RTE

PARTIE 2

Méthodes pour les études de développement du réseau de grand transport

GT DTR de la CPR du CURTE

Réseau de transport d'électricité

PLAN

Les caractéristiques du réseau de grand transport

Les Règles de développement du réseau de grand transport

Les étapes d'une étude

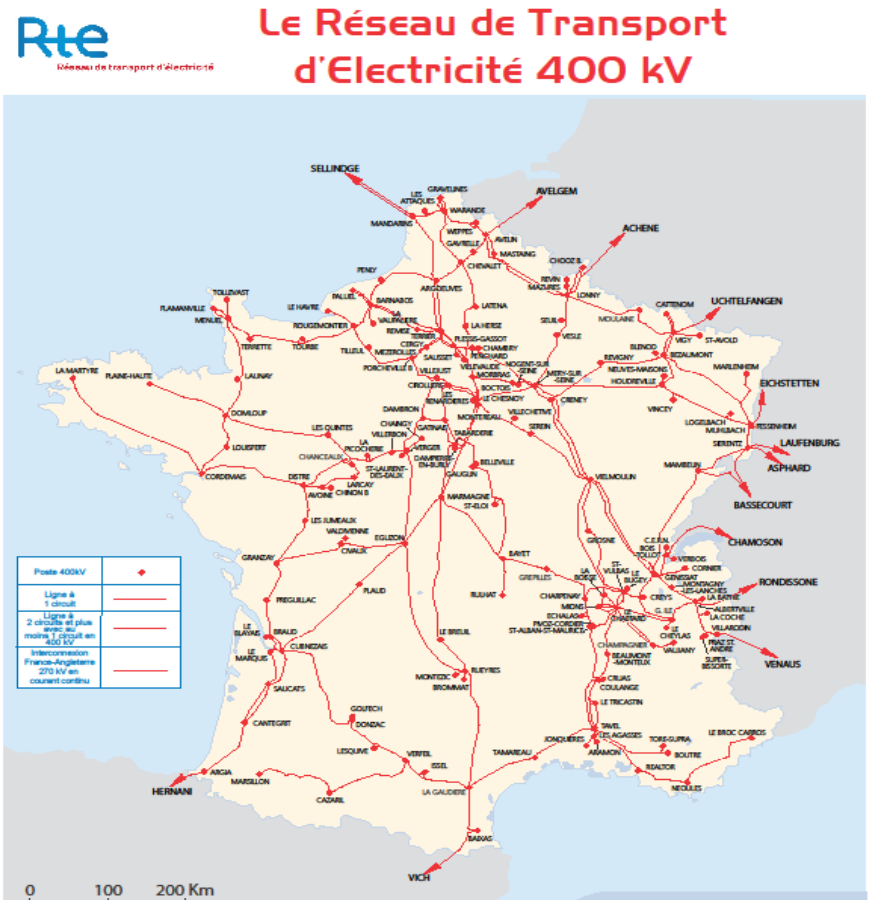
- Données et hypothèses
  - points caractéristiques
- Analyse des contraintes
  - études déterministes
  - études probabilistes
- Résultats
- Etude des renforcements

Réseau de transport d'électricité

Rappel des caractéristiques du réseau de grand transport

❑ réseau maillé en France et en Europe

- ☑ réseau 400 kV : 21450 km (données 2010)
- ☑ influence des variations production / consommation => modification des flux sur les ouvrages selon lois électriques
- ☑ un échange entre 2 pays : flux commerciaux # flux physiques





Règles de développement du réseau grand transport

❑ Des critères de sécurité

Permettre au réseau de fonctionner en respectant les critères de sécurité d'alimentation des clients et la sûreté globale du système :

- ☑ perturbations dues au réseau (aléas climatiques, pannes,…) ne doivent pas gêner les clients,
- ☑ continuité de l'alimentation, qualité de l'onde
- ☑ minimiser les risques de défaillance
- ☑ tenue des matériels dans le temps
- ☑ … et assurer P = C

❑ Une règle de sécurité standard (N-1)

En cas de défaillance d'un élément du réseau de transport ou d'une unité de production, l'électricité sera acheminée par une autre partie du réseau ou fournie depuis une autre unité de production et donc sans conséquence pour l'ensemble des clients raccordés au réseau.

Taux de défaillance : nombre n de pannes auxquelles on peut s'attendre pendant une période de temps donnée (souvent 1 an) :

Liaison 400 kV aérienne 1km $n = 0{,}12 \times 10^{-2}$

Groupe de production thermique $n = 5 \times 10^{-2}$

Réseau de transport d'électricité

Règles de développement du réseau grand transport

❑ Une garantie de maîtrise en cas d'incidents moins fréquents

☑ en cas d'incident N-1 jeu de barres postes => incidence limitée pour le client => coupure ou délestage d'au plus 600 MW, l'incident reste maîtrisé et circonscrit

☑ en cas d'Incident multiple type N-1 ligne sur support commun => coupure ou délestage d'au plus 1500 MW, l'incident reste maîtrisé

☑ en cas d'Incident chez un tiers => doit seulement concerner l'équilibre production-consommation, l'incident reste maîtrisé, alimentation inchangée pour le client

Réseau de transport d'électricité

Les étapes des études
Le « fil conducteur » d'une étude

Les études en régime statique (analyse flux / tension, courant de court circuit, qualité de l'onde)

Les études en régime dynamique (tension, phénomènes transitoires)

