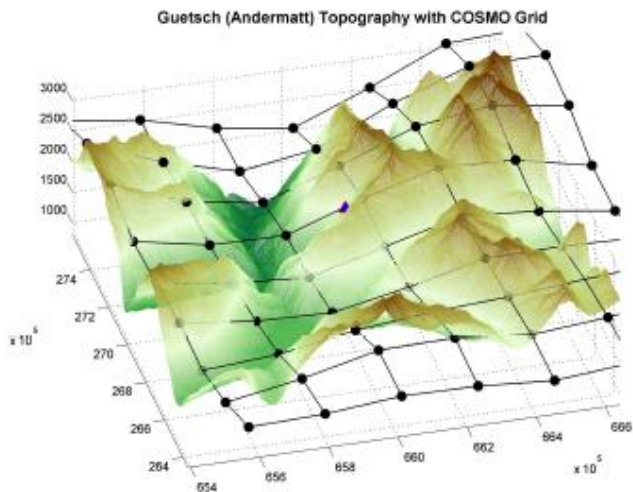


Couplage

### Modèle métropole (AROME)

Résolution **2 km**,  
prévision orientée vers les échéances  
inférieures à 24 heures

- En mettant en regard des historiques de prévisions et des historiques de mesures locales, on peut affiner les prévisions au niveau du parc (de manière statistique)



Modèle statistique



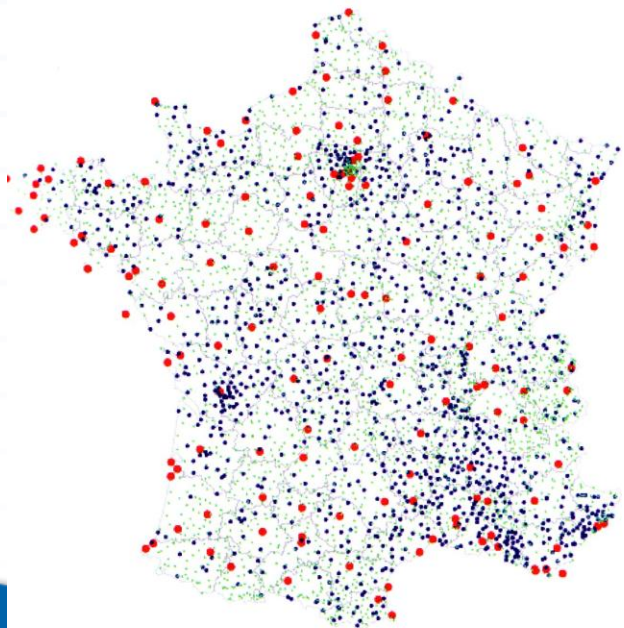
**METNEXT**  
DECIDE



Prévisions de rayonnement (global),  
prévisions de température, prévisions  
de vent, ....

Températures mesurées (modules),  
production réalisée

- Limite # 2 – La prévision est dépendante de l'état initial
- Cet état initial est construit à partir des mesures de toutes sortes.
  - Il existe de véritables « déserts » de mesures (en partie comblés par les satellites)
  - La mesure en elle-même comporte une incertitude

