

Université d'Eté de « *Sauvons le Climat* »

**Les réseaux électriques,
leurs rôles
et les évolutions prévisibles**

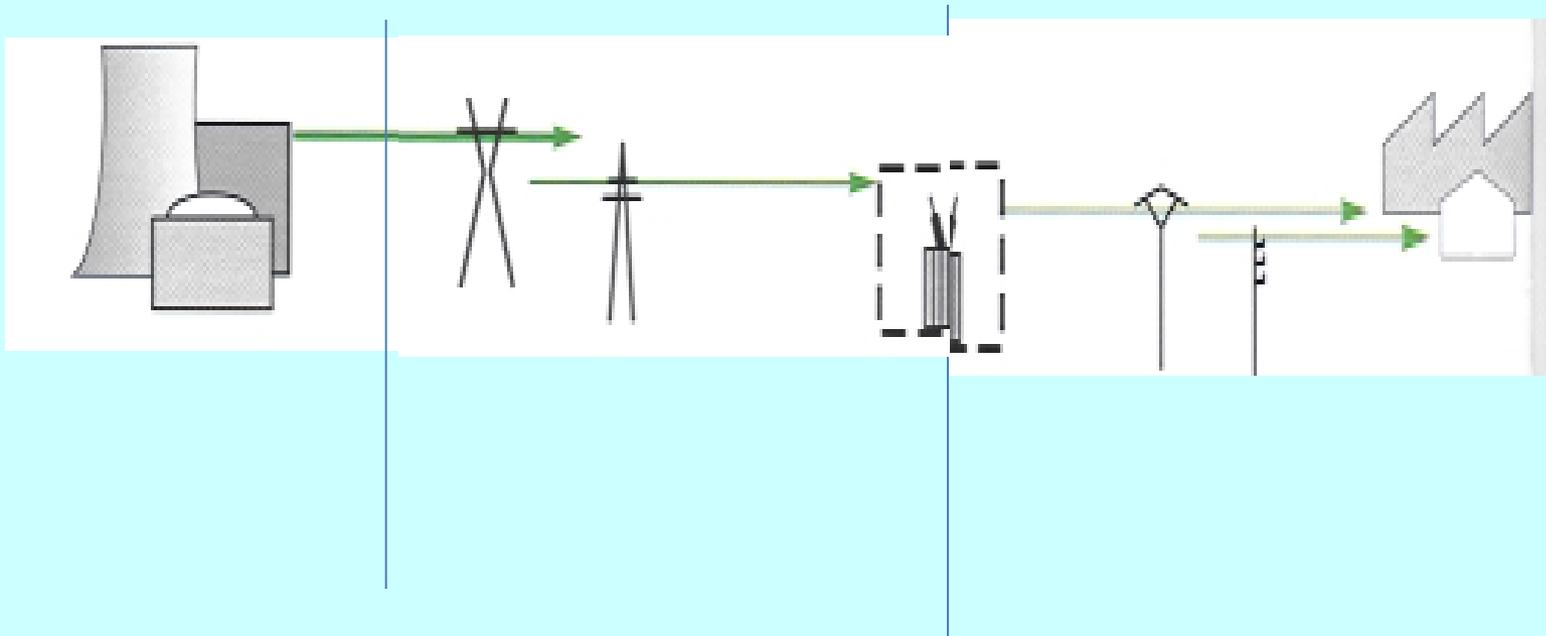
par Jean FLUCHERE

Systeme électrique organisé en trois grands secteurs d'activité

production

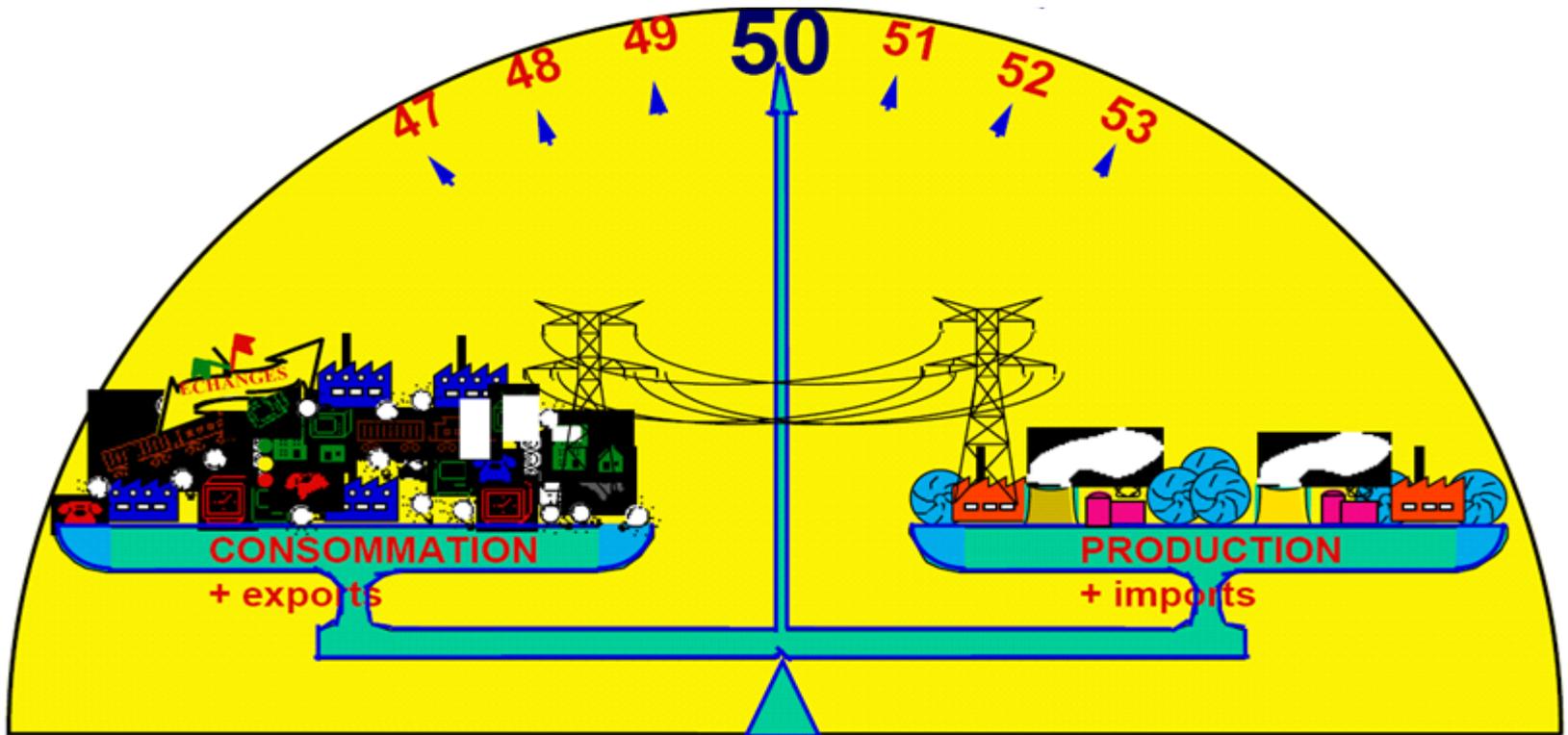
transport

distribution



Equilibre production / consommation

FREQUENCE (en Hz)

