

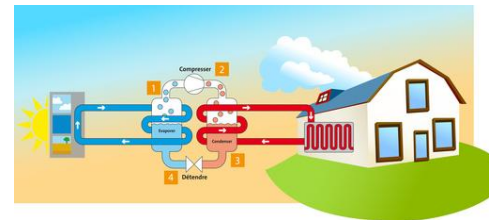
EDF: Le changement climatique c'est maintenant



Climat et fourniture d'électricité

Le climat est une donnée essentielle de l'équilibre Production-Consommation

- Production nucléaire ou thermique à flamme → niveau et température des rivières, température de l'air
- Production hydraulique → régimes de pluie, fonte des neiges et des glaciers,
- Production éolienne → régimes de vents
- Production solaire → nébulosité
- Courbes de consommation → températures



Climat et fourniture d'électricité

Le climat est une donnée essentielle de l'équilibre Production-Consommation y compris dans sa dimension Événements extrêmes

- Crues, étiages → centrales nucléaires et thermiques, production hydraulique
- Vents violents et tempêtes → centrales nucléaires et thermiques, parcs éoliens, réseaux
- Parfois très localisés



La Loire à Grangent, novembre 2008.



Centrale de Fort Kalhoun (Nabraska).

Épisode de « neige collante »



Tempête de 99.



Climat et fourniture d'électricité

Le climat est une donnée essentielle de l'équilibre Production-Consommation y compris dans sa dimension Evénements extrêmes

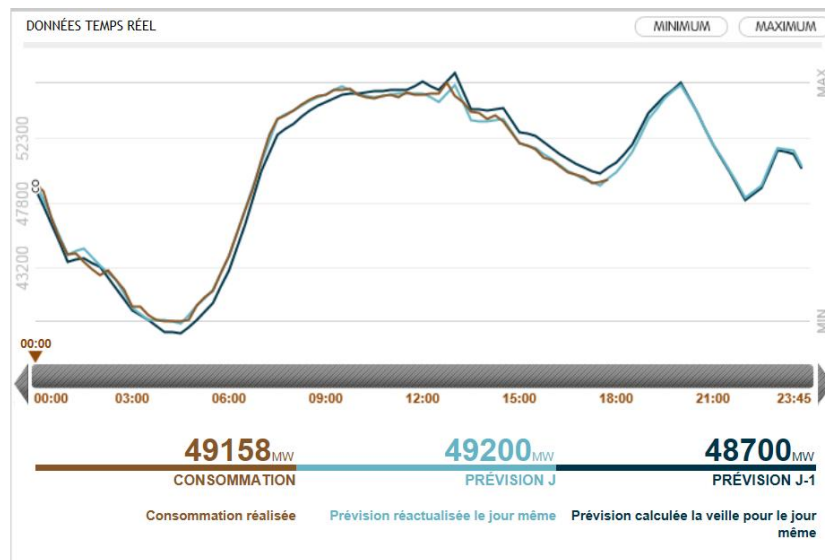
- Et pas seulement au plan théorique

Year	Country	Extent & Impact
2003	Italy	55 million people without electricity after heavy temperatures caused a higher demand and grid failure
2005	Germany	250 000 people were without electricity after heavy snowfall and damage to lines
2007-08	China	Heavy snowfall temporarily paralyzed the electricity distribution system
2010	France	Xynthia Storm, 1.3 million temporarily without electricity
2011	Ireland	1 200 people without electricity after heavy rain and flooding on 27 October 2011
2012	India	Power outage concerns 700 million people over several days. due to a mix of lower monsoon rainfall, lowered hydroelectric production capacity and too much abstraction for irrigation
2012	US	On 29 October 2012, Sandy caused almost 10 millions households to be without electricity for up to 13 days
2013	US	Prolonged drought impacts on water availability for hydropower and thermal cooling
2014	Brazil	Prolonged drought challenges water availability for hydropower production in a country that relies on hydro for 70% of its electricity



Changement climatique et énergie

- Les conditions climatiques sont intégrées
 - au dimensionnement des installations dans les dimensions sûreté et prévisions de production
 - dans la modélisation de la demande



- dans la préparation à la crise

Le changement c'est demain

Atlantic region

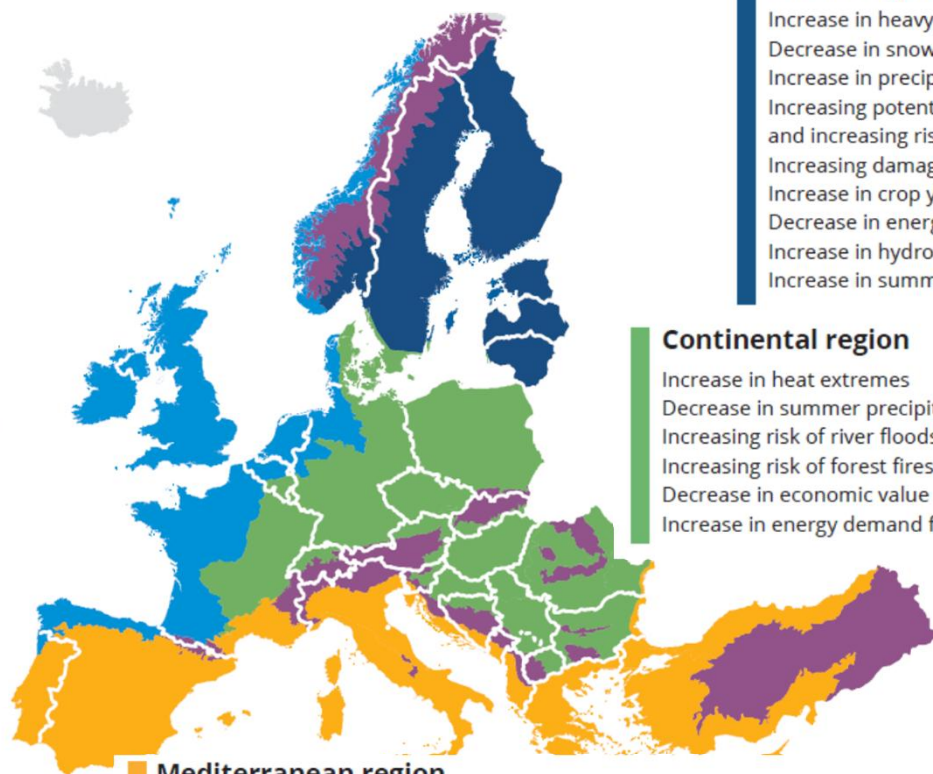
- Increase in heavy precipitation events
- Increase in river flow
- Increasing risk of river and coastal flooding
- Increasing damage risk from winter storms
- Decrease in energy demand for heating
- Increase in multiple climatic hazards

Coastal zones and regional seas

- Sea level rise
- Increase in sea surface temperatures
- Increase in ocean acidity
- Northward migration of marine species
- Risks and some opportunities for fisheries
- Changes in phytoplankton communities
- Increasing number of marine dead zones
- Increasing risk of water-borne diseases

Mountain regions

- Temperature rise larger than European average
- Decrease in glacier extent and volume
- Upward shift of plant and animal species
- High risk of species extinctions
- Increasing risk of forest pests
- Increasing risk from rock falls and landslides
- Changes in hydropower potential
- Decrease in ski tourism



Boreal region

- Increase in heavy precipitation events
- Decrease in snow, lake and river ice cover
- Increase in precipitation and river flows
- Increasing potential for forest growth and increasing risk of forest pests
- Increasing damage risk from winter storms
- Increase in crop yields
- Decrease in energy demand for heating
- Increase in hydropower potential
- Increase in summer tourism

