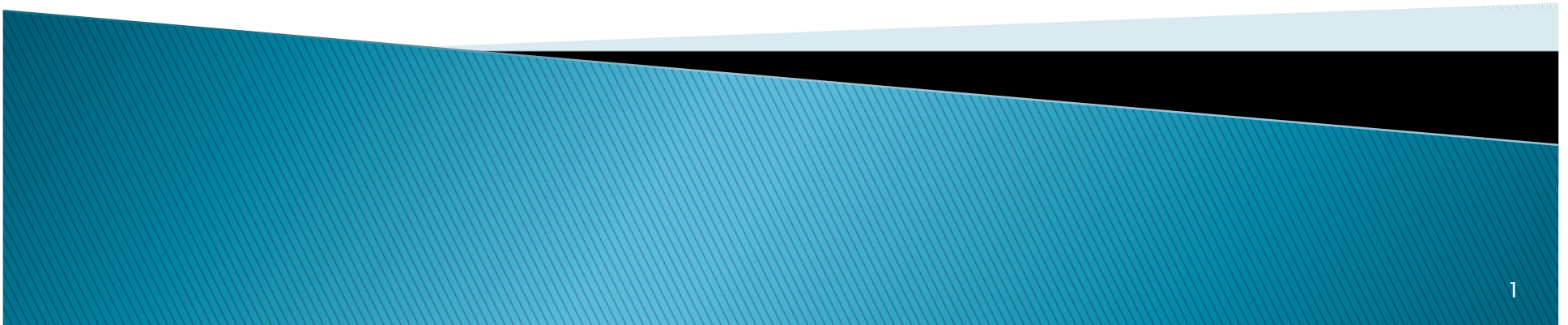


Une semaine dans la peau d'un ingénieur en optimisation



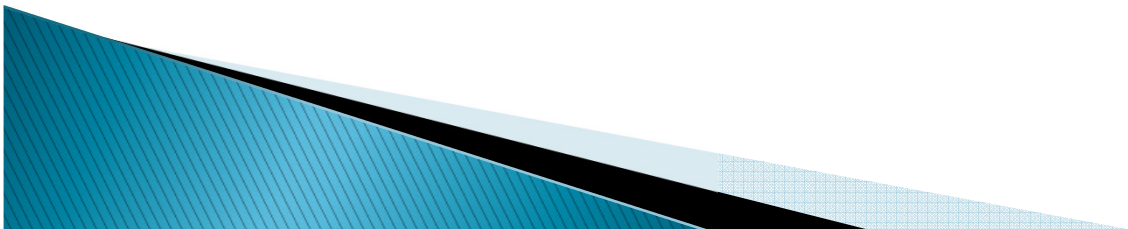
Grace Doukopoulos
Thomas Triboulet

Ingénieur chercheur
OSIRIS (Optimisation Simulation Risque et Statistique)
EDF R&D

1, avenue du Général de Gaulle
92141, CLAMART

grace.doukopoulos@edf.fr

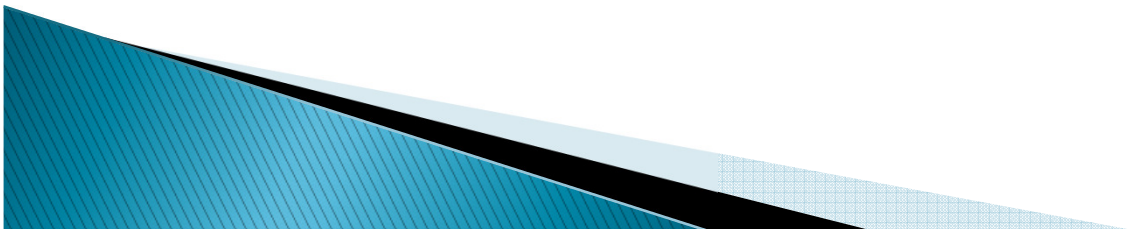
thomas.triboulet@edf.fr



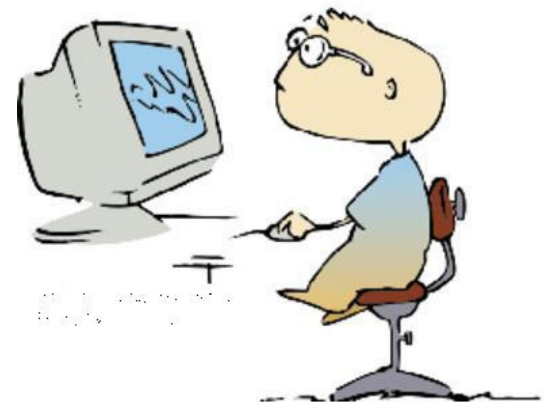
Emmanuel Rachelson

Enseignant chercheur
ISAE SUPAERO

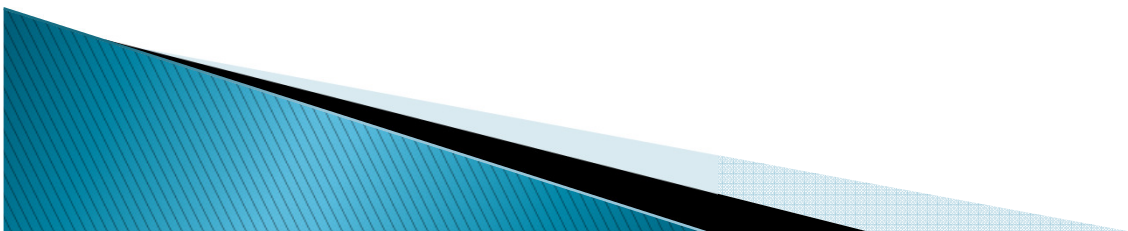
emmanuel.rachelson@isae.fr



- ▶ Découvrir le métier d'ingénieur en optimisation :
 - Problèmes étudiés
 - Réponses apportées (algorithme, développement)
 - Collaboration avec des académiques



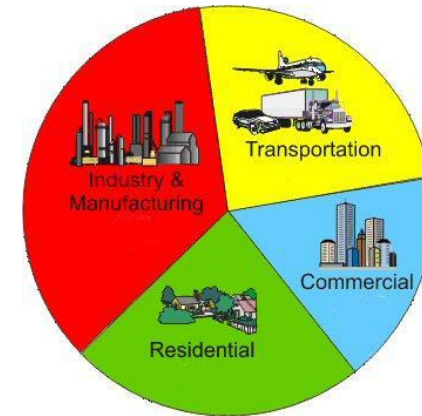
- ▶ Organisation du cours
 - Appel d'offre du client (entité opérationnelle)
 - Analyse des experts (R&D, chercheurs académiques)
 - Recherche méthodologique
 - Mise en œuvre des travaux
 - REX et améliorations
 - Survol de différents problèmes en management d'énergie



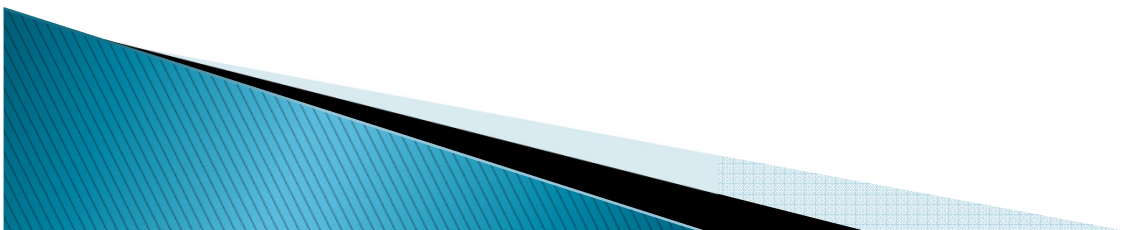
Introduction

Domaine de l'énergie

- ▶ L'utilisation de l'énergie occupe une place importante dans la vie courante de notre société.

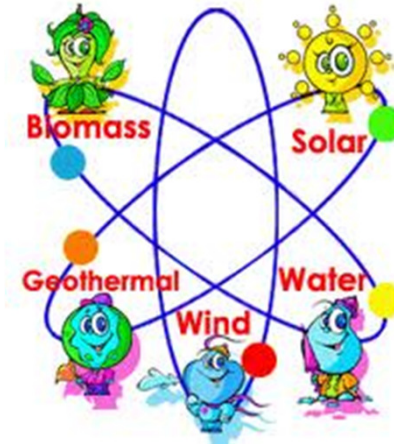


- ▶ Le secteur énergétique regroupe différents métiers :
 - Production d'électricité
 - Distribution et le transport d'électricité
 - Production de ressources énergétiques



Domaine de l'énergie

- ▶ Le secteur a un fort impact environnemental. De grands efforts ont été déployés ces dernières années pour maîtriser et réduire cet impact.
- ▶ Différentes institutions nationales, européennes et internationales contribuent à réguler et assurer le bon fonctionnement de ce secteur.



L'électricité dans le monde

Chiffres clés

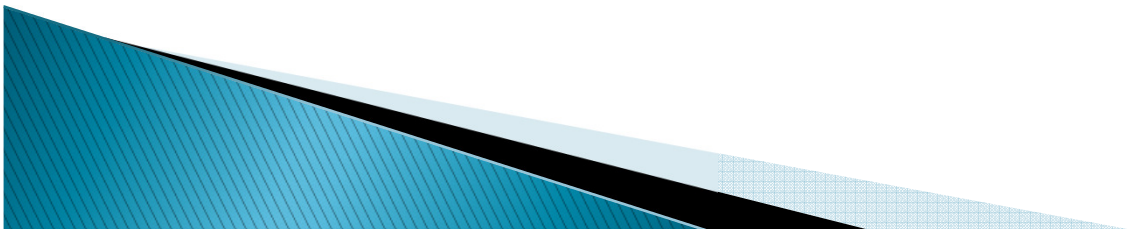


1/3

des besoins énergétiques dans le monde sont couverts par la production électrique

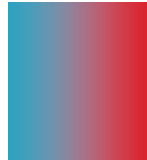
40 %

de l'électricité mondiale provient du charbon, 20 % du gaz naturel, 16 % de l'hydraulique, 15 % du nucléaire, 7 % du pétrole et 2 % des énergies renouvelables



L'électricité en Europe

Chiffres clés

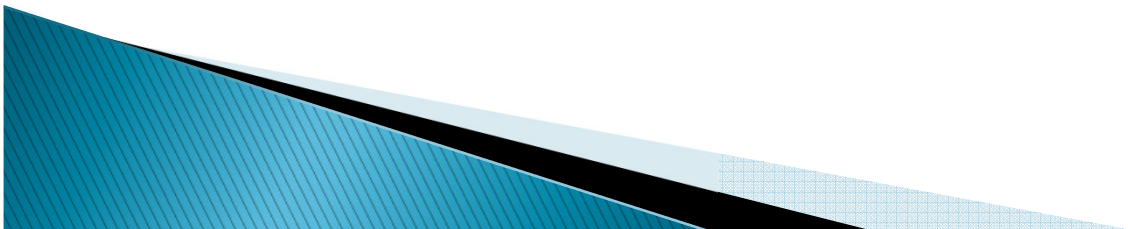


Allemagne :