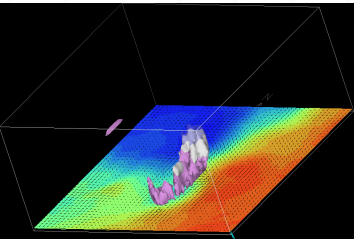
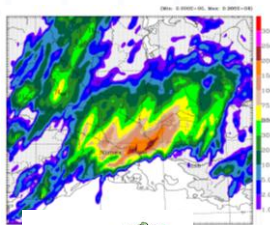
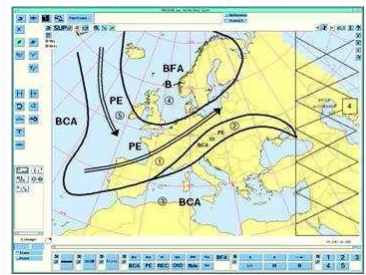
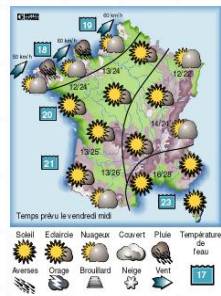
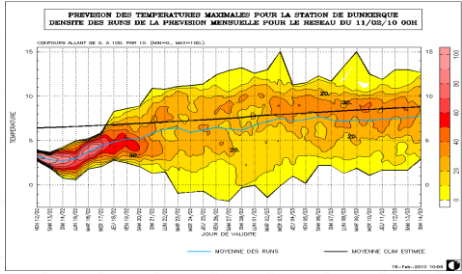
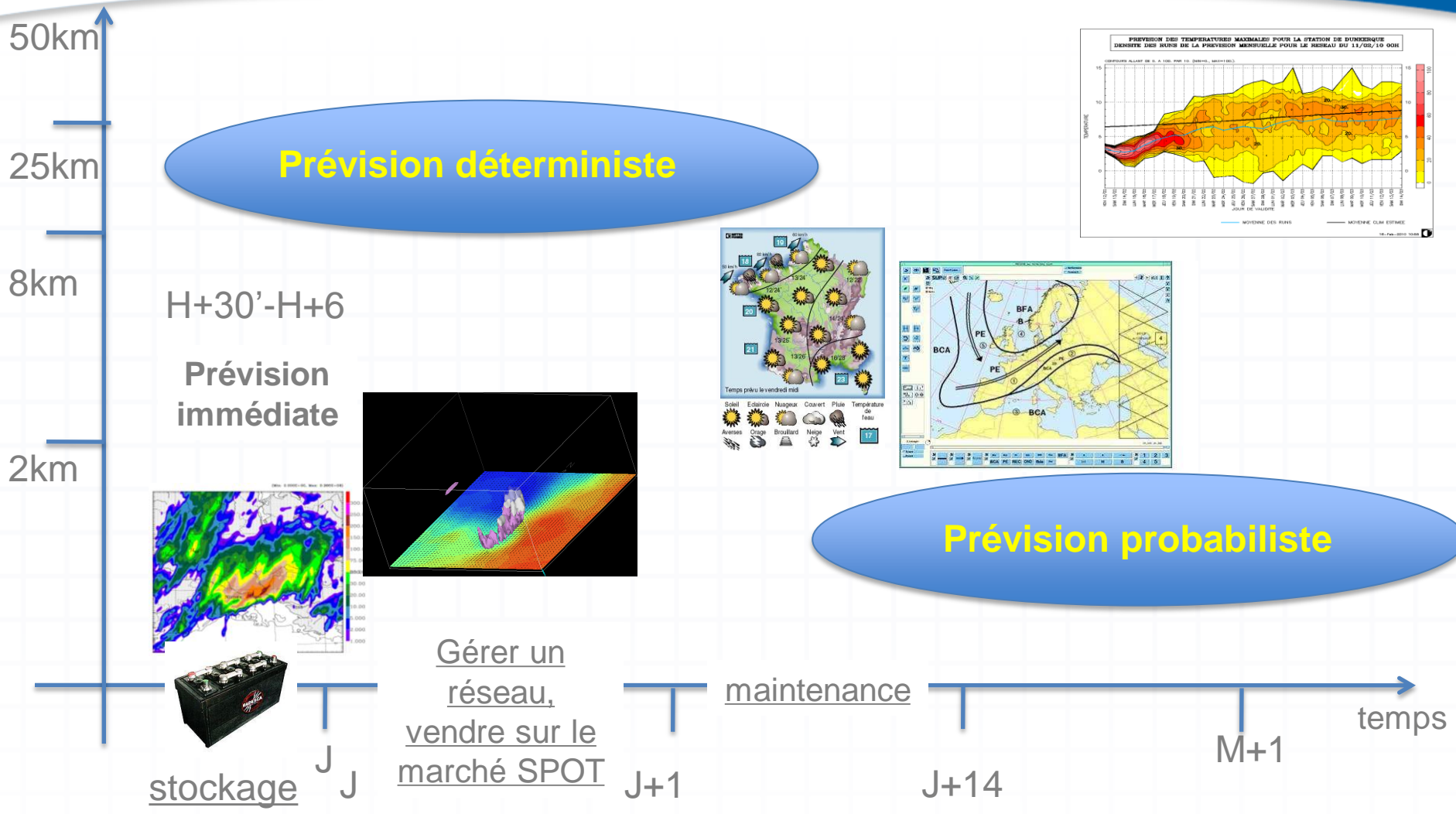




