



Actualité et contexte de l'énergie électrique : enjeux, besoins et stratégie

Gilbert Ruelle

Président de la commission énergie et changement climatique



Quelle part de l'énergie mondiale est électrique?

Consommation mondiale d'énergie primaire ~11 Gtep

Part transformée sous forme électrique : environ 40 %
~ 20.000 TWh*, 40 fois la consom.France (500 TWh)
prévu 26.000 TWh en 2020, 32.000 TWh en 2030

Puissance électrique installée dans le monde :
~ 4000 GW (équivalent de 4000 centrales nucléaires)

* 1 Mtep ~ 4,5 TWh (recommandations CME, OFE)



Quelle part de l'énergie est électrique?

Consommation mondiale d'énergie primaire ~11 Gtep

Consommation sous forme électrique : environ **40 %**
~ 20.000 TWh*, **40** fois la consom.France (500 TWh)

Puissance électrique installée dans le monde :
~ **4000** GW (équivalent de **4000** centrales nucléaires)



Où sont installés ces 4000 GW ?

- Amérique du nord ~ 1400 dont 1000 aux Etats-Unis
- Europe ~ 800 dont 112 en France
- Asie+Océanie ~ 1000 dont 700 en Chine
- ex-URSS ~ 340
- Amérique latine ~ 220
- Moyen-Orient ~ 130
- Afrique ~ 110



Un enseignement minimal est nécessaire sur l'énergie électrique, et d'abord sur l'énergie

Les erreurs de chiffres sur l'énergie dans les médias sont monnaie courante dans les débats publics, souvent au service de positions politiques.

Un exemple souvent répété par le parti politique « Les Verts »:

le nucléaire ne représente que 2% de l'énergie, donc contribue si peu à la production mondiale d'énergie et à la réduction des émissions de CO₂ que l'on peut s'en passer, argument repris pendant la campagne présidentielle et encore à Belfort le 29 avril 2008 dans une conférence donnée par un conseiller régional de ce parti.

Cette erreur est le résultat de la division de 0,2 Gtep d'énergie nucléaire finale mondiale par les 10 Gtep d'énergie primaire.



*PARCE QU'IL Y A TROIS
COMPTABILITES DE
L'ENERGIE A CONSIDERER*

ENERGIE PRIMAIRE,

ENERGIE FINALE,

ENERGIE UTILE



Les trois comptabilités de l'énergie

- **L'énergie primaire** : c'est celle prélevée sur des sources (charbon, pétrole, gaz, chutes d'eau, chaleur de fission, plantes...etc).

France 2005 : 270 Mtep dont 123 en chaleur nucléaire (45%), et zéro électrique

- **L'énergie finale** : celle qui, après transformation, est mise à disposition du consommateur final, qui la paie (carburant à la pompe, électricité au compteur, fioul de chauffage...etc). ~ moitié de l'énergie primaire.

France 2005 : 160 Mtep, dont 45 électrique (28%), dont 37 nucléaire (23%)

- **L'énergie utile** : exprime le service rendu (énergie sur les roues, chaleur effectivement utilisée pour le chauffage...etc). ~ 1/3 de l'énergie primaire

France 2005 : 85 Mtep, dont 40 électrique (47%), dont 33 nucléaire (39%)

Le nucléaire représente donc en France 23% de l'énergie finale (37 / 160 Mtep), et 39% de l'énergie utile (33 / 85 Mtep), et bien sûr 80% de l'énergie électrique, ce que chacun sait.

L'énergie électrique joue un rôle croissant lorsqu'on se rapproche du consommateur car elle représente au plus près le service rendu



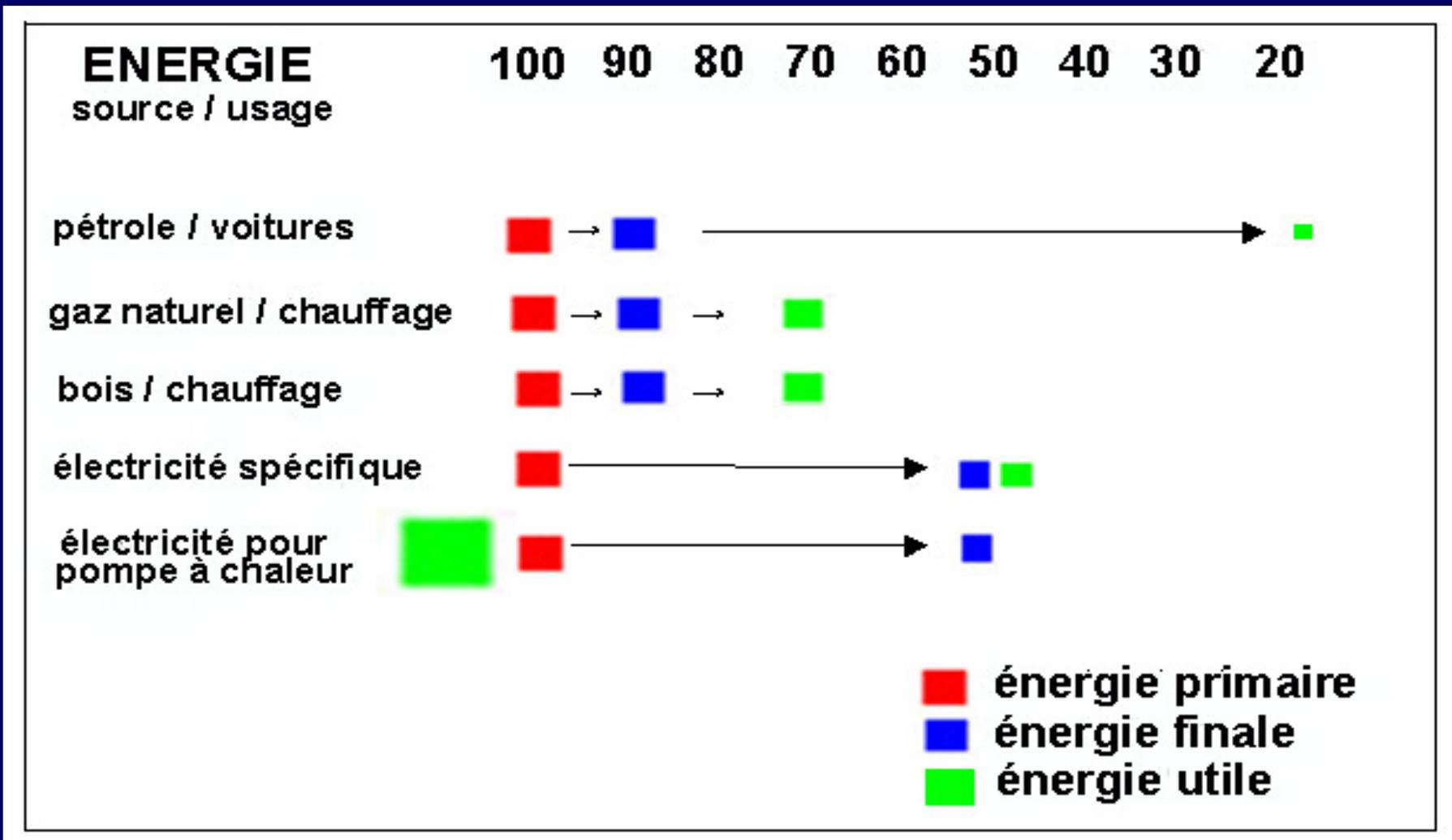
L'électricité est plus « utile » qu'il n'y paraît dans l'énergie « finale »