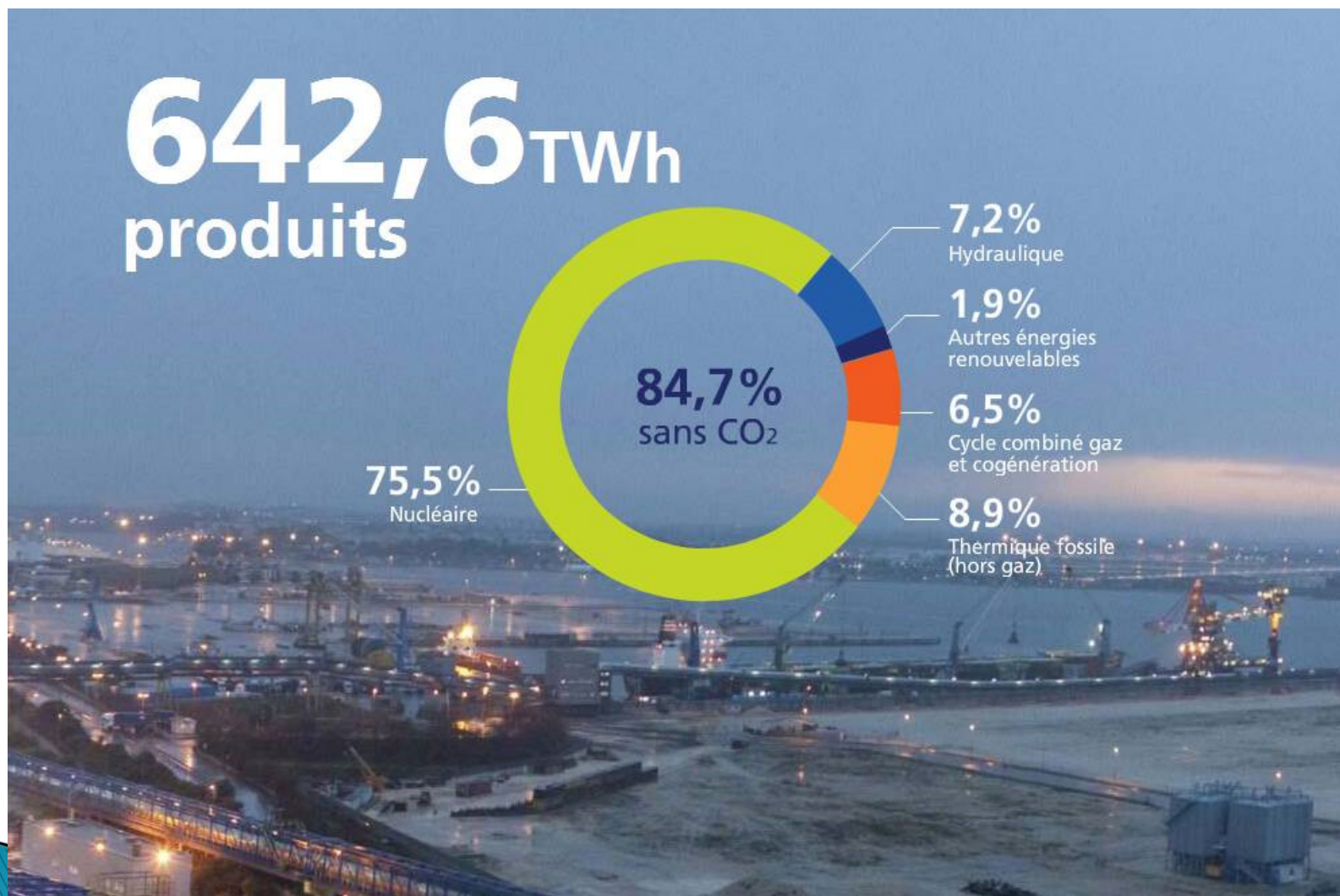
26% de l'électricité à partir du charbon, 58% tout thermique à flamme confondu, 17% nucléaire Forte montée de l'éolien. Démantèlement du nucléaire

France :

4% de l'électricité à partir du charbon, 78% nucléaire



Le groupe EDF



Principales filiales en Europe



Royaume Uni

EDF Energy (100 %)
1^{er} distributeur



Germany

~~EnBW (45 %)~~
~~2^e électricien~~



France

Capacité : 101 GW (63 GW nucléaire)
Gaz : 3 Gm³
Clients : 28 M
Réseaux : 1 340 000 km



Italy

Edison (80 %)
2^e énergétique (électricité + gaz)

Chiffre d'affaires : 72,7 Mds € (53,8 % en France)

Clients dans le monde : 39,3 millions

Salariés dans le monde : 159 740

99,6 g de CO₂ par KWh

Puissance installée : 128,2 GW

EDF Trading

Volumes traités :

Electricité : 745 TWh - Gaz : 116 Gm³

Charbon : 237 Mt - Pétrole : 141 Mb

Le groupe EDF en Europe

Implantations Europe



Hongrie

- DÉMÁSZ ZRt (100 %)
Distributeur d'électricité

Pologne

- EDF Polska
10 % production d'électricité
20 % prod. centralisée chaleur
Participation au programme nucléaire

Royaume-Uni

- EDF Energy (100 %)
Production et distribution
d'électricité

Belgique

- EDF Belgium (100 %)
SPE (63 %)
2^e acteur sur le marché belge

Italie

- Edison (50 %)
2^e énergéticien italien
500 000 clients
- Fenice (100 %)
Services énergétiques et
environnementaux aux industriels

Pays-Bas

- SloeCentrale BV (50 %)
Centrale électrique à cycle
combiné gaz – 870 MW

Espagne

- Elcogas (31 %)
Centrale de gazéification intégrée
à cycle combiné - 335 MW

Autriche

- Groupe ESTAG (25 %)
Distribution Commercialisation
électricité gaz et chaleur

Slovaquie

- SSE (49 %)
environ 30 % du marché
Distributeur d'électricité

Suisse

- Alpiq (26 %)
1^{er} énergéticien suisse
Production Commercialisation
d'électricité

Le groupe EDF dans le monde

Autres implantations dans le monde



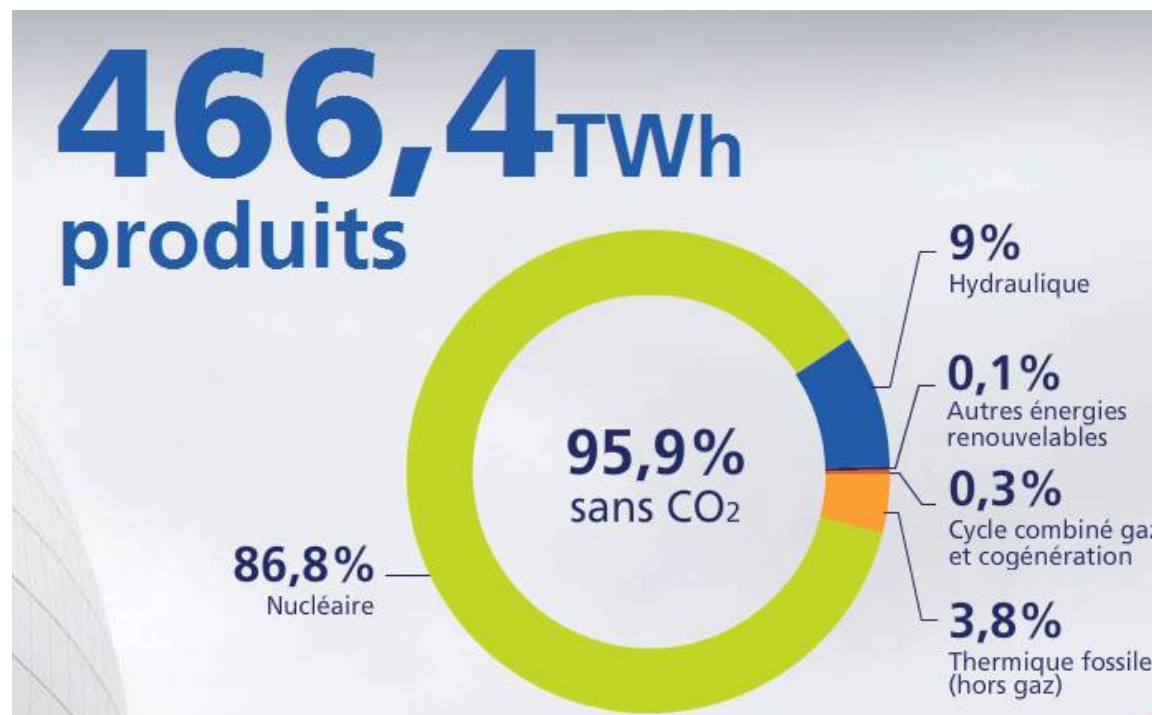
Le groupe EDF en France

28,6 millions de clients

129 328 employés (y compris les filiales)

Puissance installée : 100 GW

CA : 39, 1 Mds €



Le groupe EDF en France

Implantations France



- EDF
- RTE-EDF Transport
Réseau de Transport d'Electricité
100 000 km de lignes à haute et très haute tension
- ERDF
Électricité Réseau Distribution France
1,3 million de kilomètres de réseau
- EDF SEI
Systèmes énergétiques insulaires
Corse et Outre-mer

EDF Énergies Nouvelles (50 %)
Éolien, hydraulique, biomasse et solaire.
Présente dans 9 pays européens et aux
Etats-Unis.

Électricité de Strasbourg (89,07 %)
Commercialisation et distribution du Bas-Rhin
400 communes, 40.000 professionnels et
400 000 particuliers.

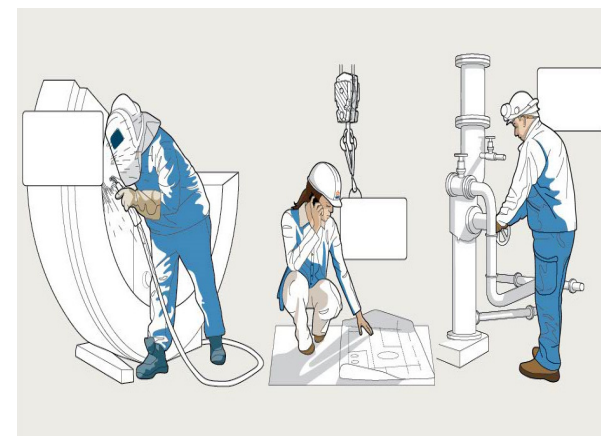
EDF Trading (100 %)
Leader dans les marchés internationaux
de l'énergie en gros.