Continental region

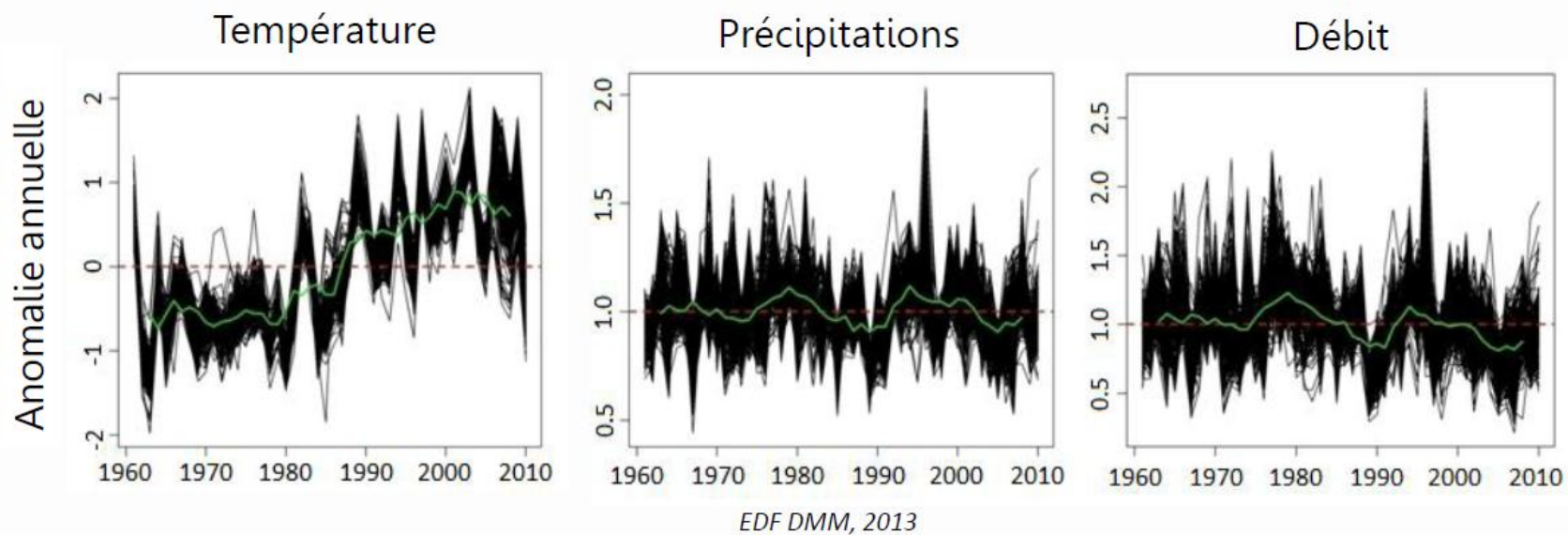
- Increase in heat extremes
- Decrease in summer precipitation
- Increasing risk of river floods
- Increasing risk of forest fires
- Decrease in economic value of forests
- Increase in energy demand for cooling

Mediterranean region

- Large increase in heat extremes
- Decrease in precipitation and river flow
- Increasing risk of droughts
- Increasing risk of biodiversity loss
- Increasing risk of forest fires
- Increased competition between different water users
- Increasing water demand for agriculture
- Decrease in crop yields
- Increasing risks for livestock production

- Increase in mortality from heat waves
- Expansion of habitats for southern disease vectors
- Decreasing potential for energy production
- Increase in energy demand for cooling
- Decrease in summer tourism and potential increase in other seasons
- Increase in multiple climatic hazards
- Most economic sectors negatively affected
- High vulnerability to spillover effects of climate change from outside Europe

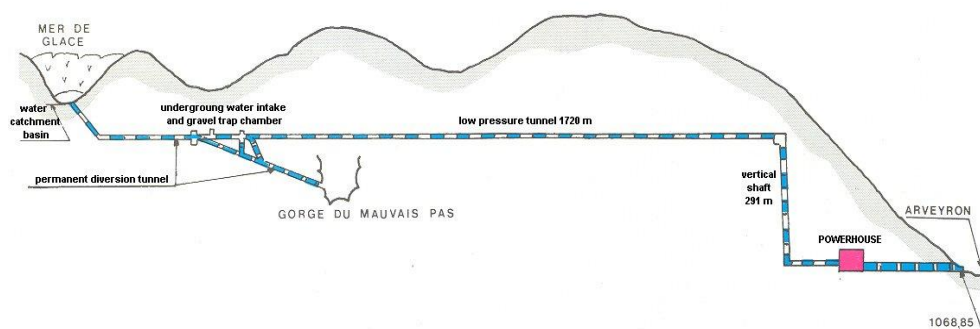
Le changement, c'est maintenant



Le changement, c'est maintenant

Exemple 1:
Centrale des Bois (Haute Savoie): 40MW

Profil en long

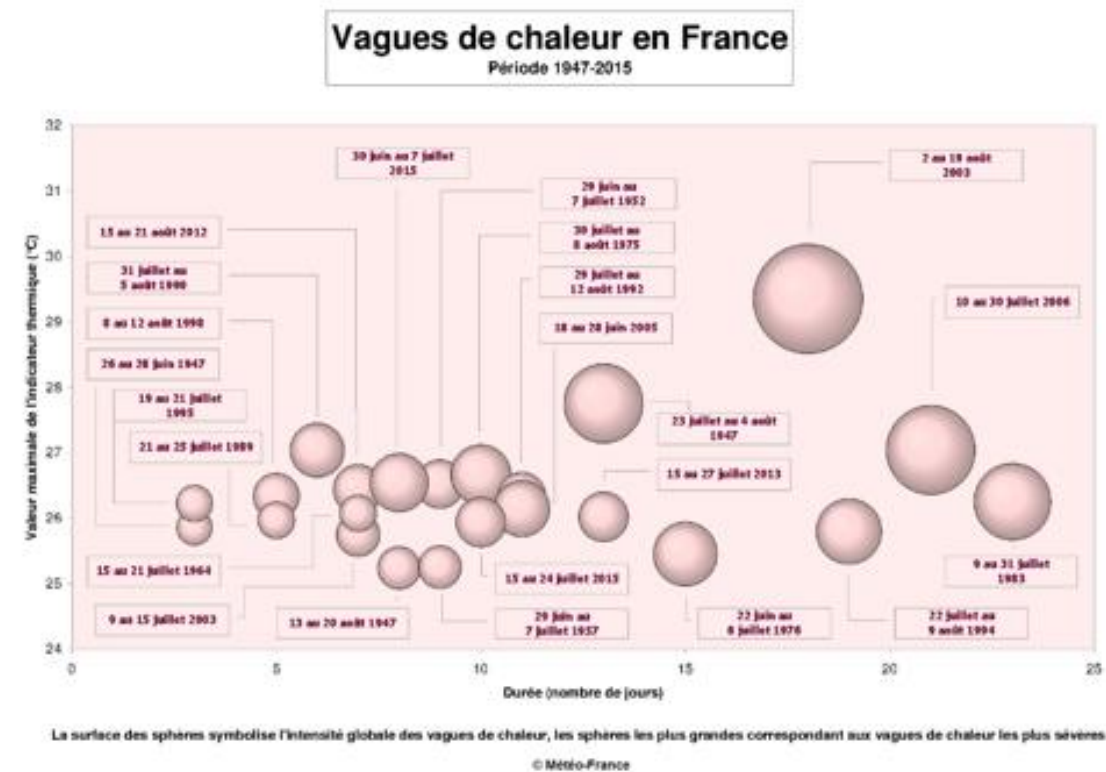


Le changement, c'est maintenant

Cas extrême 2: Canicule de 2003

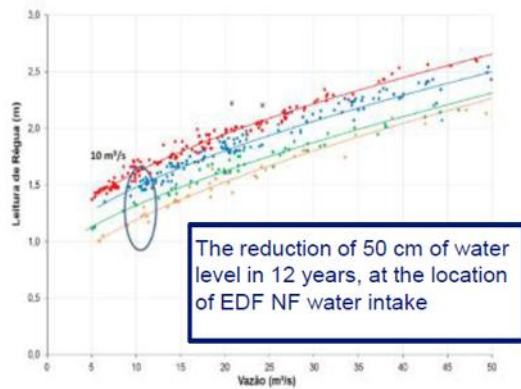
- **Températures élevées**
 - Des rivières → rendement des centrales thermiques et nucléaires
 - Des rivières → limites de rejet des centrales thermiques et nucléaires
 - De l'air → impact de la climatisation sur la consommation
 - De l'air → températures dans les locaux techniques
- **Niveau d'eau des rivières**
contraintes de partage de l'eau → stress sur le productible hydraulique

Pertes cumulées sur l'été 2003
5,5 TWh
Soit 5,5% de la production annuelle



Le changement, c'est maintenant

Cas extrême 3: Norte Fluminense (Brésil): 826 MW



- Macao River: multi usages de l'eau,
- Phénomènes d'érosion des berges, d'envasement,
- Cinq années de sécheresse successives,
- En 12 ans, baisse du niveau de la rivière de 50cm au niveau de la prise d'eau
 - → des dispositifs de pompage complémentaires
 - → entrainement de sable → colmatage des filtres → perte de rendement et de productible
- → des dispositifs de pompage complémentaires
- → mise en place de dispositifs de collecte des eaux de pluie (2% du besoin du site)

Cas du nucléaire

Safety first - 1

Les événements climatiques extrêmes sont intégrés comme agressions externes au même titre que séisme, incendie... et font donc partie des ré examens de sûreté.

Vents extrêmes: selon l'échelle de Fujita ...

Projectiles générés par les vents extrêmes (PGVE): planches, tôles et projectiles plus gros (automobiles...)

Inondations: protections contre les crues, les arrivées d'eau de la nappe phréatique

Grands froids: -15° sur une longue période, $-x^{\circ}$ sur une semaine, $-y^{\circ}$ sur quelques heures

Grands chauds: REX épisode 2003, revue du dimensionnement

Cas du nucléaire

Safety first - 2

Les événements climatiques extrêmes sont intégrés comme agressions externes au même titre que séisme, incendie....
et font donc partie des ré examens de sûreté.