- La part plus modeste de l'électricité dans l'énergie finale (28% en France, pour 47% de l'énergie utile), est due à ce que les pertes thermodynamiques sont en amont pour l'électricité et en aval pour les énergies thermiques,
- Ce mode de comptabilité tend à faire perdre de vue le rôle essentiel de l'électricité dans la lutte contre l'effet de serre.
- Remplacer du pétrole par de l'électricité dans les transports, et du gaz ou du fioul par des pompes à chaleur, permettrait de porter le ratio énergie électrique / énergie utile de 47% à 60%

Le Grenelle de l'environnement n'a pas abordé cette question et ne propose aucune mesure pour promouvoir l'électricité au détriment des combustibles fossiles.



énergie primaire, énergie finale, énergie utile





L 'électricité n 'est pas une source d 'énergie, c 'est un vecteur

Un vecteur est une forme de l'énergie directement utilisable pour le besoin final.

Avec quelles sources d'énergie est faite l'électricité?

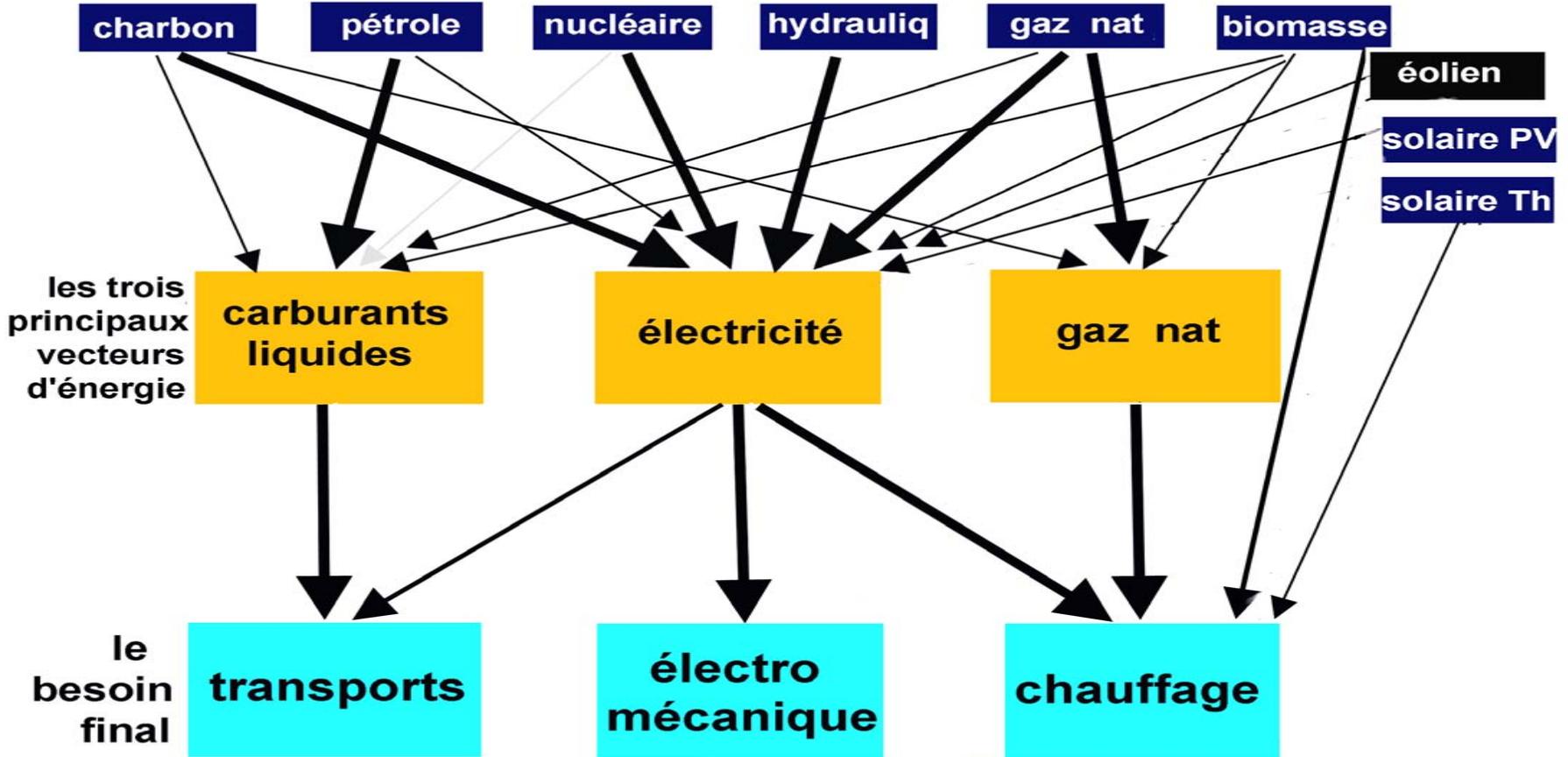
- Charbon 40 %
- Pétrole 6 %
- Gaz naturel 20 %
- Nucléaire 16 %
- Hydraulique 16 %
- Autres + EnR 2 %

Chiffres monde 2004



Le passage des sources aux besoins finals par les vecteurs

les sources d'énergie primaire





L'électricité est le meilleur vecteur d'énergie

- C'est le plus multi-sources et le plus multi-usages
- C'est pourquoi sa croissance restera élevée (+ 30 % d'ici 2020 au niveau mondial)
- Il n'a qu'un gros défaut : il n'est pas stockable,
 - ce qui rend difficile la gestion des réseaux électriques, car à tout instant on doit produire très exactement l'électricité demandée par les consommateurs
 - ce qui ne permet pas sa large utilisation comme source d'énergie autonome sur des véhicules de transport