Dalkia
Gestion de réseaux de chaleur
ou de froid, installations de
cogénération (34 %)

Tiru (51 %)
Valorisation énergétique
des déchets ménagers

Les métiers d'EDF

- ▶ Un vaste panel de métiers :
 - Production, ingénierie
 - Transports
 - Distribution
 - Optimisation et trading
 - Commerce
- ▶ EDF déploie des efforts dans la recherche et le développement :
2000 personnes sur 3 sites principaux
Renardières – Chatou – Clamart



R&D EDF



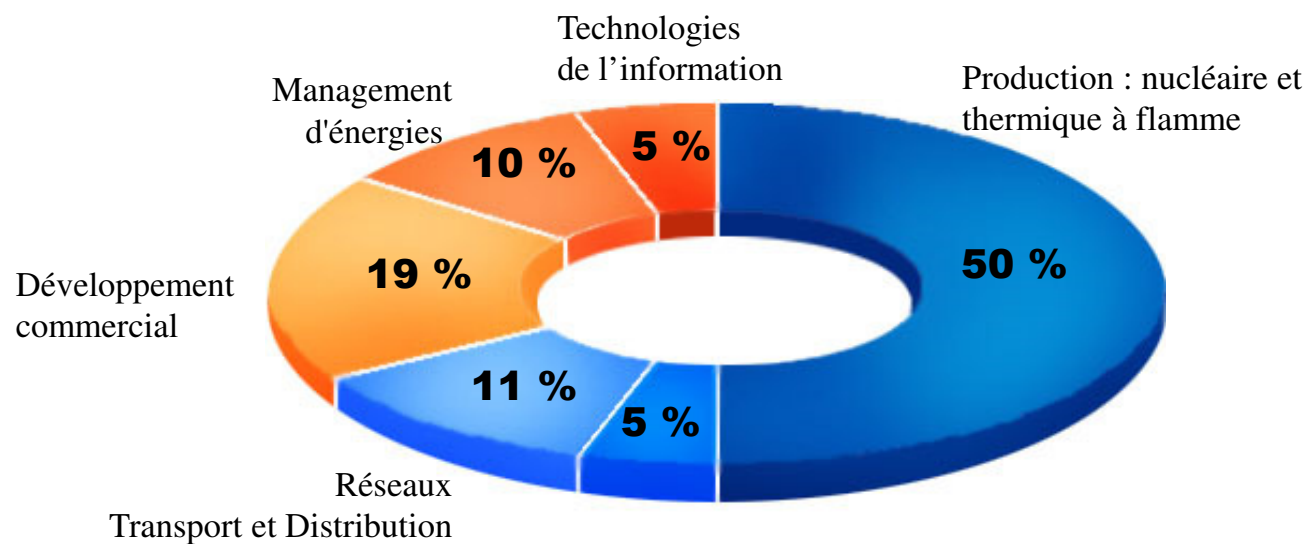
523 M€

Budget 2013

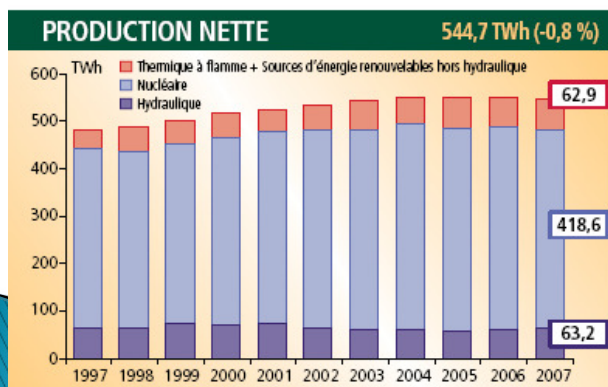
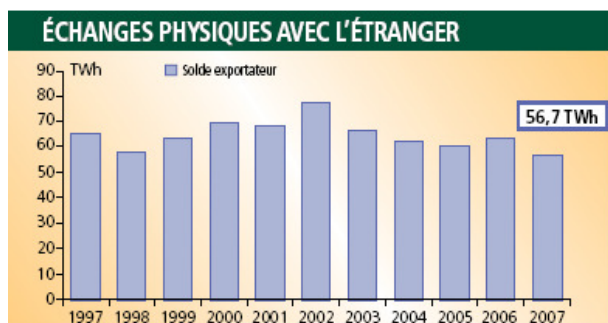
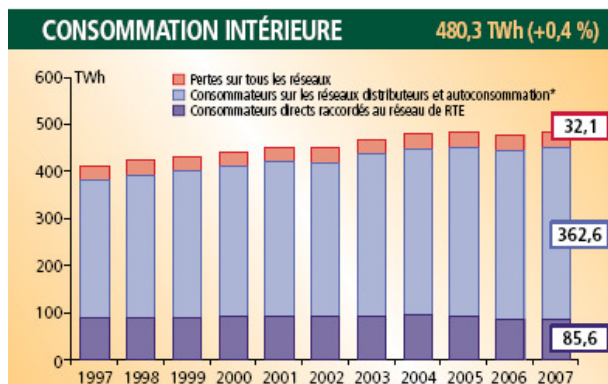
dont un cinquième pour des projets à dimension
environnementale

EDF R&D

~ 2000 personnes



Bilans d'énergie



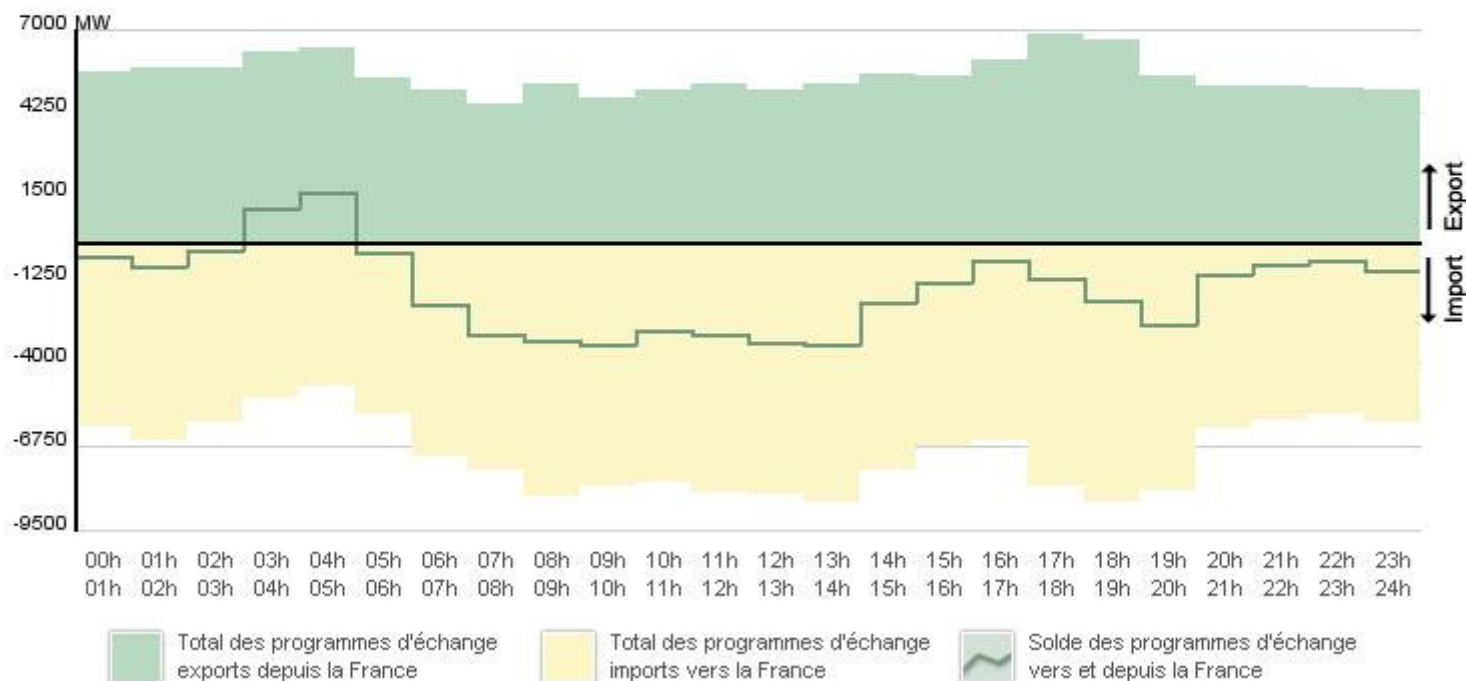
Chiffres 2007
pour la France
(source RTE)

Mouvements d'électricité

Bilan des programmes d'échange pour la journée du 04/01/2011

Choisir une autre date : ◀ 04 ▼ ▶ ◀ 01 ▼ ▶ ◀ 2011 ▼ ▶ valider ▶

RTE met à disposition les historiques de toutes les données publiées.



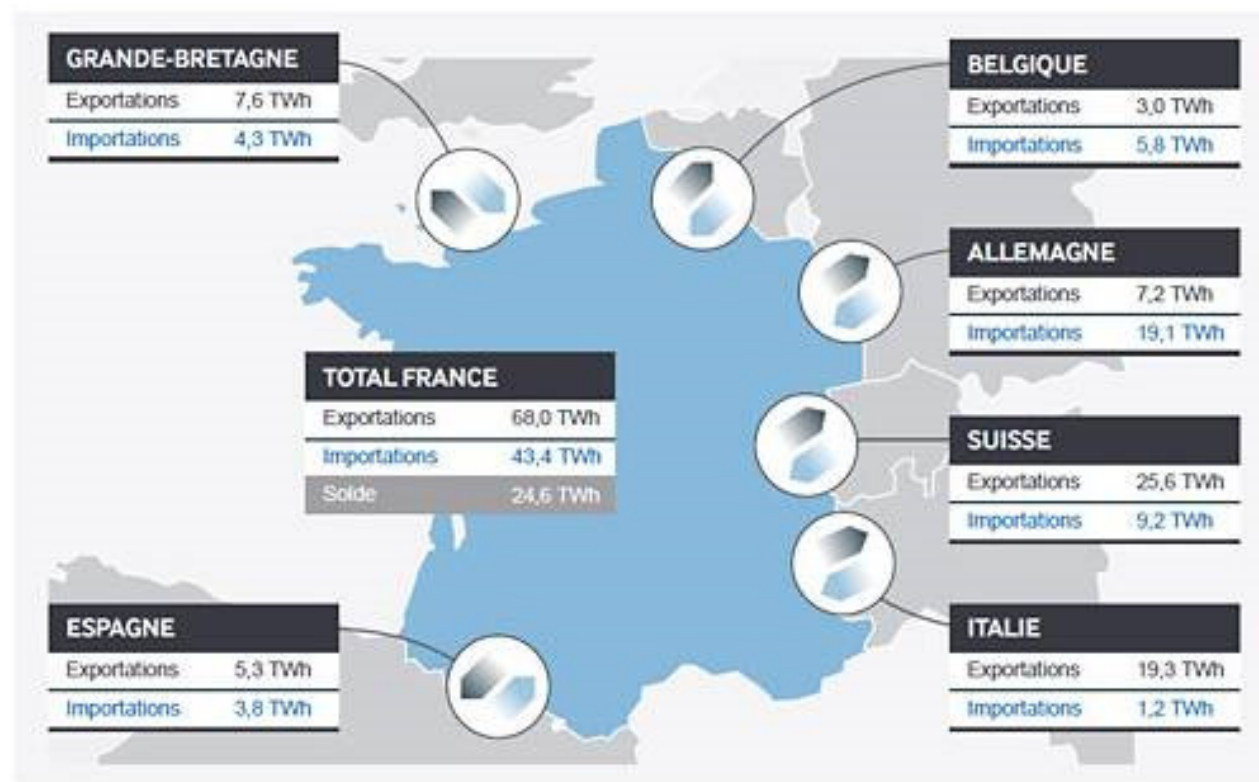
* Valeurs non significatives. ** Valeurs non disponibles