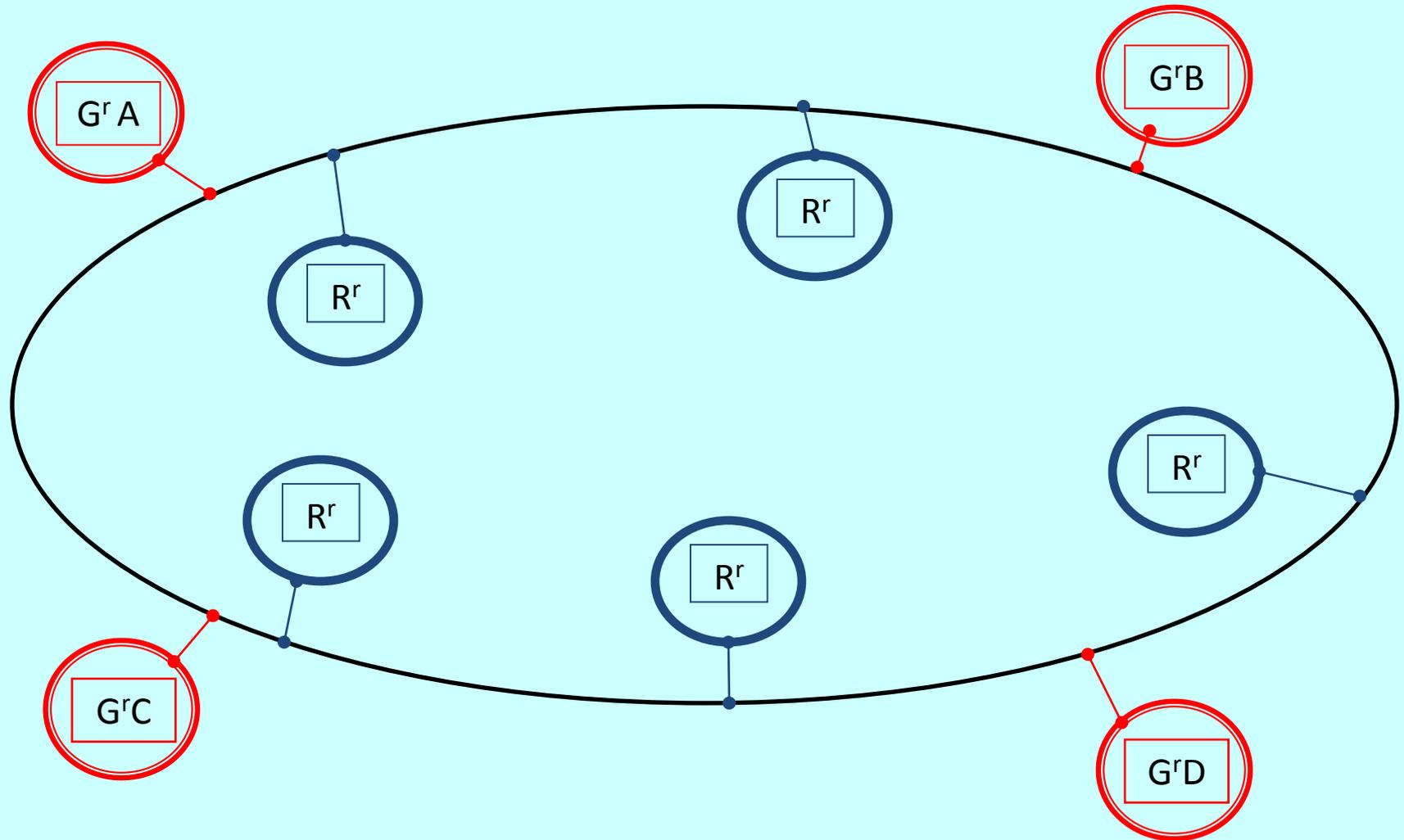


Source RTE

Production = Consommation

- Réseau très haute tension (THT) à 400 kV.
 - « *Moins il transporte, mieux on se porte* ».
 - Disposer d'un réseau bouclé pour répartir les points d'injection de manière optimale par rapport au point de soutirage.
 - Choix d'un niveau de tension élevée pour réduire les intensités à puissance donnée ($P = U \times I$).
- => limitation des pertes par « *effet Joule* » ...
pertes réseau RTE = 4% consommation nationale.

Réseau simple ou réseau bouclé, avec « *Générateurs* » et « *Récepteurs* »

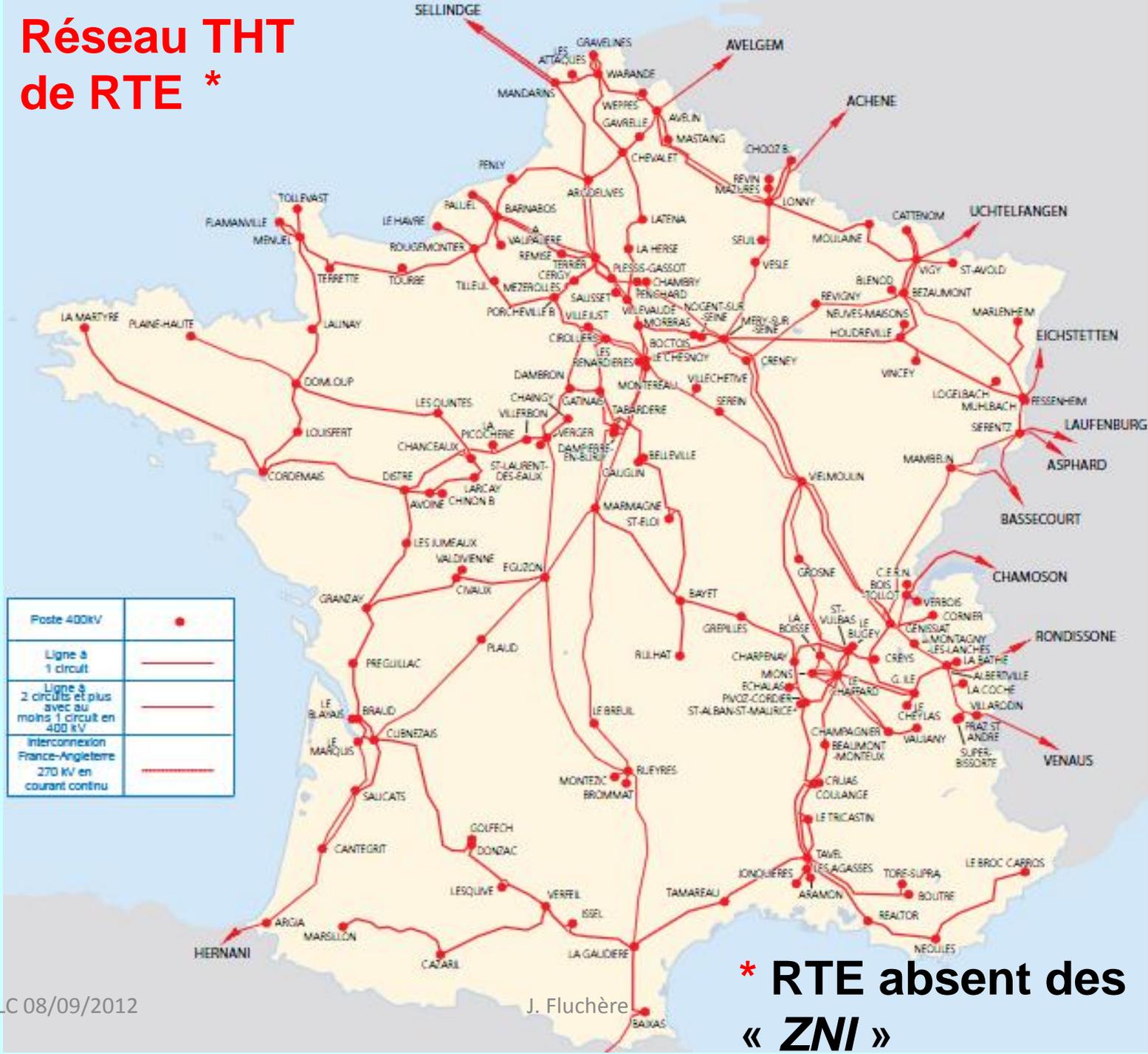


➤ **Intérêt du réseau bouclé :**

- Perte d'un point d'injection sans effet sur les points de soutirage.
- Robustesse du réseau face aux aléas.
- Absence de longue portion, le 400 kV est adapté.
- Fonctionnement proche de la théorie des réseaux infinis, réglage de fréquence facilité.

➤ **Le réseau réel** montre que la boucle peut être conservée même en cas de perte d'un brin.

