



# CHAPITRE

# 4



## CONSÉQUENCES DU PROJET FLAMANVILLE 3 POUR LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ

# CONSÉQUENCES DU PROJET POUR LE RÉSEAU DE TRANSPORT



RTE est chargé du transport de l'électricité en France. Garantir la sûreté du système électrique est la mission principale de RTE. Comme l'équilibre production / consommation est ajusté en permanence et en temps réel, RTE veille à ce que les événements les plus fréquents (variations météorologiques imprévues, dysfonctionnement de matériel...) ne provoquent pas de panne étendue du système électrique.

La mise en service d'un nouveau groupe de production sur le site de Flamanville, sans renforcement du réseau de transport, exposerait le réseau de transport à un tel risque. Les trois critères cités au chapitre précédent sont en cause :

- principalement la perte du synchronisme ;
- mais aussi les mises hors tension de ligne par surcharge ;
- et l'écroulement de tension de l'ouest de la France.

Le choix par EDF du site de Flamanville conduit à la nécessité de renforcer le réseau à 400 000 volts par une ligne électrique d'environ 150 km de long. Le choix d'un autre site pour l'implantation d'un tel groupe de production aurait également mis en évidence la nécessité de renforcer le réseau, pour assurer en toute circonstance la sûreté de fonctionnement du système électrique.

La puissance de cette installation représente l'équivalent de la capacité de transport d'un circuit à 400 000 volts. Quelle que soit sa localisation, son insertion dans le système électrique français modifierait très sensiblement les transits sur le réseau et conduirait à saturer les marges disponibles sur un ou plusieurs ouvrages existants.

Dans le réseau à 400 000 volts français, chaque liaison joue un rôle vis-à-vis des différents paramètres techniques que sont le maintien de la fréquence, le transport de la puissance et la tenue de tension. Certains ouvrages ont un rôle plus accentué sur le maintien du synchronisme. C'est le cas de la ligne Cotentin - Maine, des lignes qui relient actuellement le Cotentin au réseau à 400 000 volts, des axes électriques qui raccordent la région du grand sud-ouest au reste du réseau ou encore de ceux situés dans la vallée du Rhône.

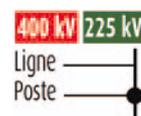


## Rappel de la situation actuelle de Flamanville

Situé en bord de mer, le site est actuellement équipé de deux groupes de production d'une puissance maximale de 1 300 MW chacun. La puissance électrique est transportée par deux lignes d'environ 25 km de long vers le poste électrique de Manuel (Cotentin). De ce poste, partent deux lignes à 400 000 volts vers le reste du réseau général de grand transport. Leur tracé est commun sur environ 50 km, jusqu'à proximité de la commune de Périers. Ensuite, les tracés divergent :

- une première ligne est orientée nord-sud jusqu'au poste électrique de Domloup (près de Rennes), via le poste de Launay ;
- une deuxième ligne est orientée ouest-est jusqu'au poste électrique de Rougemontier (près de Rouen), via les postes de Terrette et de Tourbe.

Ces lignes sont relativement longues, car le site est excentré. Du fait de cet éloignement, le Cotentin est une zone sensible aux ruptures de synchronisme, décrites au chapitre 3. Par exemple, le 26 décembre 1999, la tempête qui a affecté la France a provoqué l'avarie des deux circuits de la ligne Domloup - Launay. RTE a dû imposer une baisse de production à la centrale de Flamanville pour se prémunir du risque de perte de synchronisme en cas d'un nouvel incident.



# FLAMANVILLE 3 D'ÉLECTRICITÉ

## Des risques inacceptables de perte de synchronisme à Flamanville

Les courts-circuits, bien que très temporaires (quelques centièmes de seconde), induisent de violentes perturbations électriques. Ces dernières peuvent être ressenties plus ou moins fortement par les alternateurs en fonction de leur éloignement du lieu du court-circuit. Les trois cas de figure présentés ci-après et basés sur des **simulations** réalisées par RTE, illustrent les conséquences d'un court-circuit se produisant à proximité du site de Flamanville.

### Cas n°1 :

**Les conséquences d'un court-circuit proche de la centrale de Flamanville avec les deux groupes de production actuels et le réseau existant aujourd'hui**

1 **La foudre qui s'abat sur un pylône électrique ou sur une ligne, provoque un court-circuit.** Ce type d'incident, considéré comme banal par RTE, se produit environ 10 000 fois par an et, plus précisément pour les lignes à 400 000 volts, 2 fois par an et par 100 km de ligne. Pendant le court-circuit, **toutes les lignes à proximité du point d'impact sont parcourues par un courant violent** qui se dirige vers le court circuit. **L'électricité produite** par les alternateurs **va vers le court-circuit**, au lieu d'alimenter la consommation du réseau général, ce qui fait chuter la force de résistance du réseau.