Solde
import /
export
pour la
France
(source RTE)

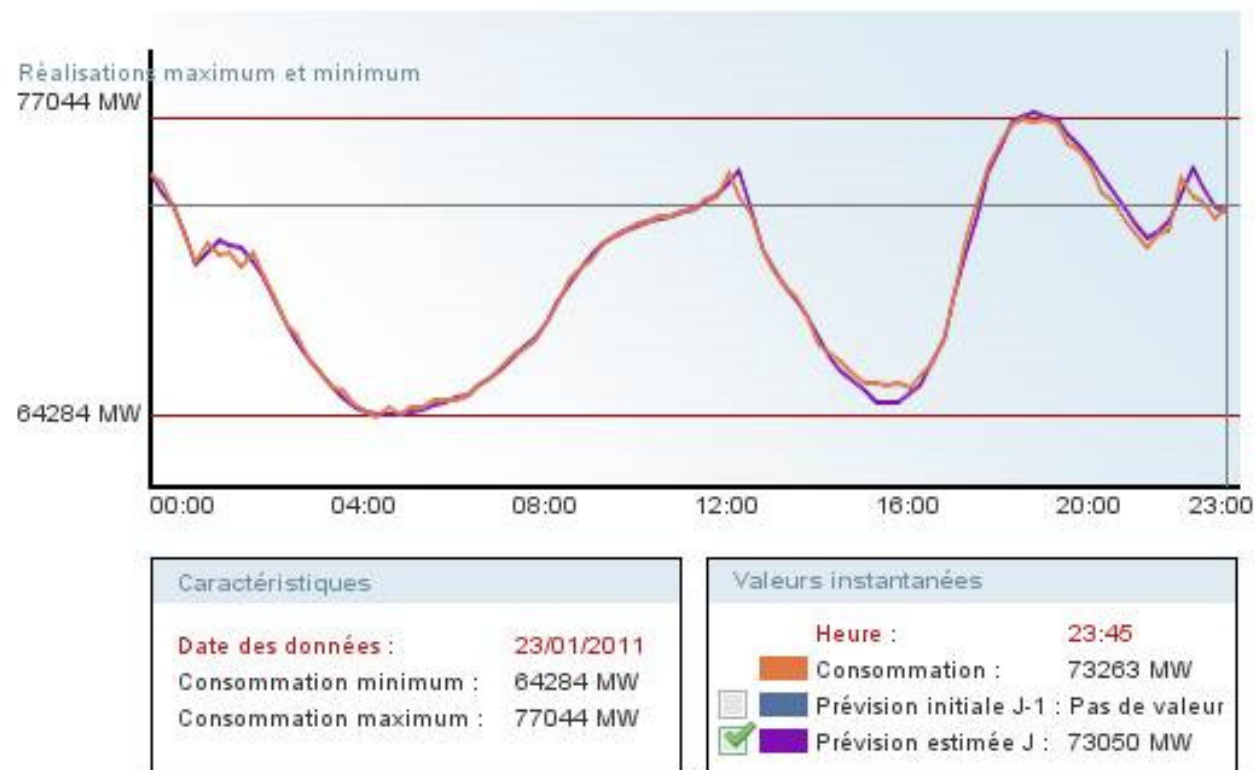
Mouvements d'électricité

Chiffres 2009
Échanges transfrontaliers
(source RTE)

Pour la 1^{ère} fois
depuis 27 ans, la
France a été
importatrice
nette pendant 1
mois en octobre
2009



Consommation d'électricité

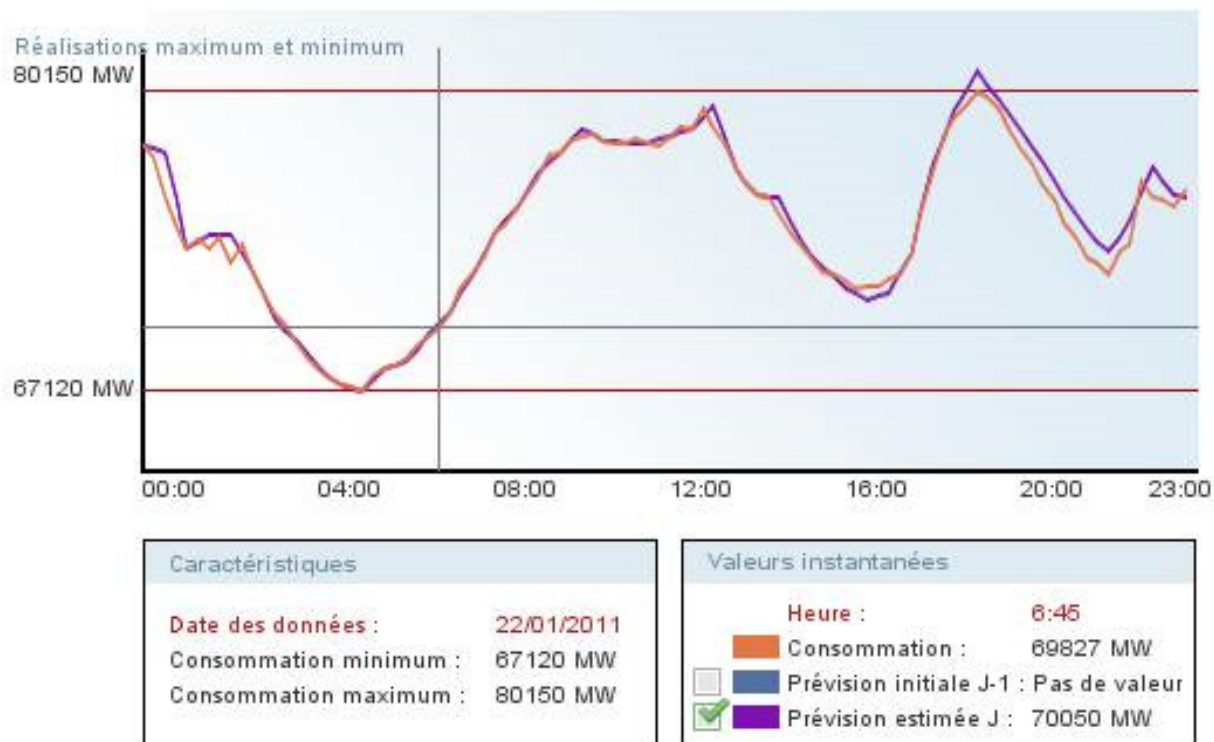


Cliquez sur la légende pour masquer / afficher la courbe désirée.

Date des informations : 23/01/2011

(dimanche)

Consommation d'électricité

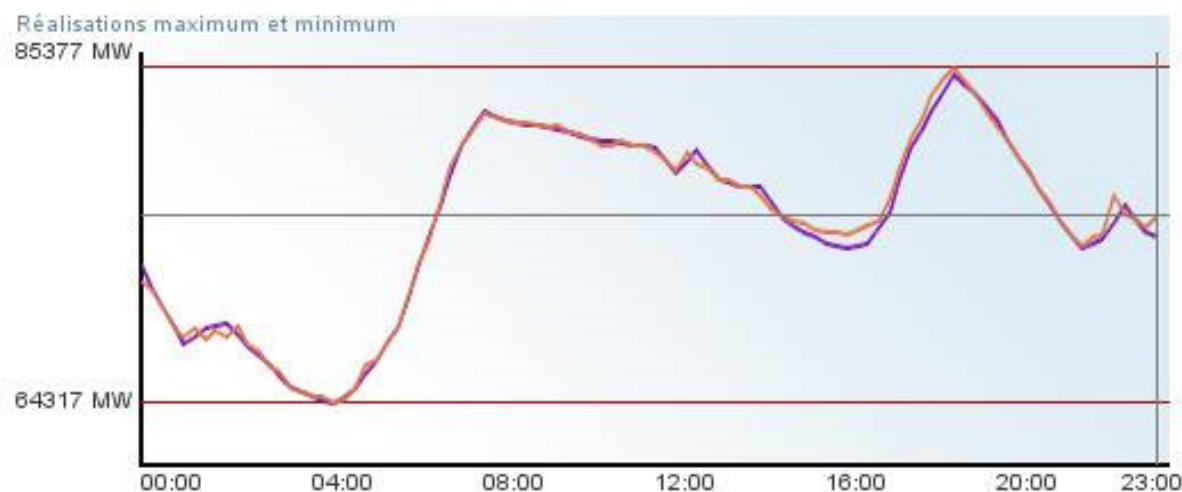


Cliquez sur la légende pour masquer / afficher la courbe désirée.

Date des informations : 22/01/2011

(samedi)

Consommation d'électricité



Caractéristiques		Valeurs instantanées	
Date des données :	20/01/2011	Heure :	23:45
Consommation minimum :	64317 MW	☒ Consommation :	76027 MW
Consommation maximum :	85377 MW	☐ Prévission initiale J-1 :	Pas de valeur
		☒ Prévission estimée J :	74800 MW

Cliquez sur la légende pour masquer / afficher la courbe désirée.