Réseau THT de RTE *

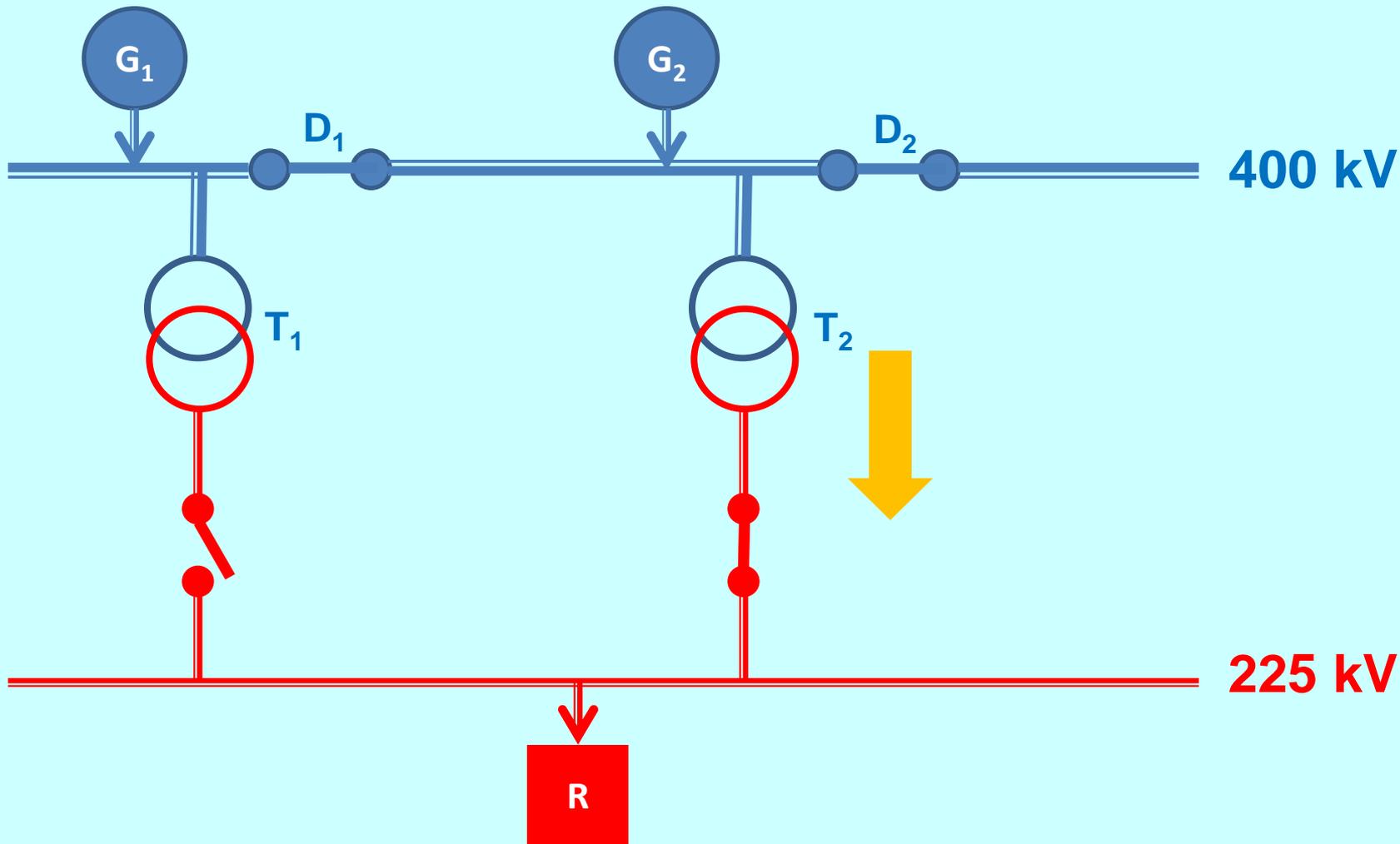


* RTE absent des « ZNI »

➤ Débouclage pour **maintenance** ou **incident** sur un brin du réseau 400 kV ?

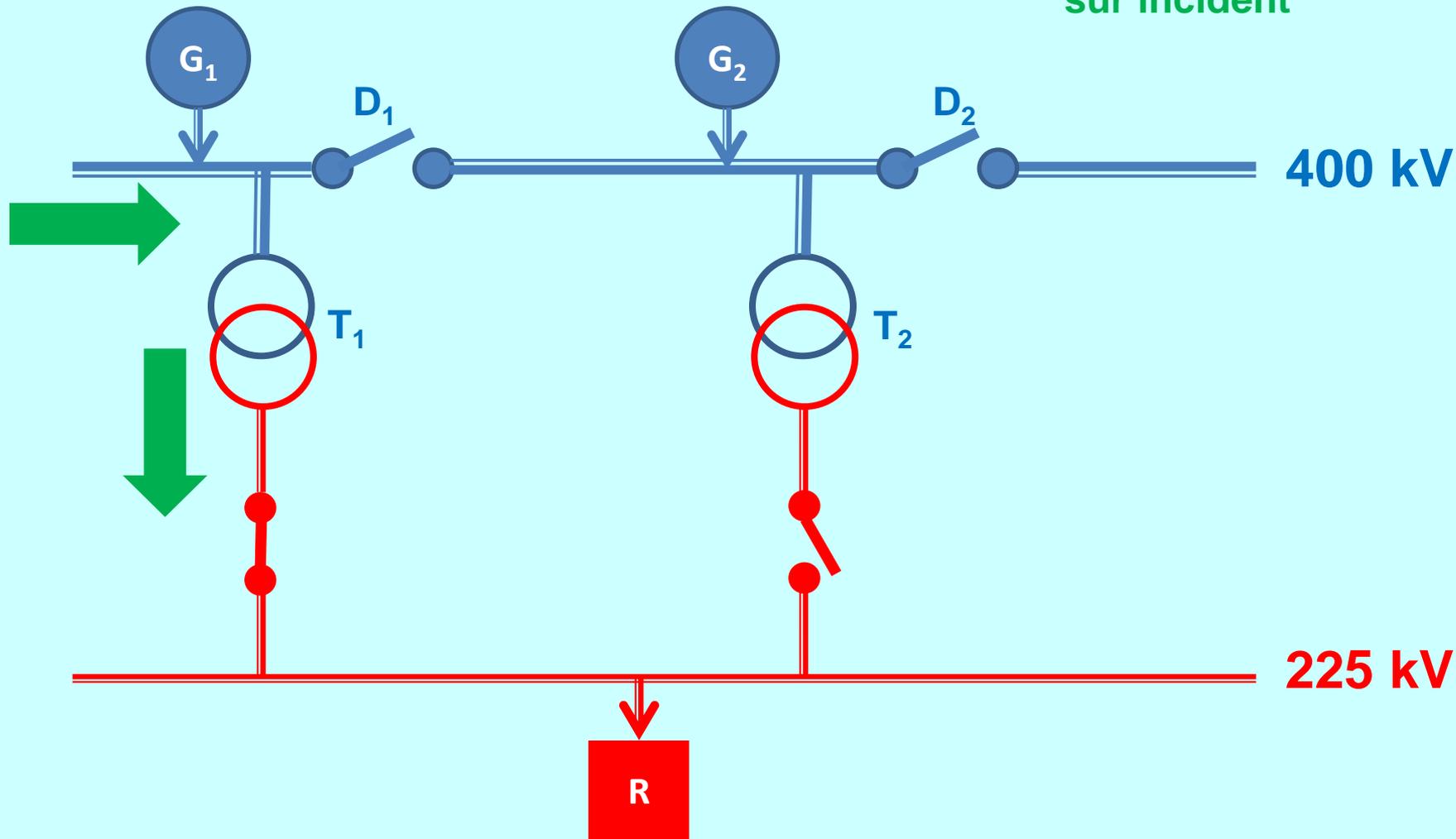
- Insertion de brins de réseau de répartition non bouclé en 225 kV.
- Ne pas boucler ce réseau pour éviter que des transferts 400 kV se fassent par le 225 kV.
- La plupart des soutirages vont s'opérer sur ce réseau.
- Injection de certaines sources de puissance.