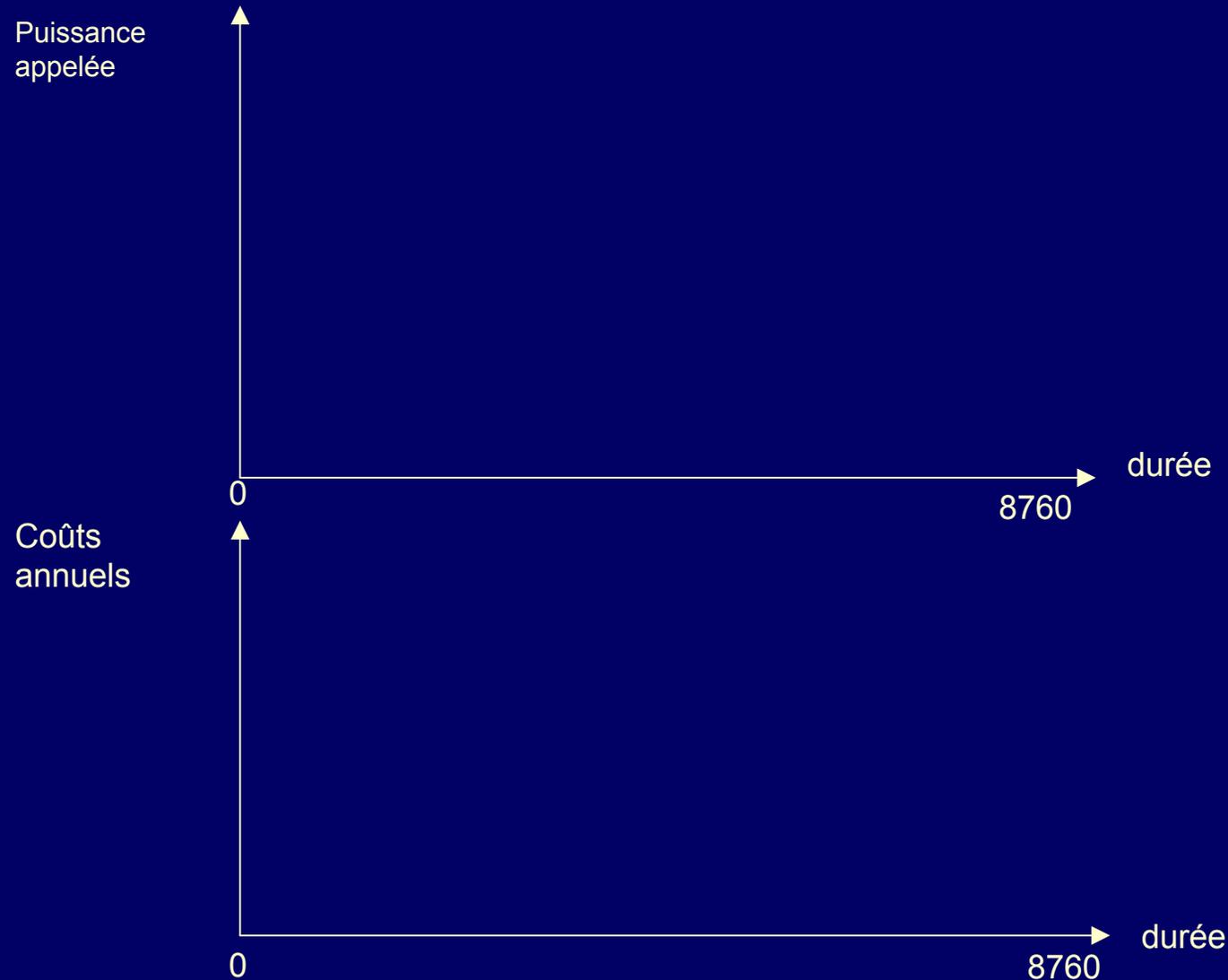


Les difficultés de gestion d'un réseau dues à l'impossibilité de stocker

- Puisque l'énergie électrique n'est pas stockable, la production doit être à chaque instant très exactement ajustée à la demande variable selon les heures de la journée et les saisons.
- Les moyens de production ayant des coûts différents, ils sont appelés successivement lorsque la demande s'accroît, en commençant par les moins coûteux, les plus coûteux n'étant appelés que pour couvrir les pointes de consommation.
- Les moyens de production totaux doivent couvrir la pointe attendue avec une certaine marge de sécurité.
- Le réseau européen permet de réduire cette marge en mutualisant le risque par les échanges internationaux