Phénomènes conduisant à la perte de la source froide:

- Colmatants d'origine végétale, animale...
- Enablement, envasement
- Gel avec couvert de glace
- Frasil,
- Étiage

→ Revue de conception de chaque prise d'eau depuis 2010 et améliorations induites

→ Suivi de l'évolution des milieux naturels en amont des sites

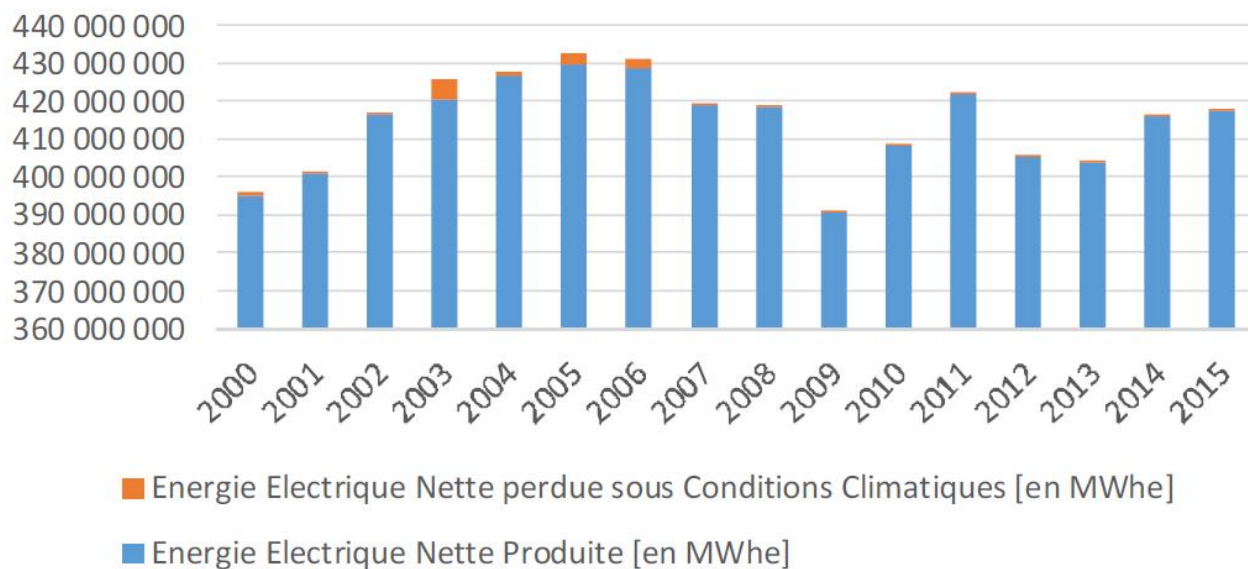
Cas du nucléaire

Maintenir le productible

Le REX des événements passés: vague de froid 1985, tempête 1999, canicule 2003, ... est intégré

Energies nettes du Parc de production nucléaire français

Analyse de sensibilité aux conditions climatiques particulières



Année	Part d'Énergie Électrique nette perdue sous Conditions Climatiques particulières [en % de l'Énergie Électrique nette produite]
2000	0,27
2001	0,05
2002	0,02
2003	1,28
2004	0,22
2005	0,63
2006	0,50
2007	0,00
2008	0,02
2009	0,02
2010	0,03
2011	0,10
2012	0,04
2013	0,04
2014	0,02
2015	0,16
Total 2000-2015	0,22

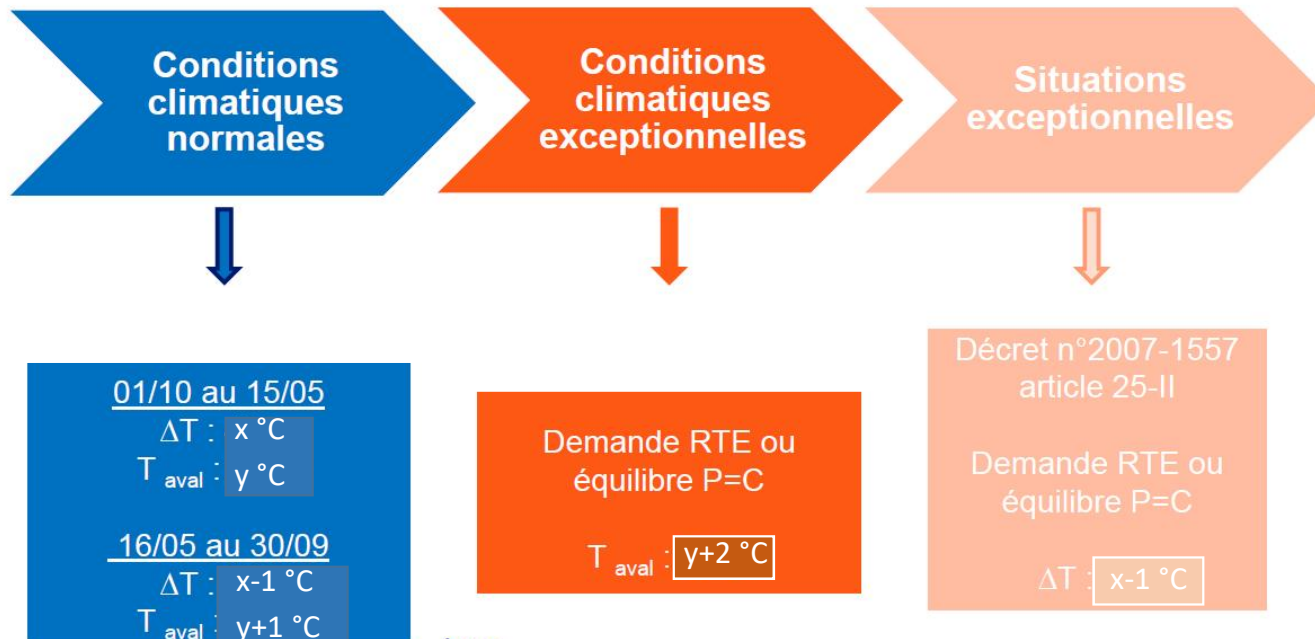
*En gras les années répertoriées par Météo France

Cas du nucléaire

Maintenir le productible

Le REX des événements passés: vague de froid 1985, tempête 1999, canicule 2003, ... est intégré

Prescriptions rejets thermiques



2015: 4 demandes art 25-II
Golfech, Bugey, St Alban, Tricastin
transmises à l'ASN début juillet...
puis retirées.

Dossiers « sur étagères » discutés

Avec
 ΔT : échauffement calculé après mélange
 $T_{\text{aval}} = T_{\text{amont}} + \Delta T$

Cas du nucléaire

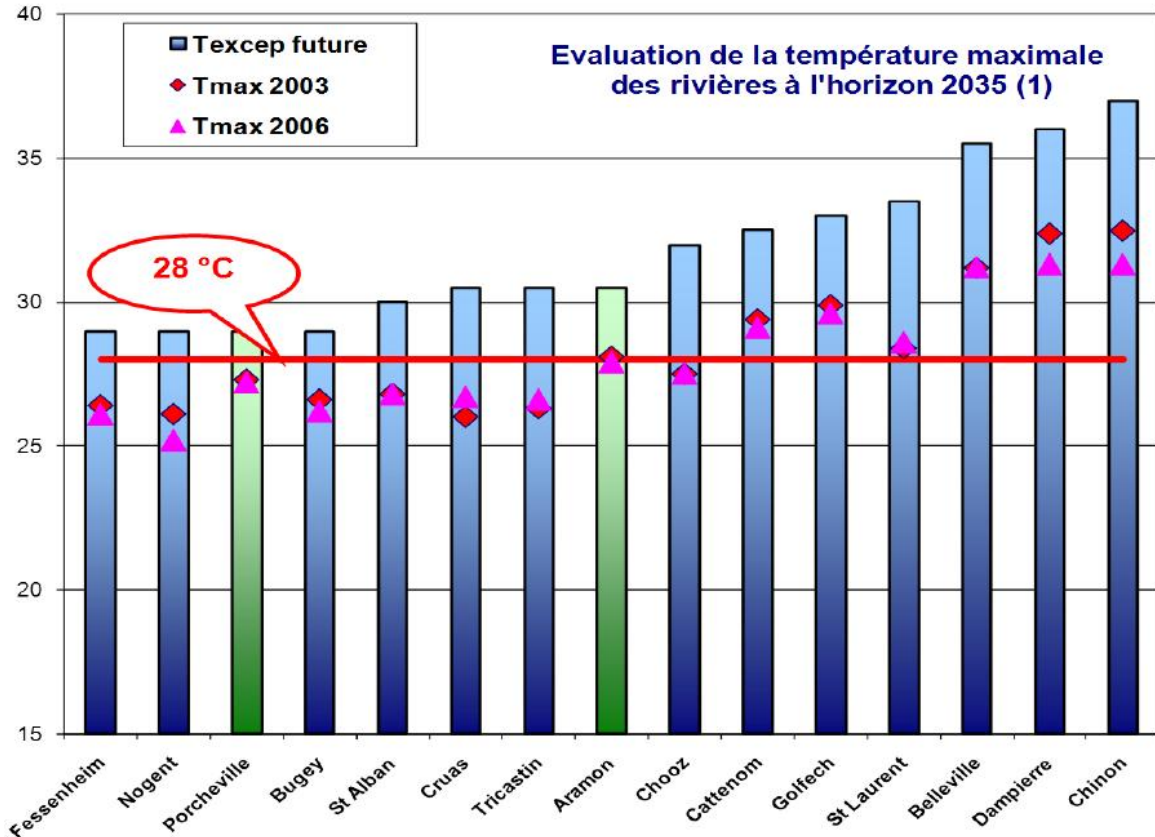
Maintenir le productible

Anticiper....