Bouclages 400 et 225 kV : **situation A (normale)**

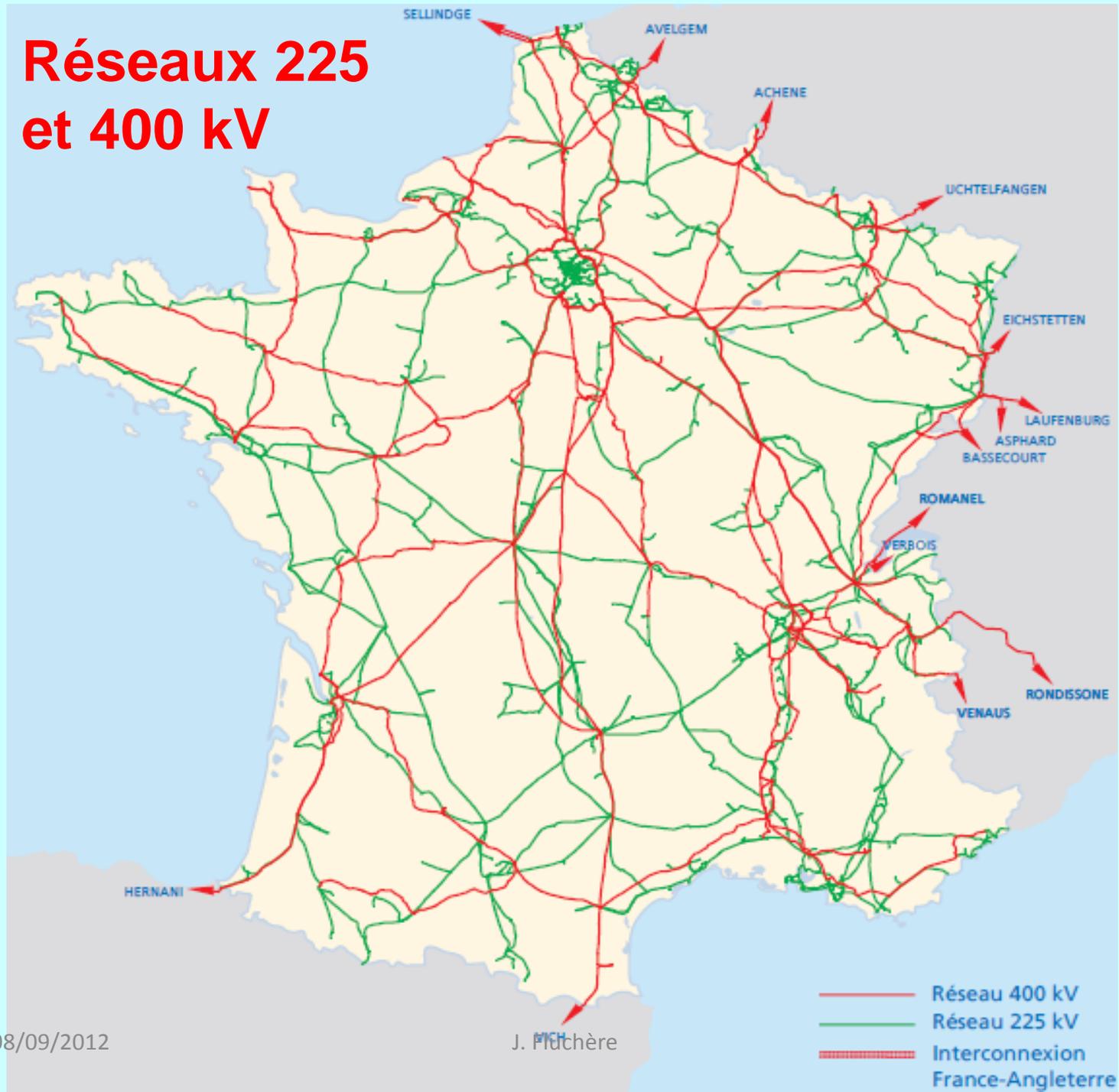


Bouclages 400 et 225 kV : situation B (secours)

Sous maintenance
ou
sur incident



Réseaux 225 et 400 kV



➤ **Les interconnexions internationales.**

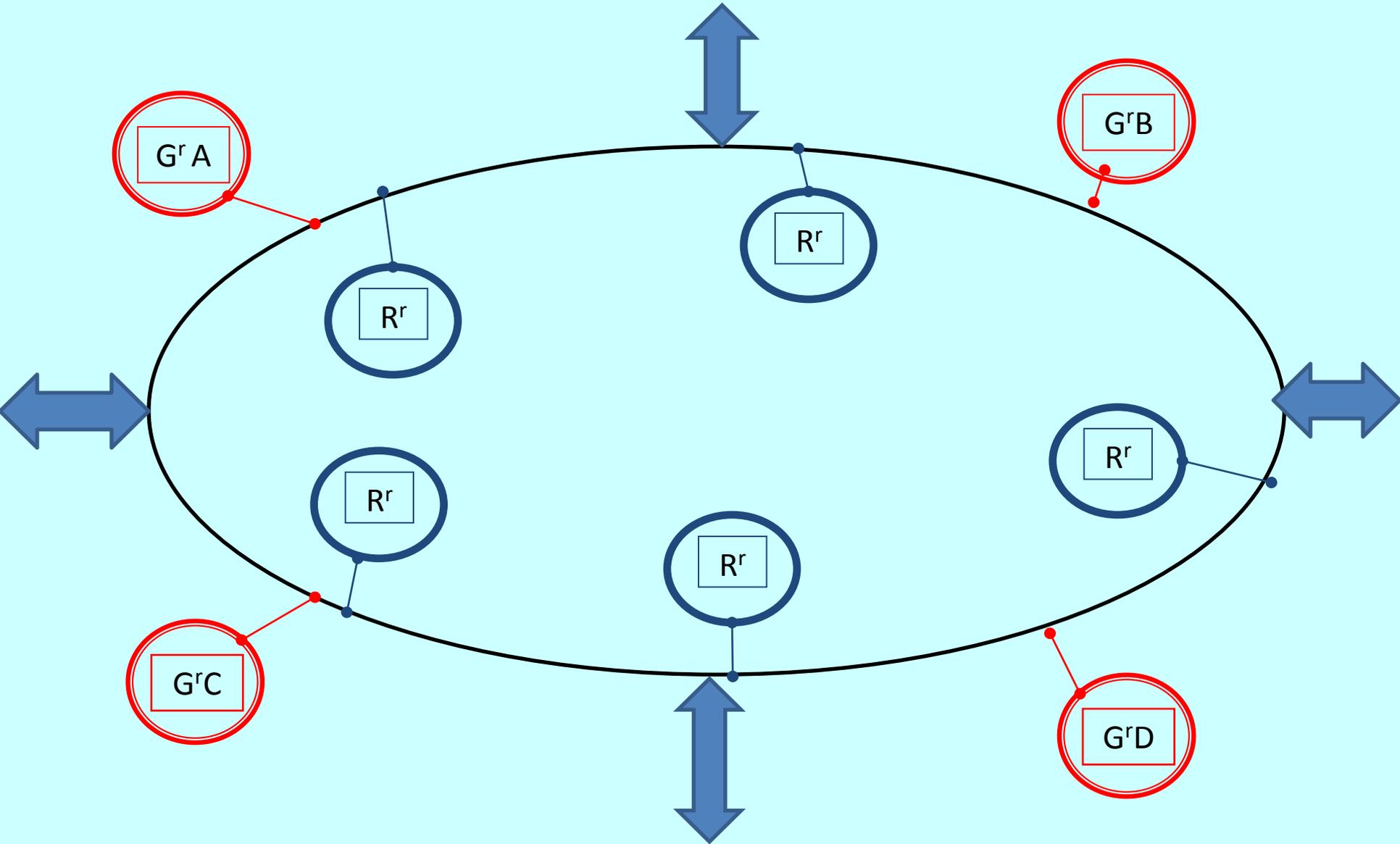
❖ **Rôle historique:**

- Sécurité électrique. Stabilité de fréquence.
- Optimisation des puissances installées par chaque pays.
- Recherche de l'optimum économique des productions.