1 – Les données d'état et les hypothèses

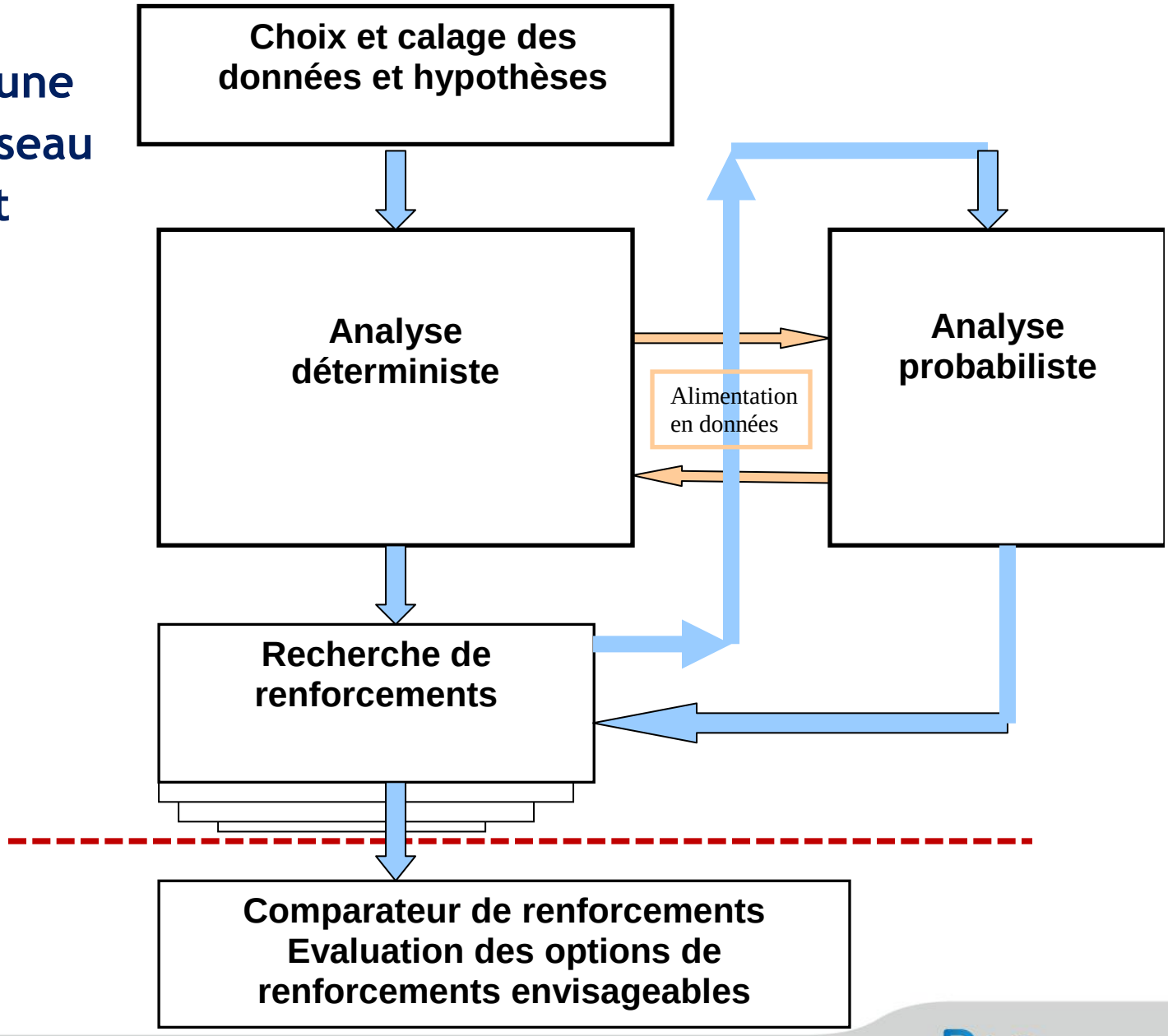
2 – La détection des contraintes

3 – La recherche des options de renforcements envisageables

4 – La comparaison des renforcements / l'évaluation

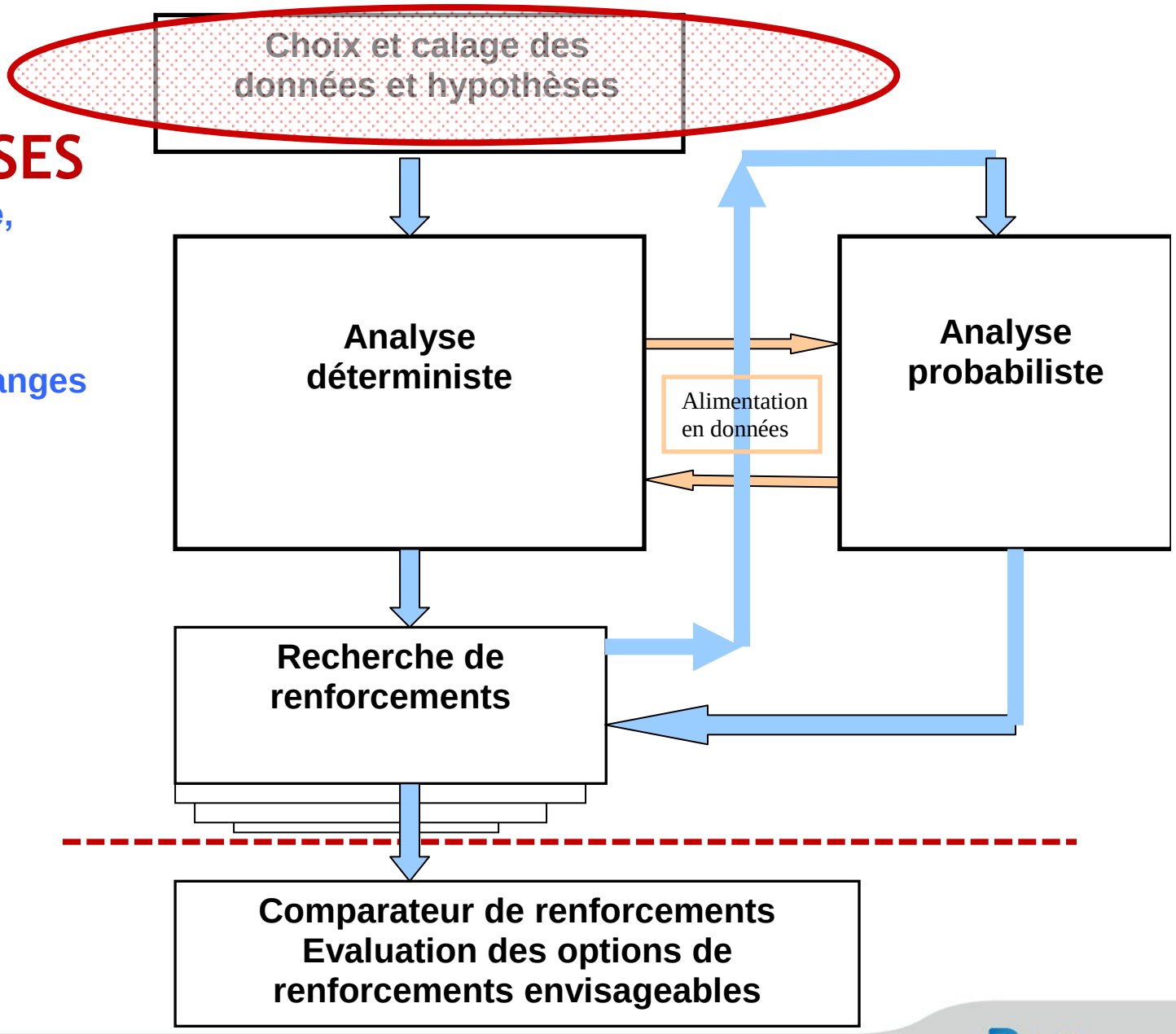
Réseau de transport d'électricité

Logigramme d'une étude sur le réseau grand transport



HYPOTHESES

– horizon d'étude, réseau
– points d'étude,
– consommation, production, échanges

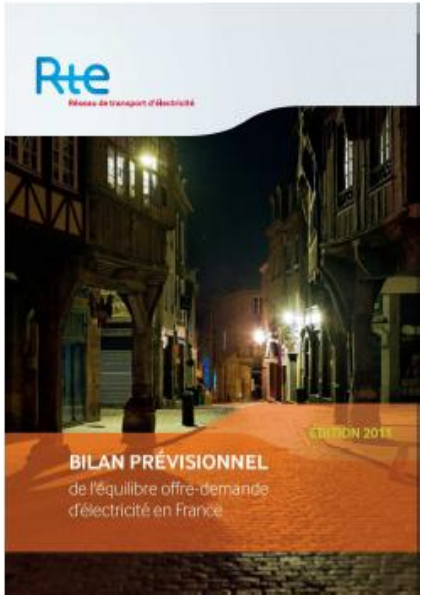


Grandeurs caractéristiques pour une étude de réseau

- Etudes européennes – Scénarios selon tendances macro-économiques
- Bilan prévisionnel => Corps d'hypothèses
- Grandeurs caractéristiques production / consommation

  Externes au réseau

  ☑ Consommation (puissance d'heures de pointe, de creux,…)
  ☑ Production (puissance disponible,…)
  ☑ Echanges commerciaux entre pays



- Grandeurs caractéristiques du réseau

  ☑ Zone d'étude : 400 kV France + partie 400 kV Europe + partie 225 kV France
  ☑ Ouvrages réseau existants
  ☑ Ouvrages réseau prévus mis en service à l'horizon d'étude
  ☑ Capacités de transport sur les ouvrages du réseau, variables selon la saison
  ☑ Schémas dans les postes du réseau
  ☑ Prise en compte de l'état du patrimoine sur les ouvrages