1^{ère} décision:

placement des Arrêts de Tranches

...



(1) Évaluation de la température maximale de rivière en amont de centrales thermiques (centrales nucléaires en bleu – centrales thermiques à flamme en vert) : résultats de mesures et extrapolation statistique à l'horizon 2035 de séries de températures de rivière mesurées de 1977 à 2003. La précision de l'évaluation est estimée à quelques °C. Source : EDF (Parey, 2010).



Cas de l'hydraulique

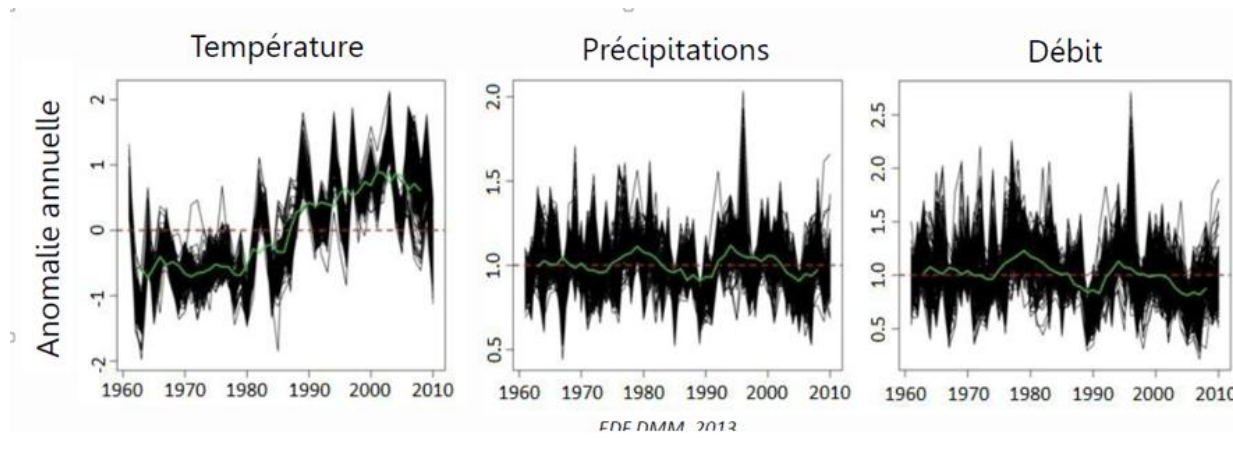
La réalité des évolutions climatiques

- la théorie:

→ en hiver: hausse des températures, moins de jours de gel, moins de neige et de stock d'eau associé, fonte des neiges plus précoce

→ en été: vagues de chaleurs plus importantes avec stress hydrique, moins de précipitations

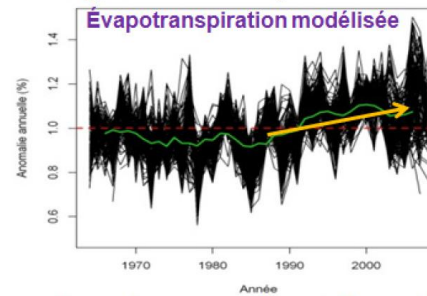
- en pratique



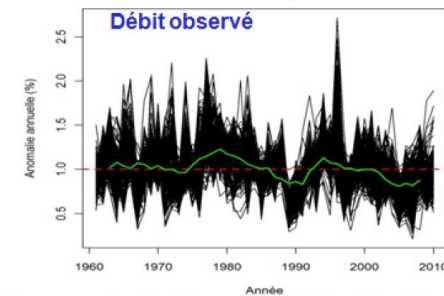
Cas de l'hydraulique

La réalité des évolutions climatiques

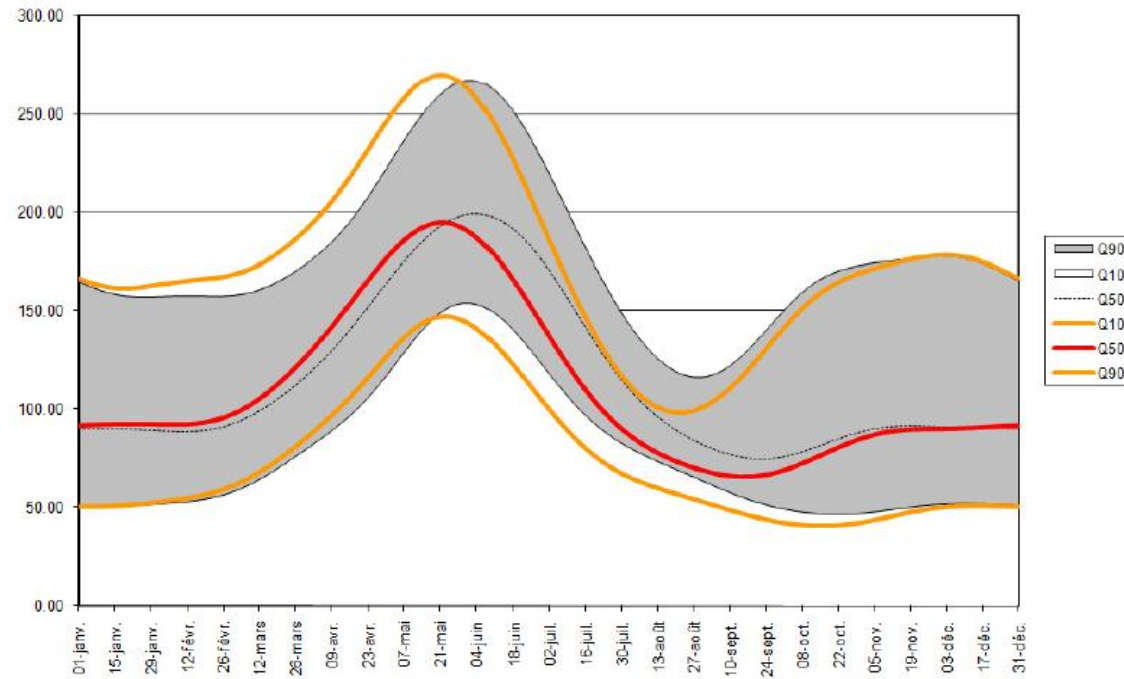
Rapport à la normale – période 1961-2010



Rapport à la normale – période 1961-2010



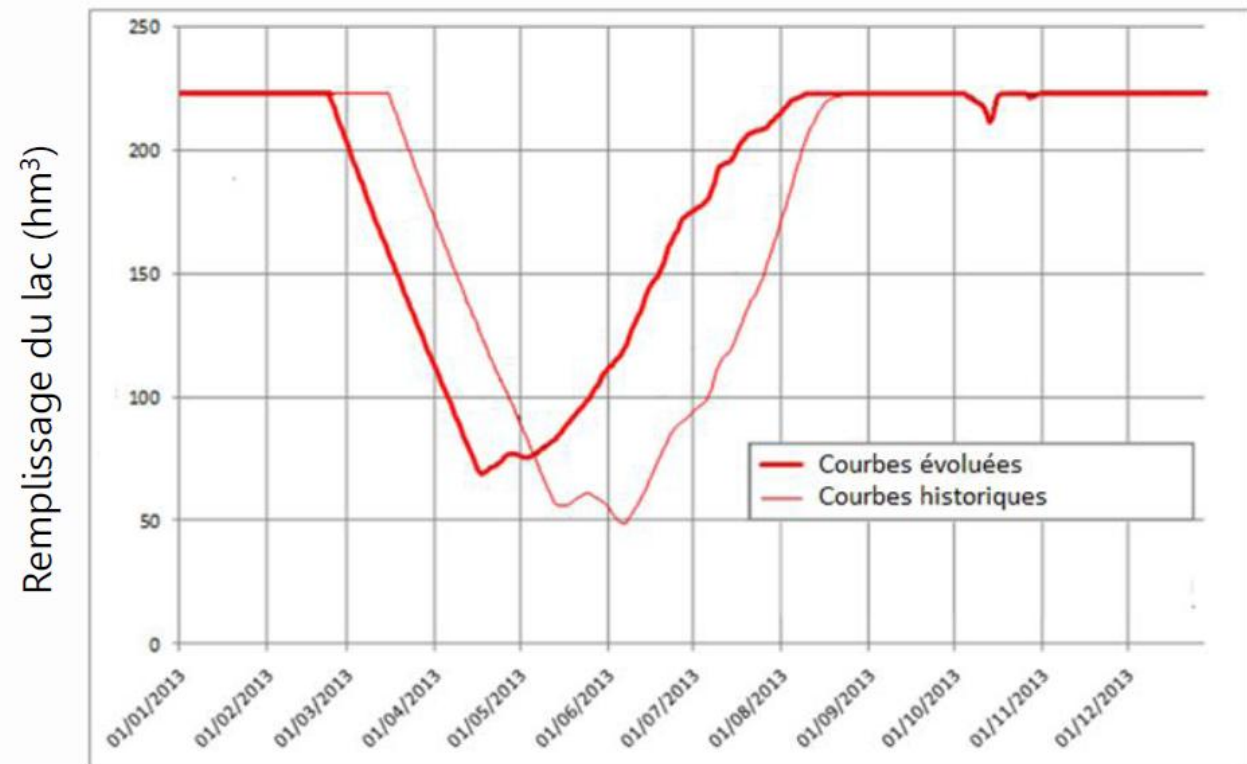
* en vert : moyenne glissante 5 ans : utilisé transparent suivant comme « indice climatique »