2 Les turbines accélèrent, **la fréquence augmente.** Une légère désynchronisation se produit.

3 Les dispositifs de protection déconnectent automatiquement et **mettent hors tension la ligne** en court-circuit, en déclenchant l'ouverture des disjoncteurs. **La force de résistance du réseau revient** instantanément.

4 Le lien synchronisant restant est suffisamment fort, et **les alternateurs de Flamanville ralentissent rapidement pour retrouver la fréquence** du réseau.

5 La centrale retrouve la vitesse de synchronisme. La panne étendue est évitée.

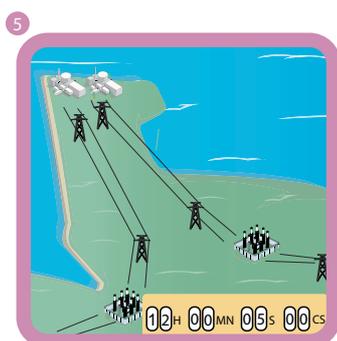
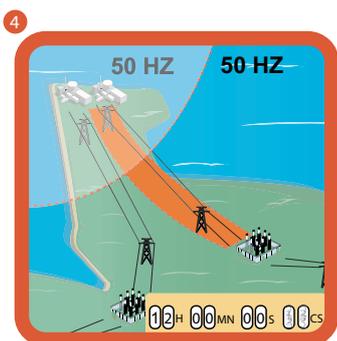
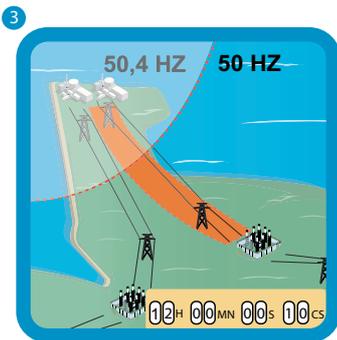
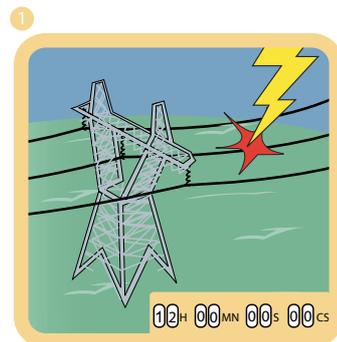
1 La foudre s'abat sur le réseau et provoque un court-circuit.

2 Le courant du réseau s'écoule dans le court-circuit. Les turbines accélèrent.

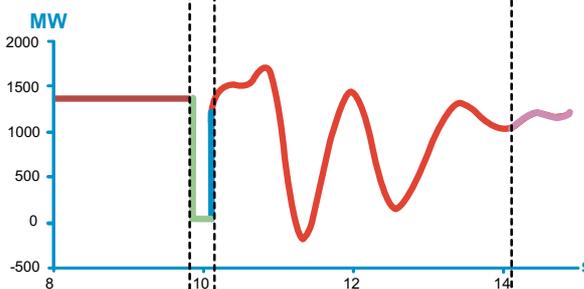
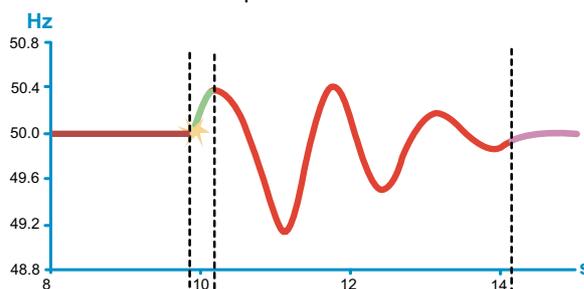
3 Les disjoncteurs s'ouvrent. La ligne en court-circuit est mise hors tension.

4 Le court-circuit disparaît. L'alternateur ralentit.

5 La panne ne s'est pas étendue. Les disjoncteurs se referment. La centrale retrouve le synchronisme.



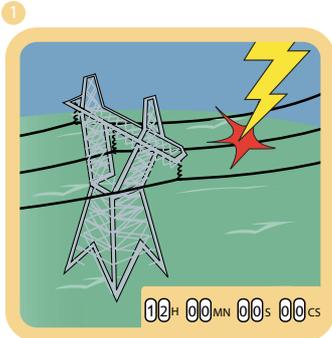
Fréquence à Flamanville



Puissance produite à Flamanville

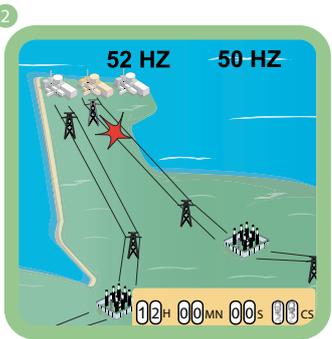
## Cas n°2 :

### Les conséquences d'un court-circuit proche de la centrale de Flamanville après mise en service du groupe de production Flamanville 3, dans l'état actuel du réseau



1 2 Les étapes 1 et 2 se déroulent comme dans le cas précédent.