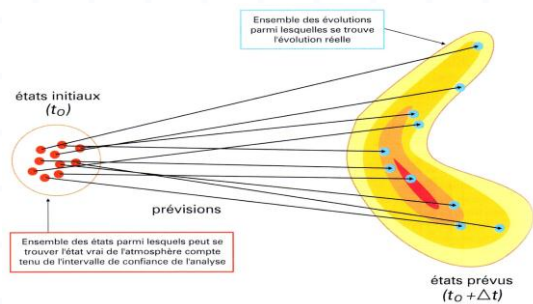
- Limite # 3 – La finesse de la prévision dépend des processus physiques qui sont représentés dans le modèle
  - La formation des nuages n'est pas représentée dans tous les modèles. Elle est le plus souvent paramétrée, donc très simplifiée (et mal prévue dans sa localisation, dans son cadencement)
  - Seuls les modèles de dernière génération permettent de simuler la formation de cellules convectives



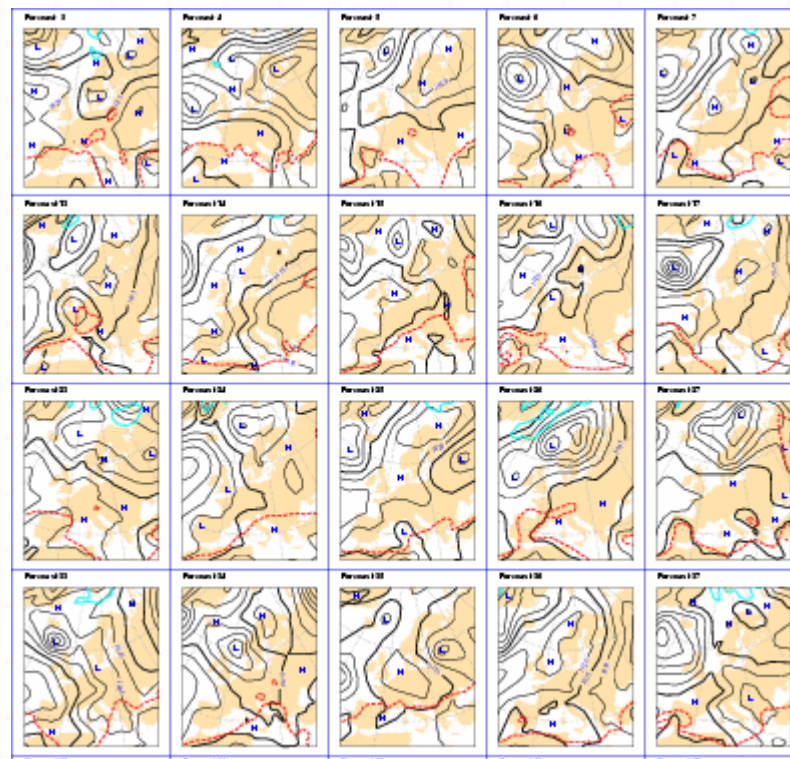
# 2- La prévision météo connaître les différents produits, les différentes sources



- Quantifier l'incertitude, c'est fournir en plus de la prévision son intervalle de confiance