Cas de l'hydraulique

La réalité des évolutions climatiques

■ Exemple simple de modification de courbe de gestion

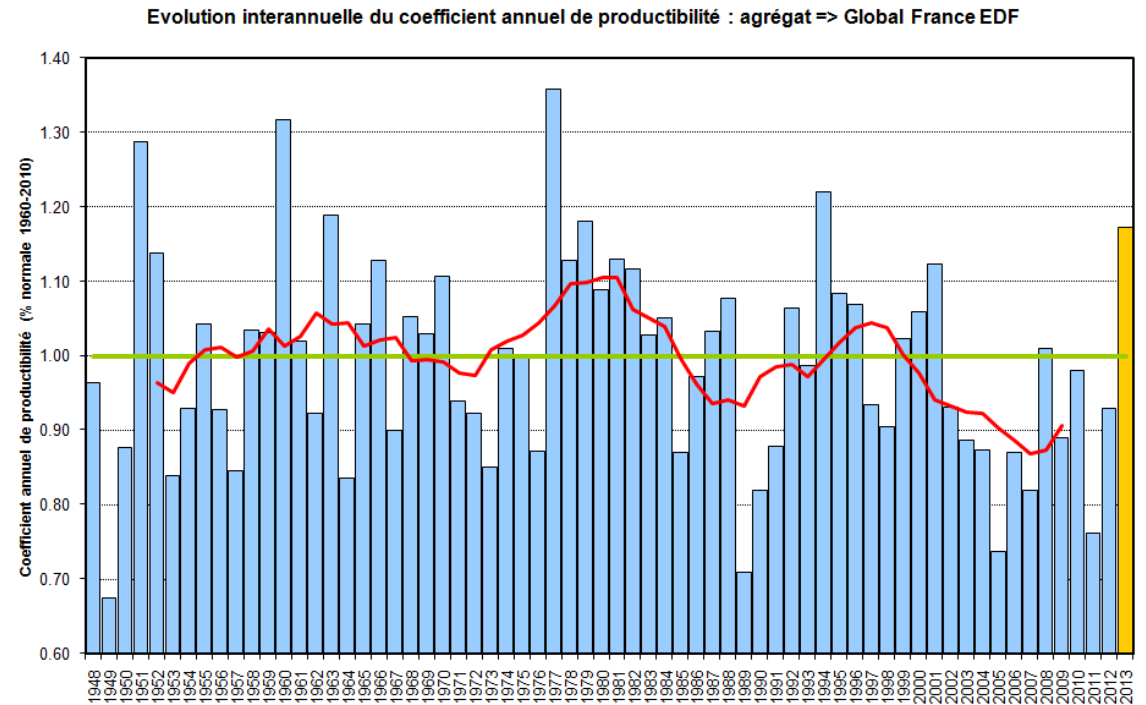


P. Beltrando, EDF, 2013

Cas de l'hydraulique

La réalité des évolutions: un productible en baisse

Été 2016:
Baisse de 50% des débits de sortie du Lac Léman
Abaissement du niveau du barrage de Vouglans
pour soutenir les débits au Bugey



Mais le plus contraignant reste lié aux multi-usages de l'eau et la hausse des contraintes irrigation et loisirs

Cas de l'hydraulique

Ou trop d'eau...

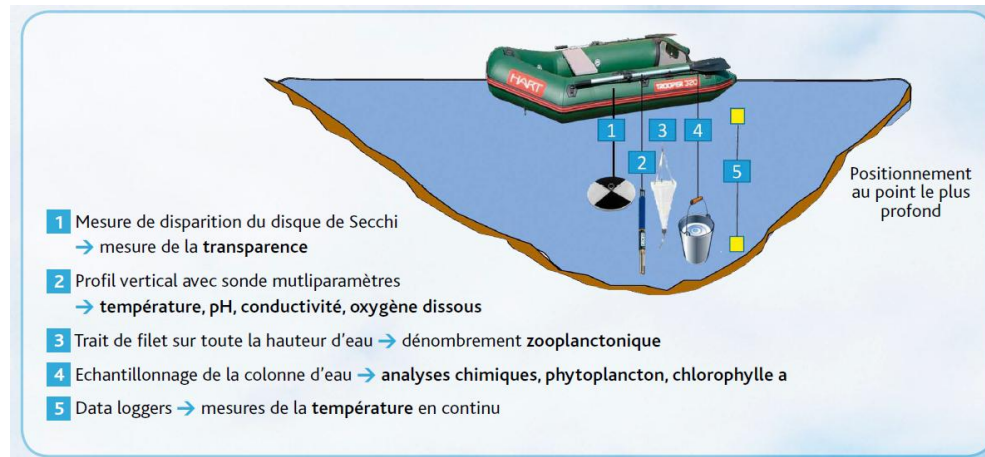


Package

Cas de l'hydraulique

Continuer à investir pour augmenter la connaissance des phénomènes et anticiper ...

- Prospectives ciblées (Durance ou Garonne)
- Réseaux des lacs sentinelles: observer les lacs et glaciers de Haute Altitude (sans influence anthropique) comme témoins



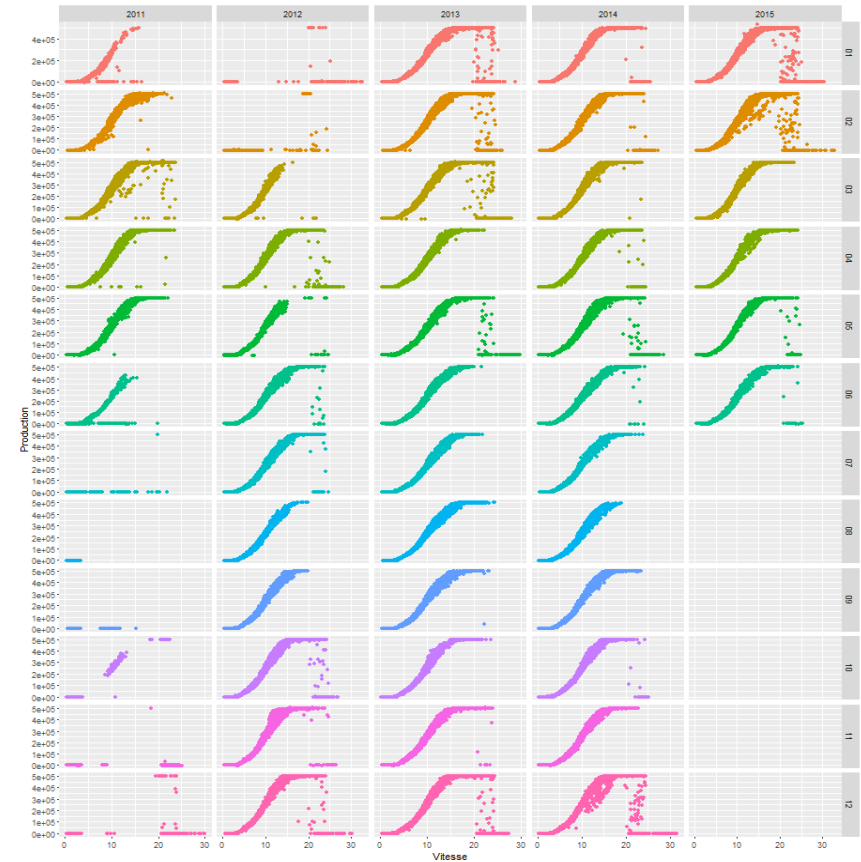
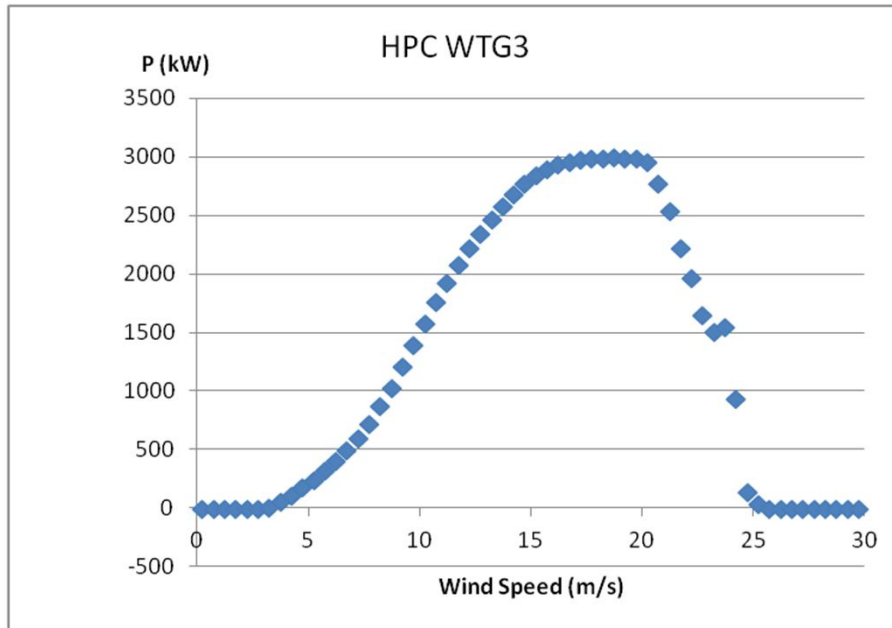
Les partenaires