3 En revanche, **les alternateurs de Flamanville, plus puissants** que dans le cas n°1 (ils totalisent environ 4 200 MW au lieu de 2 600 MW), ne parviennent pas à réduire leur vitesse suffisamment rapidement. La vitesse des alternateurs se maintient à une valeur légèrement supérieure à celle des autres centrales, car le lien synchronisant entre la zone de Flamanville et le reste du réseau n'est pas assez fort : par rapport à la situation précédente, **la centrale de Flamanville est aussi éloignée des autres centrales, mais elle est plus puissante (un groupe de production supplémentaire), ce qui limite ses chances de rétablir rapidement le synchronisme. Les alternateurs restent donc en survitesse** comme expliqué au chapitre 3.



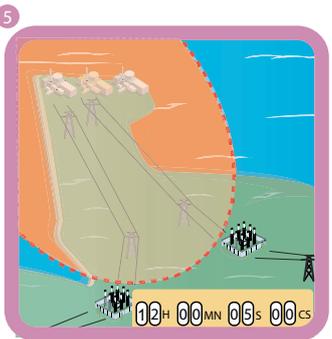
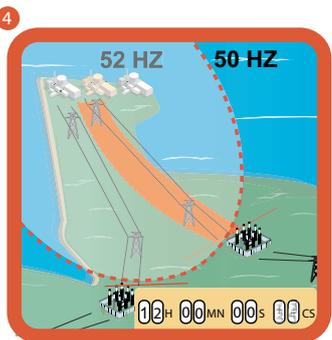
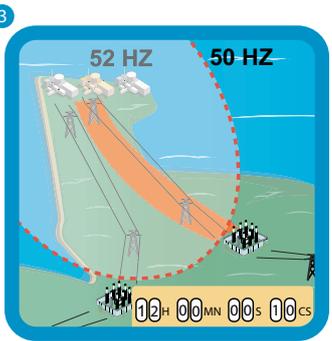
1 La foudre s'abat sur le réseau et provoque un court-circuit.

2 Le courant du réseau s'écoule dans le court-circuit. Les turbines accélèrent.

3 Les disjoncteurs s'ouvrent. Les alternateurs de Flamanville, plus puissants que dans le cas n°1, ne réduisent pas leur vitesse suffisamment rapidement.

4 La re-synchronisation a échoué, la zone du Cotentin est isolée du reste du réseau par le dispositif de débouclage.

5 Risque de blackout du Cotentin.

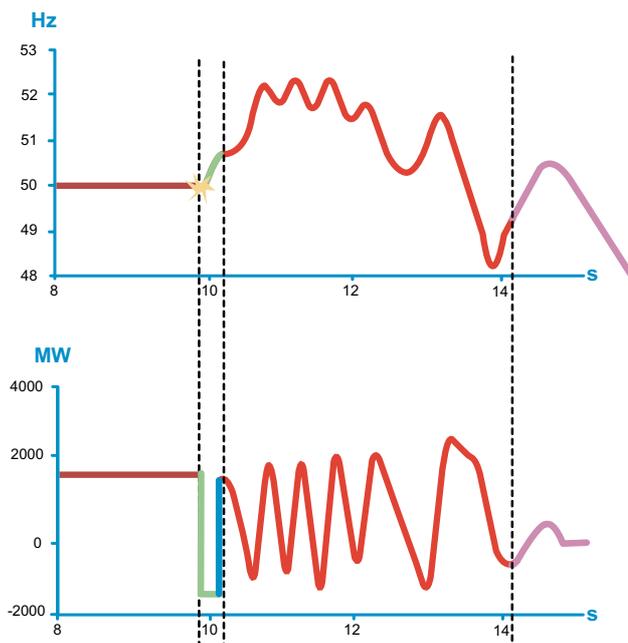


4 La vitesse des alternateurs fluctue et impose localement une fréquence différente de celle du reste du réseau. **C'est la rupture de synchronisme** : elle provoque entre la zone de Flamanville et le reste du réseau, d'une part des battements de tension qui perturbent les appareils électriques, d'autre part **des oscillations de puissance** telles qu'elles **pourraient endommager irrémédiablement les arbres des turbines** de Flamanville. La courbe de puissance montre que l'alternateur passe en moins d'une seconde d'un état d'alternateur produisant 1 600 MW à un état de moteur absorbant 1 000 MW, puis redevient un alternateur et ainsi de suite. Cela équivaut pour une voiture à enclencher la marche arrière en accélérant alors qu'elle roule à grande vitesse. Comme la re-synchronisation a échoué, **le réseau du Cotentin est isolé automatiquement du reste du réseau européen après quelques secondes**, pour préserver le reste du système électrique, par un dispositif de protection dit de « débouclage ».