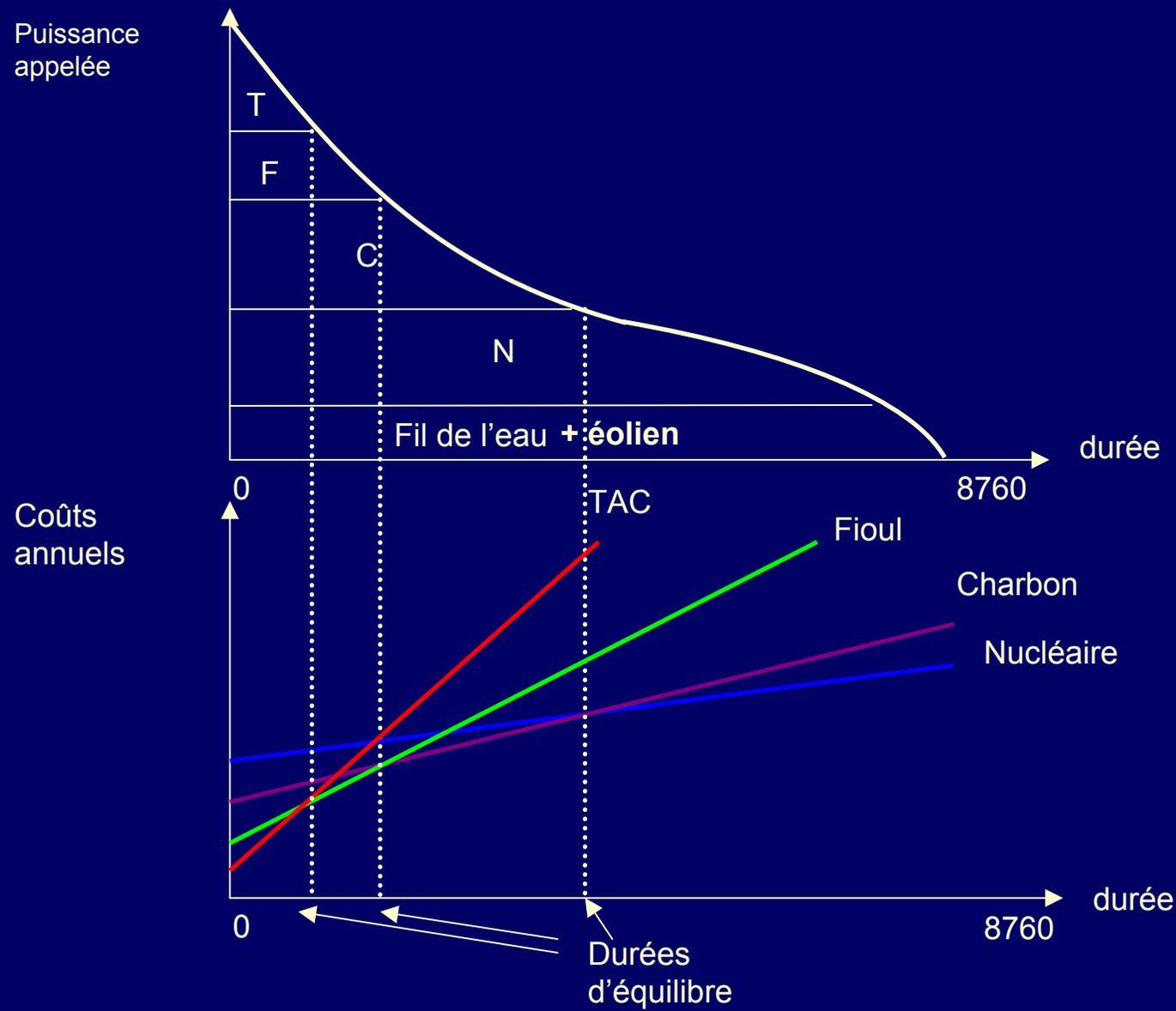


Mécanisme de la gestion du réseau monotone de consommation



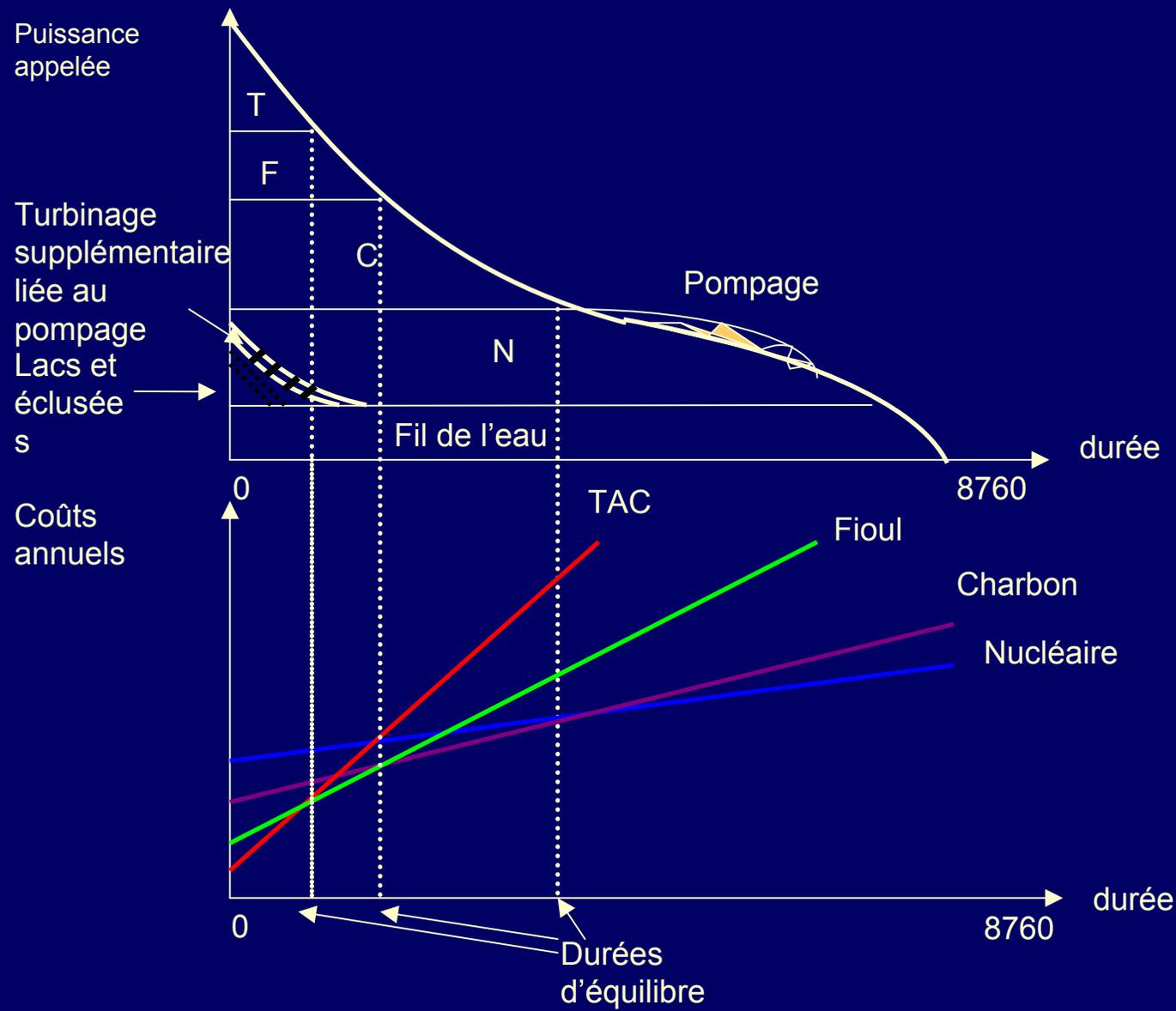


Mécanisme de la gestion du réseau monotone de consommation



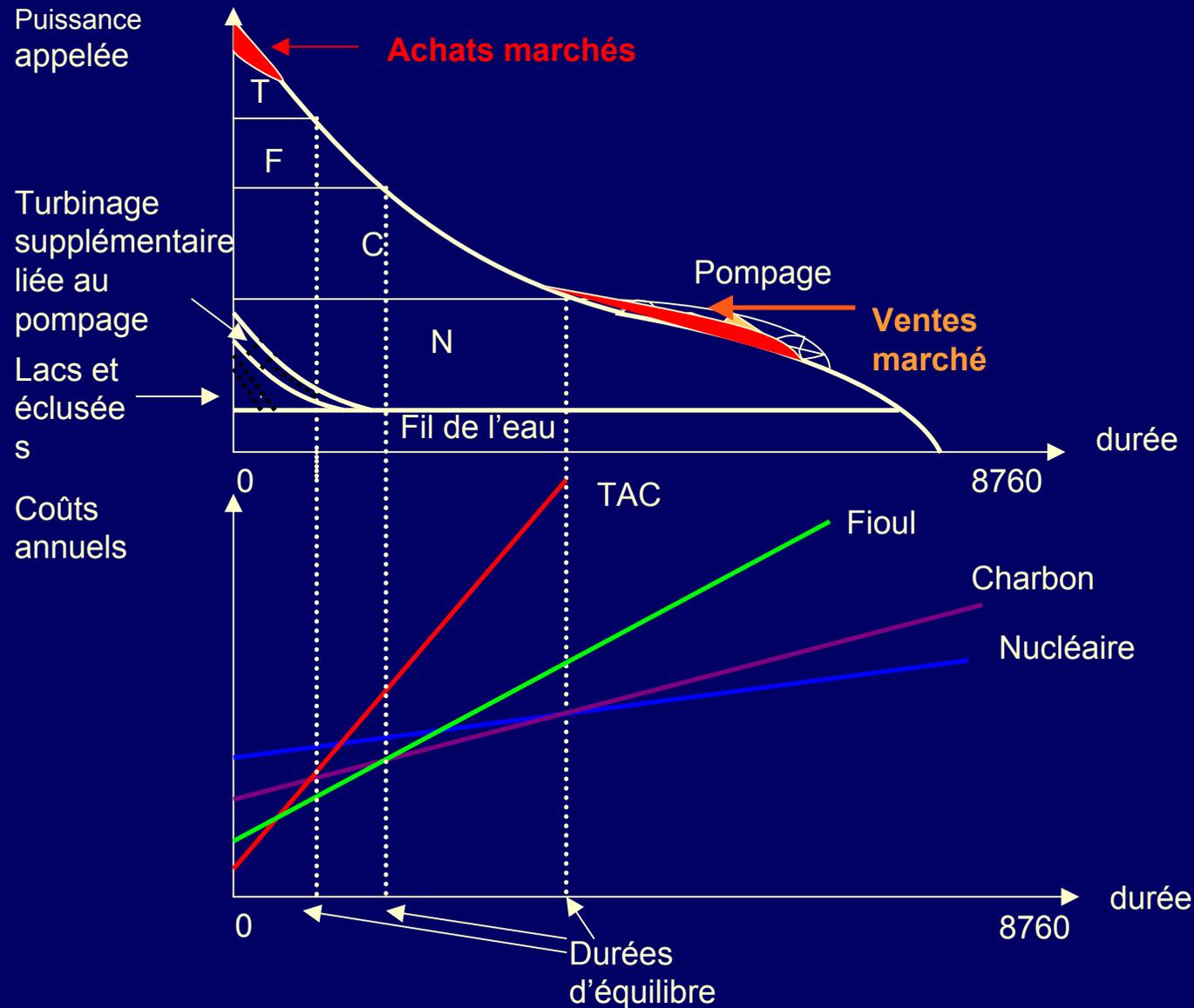


Mécanisme de la gestion du réseau monotone de consommation



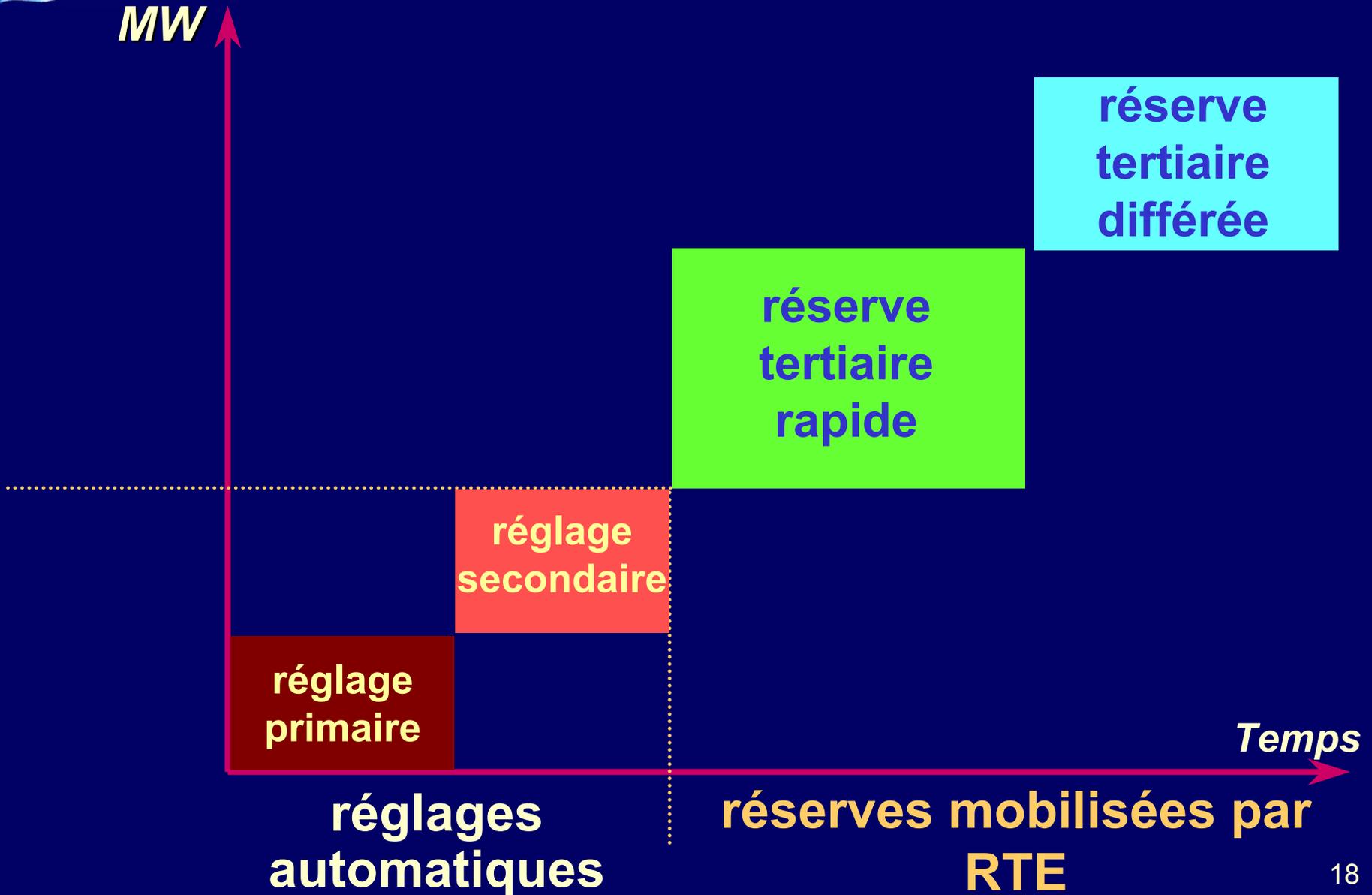


Mécanisme de la gestion du réseau monotone de consommation





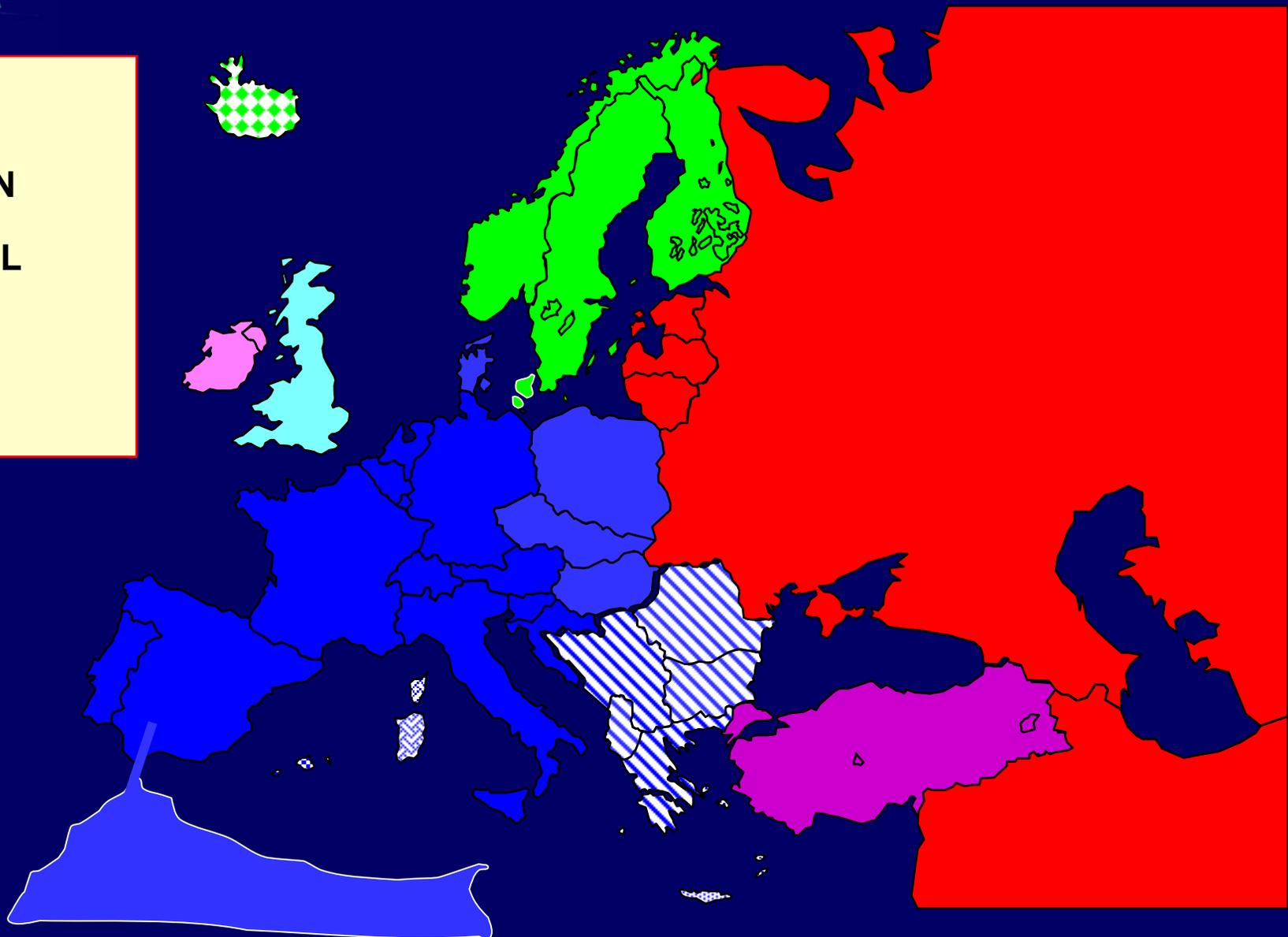
Ajustement production-consommation



LES ZONES DE SYNCHRONISME

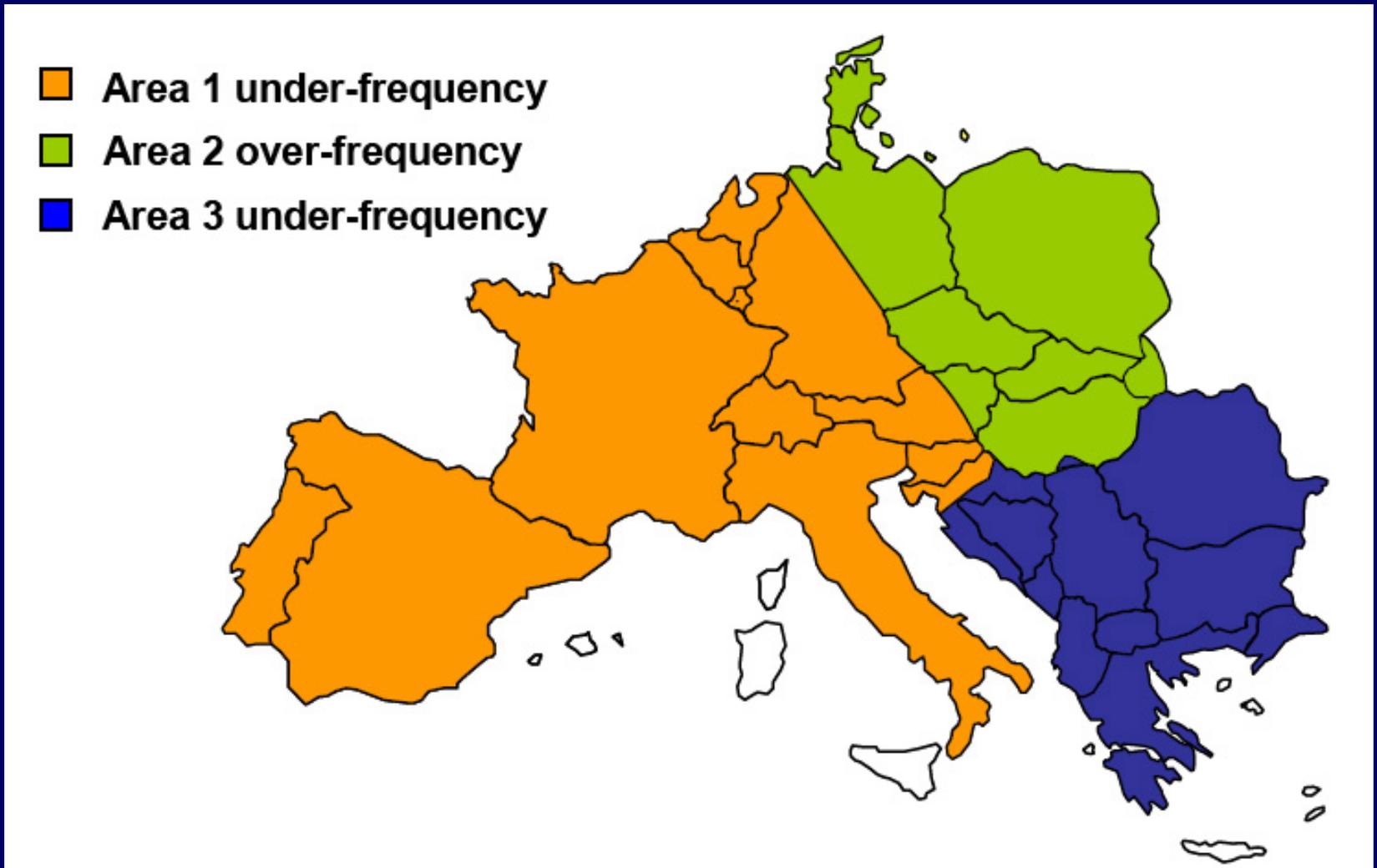


- UCTE
- BRITAIN
- NORDEL
- UCTE 2
- CDO



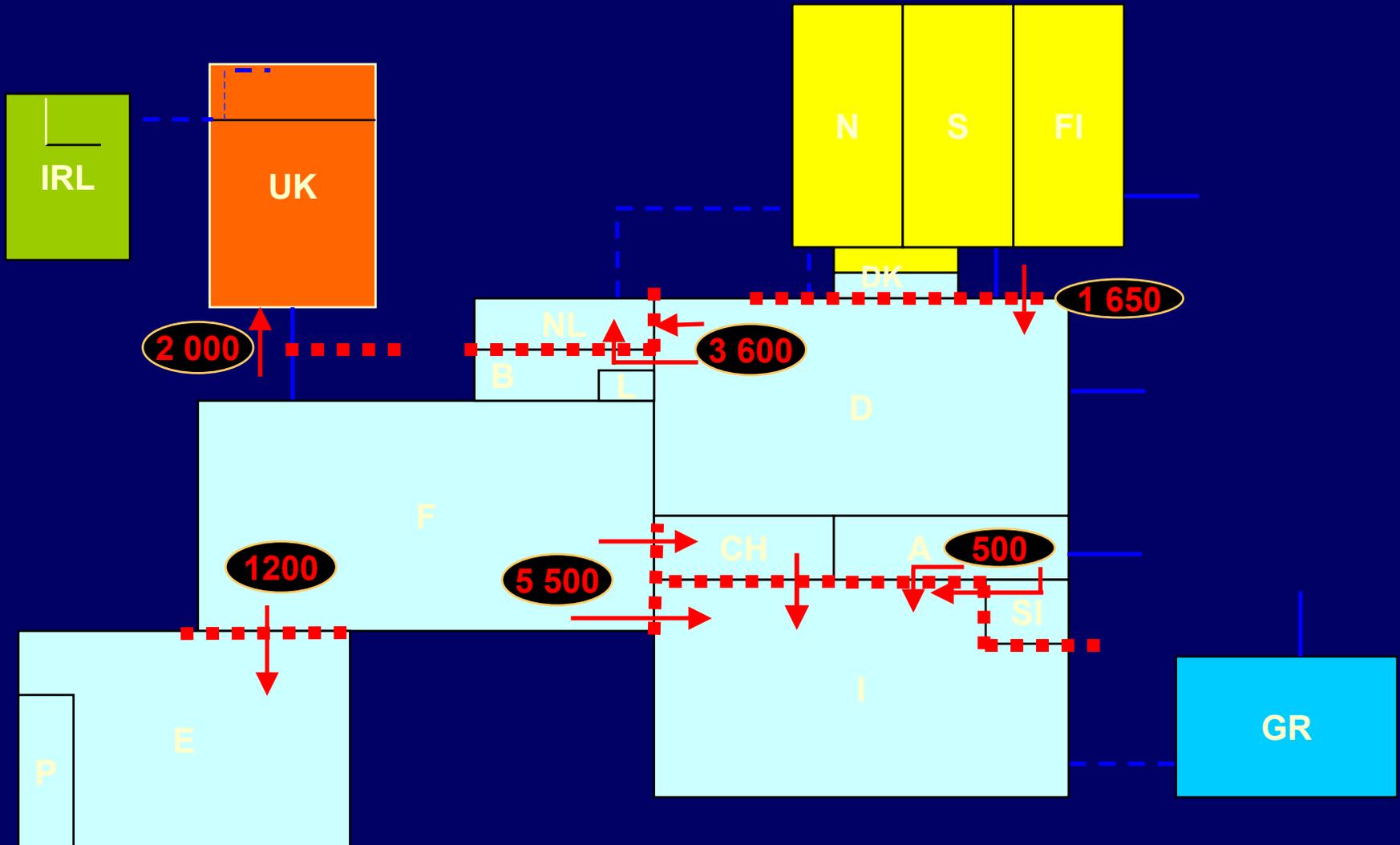