### Etape 1 - Perturbation de l'état initial

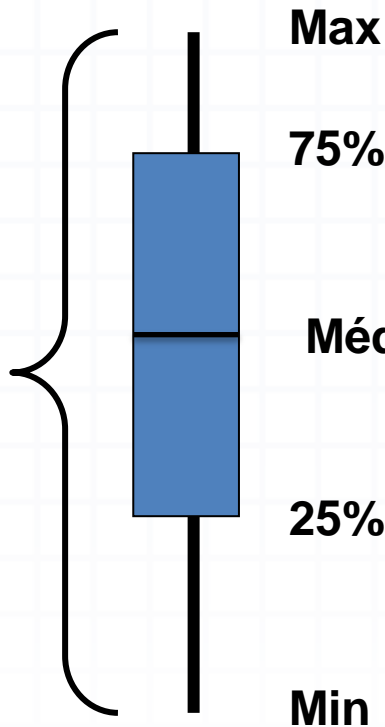


### Etape 2- production de 51 scénarios de prévisions (ici un extrait)

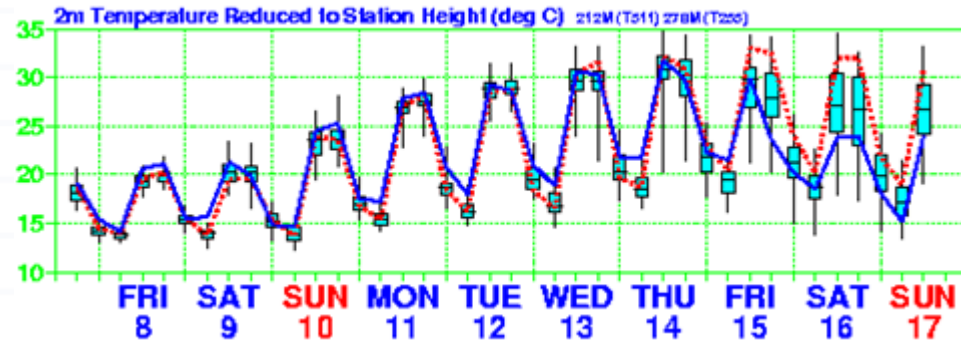


## Etape 3 – Construction de l'intervalle de confiance

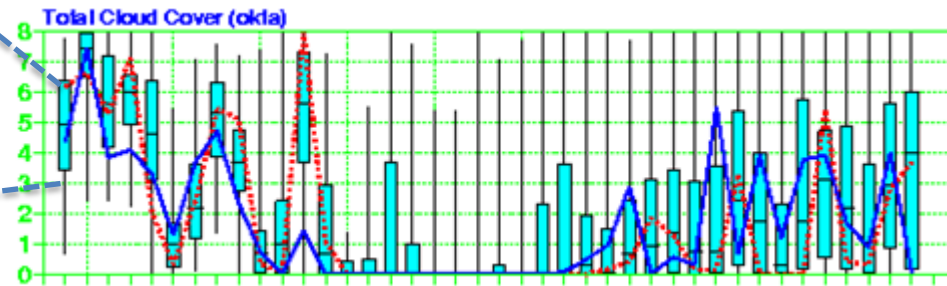
51 runs



Exemple sur la température



Exemple sur la nébulosité



- Tous les paramètres n'ont pas la même prévisibilité !

Température:  
bien prévu



Horizons exploitables : H+1 → J+10

Rayonnement:  
relativement  
bien prévu



Horizons exploitables : H+1 →  
J+1...(J+3)

Horizons exploitables : H+24

Nébulosité,  
durée  
d'ensoleillement:  
Très mal prévu



- La prévision météorologique n'est pas parfaite à 100%
  - Il y a des sources d'incertitudes diverses (mesure, maille, simplification des processus physiques...)
- Faire de la prévision de production PV, c'est donc :
  - Accepter ... de se tromper
  - Utiliser les meilleures prévisions possibles, les plus adaptées aux besoins (selon le périmètre, selon l'horizon)
  - Travailler de préférence avec des paramètres prévisibles...
  - Et surtout quantifier l'incertitude de la prévision pour en tenir compte dans son plan de production



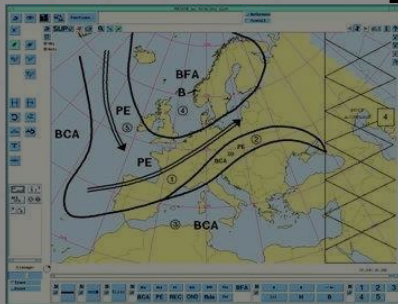
Les différentes problématiques de la prévision photovoltaïque

La prévision météorologique pour le PV: connaître son fonctionnement, et ses limites

Quels outils pour la prévision de productible PV aujourd'hui et demain...?