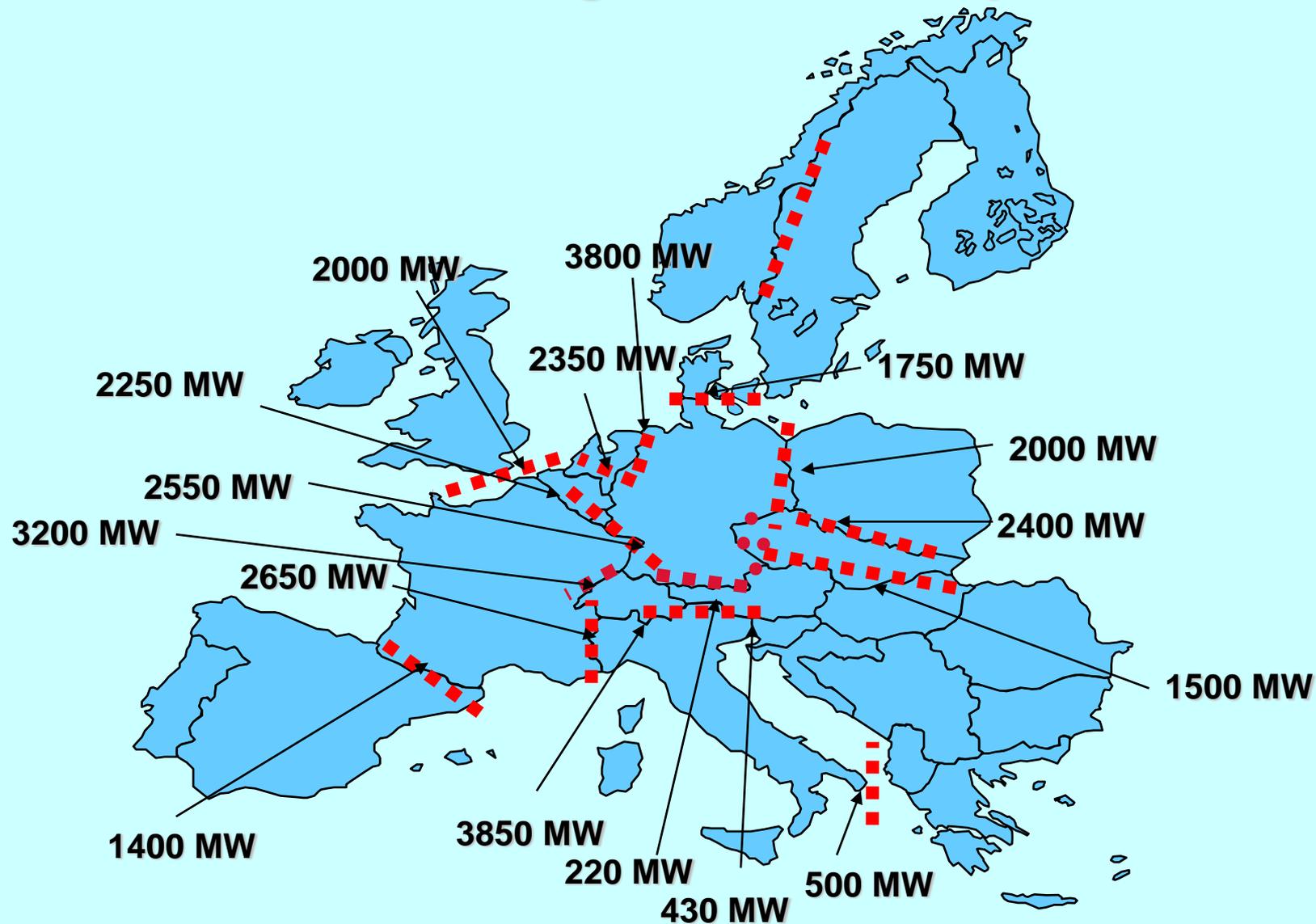
❖ **Rôle actuel.**

- L'aspect commercial s'ajoute au rôle historique.
- Les flux financiers sont désormais totalement découplés des flux physiques.

Réseau Interconnecté



UN PROBLEME : des congestions omniprésentes



Échanges contractuels en 2011 (en TWh)



➤ **Courant continu ou alternatif?**

- Le transport peut et doit se réaliser en THT.
 - Les tensions de production sont rarement > 24 kV.
 - Les tensions des appareils utilisateurs vont de 6.600 Volts à 220 Volts.
 - L'intérêt des courants triphasés.
- **La diversité des gammes de tension requiert l'alternatif et les transformateurs.**

- **Mais le transport THT en continu présente un certain nombre d'intérêts ...**
 - En cas d'enfouissement, élimination des pertes selfiques et capacitives,
 - Possibilité de transport sur de longues distances.

- **et d'inconvénients ...**
 - Stations de redressement ou d'ondulation aux extrémités,
 - Réalisation des disjoncteurs THT.

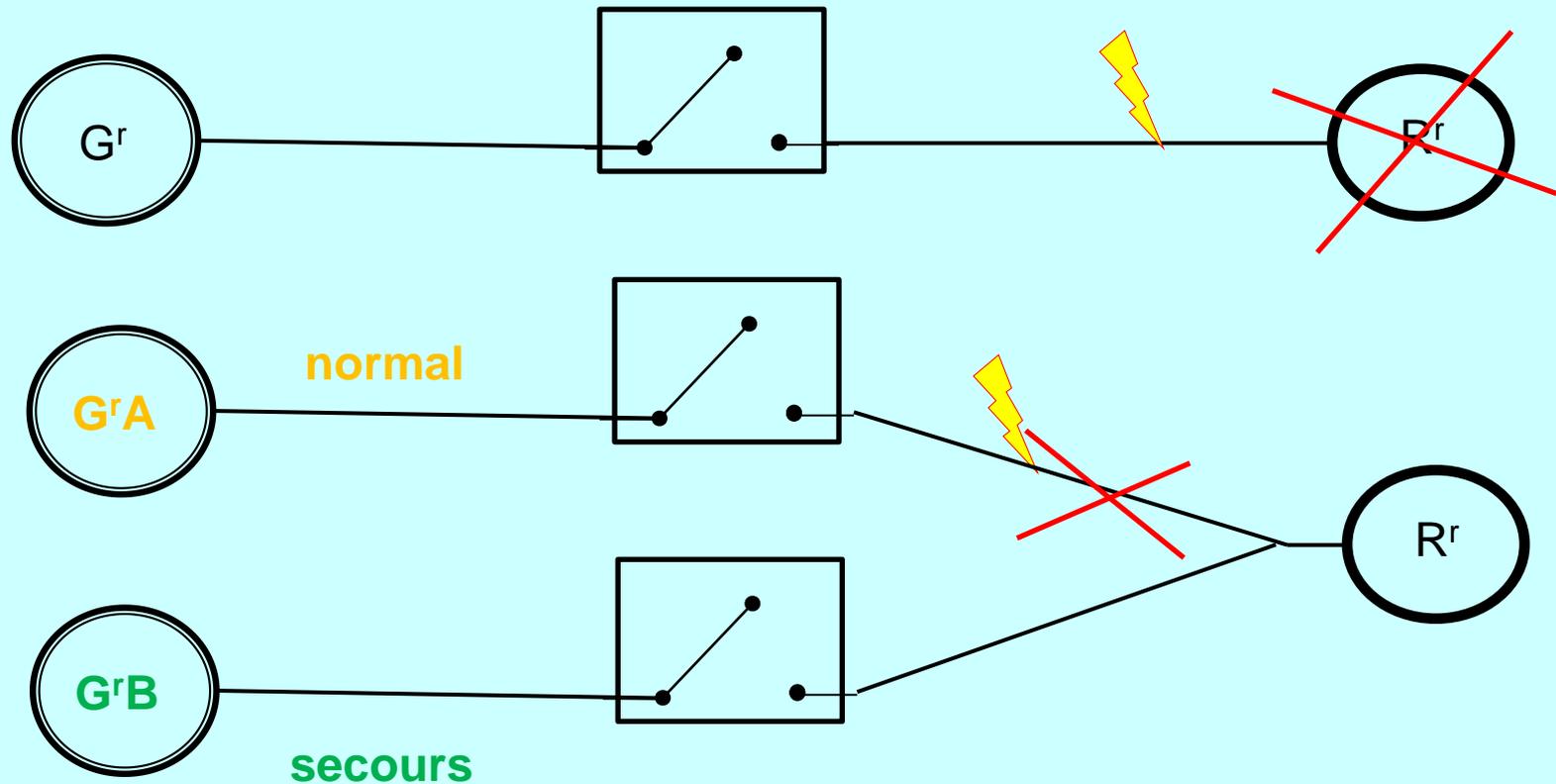
➤ Réseau de distribution.