Cas de l'éolien

Historical Power Curve

Points 10mn sur 2 ans (2013-2014)
Filtrage : prise en compte hystérésis
Moyenne des points 10 mn



Cas des réseaux

Caractériser les zones à risques



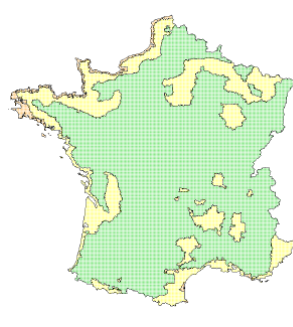
Le réseau aérien HTA est vulnérable face aux phénomènes climatiques. Les années où la France enregistre le passage d'un évènement climatique exceptionnel, on constate une très forte augmentation de la durée de coupure.

La solution est de renforcer les ossatures principales en les enterrant jusqu'à des postes de coupure. Il faut aussi compléter par la mise en souterrain des plus grosses dérivations.

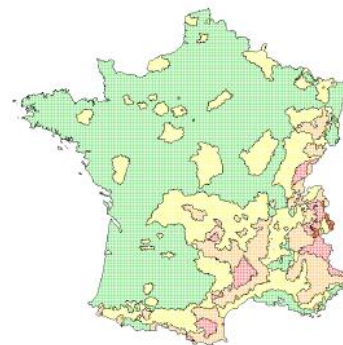
L'étude a été menée à partir de l'ensemble des données météorologiques de la période 1985-2005 ; ces données ont été croisées avec les zones boisées :



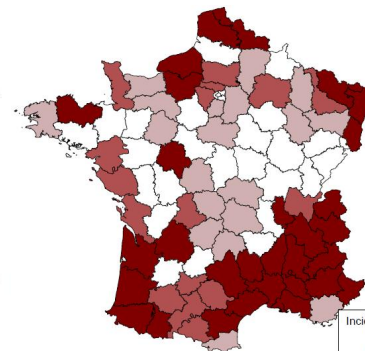
Identification des zones boisées



Occurrence de forte vitesses de vent



Occurrence de fortes surcharges neige



Historique des incidents climatiques

Incidents importants depuis 1985

■	9 à 17 (30)
■	7 à 8 (16)
■	5 à 6 (19)
□	0 à 4 (29)

Cas des réseaux



Réseaux aériens

Un premier plan d'action a été défini avec les pouvoirs publics pour éliminer 39000 km de lignes aériennes à risque en zone boisée sur la période 2006/2016.

Un diagnostic plus précis a aussi montré que des actions plus légères de remise à niveau des lignes (PDV) + un élagage plus fréquent étaient aussi efficaces dans certains cas.

Nous allons continuer le programme de mise en souterrain progressive des ossatures principales et accompagner avec de la PDV sur les dérivations.

Réseaux souterrains

L'analyse de la fiabilité des réseaux souterrains a montré que la technologie de câbles « au papier imprégné » utilisée jusque dans les années 80 présente des points de fragilité au niveau des accessoires de jonction/raccordement lors des épisodes de canicule.

Ce phénomène concerne plus particulièrement le centre ville des grandes agglomérations.

Un programme spécifique de remplacement de ces câbles par des câbles à isolation synthétique a été initié mais c'est un programme de plusieurs années car les travaux en centre ville sont toujours très compliqués.

Cas des réseaux

Postes de transformation



Le principal risque concernant les postes de distribution en sous sol ou au niveau du sol est d'être inondé en cas de crue;

Cela concerne aussi bien les 2250 sous stations HTB/HTA qu'une partie des 740000 postes de distribution HTA/BT.

- remplacement des équipements par des équipements étanches
- restructuration de réseau pour pouvoir limiter les zones à mettre hors tension
- dispositifs « anticrue » à installer dans certaines zones