# La prévision de productible

## MODELE DESCENTE D ECHELLE

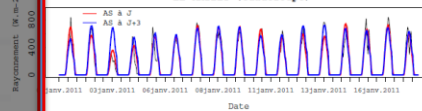


Prévisions météo point de grille

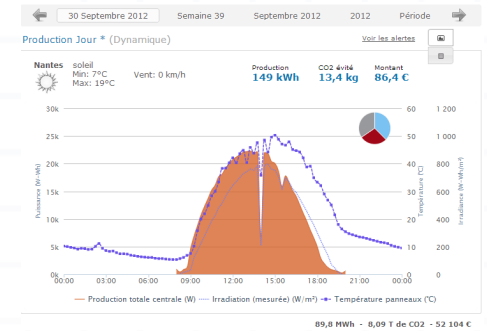


## MODELE PREVISION PRODUCTION

Prévisions de Rayonnement horaire LE RAIZET (Guadeloupe)



Prévisions météo locales



Prévisions de productible

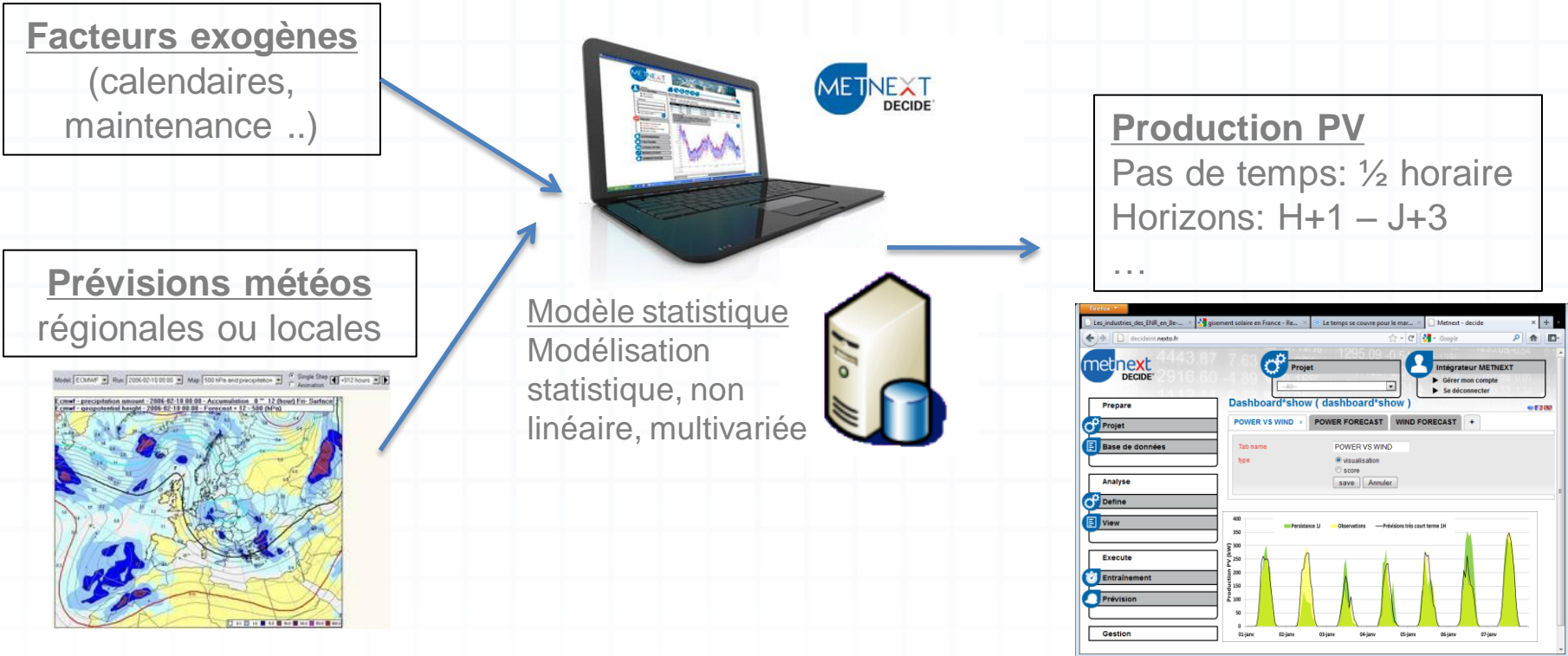
a joint venture :

- Etant donné:
  - Les contraintes des producteurs
  - Les besoins du gestionnaire
  - Les limites de la prévision météorologique
- La question à se poser est de savoir quels sont les livrables les plus informatifs à fournir aujourd'hui pour répondre à ces attentes diverses.