- Réseau qui va acheminer l'électricité depuis un « **poste source** » souvent 225 kV/63 kV/20 kV vers le consommateur final.
- Marqué par sa diversité qui va du simple « **capillaire** » en espace rural à un réseau plus élaboré en ville.
- **Accumule** les pertes en raison de son aspect capillaire.

➤ La sécurité du réseau de distribution.

- Règle du N-1 : avoir toujours deux alimentations disponibles sur le primaire (THT) du poste source.
- De plus en plus difficile à respecter en raison de l'hostilité sociétale à la construction d'ouvrages.
- Bouclage possible entre secondaires des postes sources dans les zones d'habitat dense.
- Mais attention aux reports de puissance par les bouclages de rang inférieur.

La sécurité du réseau de distribution : réseau simple ou secours, ...?



➤ Sources d'évolution:

➤ Réseau THT.

- EnR intermittentes de forte puissance, localisées loin du réseau THT et des zones de consommation, essentiellement éolien *offshore*.

➤ Evolutions technologiques.

➤ Réseau de distribution.

- EnR réparties intermittentes localisées à l'intérieur du réseau de distribution.
- Réseaux communicants.

➤ Renouvellement des concessions de distribution.

EnR de forte puissance localisées éloignées des zones de consommation : éolien offshore.

- Réseaux supplémentaires dimensionnés pour la puissance nominale (6 à 3 fois la puissance moy.).
- Le dimensionnement important représente des investissements élevés.
- Impact significatif sur les coûts du transport.
- Leur caractère intermittent, la difficulté de prévision des sources et leur fonctionnement quasi univoque feront de ces réseaux des outils sous-utilisés.

Les deux scénarii de l'UE

| EU-27 (TWh) | 2005 | (%) | 2020 Baseline* | (%) | 2020 green New policy* | (%) |
|--------------------|------|-------------|-------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Fossil-fuel | 1790 | 54,6 | 2201 | 54,1 | 1489 | 42,6 |
| Nuclear | 998 | 30,5 | 977 | 24,0 | 911 | 26,1 |
| Renewables | 488 | 14,9 | 887 | 21,8 | 1094 | 31,3 |
| | 3276 | | 4065 | | 3494 | |

(*)100 \$/b

(Source : European Commission 11/2008)

➤ Dans le scénario « **baseline** » :

- Fossile idem en %,
- Nucléaire idem en valeur absolue,
- EnR multipliées par 2 / à 2005, surtout éolien.

➤ Dans le scénario « **Green new policy** » :

- Contraction de la demande,
- 25 % nucléaire,
- EnR multipliées par 2,5.

Implique 450 TWh d'éolien soit un parc de 250 GW dont 100 GW offshore.

Src : André Merlin (président du CIGRE) devant le GR21 (SFEN)

- Les solutions de stockage ne sont pas au rendez-vous de 2020 : délestage ou déversement !
- La solution ne passe que par un renforcement drastique du réseau de transport et le recours à des productions *dispatchables* à variations de puissance rapides. Nécessité d'accroître la « *réserve tournante* ».
- « *Super grid* » indispensable pour exploiter et amortir les variations de l'*éolien* (et du *PV*).
- Or l'UE n'a pas intégré la dimension et les crédits pour le transport.

Un câble de 200 km pour 1.000 MW = 1 G€ (*aérien*)

Grands réseaux EnR « *européens* »



➤ Quatre grands réseaux à l'étude:

1. Réseau **lituanien**. Les pays Baltes sont connectés au réseau russe et veulent se connecter au réseau UE
2. Réseau Baltique-mer du Nord, éolien **offshore**, 500 kV CC,
3. Réseau éolien terrestre et hydraulique **alpin**,
4. Réseau méditerranéen "**MedGrid**" pour le solaire.

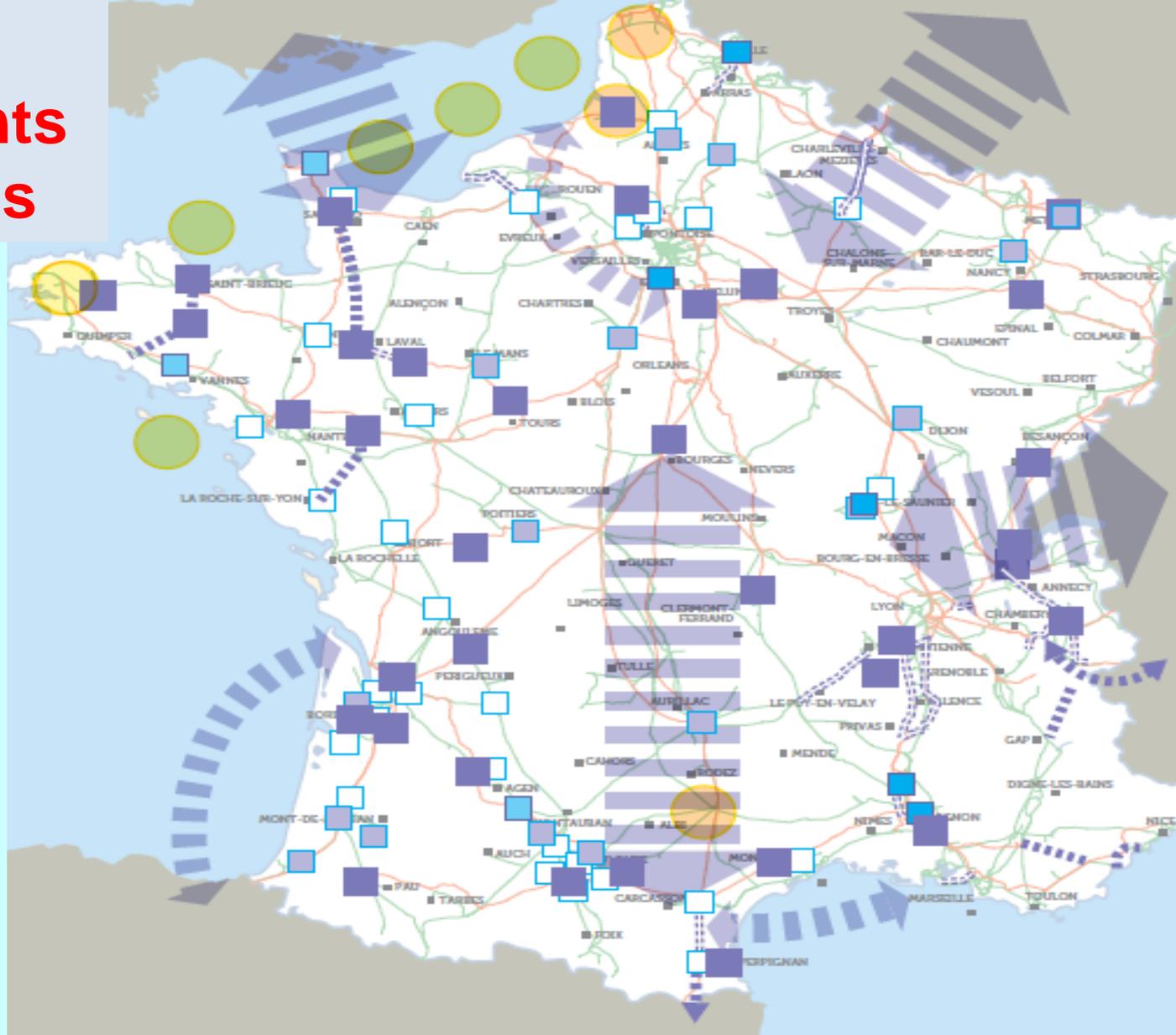
Et même un réseau **géothermique** Islande -> Royaume Uni

- Gestion délicate de l'équilibre du « **systeme** » électrique : instabilité des puissances, violence instantanée des transits, incapacité Eole-Hélios.
- Ces réseaux vont transporter et pas seulement répartir, d'où une augmentation des pertes.
- Impact à prévoir sur les interconnexions.
- Quelle acceptation sociale des nouveaux réseaux ?
- Recours systématique aux liaisons enfouies en courant continu ? Renchérissement (**facteur 7**) ...
- Quid du transit inverse de puissance réactive pour les génératrices asynchrones ?