5 Le fonctionnement du dispositif de débouclage est une **mesure de sauvegarde exceptionnelle** qui témoigne d'une situation grave. Le réseau du Cotentin étant isolé, il doit trouver un équilibre production / consommation. Or cet équilibre est très difficile à trouver car cette zone est

fortement productrice d'électricité et peu consommatrice. **Si l'équilibre n'est pas rapidement réalisé** par l'action des dispositifs de régulation des groupes de production de Flamanville, **l'ensemble de la zone connaît un « blackout »**. Or, pour retrouver un équilibre production / consommation sur la zone de Flamanville, les trois groupes de production de Flamanville doivent décroître d'une puissance proche de leur maximum (environ 1 300 MW pour Flamanville 1 et 2, environ 1 600 MW pour Flamanville 3) à une puissance très faible de l'ordre de 150 MW. Un tel saut dans la puissance à fournir dans un délai aussi bref conduirait à **déconnecter les groupes du réseau**.

Fréquence à Flamanville



Puissance produite à Flamanville

Pour le reste du réseau, les conséquences peuvent être considérables. La disparition de 4 200 MW cause une chute de fréquence importante, et **un risque de forte chute de tension dans l'ouest de la France**. En matière de coupure de clients, il peut se produire **soit du délestage** (des automatismes déconnectent une partie des consommateurs), **soit un effacement de tension** (la tension baisse en dessous des limites admissibles, provoquant la déconnexion des groupes de production, ce qui aggrave la baisse de tension ; le phénomène se propage et c'est l'effacement de la tension comme un château de cartes). La gravité des conséquences possibles est telle que **RTE ne saurait exploiter le réseau avec un tel risque**.

**Une baisse préventive** serait imposée au site de Flamanville lors de la mise en service du troisième groupe de production de façon à s'affranchir des risques de perte de synchronisme. Cette mesure palliative **serait très coûteuse**. Le gaspillage qu'elle représente se place à deux niveaux :

- **au niveau de l'investissement** de construction des groupes de production de Flamanville, qui ne pourraient être utilisés suivant leur dimensionnement ;
- **au niveau global de la production d'électricité en France**, qui devra faire appel à des moyens de production plus chers pour compenser la baisse de production imposée à Flamanville. Ces coûts supplémentaires sont estimés par RTE à **environ 25 millions d'euros par an**, en considérant la différence dans les prix offerts entre l'énergie nucléaire et les énergies de substitution qui auraient été utilisées.

En outre, ces moyens de production de substitution seront souvent des groupes de production utilisant des énergies fossiles, ayant un **impact environnemental important** tant du point de vue de la pollution de l'air que de l'accroissement de l'effet de serre.