- Il existe 3 écoles pour faire de la prévision de production
  - **L'école physique**
    - Dont un des inconvénients majeurs est que tous les paramètres nécessaires ne sont pas fournis par les modèles de prévision météo
  - **L'école statistique**
    - Dont un des inconvénients majeurs est que cela nécessite d'avoir un long historique de mesures
  - **L'école qui concilie les 2 approches, qui peuvent être très complémentaires**
- La prévision de production PV est moins mature que la prévision de production éolienne.
  - **Les solutions actuelles du marché sont perfectibles**



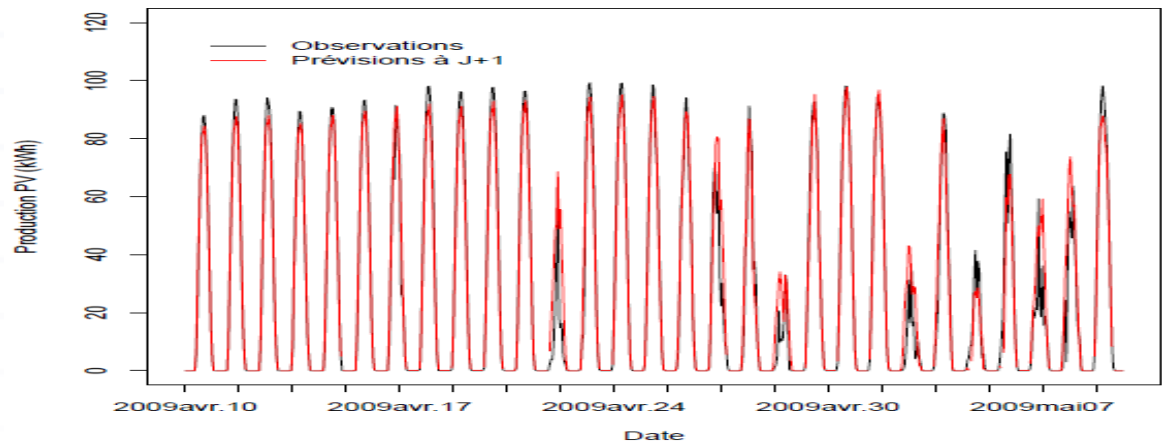
- L'outil statistique traduit l'information météorologique en production



- Livrable #1: la prévision de la courbe de charge
  - Prédiction de la production (ici, puissance moyenne sur 30mn)
  - Horizons : H-H+6 (prévisions Très Court Terme), J, ou J+1 (Court Terme)



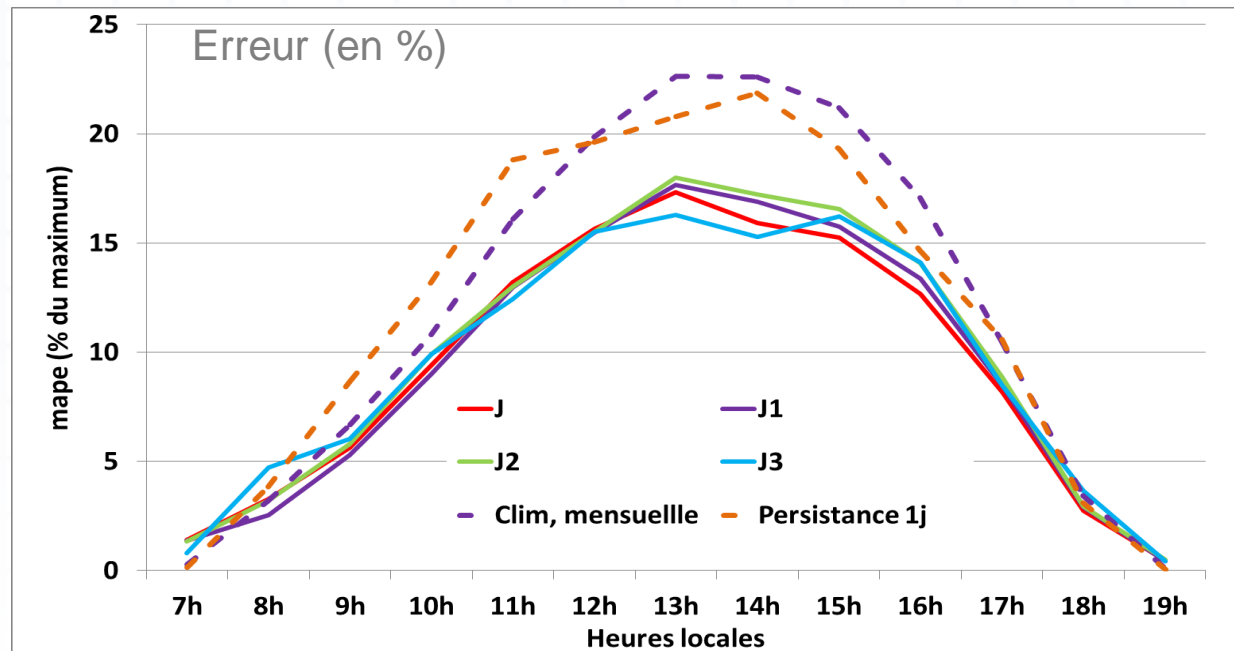
Utiliser le réalisé pour actualiser la prévision TCT permet de réduire de 30% l'erreur