Points caractéristiques d'étude (1)

Principes

Étudier des points représentatifs des situations de réseau typiques attendues au cours d'une année

Etude exhaustive de 8760 points (heures) pas possible

Approche en puissance : études des contraintes

Approche en énergie : représentation de l'année pour évaluer l'occurrence

Réseau de transport d'électricité

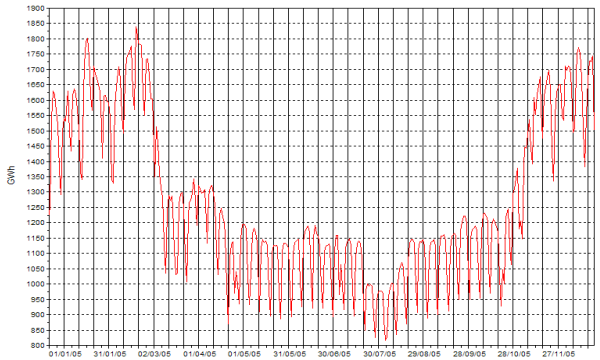
Points caractéristiques d'étude (2)

Problématique à résoudre :

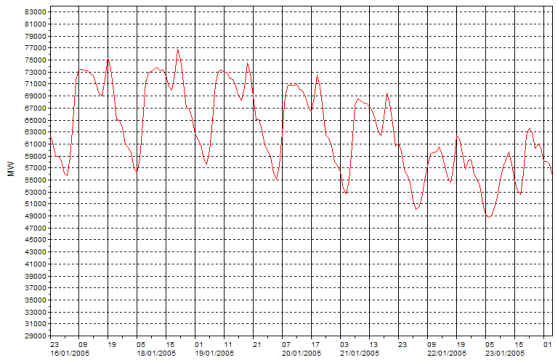
- Le réseau doit être dimensionné pour faire face à un certain nombre d'aléas affectant la production (indisponibilités, conditions météorologiques de vent et d'ensoleillement), la consommation (variable en hiver et intersaison selon la température) et les échanges (liés aux configurations consommation/production des différents pays).

- Nécessité d'étudier un ensemble de contraintes de réseaux pouvant survenir à tout instant, face à une demande ou une offre variable

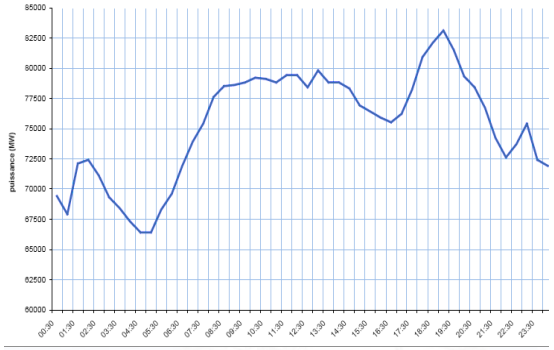
Courbe de charge annuelle France



Courbe de charge hebdomadaire France



Courbe de charge journalière France



- Il ne s'agit pas de représenter l'ensemble des situations possibles, mais de choisir certaines situations caractéristiques parmi les plus représentatives.