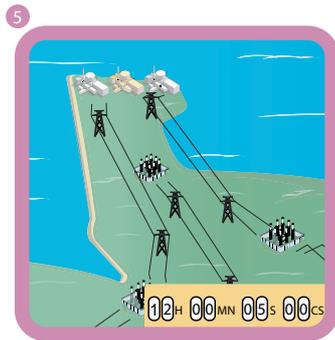
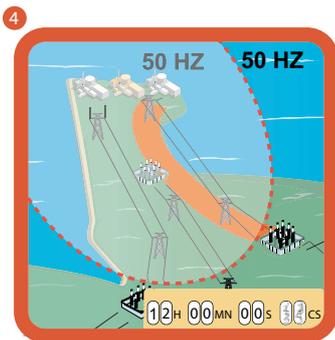
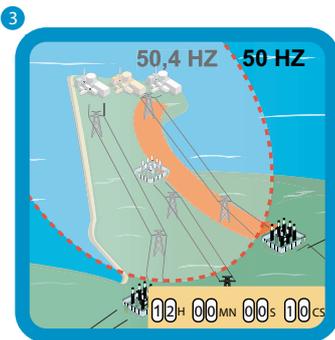
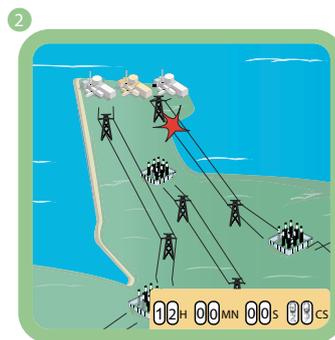
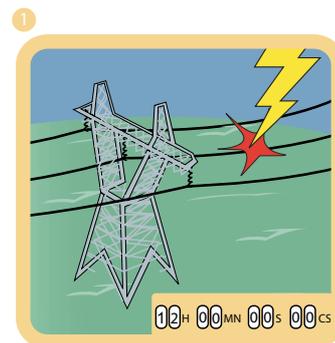
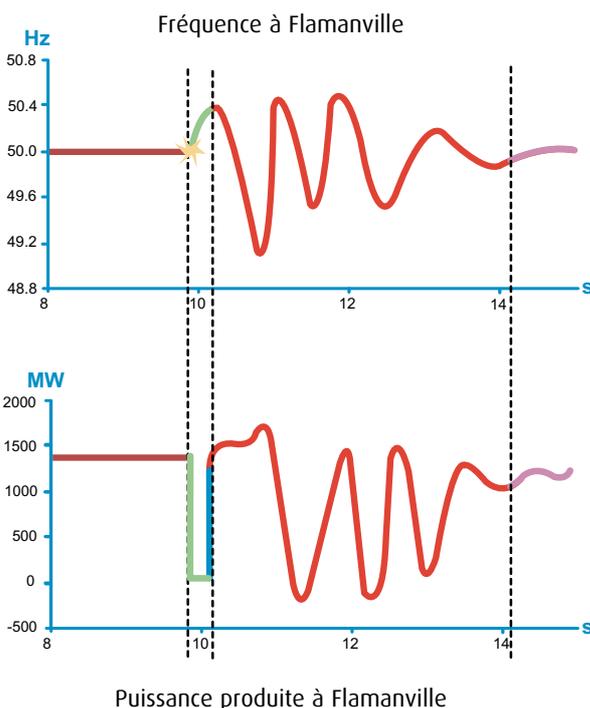
**Cas n°3 :**  
**Les conséquences d'un court-circuit proche de la centrale en présence de Flamanville 3, avec une ligne à 400 000 volts supplémentaire**

1 2 Les étapes 1 et 2 se déroulent comme précédemment.

3 Contrairement au cas précédent, la présence de **la nouvelle ligne à 400 000 volts renforce le lien synchronisant**, et les risques de perte de synchronisme sont écartés.

4 L'alternateur ralentit rapidement, et **la centrale retrouve sa vitesse de synchronisme**. Le dispositif de débouclage évoqué dans le cas n° 2 n'est pas mis en action.