Cas des réseaux

Améliorer la résilience des réseaux aériens

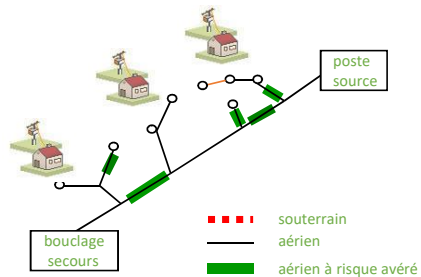


Les zones d'habitat diffus

Les bourgs importants

Réseau initial

Avec des réseaux à risque avéré sur la principale et sur des dérivations

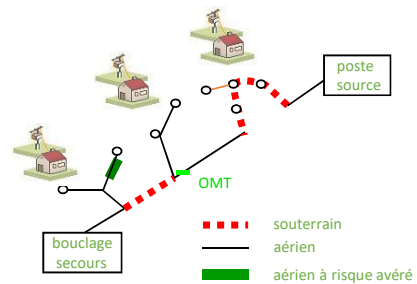


Sécurisation des zones d'habitats diffus



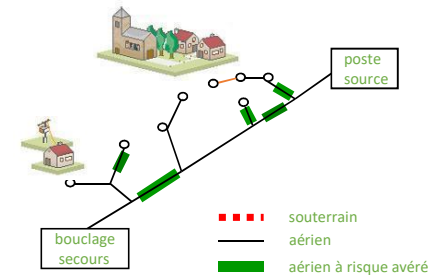
Réseau traité

traitement de la principale et des dérivations si opportunités



Réseau initial

Avec des réseaux à risque avéré sur la principale et sur des dérivations

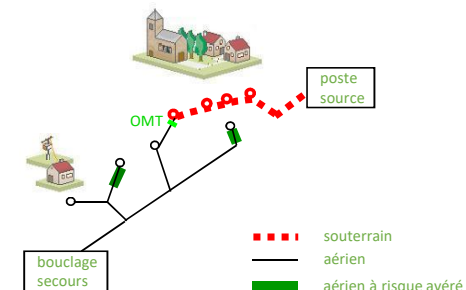


Sécurisation du bourg



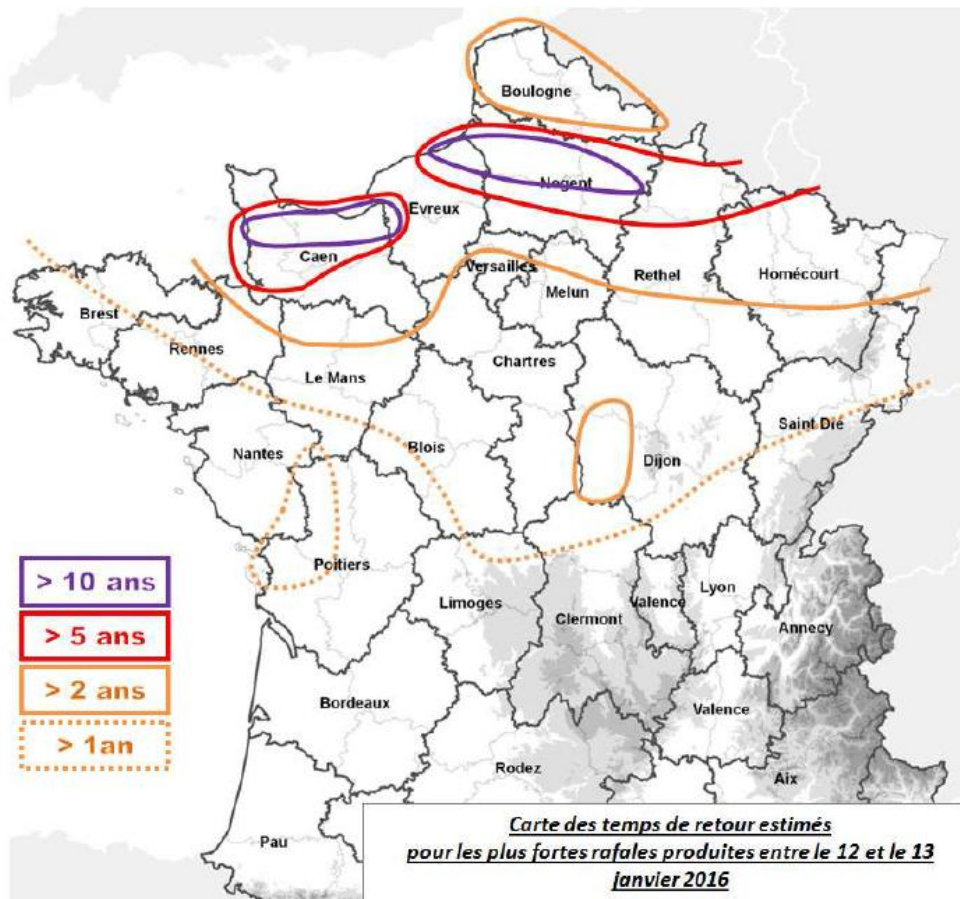
Réseau traité

mise en souterrain en amont du bourg et séparation des parties aériennes



Préparation à la crise

Progresser dans la prévenance Météo



Des bulletins météo spécifiques à la maille de chaque agence de conduite permettent de mettre en alerte les équipes opérationnelles et logistiques

Préparation à la crise

Mise en oeuvre de la FIRE dès les premières heures



Enedis active sa Force d'Intervention Rapide Electricité (FIRE)



3 500 
Techniciens Enedis et entreprises partenaires mobilisés sur le terrain, dont 220 volontaires des équipes de la FIRE

FIRE Normandie	208
Ile-de-France Est	20
Ile-de-France Ouest	7
Poitou Charentes	97
Limousin	
Aquitaine nord	
Auvergne	25
Alsace Franche-Comté	27
Pays de Loire	32

FIRE Picardie	110
Nord Pas-de-Calais	16
Sillon Rhodanien	55
Bourgogne	39

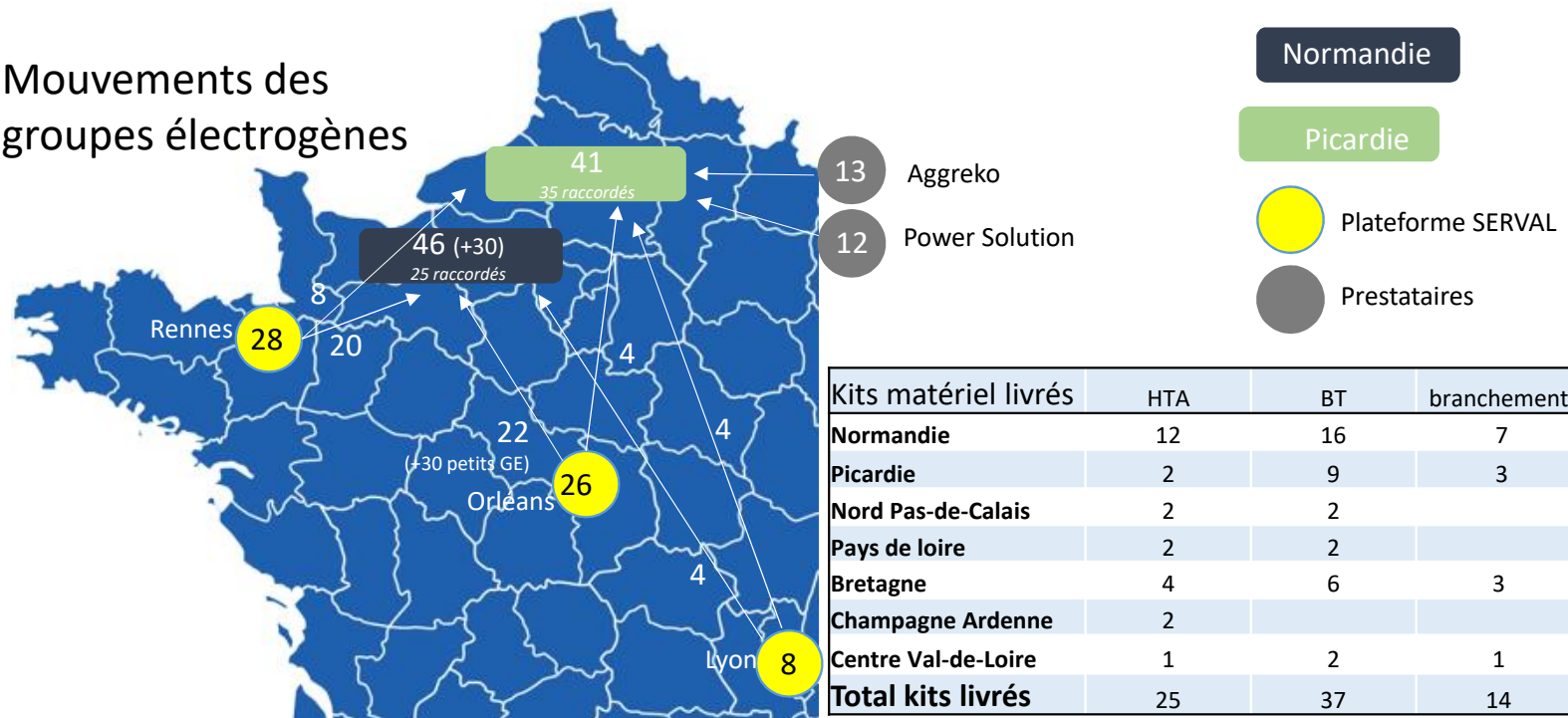
Tempête Egon – Vendredi 13 janvier

Au plus fort des travaux, 318 techniciens FIRE provenant de 11 DR

Préparation à la crise

Matériel et groupes électrogènes

Mouvements des groupes électrogènes



Plus de 50 camions et remorques ont transporté les kits et groupes durant ces trois jours.



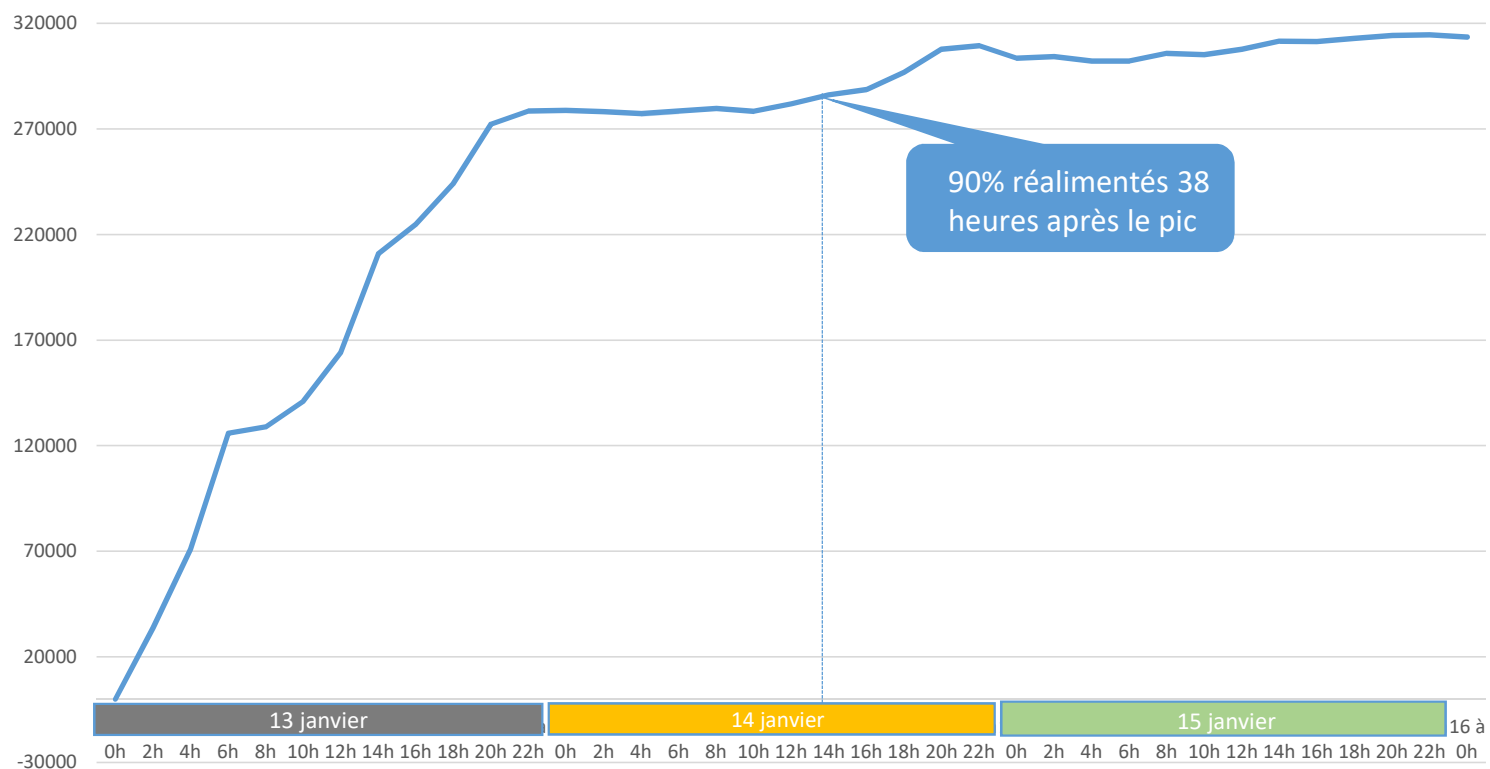
Trois hélicoptères ont été mobilisés pour réaliser le diagnostic.