Réseau de transport d'électricité

Points caractéristiques d'étude (3)

- Méthode retenue : décrire l'année à travers des points dits « classiques » qui représentent les grandes tendances de variation de la consommation et/ou de la production. Les plus utilisés sont :
  - ☑ HIVER Janvier heure pleine et heure creuse
  - ☑ INTERSAISON Avril heure pleine
  - ☑ ETE Juin heure pleine et heure creuse

- Ces points permettent, par leur diversité, de générer une grande famille de situations d'études

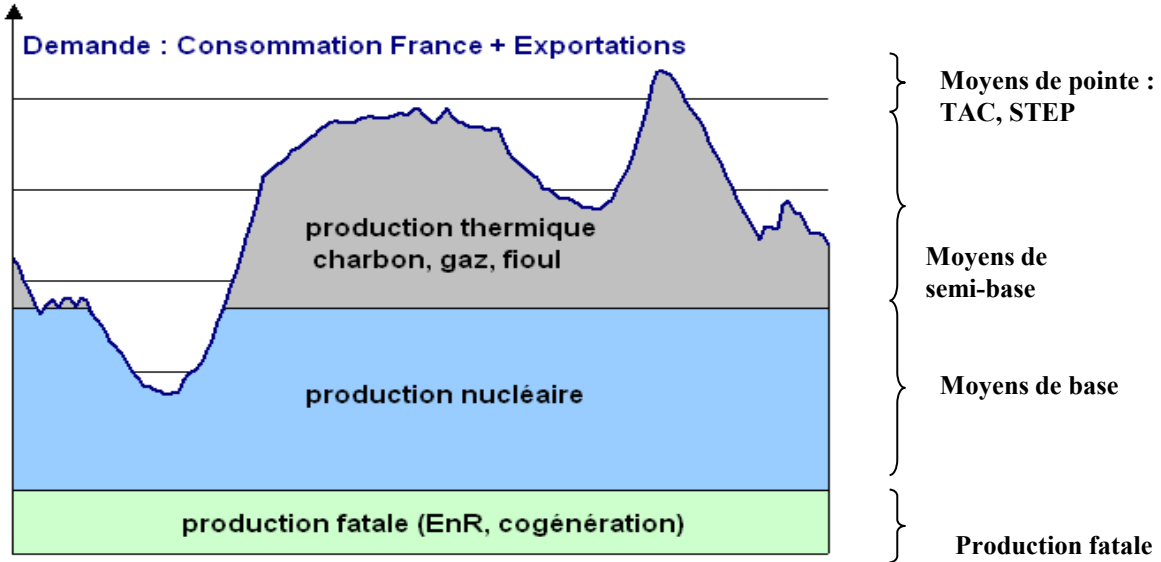
Par exemple :

- ☑ situations d'alimentation : fortes consommations (hiver HP et été HP),
- ☑ situations d'évacuation : consommation faible et production forte (hiver HC et été HC).
- ☑ situations d'échanges forts (flux import, export, traversant) avec des consommations faibles en hiver HC ou en été HC,…

Le démarrage de la production : principe d'empilement

- Le programme de production dépend :
  - ☑ Des contraintes techniques :
    - Indisponibilité programmée (planning d'entretien, …)
    - Indisponibilité fortuite (déclenchement d'un groupe, contraintes environnementales,…)
  - ☑ Des contraintes externes (météo) :
    - Production fatale (fil de l'eau, éolien, PV…)
  - ☑ Des contraintes économiques :
    - Production imposée : tarif de rachat pour certaines filières de production (cogénération…)

- Empilement des moyens de production selon des critères techniques et économiques