5 La centrale retrouve la vitesse de synchronisme. **La panne étendue est évitée**.

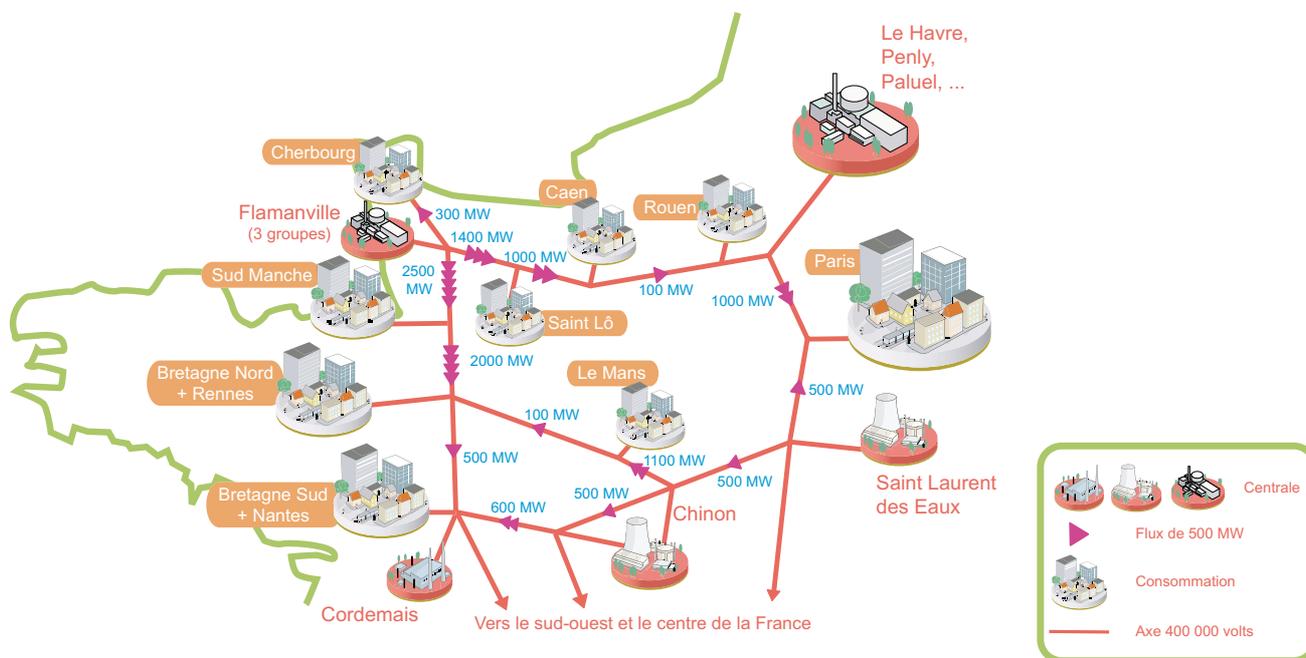




Les deux schémas suivants illustrent les flux des puissances dans deux configurations contrastées du système électrique.

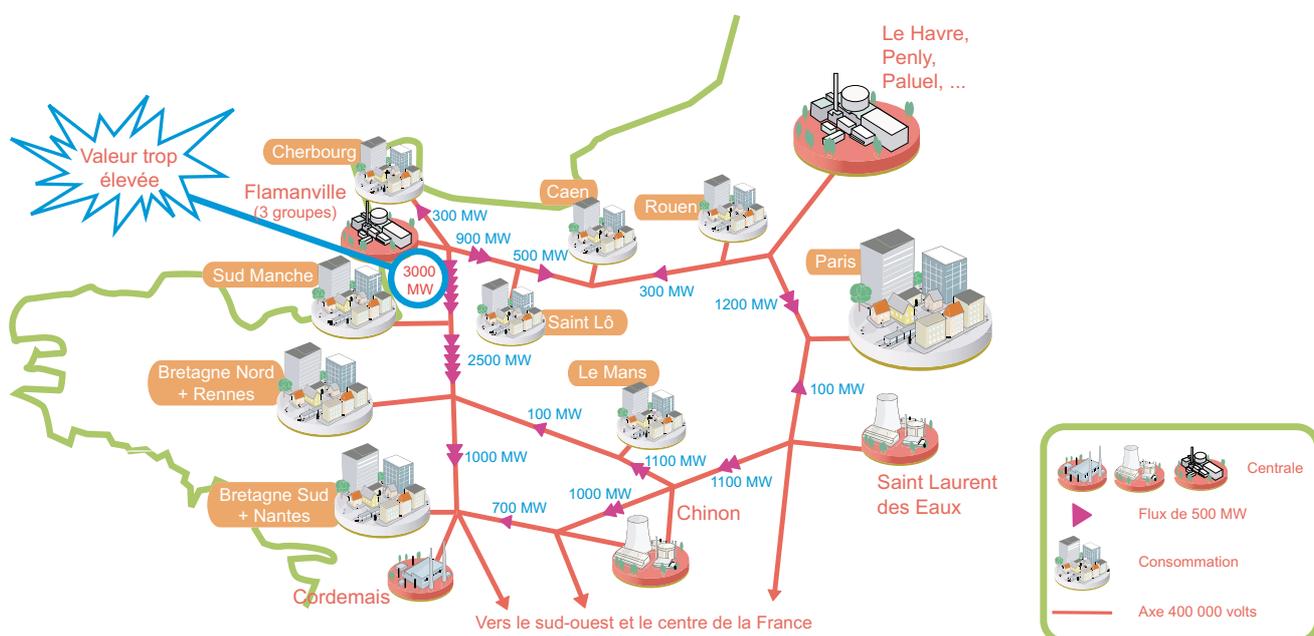
Dans le premier cas, qui reprend la situation du schéma précédent, le flux en puissance est équilibré.

### Transits dans le nord-ouest de la France, situation équilibrée entre le nord et le sud



Dans le deuxième cas, qui peut être rencontré en exploitation, le réseau est traversé par un flux nord-sud. Dans ce cas, le transit constaté sur l'axe sud issu de Flamanville atteint une valeur excessive : en effet, en cas de mise hors tension d'un des circuits de la ligne à double circuit Domloup – Launay, le report du transit sur l'autre circuit conduit à un dépassement de l'intensité maximale admissible sur le circuit restant de cette ligne, qui serait mise hors tension par surcharge au bout de quelques minutes.