Date des informations : 20/01/2011

(vendredi)

Le problème de la gestion de production journalière

Appel d'offre

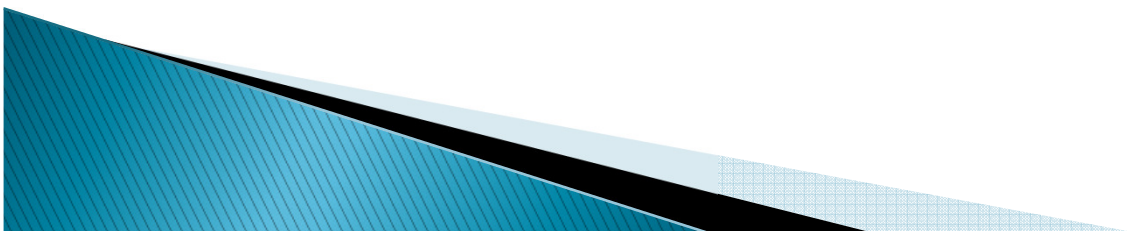
Fonctionnement du système électrique

- ▶ Le système électrique se compose d'un ensemble d'ouvrages permettant la production, le transport, la distribution et la consommation de l'électricité.
- ▶ L'électricité ne se stockant pas l'équilibre production–consommation du système électrique doit être géré en temps réel.
- ▶ Le gestionnaire du réseau de transport (GRT) assure cette mission.



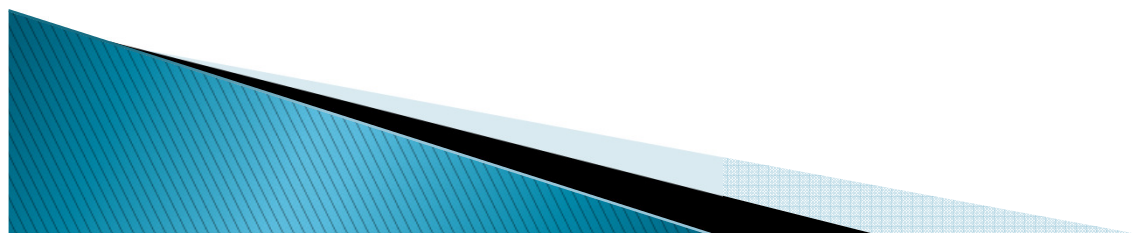
Fonctionnement du système électrique

- ▶ Le réseau de transport fonctionne à une fréquence stabilisée autour de 50 Hz.
- ▶ Un déséquilibre production–demande entraîne une variation de la fréquence.
- ▶ Une instabilité généralisée du réseau peut conduire à :
 - des dégâts matériels (côté production, transport, distribution et clients),
 - la mise hors tension d'une partie ou de l'ensemble du réseau (blackout).



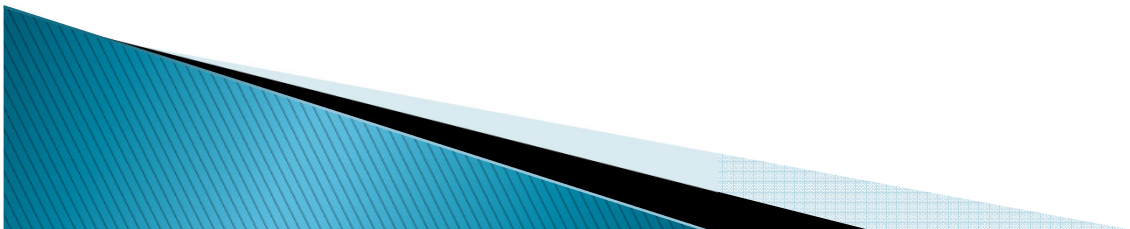
Fonctionnement du système électrique

- ▶ Des marges de production, les services système, permettent par leur mobilisation d'assurer à tout instant l'équilibre des flux d'électricité sur le réseau, ainsi que sa sécurité.
- ▶ On distingue 3 types :
 - Réserve primaire : automatique – local – < 30 s.
 - Réserve secondaire : automatique – global – < 13 min
 - reconstitue le primaire, les flux aux interconnexions.
 - Réserve tertiaire : manuelle – < 30 min.

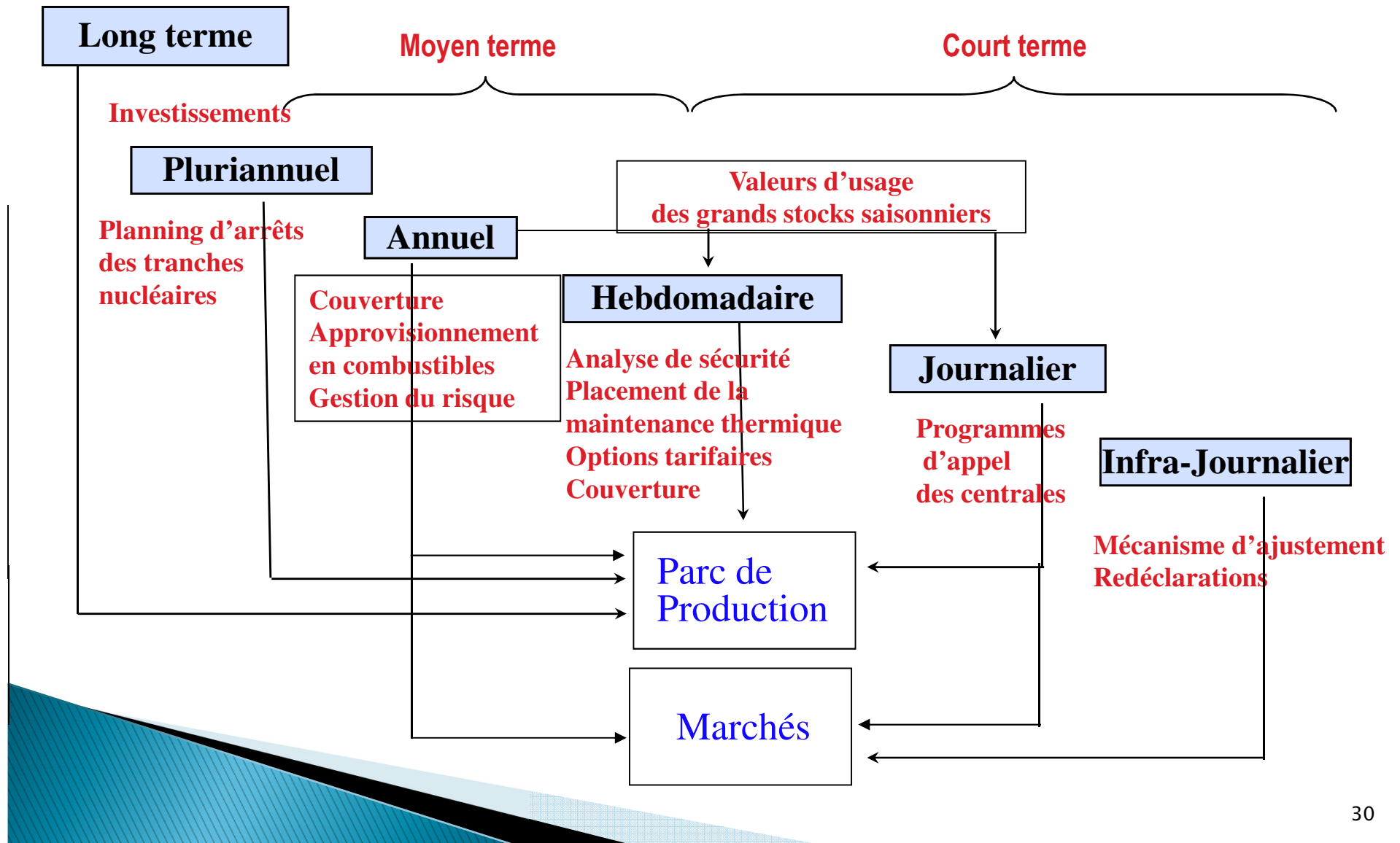


La gestion de production

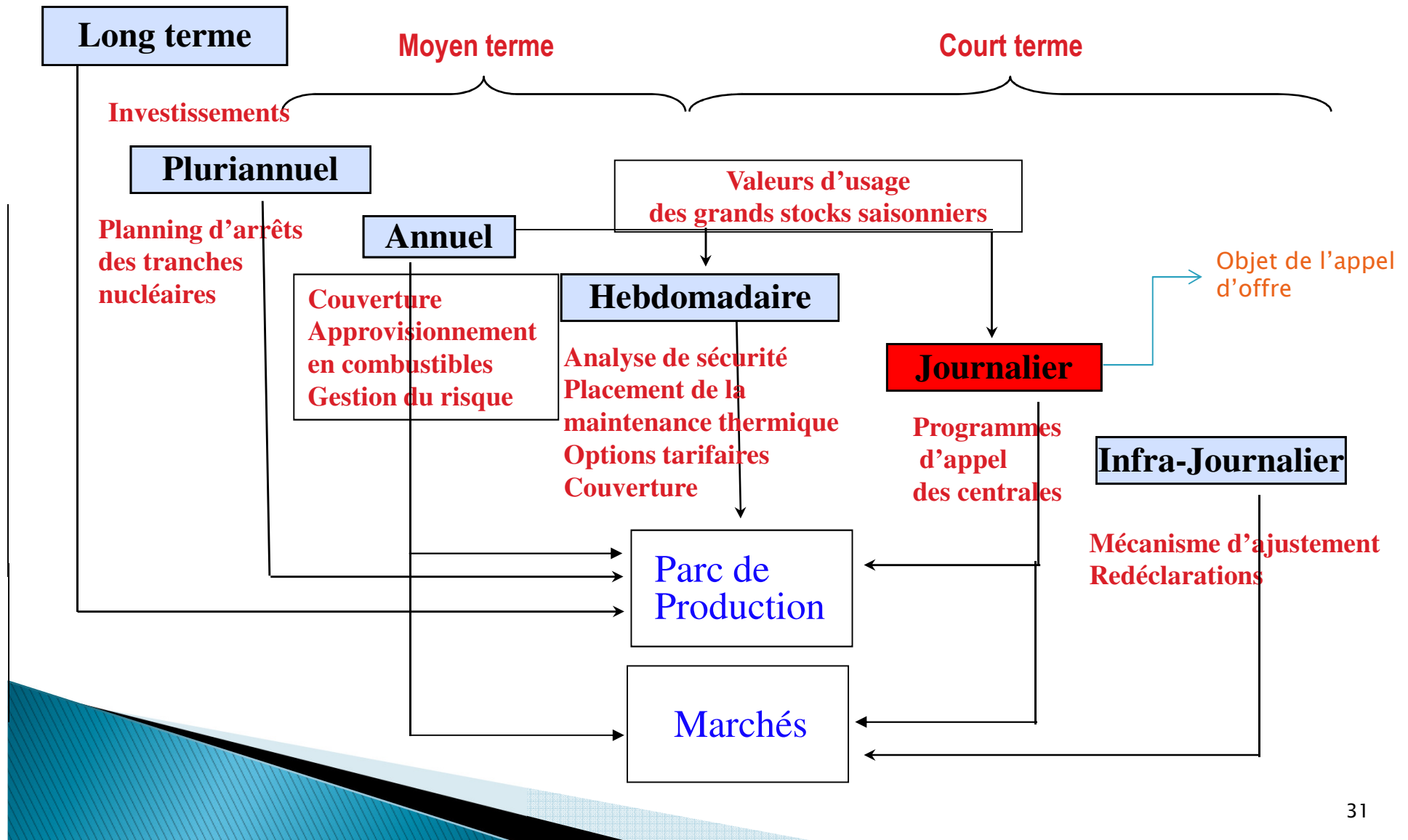
- ▶ Un acteur (producteur, distributeur) du système électrique est responsable de son propre équilibre (RE).
- ▶ Des pénalités sont versées par les RE au GRT en cas d'écarts sur leur périmètre.
- ▶ La gestion de production pour un RE consiste à gérer son équilibre offre–demande au moindre coût (coût de production + pénalités d'écarts).