nota : Graphique indicatif, les échelles ne sont pas respectées

- le Plan de démarrage final tiendra compte des congestions sur le réseau

Réseau de transport d'électricité

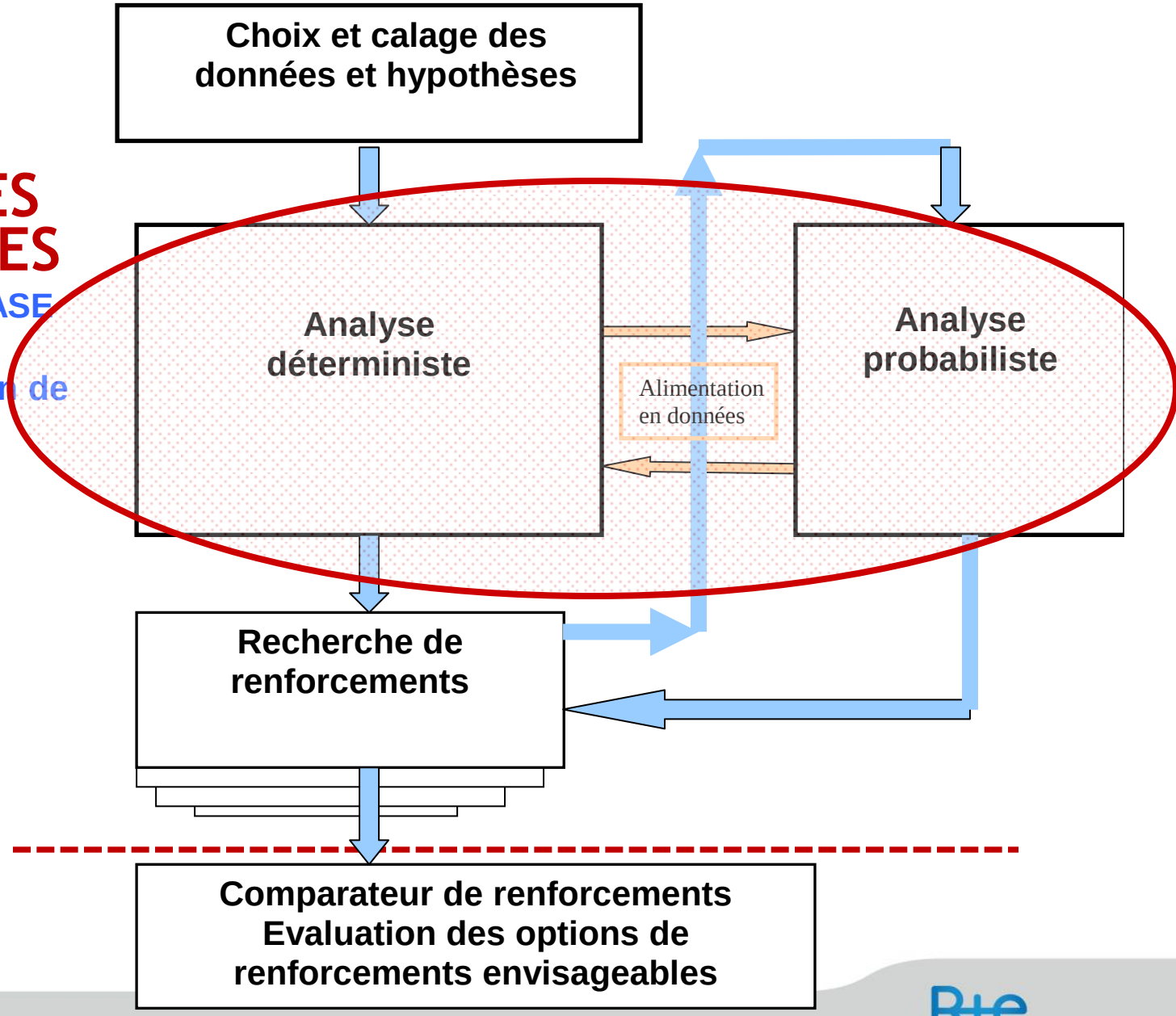
ANALYSE DES CONTRAINTES

Etude du CAS de BASE

Choix et Constitution de VARIANTES

Analyses électrotechniques complètes : flux, tensions,…

Mise en relief des contraintes



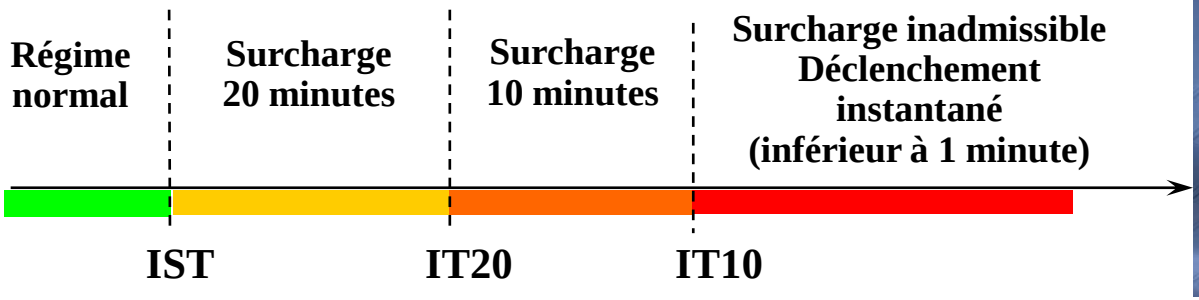
Réseau de transport d'électricité

Généralités sur les contraintes (1)

- Capacités de transport sur les ouvrages du réseau, variables selon la saison.

Limites physiques techniques des ouvrages lignes aériennes, liaisons souterraines, transformateurs

Liaisons aériennes 400 kV :





Détection des contraintes pour les études de développement :

en régime normal : IST (intensité de secours temporaire)

en régime d'incident : IT20 (intensité transitoire)

Réseau de transport d'électricité

Généralités sur les contraintes (2)

❑ action préventive

- ☑ action réalisée en régime normal (sans défaut) afin de se parer des conséquences potentielles d'un éventuel défaut
- ☑ elle peut toucher les moyens de production, la topologie, le pilotage de liaisons courant continu,…

❑ action curative

- ☑ action réalisée en réponse à un défaut survenu sur le réseau, afin de maîtriser ses conséquences et de juguler l'incident
- ☑ elle peut toucher les moyens de production, la topologie, le pilotage de liaisons courant continu,…
- ☑ comme les probabilités de défaut sont faibles, elle est mise en œuvre pendant des durées courtes.

Réseau de transport d'électricité

La détection des contraintes (1)
les situations à étudier

❑ Les situations à étudier sont les suivantes :

☑ en N : tous les ouvrages sont disponibles

☑ en N-1 : le réseau est examiné dans toutes les configurations où l'un de ses éléments a été retiré

- liaisons aériennes et souterraines
- transformateurs et autotransformateurs
- groupes de production

☑ indisponibilité simultanée de plusieurs ouvrages :

- N-1 ligne double
- N-k (défaut jeu de barres)

Réseau de transport d'électricité

La détection des contraintes (2)
les études déterministes

Les études à mener sont toutes réalisées au moins par une approche déterministe

Sur les quelques points horaires caractéristiques « dimensionnants » :

- ☑ simulations d'un ou plusieurs cas standards
- ☑ avec des données production / consommation fixées

=> Analyse technique fine du réseau : niveau de charge du réseau, paramètres influents, moyens pour résorber les contraintes (préventif / curatif),…

Ces simulations ne couvrent pas toujours :

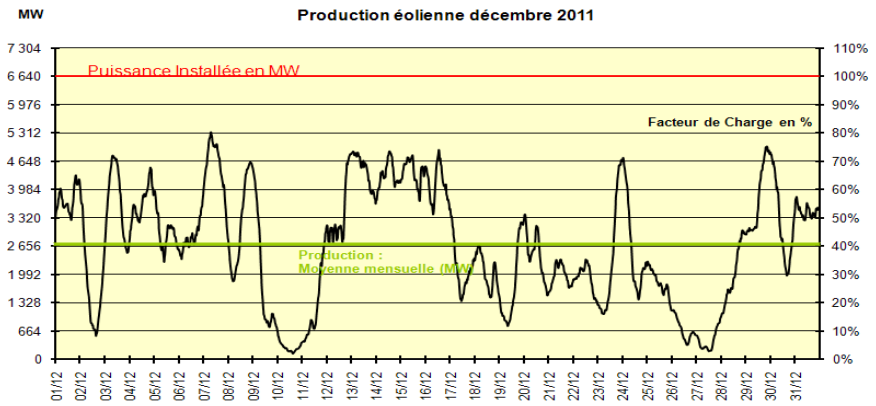
- ☑ certaines configurations non classiques
- ☑ certaines configurations estimées peu fréquentes

….mais qui peuvent générer des contraintes et sont dimensionnantes pour le Système.

La détection des contraintes (3)
les études probabilistes des flux

Le recours aux études probabilistes se justifie pour le grand transport par :

- un grand nombre d'incertitudes sur les hypothèses de l'équilibre production / consommation :
  - ☑ la présence ou non de moyens de productions envisagés ou à déclasser
  - ☑ le démarrage des moyens de production selon leur disponibilité et/ou selon la météo
  - ☑ les flux d'échanges internationaux
  - ☑ le niveau de consommation



- les insuffisances du processus d'analyse déterministe
  - ☑ sur quelques points horaires
  - ☑ couvre par définition un nombre limité de situations, ne permettant pas de rendre compte de l'ensemble des configurations (production, consommation, échanges) auxquelles doit faire face le réseau grand transport.