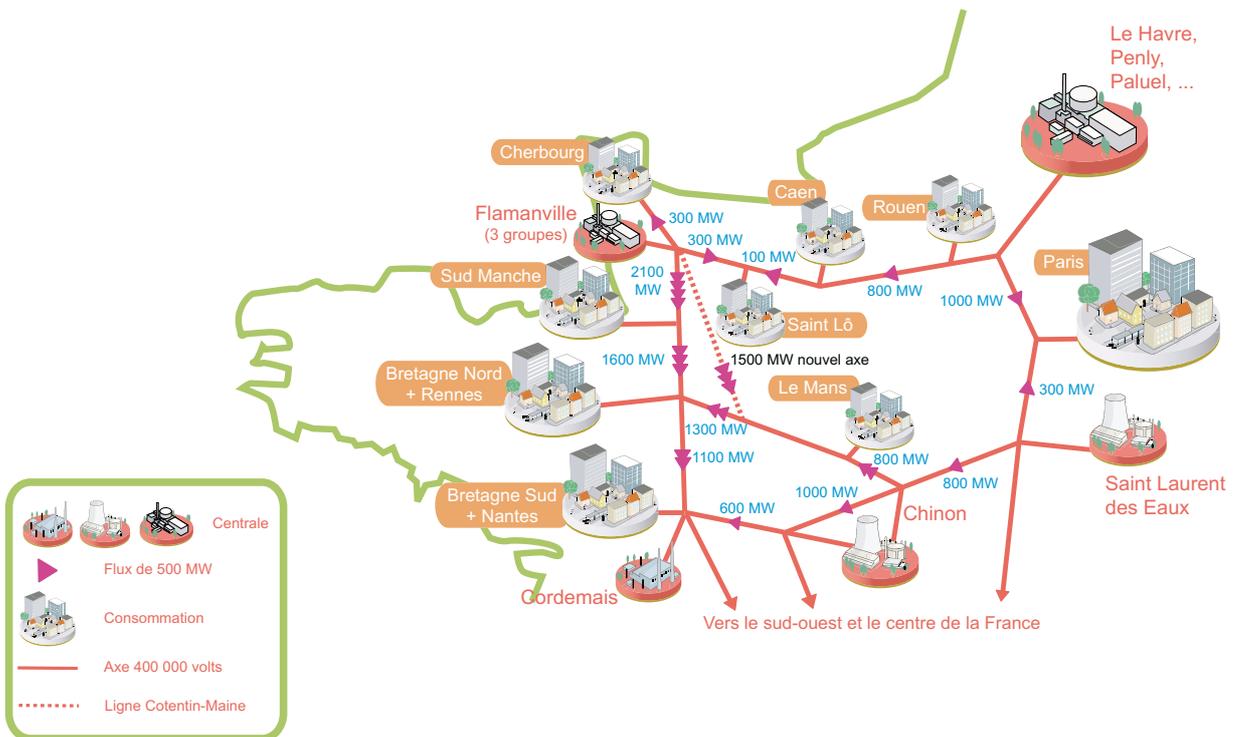
### Transits dans le nord-ouest de la France, situation de flux accentué du nord au sud



**Le renforcement du réseau avec une ligne à 400 000 volts** vers le sud permet de s'affranchir de ce risque. Le transit issu de Flamanville en direction du sud se répartit dans les deux lignes. **Le flux dans chacune des deux lignes est diminué** par rapport à la situation précédente, et **les reports en cas d'avarie sont tout à fait acceptables**.

**Le renforcement du réseau** à mettre en œuvre pour améliorer le lien synchronisant **devra donc être en direction du sud** pour également résoudre le problème posé par les transits dans les ouvrages de transport d'électricité du Cotentin.

**Transits dans le nord-ouest de la France, situation de flux accentué du nord au sud, avec création de la ligne Cotentin - Maine**