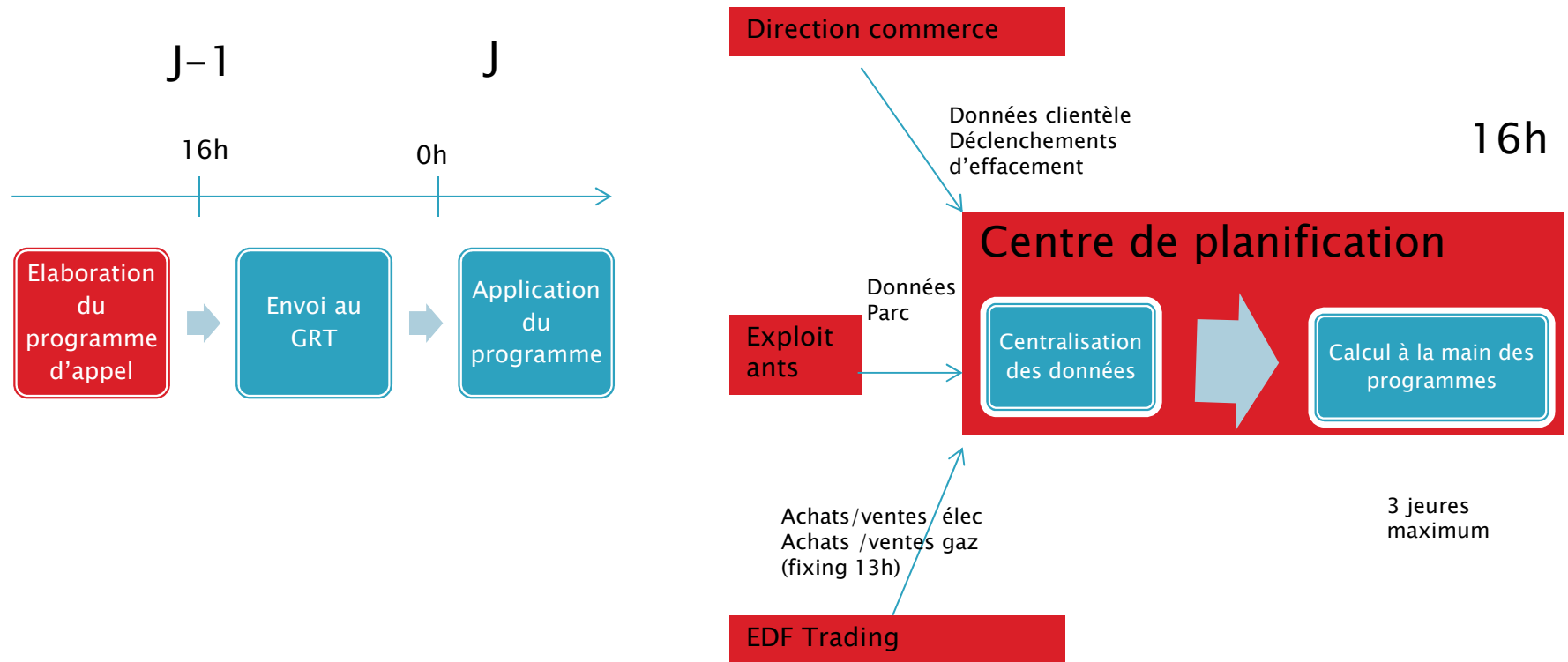
La gestion de production



La gestion de production



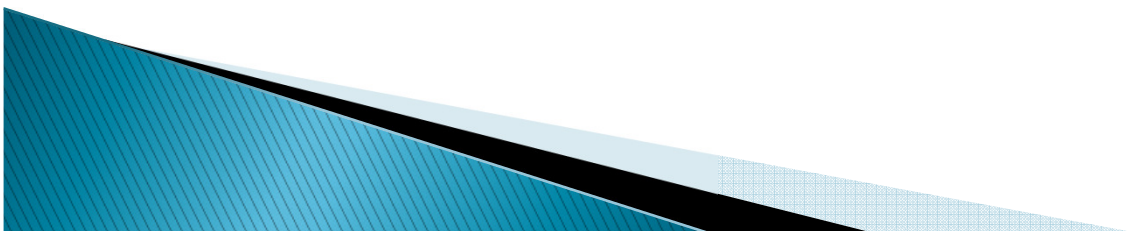
La gestion de production journalière



**ELABORATION DU
PROGRAMME D'APPEL**

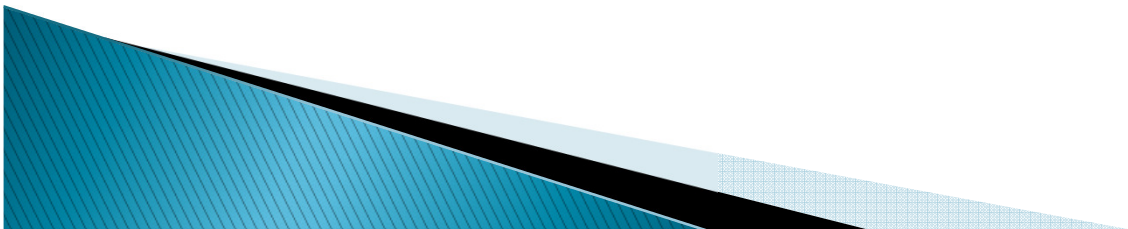
La gestion de production

- ▶ Les nouveautés dans le paysage énergétique (nouvelles réglementations, évolutions des usages, etc) doivent constamment être prises en compte.
- ▶ La problème de gestion de production au *journalier* consiste à *placer* sur *48 h (discrétisées par pas de 30 minutes)* la production des différents moyens du *parc* face à la *demande*.



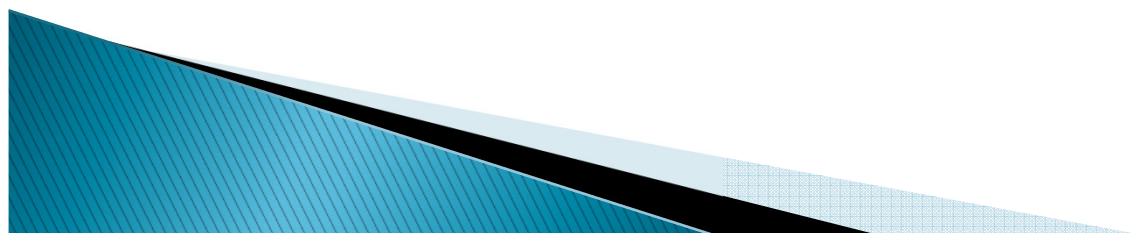
Lancement d'un appel d'offre

- ▶ Conception d'un logiciel d'optimisation modélisant le problème de gestion de production journalière
 - Modélisant le problème à résoudre
 - Automatisant et optimisant les décisions



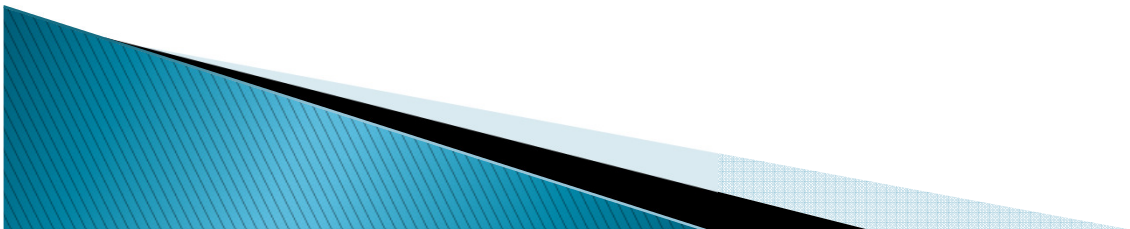
Enjeux

- ▶ Automatiser le processus
 - Moindre stress sur les équipes
 - Robustesse du processus
- ▶ Faciliter les échanges avec les exploitants
 - Meilleure prise en compte des contraintes de l'exploitant
 - Limitation des allers-retours avec l'exploitant
- ▶ Diminuer les couts de production
 - Prendre des décision minimisant les couts



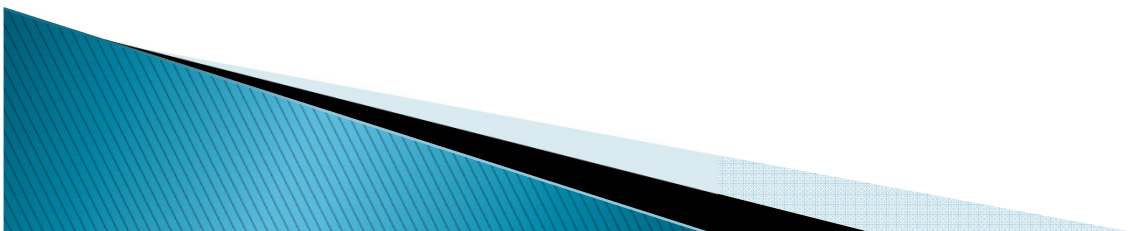
La demande

- ▶ La demande comporte deux composantes :
 - La consommation liée aux usages de l'électricité (résidentiel, industriel).
 - Les échanges d'énergie réalisés sur les marchés de l'électricité.
- ▶ La prévision de consommation des clients du RE est calculée par des modèles statistiques souvent basés sur des historiques de consommation, prenant en compte des aléas sur la température etc



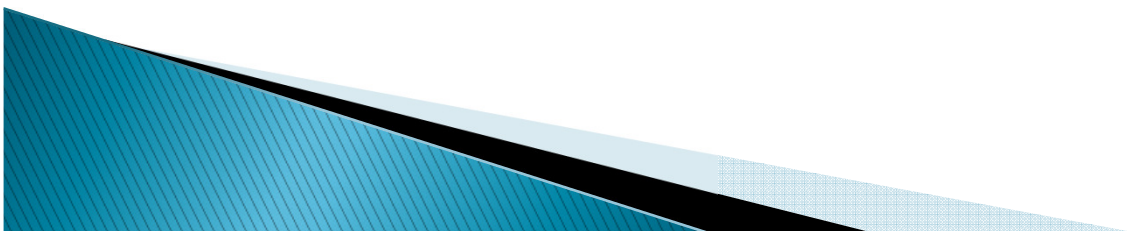
La demande

- ▶ La prévision de consommation est de plus en plus difficile dans un marché ouvert à la concurrence où le périmètre des clients varie constamment.
- ▶ Quelque soit leur sens (achat/vente), les échanges s'ajoutent à la demande calculée.