Réseau de transport d'électricité

Principes de l'approche probabiliste

Etude d'un grand nombre de cas issus de tirages au sort des conditions de production / consommation / échanges selon des lois de variation établies

Une optimisation pour chaque cas a lieu en deux temps :

- Une première phase dite Sans / Hors Réseau (HR)
  Le plan de production obtenu ne tient pas compte des capacités physiques des ouvrages du réseau, il s'agit de réaliser l'empilement économique modélisant le marché

Des contraintes sur le réseau peuvent contrarier le démarrage économique des groupes de production = les congestions.

- Une seconde phase dite Avec Réseau (AR)
  Le plan de production HR peut être réaménagé pour tenir compte des capacités du réseau (en N et sur défauts) : respect des limites de capacités physiques sur tous les ouvrages du réseau en régime normal (N) comme en régime d'incident => AR

  Ce réaménagement (redispatching) se fait en démarrant, augmentant, diminuant préventivement la production.
  Le modèle modifie donc le plan de démarrage initial :
  - ☑ à la hausse (RTE appelle un groupe qui n'aurait pas dû fonctionner)

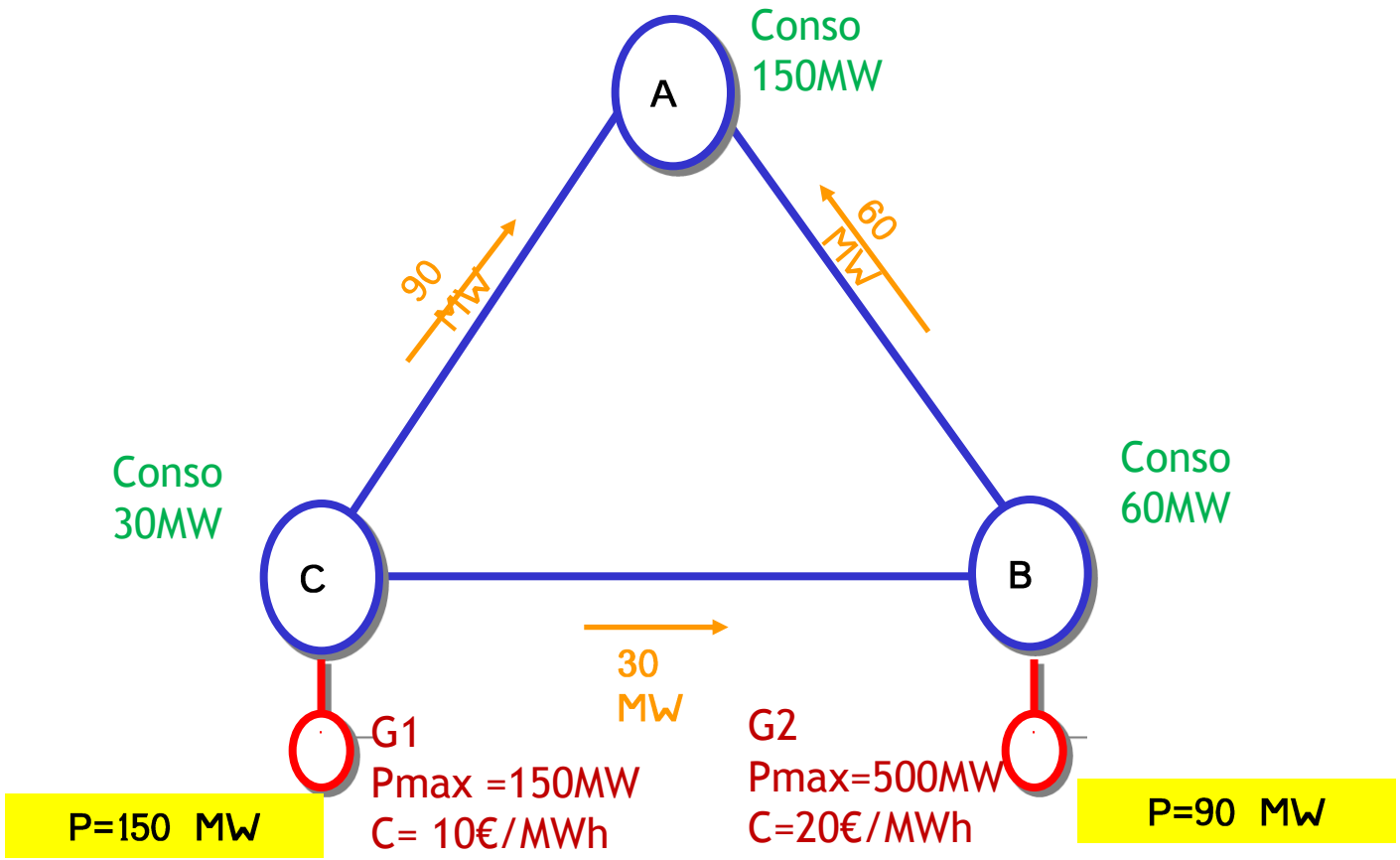
  ou
  - ☑ à la baisse (RTE limite un groupe qui aurait normalement dû fonctionner)

  Toute hausse s'accompagne d'une baisse (et réciproquement)

Réseau de transport d'électricité

illustration : réseau à 3 nœuds (analyse en N) (1/2)

Sans prise en compte des contraintes réseau on obtient la situation suivante (HR) :