Gestion de la crise



Courbe de réalimentation

Courbe de réalimentation sur les 8 DR les plus touchées



Rex Tempête EGON – 12 janvier 2017

Préparation à la crise dans le nucléaire

Pré mobilisation des astreintes sur site en cas d'alerte météo

Force d'Action Rapide Nucléaire



Recherche et Développement



- different R&D departments and engineering divisions involved
- academic partnerships within national and European projects
- **examples of research studies :**
 - hydropower potential evolutions (*LNHE and DTG 2013*)
 - French electricity demand evolution (*OSIRIS and EPI 2013*)
 - power plants cooling capacity (*LNHE 2010, MRI 2013*)
 - estimation of extreme values taking non stationnarity into account (*MFEE*)
- **development of an internal « climate service »**
 - gathering international project's climate change simulation results
 - making them available to all in an harmonized form
 - scientific watch and advices on how to best use these results

Recherche et Développement sur les effets du Changement Climatique

Les enjeux pour EDF

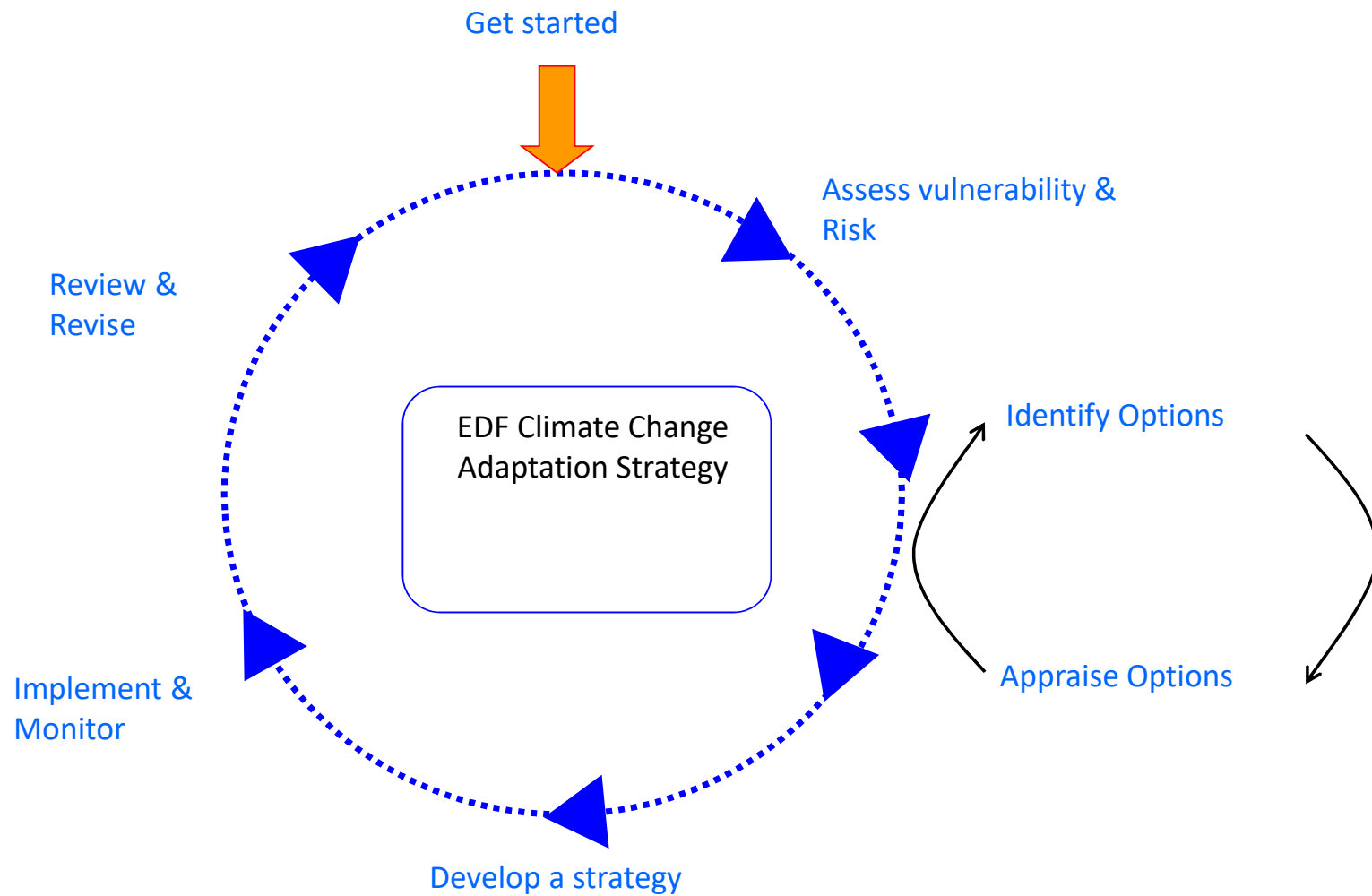
- Rester actif dans les réseaux scientifiques et maintenir ce haut niveau d'expertise afin d'être en capacité de « critiquer » les résultats d'études externes sur les changements climatiques et de conduire en interne des études sur des sujets « sensibles » (dimensionnement des centrales, productible hydraulique, indisponibilité des centrales...),
- Poursuivre les études sur l'impact du changement climatique sur le parc de production d'EDF, sur la demande et sur l'équilibre offre-demande,
- ...

Un « Service Climatique » au service du Groupe

- constituer une base de données de projections climatiques de référence, à l'état de l'art et expertisées afin de permettre des études d'impact du changement climatique:

- de mettre à disposition des ingénieries et d'autres projets R&D des projections climatiques de paramètres météorologiques (températures de l'air, précipitations, vent...) à l'état de l'art (modèles climatiques CMIP5 et CORDEX), régionalisées (descente d'échelle statistique et/ou descente d'échelle dynamique via projet CORDEX) et expertisées;

En UK aussi....



En UK aussi....

Risk Matrix: Summary of worst case climate change scenario for EDF Energy's nuclear power stations

Reference Number	Climatic Impact Descriptor	Current Risk	Future Risk 2030 (station summary)	Future Risk Definition
1	Flooding of site - sea level rise, extreme precipitation, heavy storm, sewage flooding.	xx	yy	Low
2	Flooding of Access Routes to Site			Low
3	Storm surges (storm surge plus sea level rise)			Medium
4	Heavy snowfall			Very Low
5	Subsidence & Landslide			Very Low
6	Extreme High Temperature			Medium
7	Extreme High Temperature (Water discharge)			Medium
8	Extreme Low Temperature			Very Low
9	Drought			Medium
10	Extreme winds			Very Low

Une stratégie pour continuer à s'adapter

- **Avoir accès aux informations pertinentes et suffisantes**
ex: bases de données historiques DTG, service climatique, ...
- **Adapter les installations existantes pour les maintenir sur le long terme**
ex: revues de sûreté du parc nucléaire, programme Grand Chaud...
- **Intégrer les connaissances dans la conception des moyens de production du futur**
ex: projets hydro nouveaux, plate forme de Flamanville 3,...
- **Renforcer la résilience aux événements extrêmes**
ex: Revues de sûreté nuc, PKW, entretien des lignes, FIRE, FARN...
- **Adapter nos compétences et nos savoir-faire**
ex: anticipation des crises,
- **Activer la bonne R&D**
ex: projet Atoll

Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2

- **Premières orientations dans le domaine de l'énergie (4 reco)**
 - anticiper les futures pointe d'été/climatisation
 - développer la climatisation renouvelable
 - développer les mécanismes de capacité.....

- **Premières orientations dans le domaine de l'eau (25 reco)**
 - améliorer les performances des centrales en consommation d'eau
 - ... rien sur le maintien du productible hydraulique....

Merci pour votre attention

WHAT'S BETTER THAN
WIND, SOLAR, AND HYDRO?

WIND, SOLAR, HYDRO
**AND ADVANCED
NUCLEAR.**