Eclatement du réseau européen en 3 lors de la panne du 4 novembre 2006



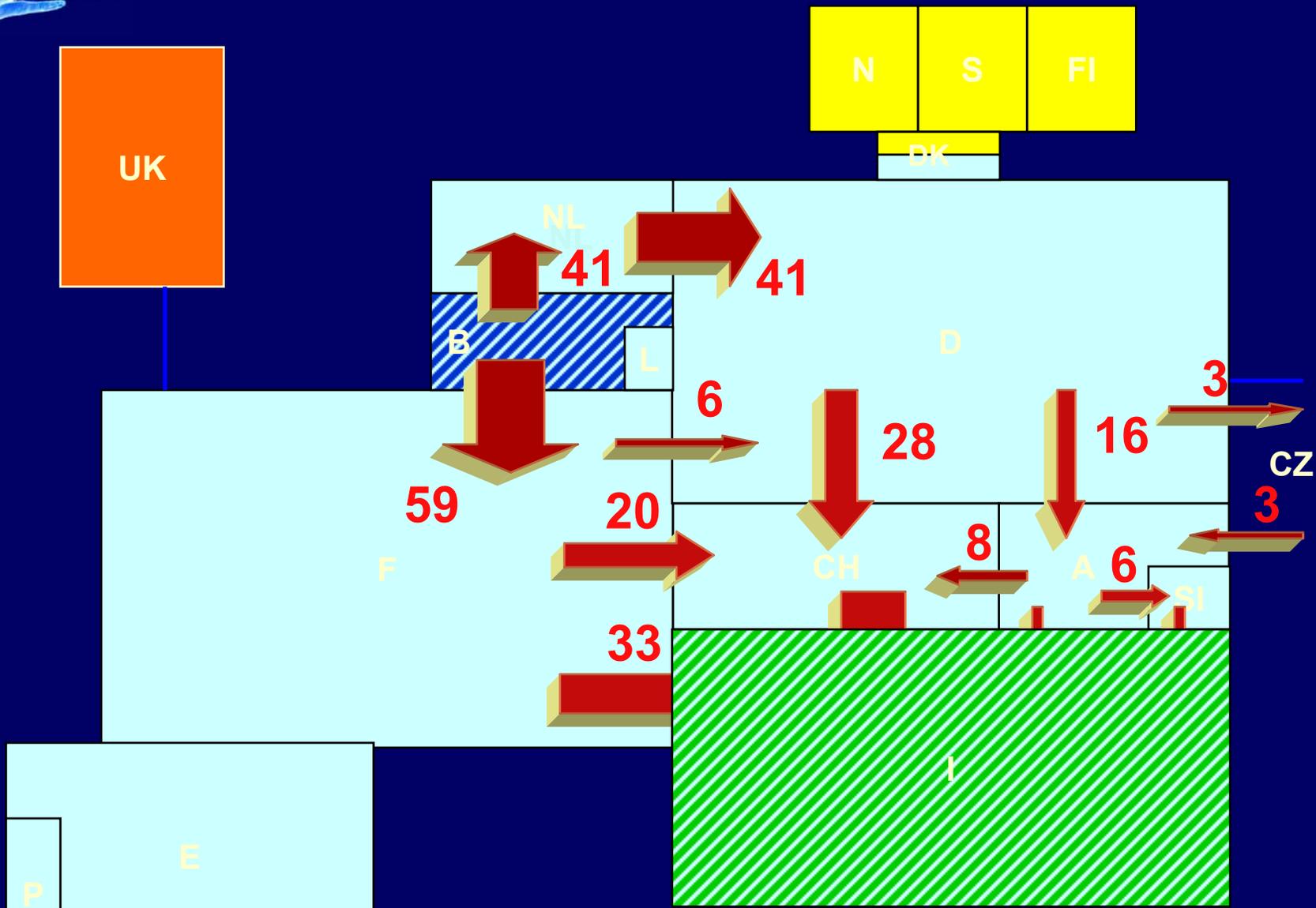


Les congestions aux frontières



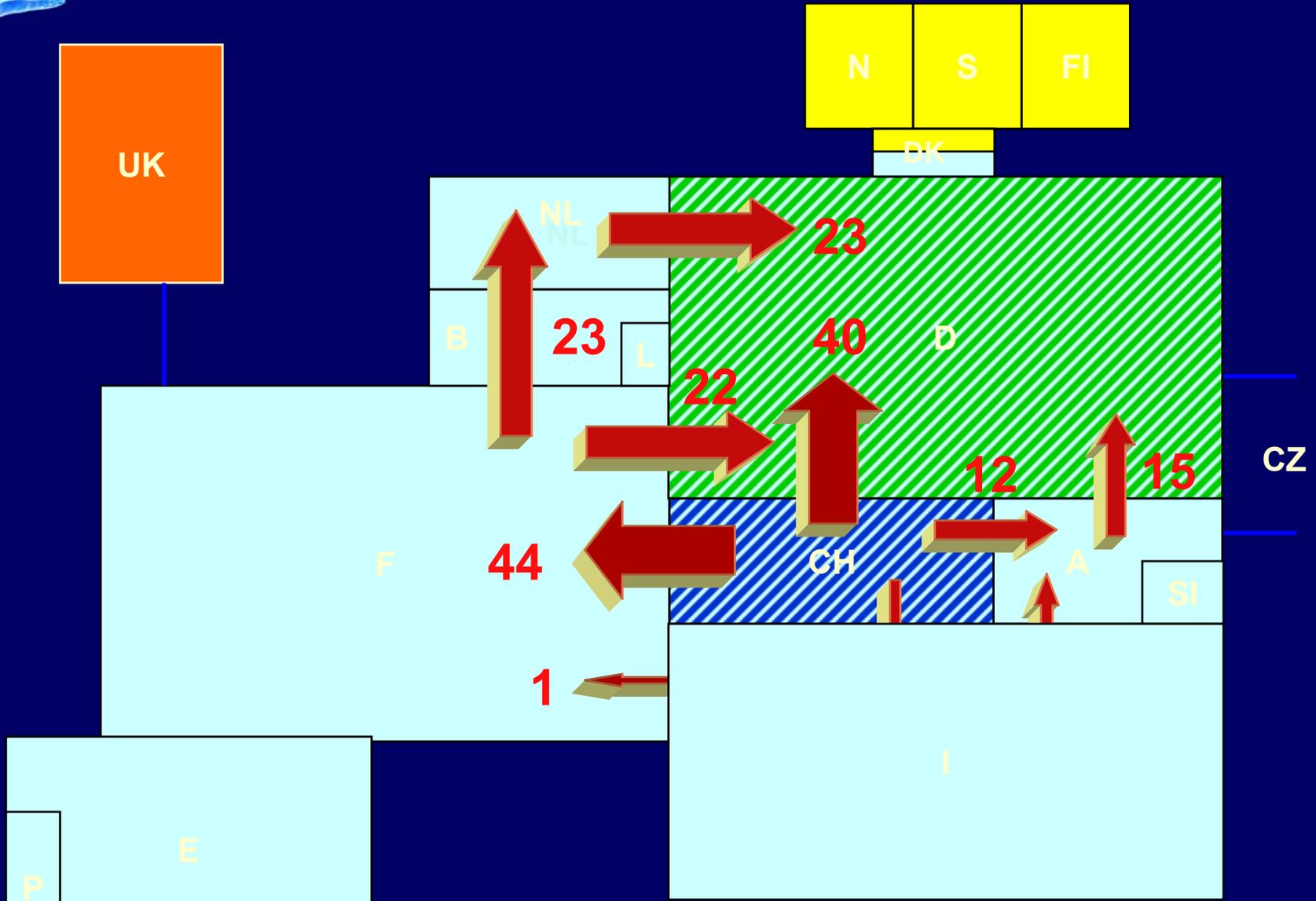


EX : TRANSIT DE 100 MW B → I





TRANSIT DE 100 MW CH → D





La limitation des usages de l'électricité par la difficulté de son stockage

Système de stockage	Caractéristiques physiques <i>densité stockage, puissance, durée</i>	Rendement	Investissement euro / KW	Remarques
Pompage hydraulique (STEP)	. 2 KWh/t (pour 1000 m de chute) Jusqu'à 2000 MW 10 à 50 heures	0,7 à 0,75	1000 à 1800	Sites limités quelques GW en France
Air comprimé (CAES)	20 à 700 MW Jusqu'à 20 heures	0,6 à 0,7	350 à 450	Sites limités Stockage hybride (gaz)