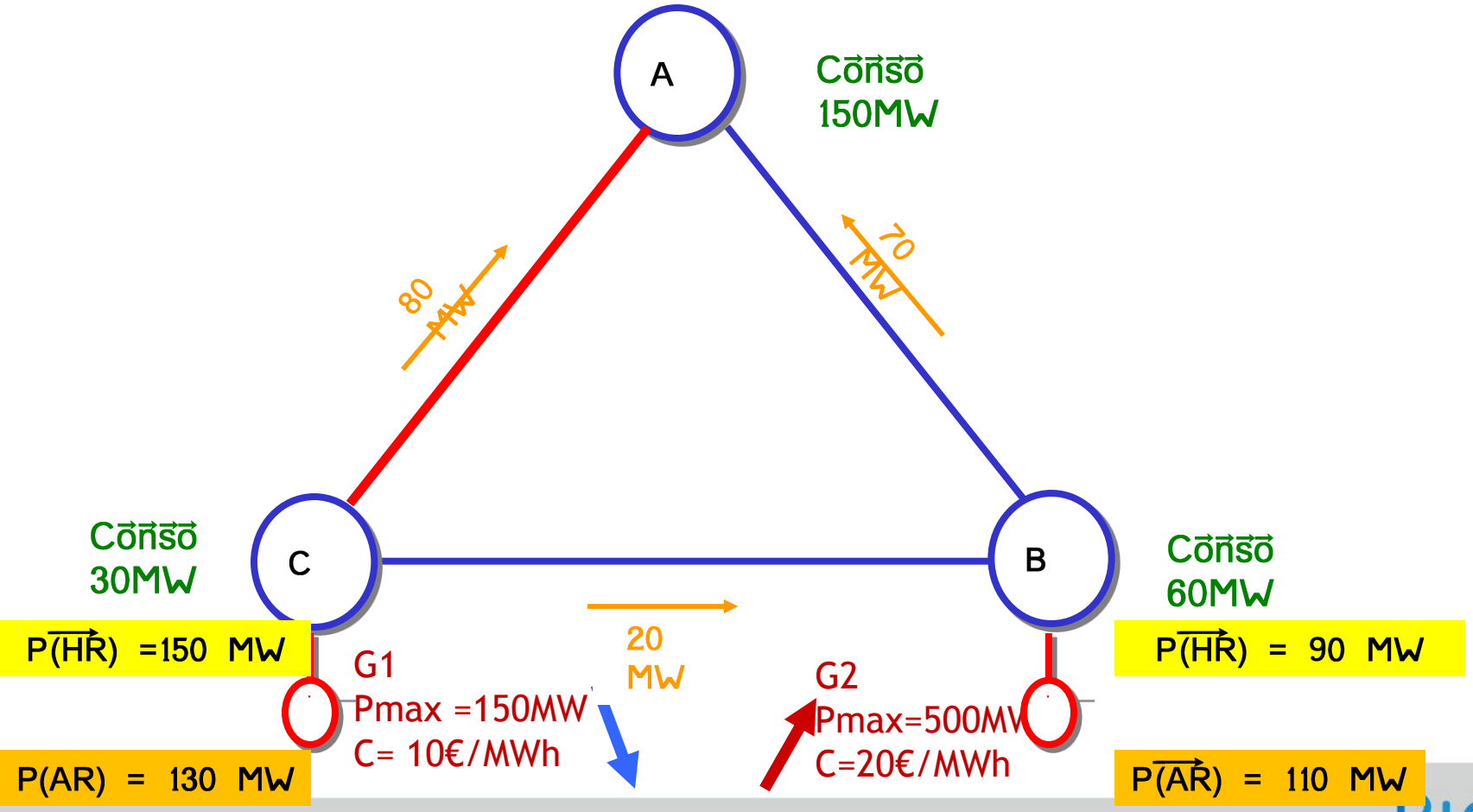


Avec réseau (AR) : la puissance maximale de la Ligne C-A est de 80MW
=> Programmes des unités de production à modifier

Réseau de transport d'électricité

illustration : réseau à 3 nœuds (analyse en N) (2/2)

Pour résoudre la contrainte sur la ligne C-A (T≤80MW) il faut baisser la production la moins chère (G1) et augmenter la production la plus chère (G2)



Réseau de transport d'électricité

Résultats de l'approche probabiliste (1)

Cette approche permet :

- ❑ d'identifier et analyser les paramètres influents de l'étude
- ❑ de mesurer la gravité des contraintes
  en fournissant des indicateurs qui traduisent le niveau de désoptimisation du plan de production imputable aux congestions sur le réseau.

Elle fournit des résultats sur les situations tirées au sort (moyennes et par situation)

- ❑ **les aménagements préventifs nécessaires au plan de production (baisse, augmentation de certains groupes) pour lever les congestions éventuelles**

- ❑ **le coût des congestions générées**
  - ☑ Vision prospective du prix de l'électricité
  - ☑ Corrélation de ce prix avec l'historique des offres constatées sur le Mécanisme d'ajustement

Réseau de transport d'électricité

Résultats de l'approche probabiliste (2)

- une estimation des pertes Joule

  RTE achète les pertes sur le marché européen (~ 11 TWh /an)

  Les taux de pertes sont compris entre 2 et 3,5% de la consommation, suivant les saisons et les heures de la journée. En moyenne, le taux s'établit à 2,5%.

  Coût des pertes établi
  - ☑ Vision prospective du prix de l'électricité
  - ☑ Corrélation de ce prix avec l'historique du prix d'achat RTE

  Réseau bouclé le plus possible pour minimiser les pertes Joule

- le volume de défaillance préventive à consentir pour respecter les contraintes sur les flux qu'aucun redispatching production ne peut lever (peu fréquent en grand transport)

Réseau de transport d'électricité

Principe de valorisation des contraintes

- Chaque contrainte détectée n'aboutit pas systématiquement à une recherche d'investissement pour renforcer le réseau

- ☑ Examen de ses conséquences
- ☑ S'assurer que l'exploitation du réseau restera viable