Évolutions technologiques

- **Expérience des liaisons souterraines en courant continu et des stations de conversion.**
- **Leurs coûts deviennent sensiblement identiques aux liaisons souterraines en alternatif et redressement du $\cos(\phi)$.**
- **Evolution des câbles supportant des températures plus élevées : gain 30 à 40 %.**
- **R&D sur les câbles à âmes de carbone.**

Principaux développements dans les 10 ans



| Réseau existant | | Réseau en projet | |
|-----------------|--------------|------------------|--|
| | Ligne 400 KV | | Renforcement ligne |
| | Ligne 225 KV | | Création de nouvelle ligne |
| | | | Création de nouvelle ligne à l'étude |
| | | | Création ou adaptation de poste |
| | | | Gestion des tensions basses |
| | | | Gestion des tensions hautes |
| | | | Maîtrise des intensités de court-circuit |
| | | | Stabilité du réseau |
| | | | Accueil de production centralisée |
| | | | Accueil de production EnR Offshore |
| | | | Accueil de production EnR Onshore |

Projets en cours en 2011



EnR intermittentes réparties dans le réseau de distribution

➤ Petit éolien et photovoltaïque :

- **Presque pas de gestion du système électrique de distribution similaire de celle du réseau THT.**
- **Prévisibilité des apports électriques :**
 - **Anémométrie ?**
 - **Ensoleillement ?**
 - **Consommation locale ?**

- Eventualité d'excédents non absorbés par le réseau de distribution avec report sur le réseau HT.
- Impact sur les protections électriques réglées pour une électricité allant de l'amont vers l'aval.
- Généralisation des protections de « *retour de puissance* » ou « *retour de tension* ».
- Possibilité d'ilotage en zone rurale ?
- Le parasitage de l'onde électrique par « *hacking* ».

Réseaux communicants, peu «*smart*»

- Les nouveaux compteurs.
- Intérêt immédiat :
 - Opération de télé-relève très renseignée pour le fournisseur (et le client ?).
 - Connaissance approfondie des niveaux de puissance et périodes d'utilisation.
- A terme:
 - Rôle évident dans l'écrêtement des pointes.
 - Oui, mais ?

- **Le compteur est le lieu où se concrétise la relation contractuelle entre clients et fournisseur.**
 - Retour à des formes de contrats horo-saisonniers plus élaborés.

- **Volontariat ou automaticité ?**
 - Action sur l'installation intérieure.

Les incertitudes :

- La multiplicité des fournisseurs et des types de contrats permettra-t-elle un écrêtement général efficace ?
- Quel est (**sera**) l'impact du chauffage « *pirate* » ?

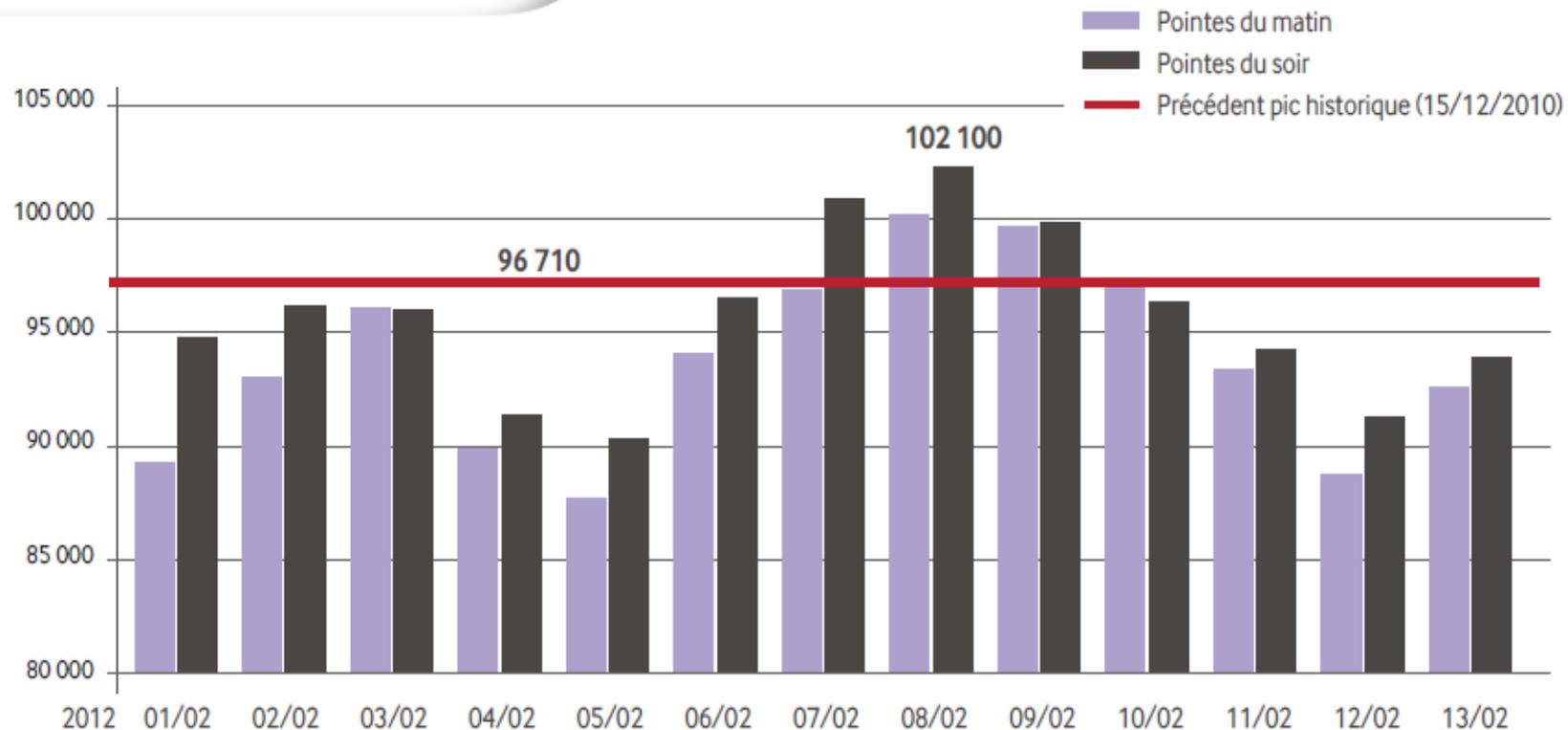
Pointes de consommation, depuis 2001 *

102.100 MW, mercredi 8/02/2012

| | |
|----------------------------|------------------|
| Mardi 04/01/2011 | 91 720 MW |
| Mercredi 15/12/2010 | 96 710 MW |
| Mercredi 07/01/2009 | 92 400 MW |
| Lundi 15/12/2008 | 84 420 MW |
| Lundi 17/12/2007 | 88 960 MW |
| Vendredi 27/01/2006 | 86 280 MW |
| Lundi 28/02/2005 | 86 020 MW |
| Mercredi 22/12/2004 | 81 400 MW |