Stockage haute température	10 à 150 kWh/t 50 à 30 MW heures	0,65 à 0,78	200 à 500	Technologie non mature
Batteries Redox-flow	. 25 à 30 KWh/t 0,1 à qq 10 MW . 8 à 20 heures	0,7	1000 à 3000	Prototypes



Les petits stockages de puissance

Système de stockage	Caractéristiques physiques <i>densité stockage, puissance, durée</i>	Rendement	Investissement euro/KW	Remarques
Volants d'inertie	<ul style="list-style-type: none">7 à 20 kWh/m³0,1 à 2 MWQuques minutes	0,9	200 à 600	Très rapide centièmes de seconde
SMES	<ul style="list-style-type: none">~ 5 kWh/m³~ 20 MWqques minutes	0,9 à 0,95	200 à 800	réponse qques secondes
Super capacités	<ul style="list-style-type: none">10- 30 kWh/m³~ 0,3 MWqques minutes	0,9 à 0,95	100 à 500	réponse secondes Transports urbains



Les petits stockages embarqués

Systeme de stockage	Caractéristiques physiques <i>densité stockage, puissance, durée,</i>	Rendement	Investissement euro/KW	Remarques
Batterie Plomb	. 25 à 45 kWh/t . ~30 MW . Une heure	0,7 à 0,8	60 à 120-130	. faible durée de vie : 1200 cycles
Batterie Li-Ion	. 80-120 kWh/t. . ~ 0,8 MW . une heure	0,7 à 0,8	300 à 1500	Prototype
Batterie Zebra (Na-Cl-Ni)	. 100 à 120 Wh/t . ~ 0,05 MW . une heure	0,7 à 0,8	400 à 700	Transports électriques
Batterie Li-Polymère	. 120 à 150 Wh/t . ~ 0,8 MW, 1h	0,7 à 0,8	300 à 500	R&D



Le vecteur électrique dans la stratégie globale du facteur 4

- De la mécanique, de la thermodynamique, du nucléaire à l'électrotechnique et l'électronique de puissance et de contrôle pour la génération d'électricité,
- De l'électrotechnique à l'économie pour la gestion des réseaux,
- De la chimie à la supraconductivité pour la recherche de nouveaux moyens de stockage,

Que de challenges scientifiques et techniques à réussir dans la formation des ingénieurs, dans une stratégie où ce vecteur électrique deviendra le vecteur d'énergie dominant progressivement au cours du siècle les vecteurs fossiles dans tous les usages, y compris chauffage et transport, et sera une arme essentielle dans la lutte contre le réchauffement climatique.



Merci pour votre attention