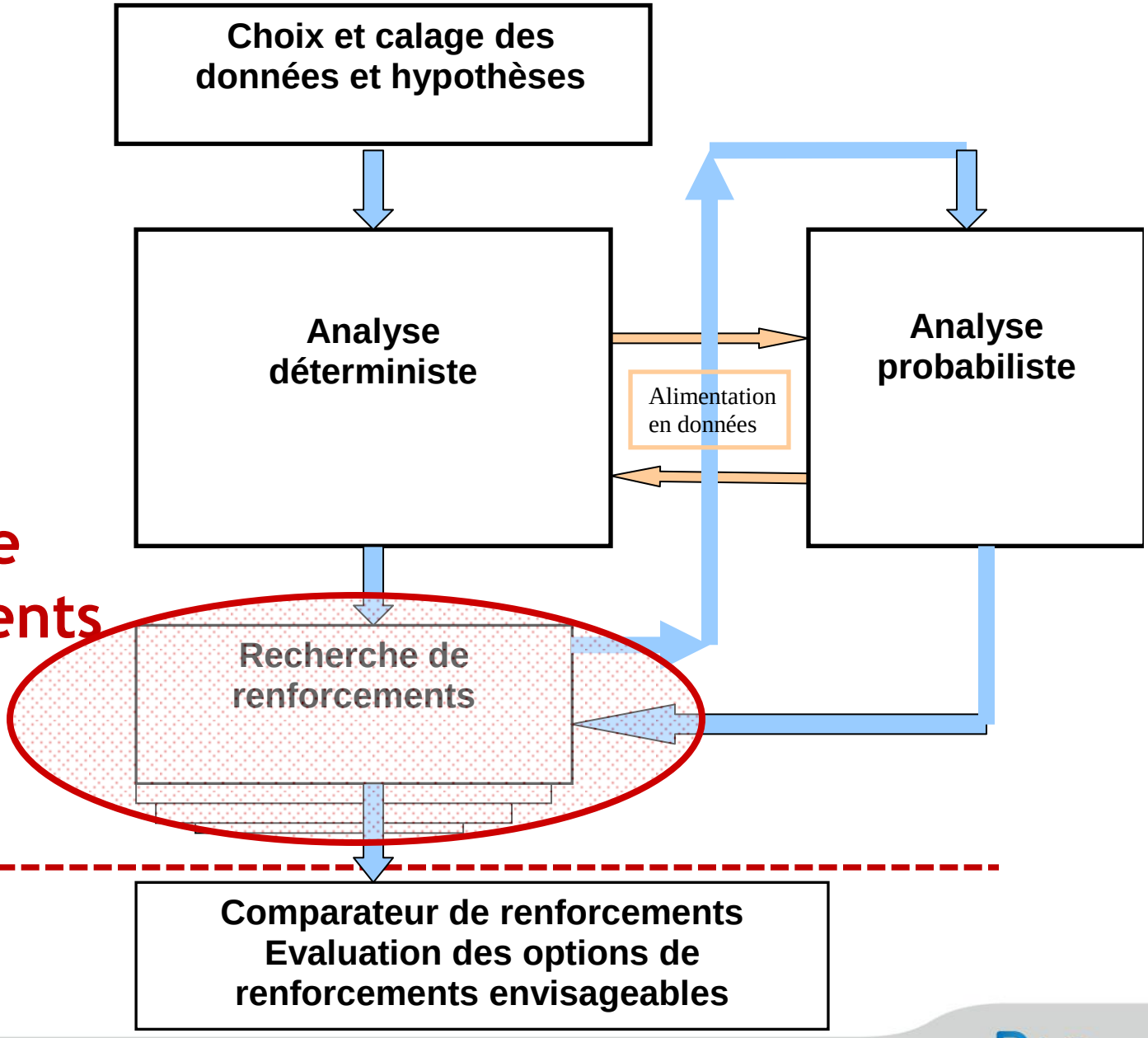
- Pour « peser » une contrainte, elle va être caractérisée par :

- ☑ Sa profondeur
- ☑ Le redispatching induit
- ☑ Une probabilité d'occurrence



ANALYSE de renforcements

identification, description, performances techniques



Réseau de transport d'électricité

Facteurs déclenchant des renforcements 400 kV (1/2)

Les facteurs déclenchant de nouveaux développements du réseau 400 kV peuvent être issus du niveau européen, du niveau national ou du niveau régional.
Ils sont principalement constitués **d'évènements discrets de 2 natures** :

❑ l'arrivée prévue ou l'arrêt programmé de moyens de production importants sur un poste localisé ou une zone de réseau (à l'échelle d'une région par exemple) ;

❑ l'évolution des flux d'échanges transfrontaliers dont les niveaux peuvent fortement varier avec la mise en service de renforcements étudiés dans le cadre européen puis en bilatéral.

Facteurs déclenchant des renforcements 400 kV (2/2)

Facteurs jouant de manière secondaire :

- ❑ l'augmentation de la consommation (diffuse)

- ❑ la diminution des pertes

  Les renforcements du réseau permettent parfois une réduction des pertes

  - ☑ les pertes constituent rarement le facteur déclenchant d'un investissement

  - ☑ mais peuvent être déterminantes dans le choix d'une option technique
    renforcement du réseau existant ⇔ nouvelle injection
    impact du remplacement des conducteurs classiques par des CFD

  - ☑ cas des antennes pour le dimensionnement des ouvrages
    surcoût section supérieure ⇔ réduction des pertes

Réseau de transport d'électricité

Nature des renforcements

Distinguo renforcements « structurants » et « palliatifs »

- le renforcement dit « structurant » (ou « lourd »)

  pour résoudre une ou plusieurs contraintes fortes de flux et de tension, souvent de manière mutualisée ; c'est un renforcement robuste, qui remplit un objectif à long terme.

- le renforcement dit « palliatif » (ou « léger »)

  pour résoudre des contraintes moins importantes, souvent assez localisées et temporaires ; c'est un renforcement qui permet de résoudre une contrainte pendant une durée limitée et déterminée,.

Réseau de transport d'électricité

Résolution des contraintes

PANOPLIE DES OPTIONS TECHNIQUES ENVISAGEABLES SUR LE RÉSEAU

Adapter les ouvrages existants ou créer de nouveaux ouvrages

Selon des critères de possibilités techniques et les performances techniques apportées

- ❑ Création de nouveaux ouvrages
  - ☑ construction d'une nouvelle liaison
  - ☑ déroulage d'un circuit non équipé
  - ☑ création d'une nouvelle injection 400/225 kV
  - ☑ ajout d'appareils de régulation des flux / pour tenir la tension

- ❑ Renforcement des composants - sans modification majeure de la structure du réseau :
  - ☑ Liaison aérienne : remplacement des conducteurs
  - ☑ Liaison aérienne : retente des conducteurs
  - ☑ Modification de la tension d'exploitation (225 kV -> 400 kV)
  - ☑ Poste : remplacement de transformateur par un appareil plus puissant, remplacement de matériels (sectionneurs, disjoncteurs…)

Remarque : il peut y avoir des composants limitants (liaison / poste)

Réseau de transport d'électricité

Fin de la 2ème partie

Réseau de transport d'électricité