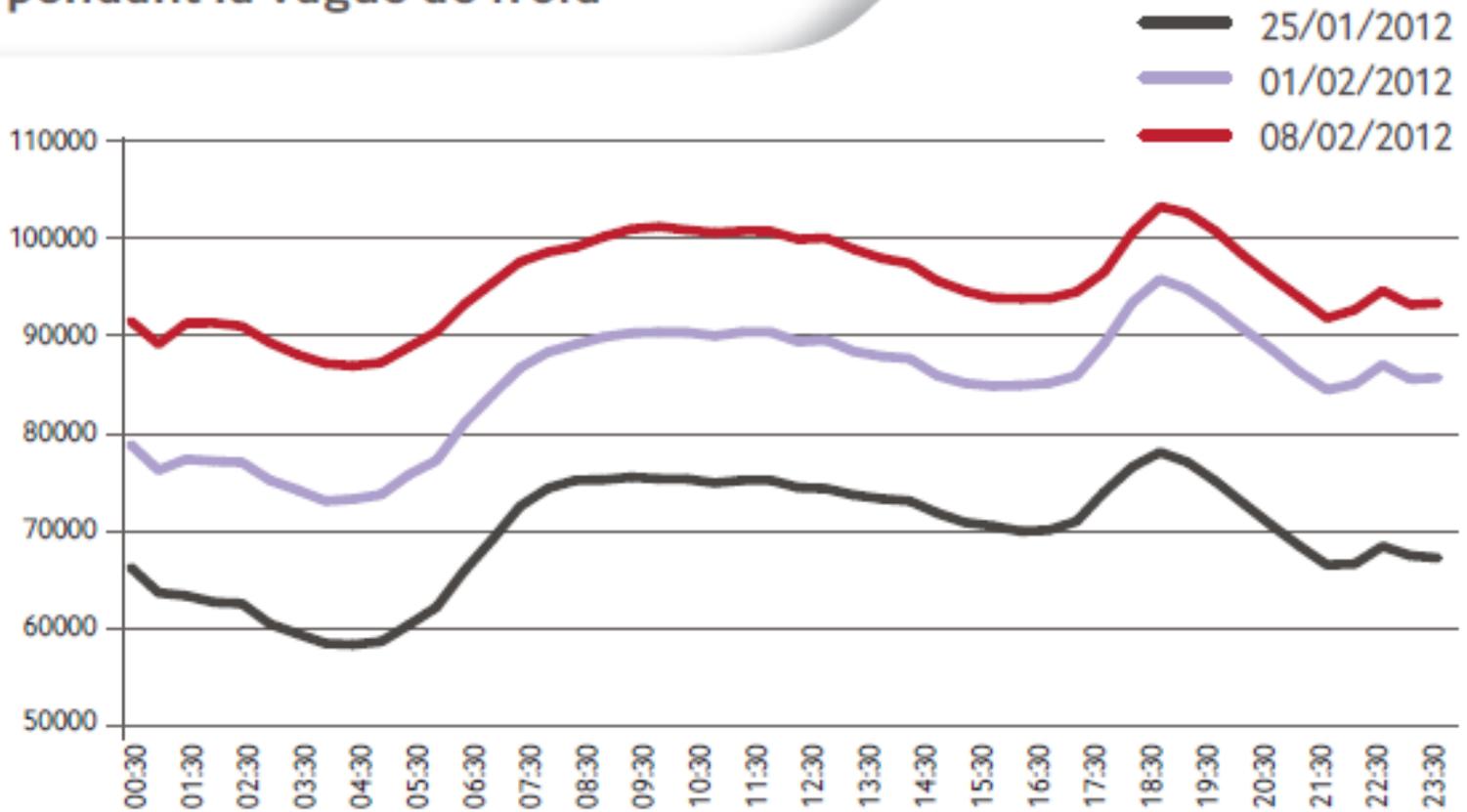
**La pointe de 19 h. croît
deux fois plus vite que
la consommation annuelle**

Pointes de consommation journalière pendant la vague de froid

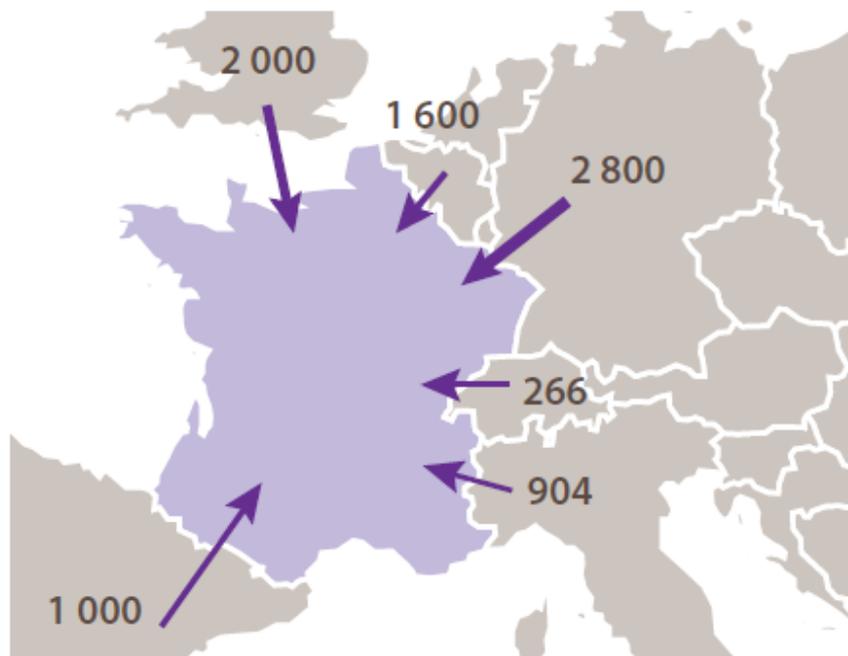


Les données affichées sur le graphique correspondent à des données consolidées de comptage, plus précises que les données disponibles en temps-réel qui sont élaborées à partir de télémessures et d'estimations.

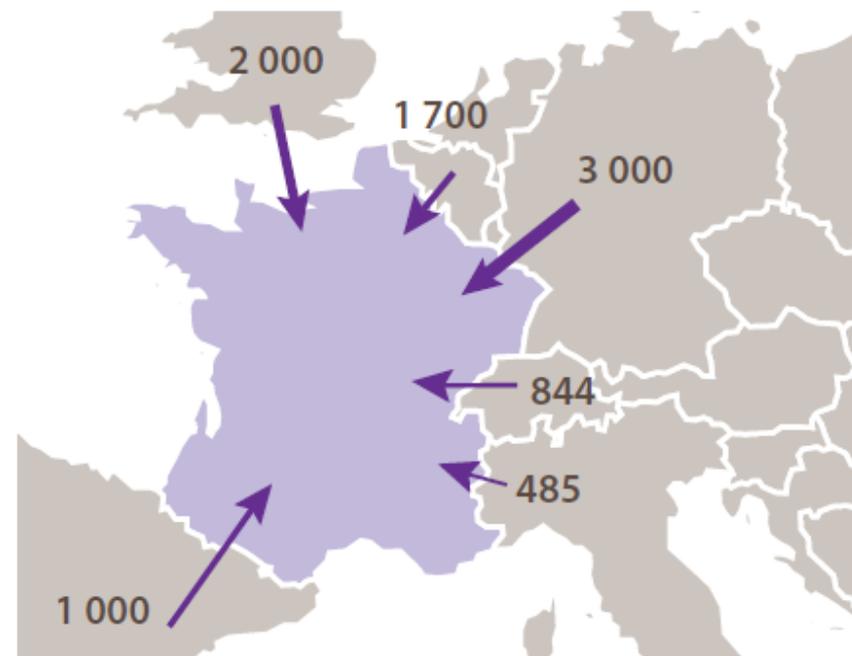
Courbes de charge du mercredi avant et pendant la vague de froid



Echanges contractuels le mercredi 8 février à 19h (MW)



Echanges contractuels le jeudi 9 février à 9h (MW)



➤ **Renouvellement des concessions de distribution.**

- **La péréquation tarifaire s'opère par la distribution.**
- **Les recettes et dépenses des centres de distribution sont consolidés au niveau national.**
- **Le coût du kWh distribué est un coût moyen qui bénéficie au rural (et aux ZNI).**
- **Un changement du système actuel où ErDF est concessionnaire obligé met fin à la possibilité de péréquation.**

Problème de puissance installée dans l'UE

- **Arrêt du nucléaire en Allemagne. Quid en Belgique et en Suisse ?**
- **Arrêt d'un certain nombre de centrales thermiques à flamme obsolètes en matière d'environnement.**
- **Investisseurs réticents à lancer de nouveaux outils de production à combustibles fossiles par manque de visibilité d'utilisation-amortissement.**
- **Plus d'obligation résultant des monopoles.**

Les certitudes

- **Le déficit chronique de puissance s'amplifie en Europe.**
- **Les variations rapides de puissance transportée vont s'accroître.**
- **L'impact sur les coûts des réseaux sera très lourd.**
- **L'équilibre du système électrique devient de plus en plus délicat.**
- **Le niveau de risque sur la stabilité du système électrique s'élève.**

Grand merci ...



... de votre attention !

www.sauvonsleclimat.org

le CNES à Saint-Denis