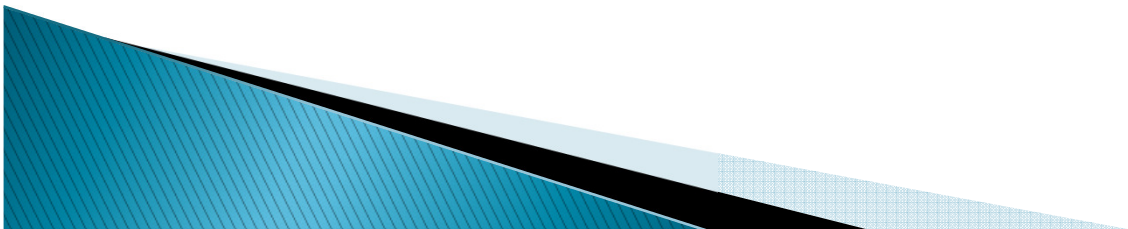
La demande

- ▶ A l'horizon journalier, le problème de gestion de la production est déterministe, une chronique unique de la demande est considérée.
- ▶ Le problème journalier doit répondre à 3 chroniques :
 - demande en puissance,
 - prescription en réserve primaire,
 - prescription en réserve secondaire.



Le parc de production

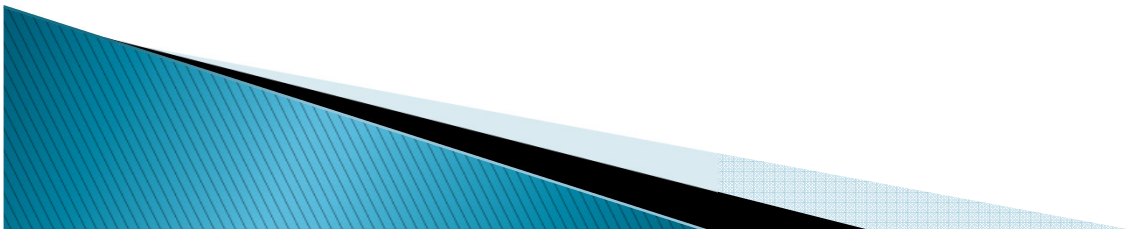
- ▶ Le parc de production est constitué de moyens de production thermique, hydraulique et des ENR.
- ▶ Les moyens thermiques :
 - Les tranches nucléaires
 - Les centrales thermiques à flamme (charbon, fioul)
 - Les centrales thermiques à gaz (TAC, CCG).
- ▶ Les usines hydrauliques :
 - Les stations de turbinage,
 - Les stations de pompage.



Le parc de production

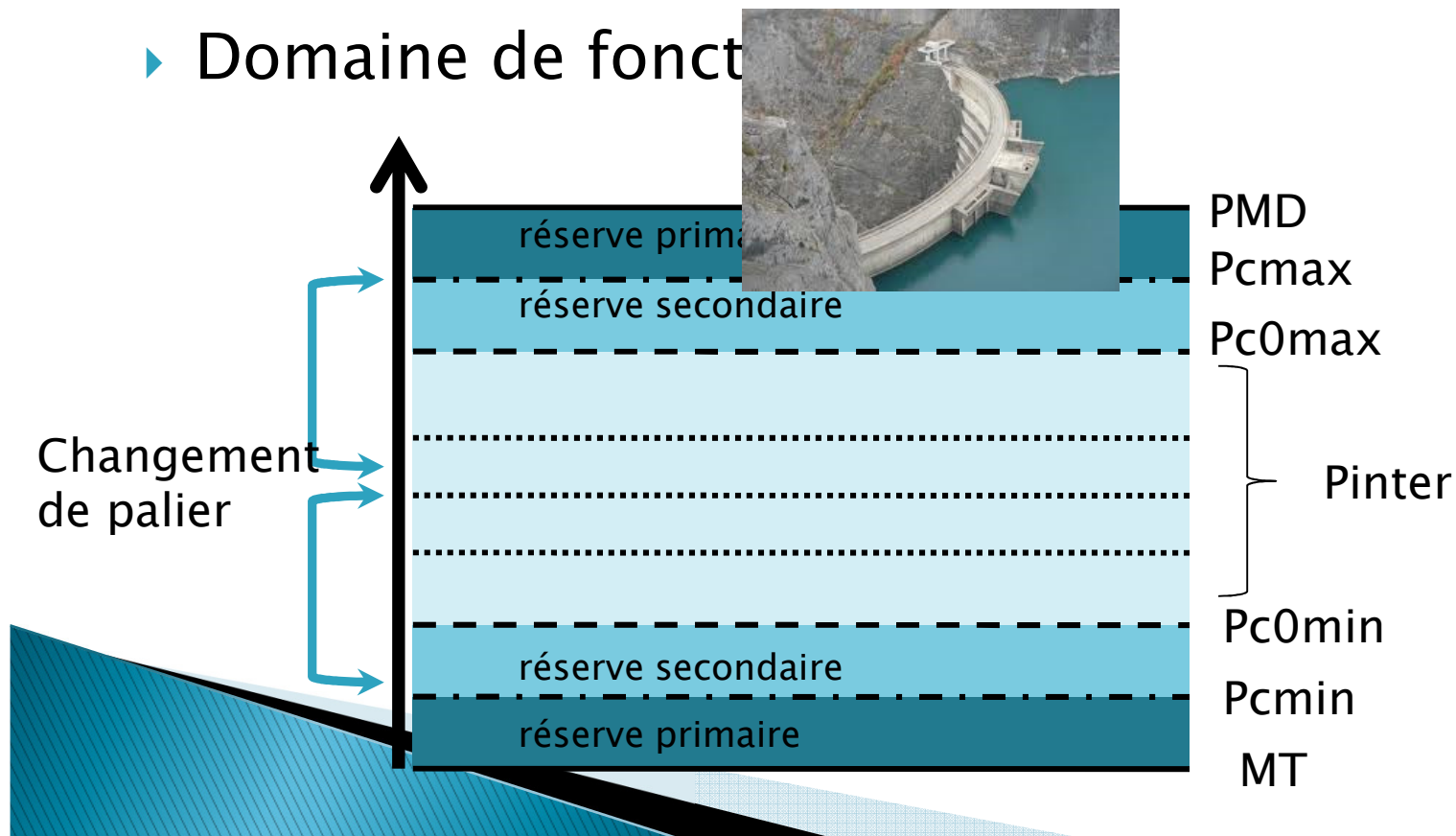
- ▶ ENR (autres) :
 - L'éolien,
 - La biomasse,
 - Le solaire/photovoltaïque,
 - La géothermie.

- ▶ Pour le placement journalier qu'on va étudier, seulement la production des moyens thermiques et hydrauliques sera optimisée.

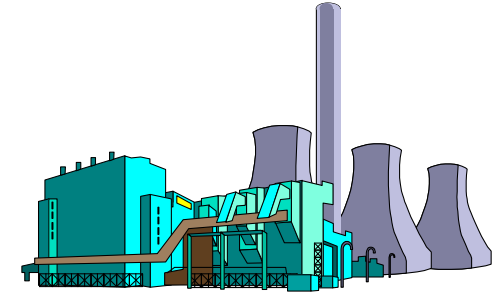


Caractéristiques des moyens thermiques

- ▶ Les tranches thermiques sont techniquement indépendantes.
- ▶ Domaine de fonction



Caractéristiques des moyens thermiques



- ▶ Fonctionnement en discret, sauf à Pinter.
- ▶ Différentes configurations

Puissance	Primaire	Secondaire
PMD	0	0
Pcmax	Primax	0
Pc0max	Primax	Secmax
$\epsilon \in]Pc0min, Pc0max[$	0	0
$\epsilon \in]Pc0min, Pc0max[$	PrilInter	0
$\epsilon \in]Pc0min, Pc0max[$	PrilInter	SecInter
Pc0min	Primin	Secmin
Pcmin	Primin	0
MT	0	0

Caractéristiques des moyens thermiques



- ▶ 2 types de coûts de production :
 - Coûts variables :
 - Coût de démarrage : dépend de la durée d'arrêt le précédant
 - Coût fixe de fonctionnement par heure
 - Coût proportionnel de fonctionnement
 - Coûts fixes :
 - Coût de changement de palier : un coût forfaitaire pour chaque changement
 - Coût de changement de services système : un coût forfaitaire pour chaque changement

Caractéristiques des moyens thermiques

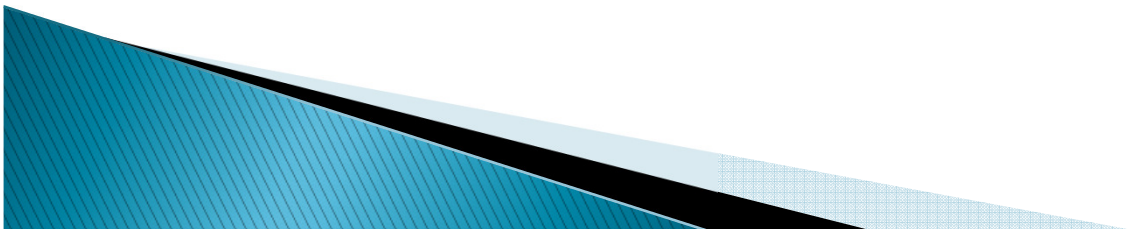
- ▶ 2 types de coûts de production :
 - Coûts variables :
 - Coût de démarrage : dépend de la durée d'arrêt le précédant – on va considérer un coût fixe
 - Coût fixe de fonctionnement par heure
 - Coût proportionnel de fonctionnement
 - Coûts fixes :
 - Coût de changement de palier : un coût forfaitaire pour chaque changement
 - Coût de changement de services système : un coût forfaitaire pour chaque changement



Caractéristiques des moyens thermiques

- ▶ Contraintes dynamiques de fonctionnement :
 - Durée minimale de marche
 - Durée minimale d'arrêt
 - Durée minimale de palier
 - Respect de gradients pour les variations de puissance à la hausse et à la baisse
 - Nombre maximal de démarrages et de changements de palier