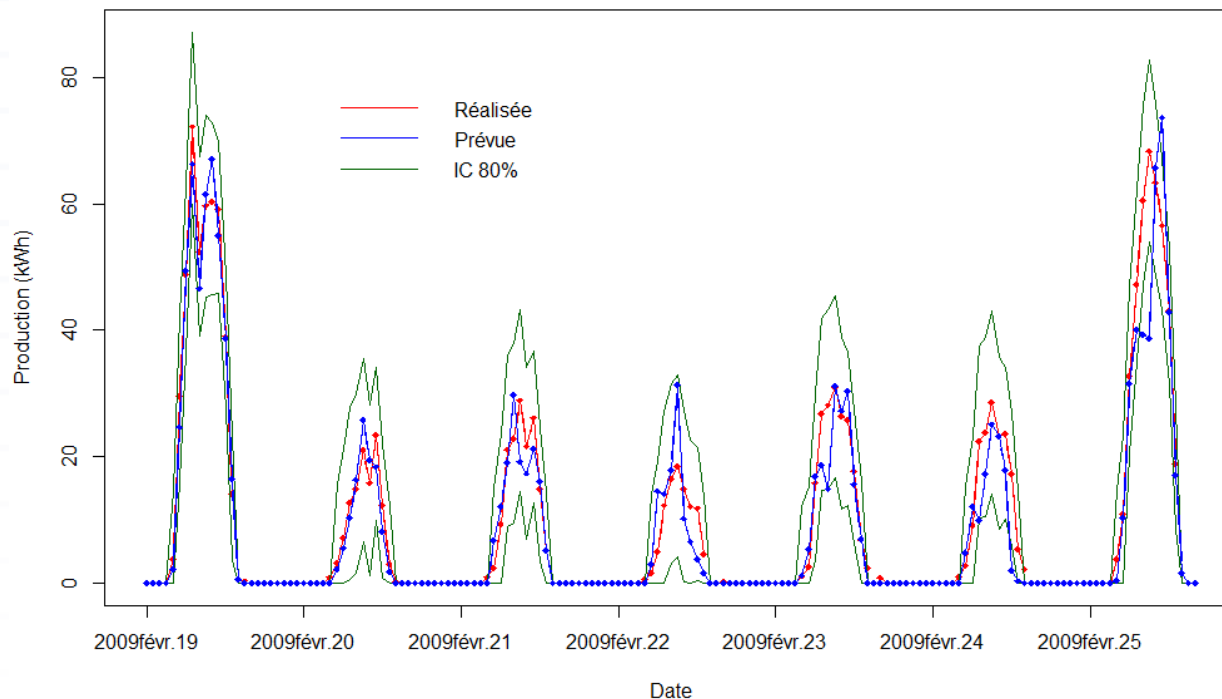
- Livrable #2: le score de prévision
  - Erreur (%) par rapport au réalisé (relative au max observé)
  - Comparaison à d'autres techniques de prévision:
    - Persistance (« ma production est égale à la production de la même heure la veille »)
    - climatologie