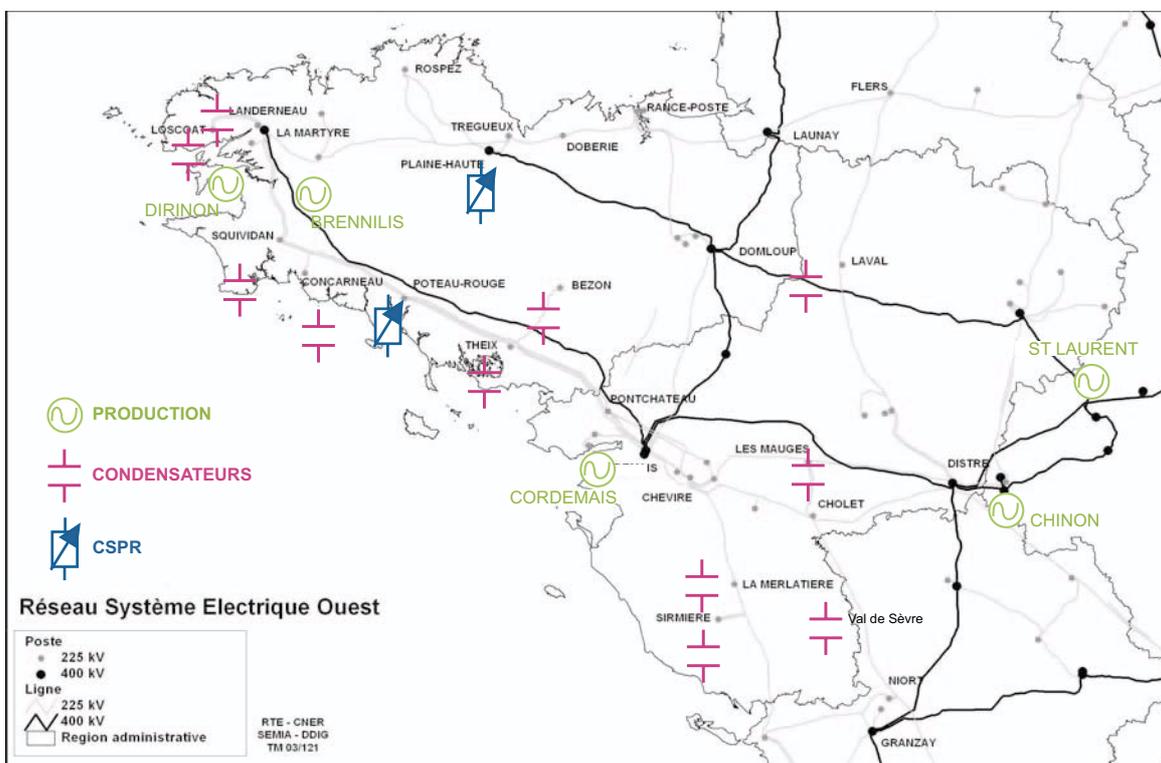


## Une tension dégradée dans l'ouest de la France

Des études de tenue de tension du réseau de **l'ouest de la France** ont montré sa fragilité en cas de forte consommation ou de mauvaise disponibilité des groupes de production de Cordermais, près de Nantes. L'exploitation du réseau au quotidien met également en évidence **la fragilité de cette région**. Ces études ont montré la nécessité d'installer de nouveaux moyens de compensation sur le réseau de l'ouest (Bretagne et Pays-de-Loire), pour maîtriser ces problèmes de tenue de tension, à défaut de disposer rapidement de renforcements du réseau ou de nouveaux de moyens de production en Bretagne.

La situation actuelle a conduit à l'installation en 2004 et 2005 de quatorze nouvelles batteries de condensateurs (qui s'ajoutent aux trente-cinq déjà en service), réparties dans les différents postes de la zone. Fin 2005, seront mis en service deux Compensateurs Statiques de Puissance Réactive (CSPR : appareils utilisant l'électronique de puissance destinés à compenser des variations de tension subites, réglables en fonction du besoin et fonctionnant automatiquement). Ces équipements seront installés près de Lorient et de Saint-Brieuc.

La carte suivante montre la localisation de ces dispositifs destinés à maintenir la tension dans une plage acceptable dans toutes les situations de consommation et de réseau.



**Avec l'arrivée du nouveau groupe de production à Flamanville**, les transits sur l'axe reliant Flamanville à Rennes vont fortement augmenter, engendrant ainsi des chutes de tension beaucoup plus importantes (voir chapitre 3). **La tension en Bretagne sera donc plus basse que les valeurs du plan de tension.** Il y a donc moins de marge pour absorber des avaries de ligne ou de centrale dans la zone. En cas d'avarie (comme ce qui s'est produit en 1987), la tension chuterait brutalement. **Le risque d'écroulement de tension dans l'ouest de la France se trouve donc aggravé si le réseau n'est pas renforcé dans cette direction.**

Les études de comportement du réseau électrique de transport français après mise en service du groupe de production Flamanville 3 montrent que le phénomène de rupture du synchronisme est probable en l'absence de renforcement du réseau. De plus, certaines conditions de production et de consommation placent le réseau de l'ouest de la France dans une situation inacceptable du point de vue de l'intensité maximale admissible dans les lignes existantes. Enfin, le risque d'écroulement de tension de l'ouest de la France est aggravé si le réseau n'est pas renforcé entre les sites de production et les sites de consommation.

Face à ces risques, RTE a étudié l'efficacité de différentes actions. Le chapitre suivant présente la solution proposée au débat public, qui est la seule solution apte à répondre aux trois risques évoqués ci-dessus. Le chapitre 6 évoque les autres techniques étudiées par RTE qui, après examen, soit ne présentent pas une efficacité suffisante pour garantir la sûreté de fonctionnement du système électrique lors de la mise en service du groupe de production Flamanville 3, soit ne sont pas d'un coût acceptable.