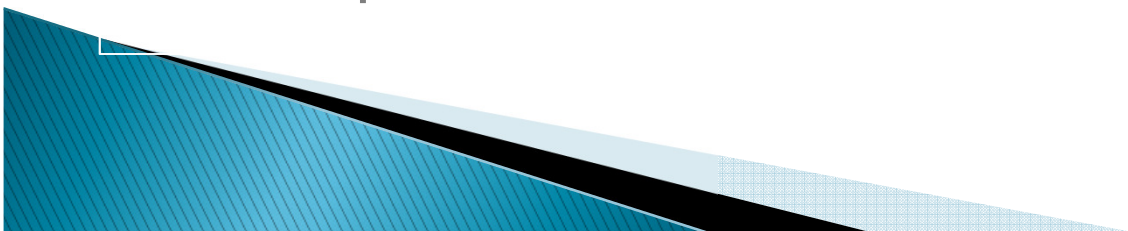
- ▶ Contraintes statiques
 - Respect des courbes d'arrêt et de démarrage



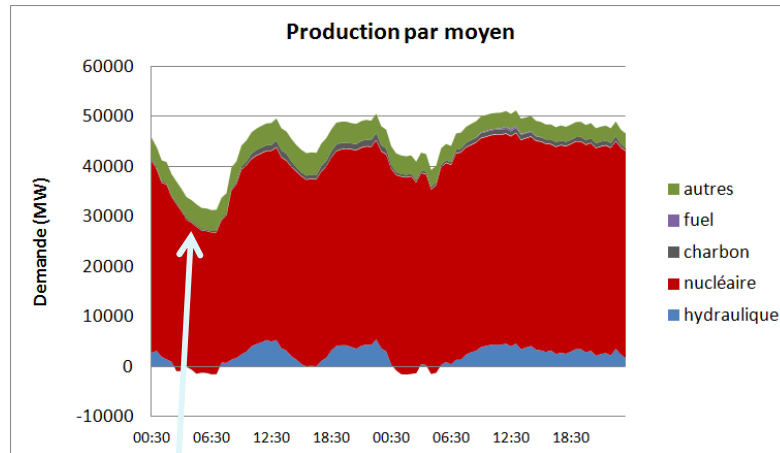
Caractéristiques des moyens thermiques

- ▶ Contraintes dynamiques de fonctionnement :
 - Durée minimale de marche
 - Durée minimale d'arrêt
 - Durée minimale de palier
 - Respect de gradients pour les variations de puissance à la hausse et à la baisse
 - Nombre maximal de démarrages et de changements de palier

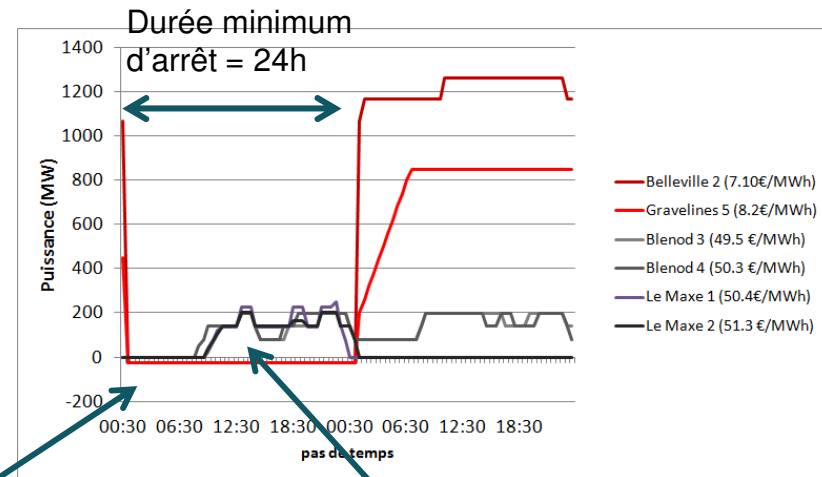
- ▶ Contraintes statiques
 - Respect des courbes d'arrêt et de démarrage



Impact des contraintes dynamiques



Creux de nuit très marqué



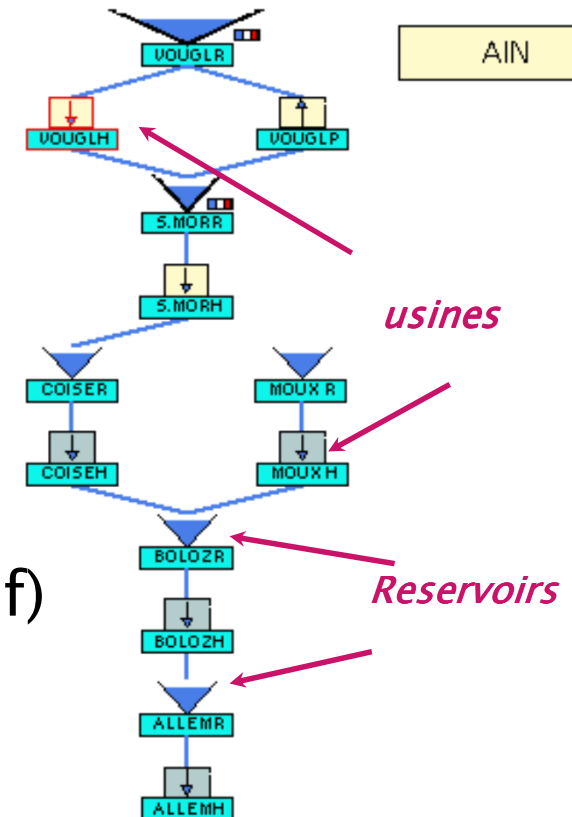
Extinction de 2 groupes nucléaires, pour 24h.

Nécessité de démarrer 4 groupes charbons dans la journée

Caractéristiques des moyens hydrauliques

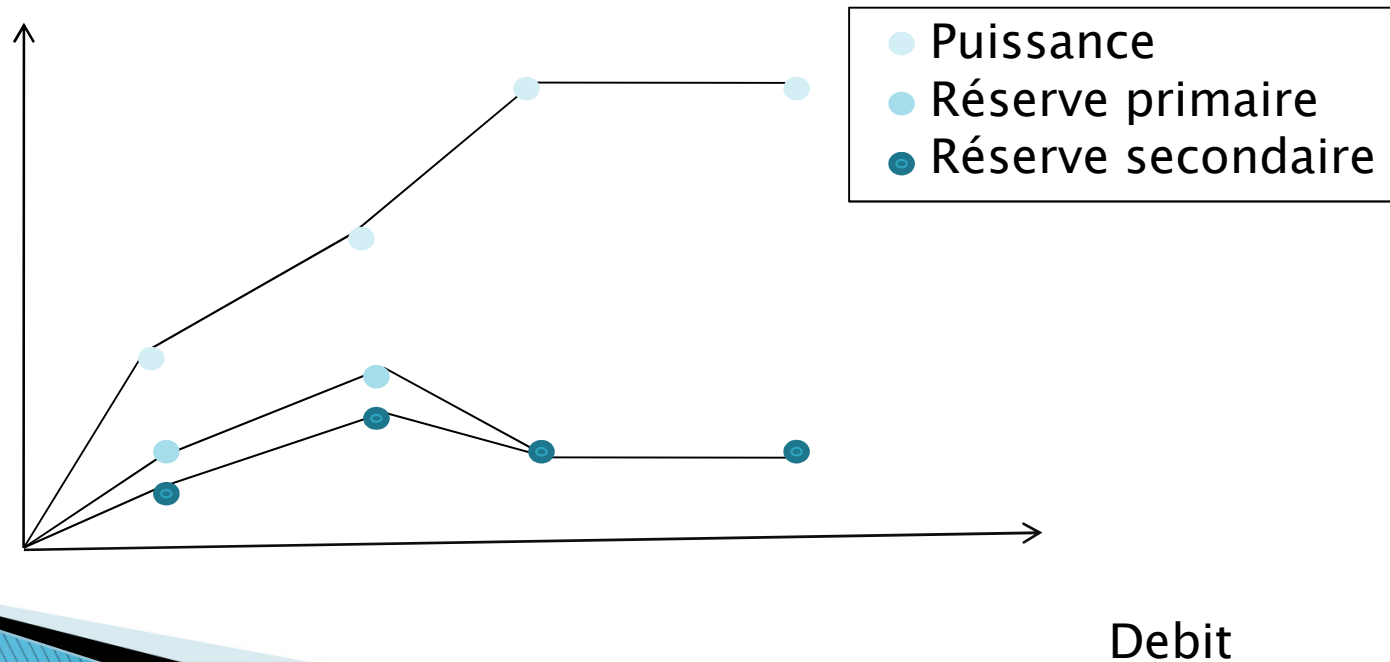


- ▶ Vallée hydraulique = ensemble d'usines et de réservoirs interconnectés.
- ▶ 2 types de réservoirs :
 - lac (géré sur valeur de l'eau)
 - écluse (gérée sur volume objectif)
- ▶ 2 types d'usines :
 - usine de turbinage
 - usine de pompage



Caractéristiques des moyens hydrauliques

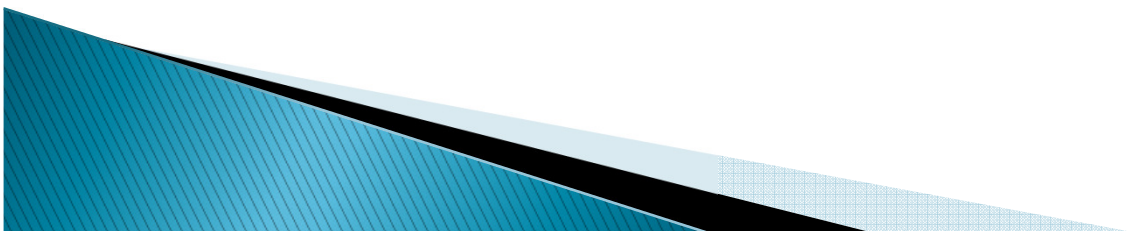
- ▶ Coût de production = valorisation de l'eau déstockée
- ▶ Courbe de fonctionnement



Caractéristiques des moyens hydrauliques

- ▶ Contraintes générales :
 - Contraintes des flots
 - Contraintes de bornes minimale et maximale sur les volumes
 - Palier minimal d'une heure avant de changer de sens après une variation de production
 - Respect de gradients pour les variations de débit à la hausse et à la baisse

- ▶ Contraintes spécifiques :
 - Interdiction de pompage/turbinage simultané
 - Arrêt d'une demi-heure avant passage turbinage<-> pompage



Résumé du problème à résoudre

- ▶ Calculer sur 48 h (discrétisées par pas de 30 minutes) la production des moyens du parc :
 - au moindre coût
 - sous contraintes de fonctionnement
 - sous contraintes d'équilibre offre–demande sur la puissance et les prescriptions en services système.