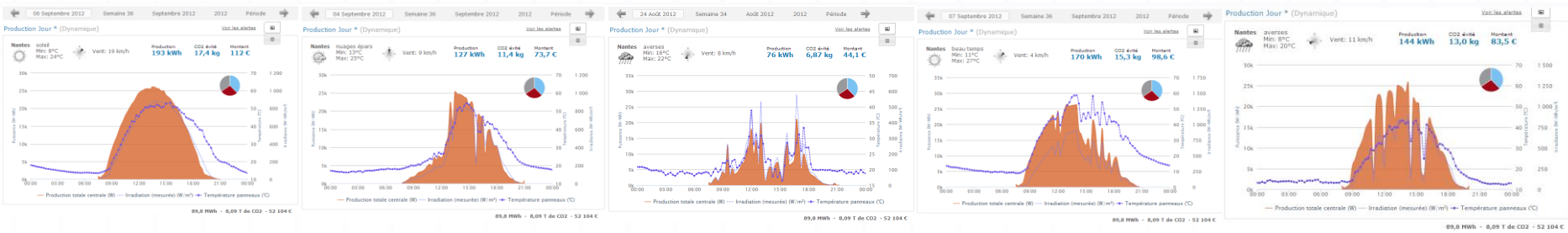
Prévoir une quantité d'énergie sur la journée permet de réduire de 20% l'erreur



- Livable #3: l'intervalle de confiance.
  - Celui-ci donne une indication complémentaire sur l'incertitude de la prévision annoncée et est une aide à la décision indéniable.



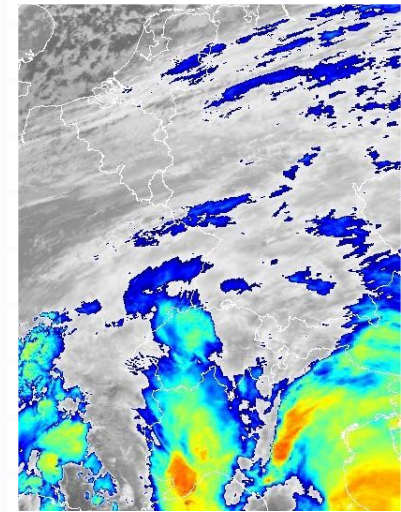
- Livrable #4: la probabilité d'être dans une classe de nébulosité/production
  - Ciel clair
  - Nuageux le matin
  - Nuageux toute la journée
  - Nuageux l'après-midi
  - Temps de traîne (intermittence)



- L'amélioration des outils de prévision très court terme

- **L'exploitation des images satellites**

- Des produits de prévision immédiate existent mais sont aujourd'hui exploités exclusivement par les météorologues pour des besoins de sécurité des biens et des personnes
- Ces produits sont basées soit sur de l'image satellite, soit sur de la donnée radar



- **L'exploitation des images au sol (caméra)**

- Actuellement à l'état de recherche





- Les besoins en matière de prévision sont divers
  - Par leur horizon, leur granularité
- Ils sont conditionnés par la prévision météorologique
  - Qui est incertaine, et en particulier pour les paramètres liés à la nébulosité
- La prévision livrée doit être assortie de son intervalle de confiance
- Etant donné les limites actuelles des prévisions météorologiques, il vaut parfois mieux être moins précis mais plus fiable
  - Prévision de la probabilité d'appartenance à des régimes de production
  - Prévision d'une quantité d'énergie

- Les outils de prévision sont aujourd'hui perfectibles
  - **En travaillant en amont sur la prévision météorologique**
    - Sur les schémas radiatifs des modèles de prévision
    - Sur l'adaptation des prévisions aux effets locaux grâce à la mesure
  - **En travaillant sur les modèles de prévision**
    - En jouant la complémentarité entre modèles statistiques et physiques pour mieux prendre en compte certains processus (ombrage par exemple)

- Les équipes de METNEXT sont à votre disposition pour répondre à vos besoins alors n'hésitez pas à nous contacter!

Sophie MOREL  
Directrice des Etudes  
[Sophie.morel@metnext.com](mailto:Sophie.morel@metnext.com)  
Tel: 06 76 93 06 70

Damien VAILLE-BRUNET  
Ingénieur commercial  
[Damien.vaille-brunet@metnext.com](mailto:Damien.vaille-brunet@metnext.com)  
Tel: 06 37 01 62 79

