

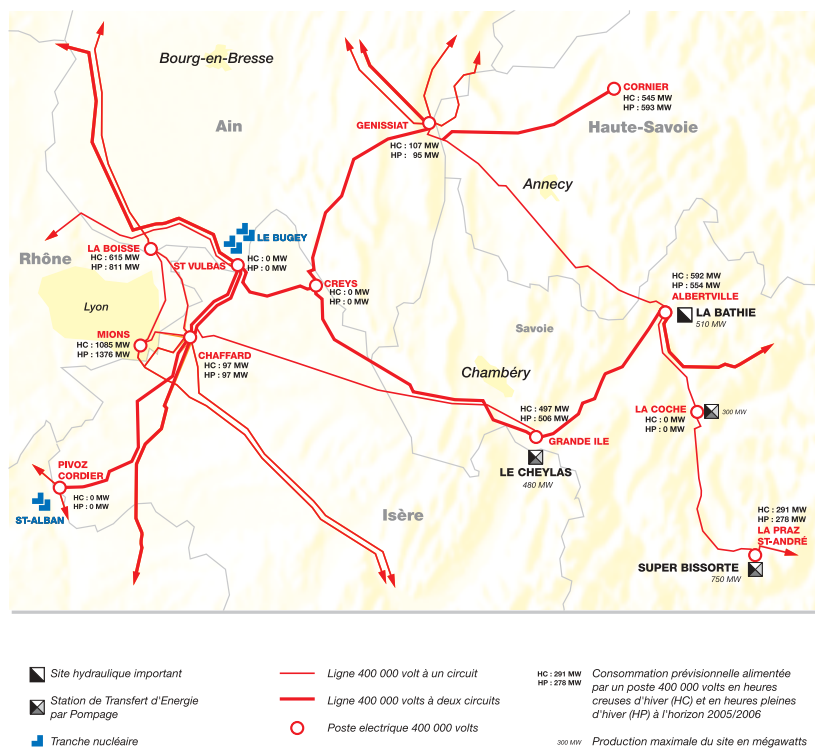
4
Les conséquences
de la faible capacité
de la ligne à un circuit
400 000 volts
Chaffard - Grande Ile

RTE doit d'ores et déjà faire face à des contraintes sur l'axe Lyon-Chambéry, en raison de sa faible capacité. Une étude a été réalisée pour montrer l'ampleur de ces contraintes. Afin d'illustrer la permanence du problème, cette étude est basée sur des estimations à l'horizon 2005 - 2006.

Les hypothèses d'appel de puissance des consommateurs dans la région Rhône-Alpes pour cette période sont de 8 580 mégawatts en heures pleines et 7 380 mégawatts en heures creuses. Par ailleurs, on retient un niveau global d'échanges transfrontaliers de 4 500 mégawatts vers le bloc Suisse-Italie. Cette valeur est volontairement inférieure à la capacité commerciale d'échanges internationaux. Ce choix permet de démontrer l'existence de contraintes indépendamment des niveaux les plus hauts d'échanges transfrontaliers.

4-1 Le risque de surcharge et d'incidents en cascade

La première conséquence de la faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile est l'importance du risque de surcharge, notamment en cas de défaillance d'une autre ligne de la zone. Pour bien évaluer ce risque, les contraintes qu'il implique et les remèdes possibles, RTE a étudié plusieurs configurations : heures pleines / heures creuses, été et hiver et différents niveaux de production (en heures pleines) ou de consommation d'électricité (en heures creuses) des STEP. Rappelons qu'en heures creuses, le pompage des STEP de Cheylas, La Coche, et Super-Bissorte (situées en aval du poste de Grande Ile), accentue ces transits. En heures pleines, le turbinage tend à diminuer. Ces études intègrent les possibilités de modifications curatives de la production évoquées précédemment (diminution du pompage ou augmentation du turbinage des STEP).



Carte des hypothèses de consommation (hors pompage) à l'horizon 2005/2006 en heures creuses et pleines d'hiver

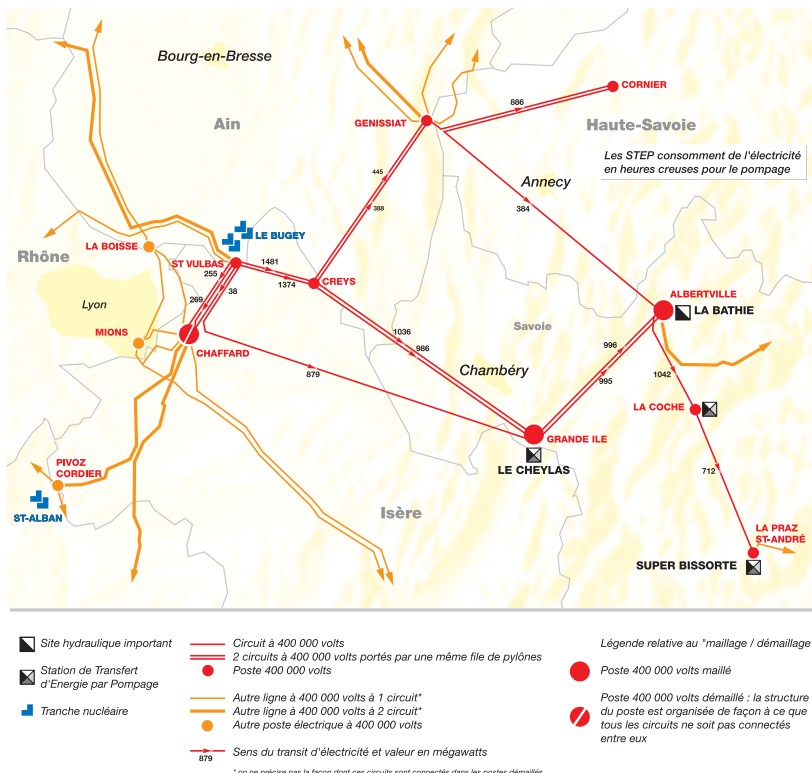
On mesure la gravité d'une surcharge en pourcentage par rapport à la capacité de transit de la ligne. Prenons un exemple : la ligne Chaffard - Grande Ile a une capacité de 1 030 mégawatts en hiver ; si elle transporte une quantité d'électricité de 800 mégawatts, on dit qu'elle est « chargée » à $(800 \div 1 030) \times 100 = 78 \%$ de sa capacité. Si maintenant 1 100 mégawatts circulent sur cet ouvrage, elle est en surcharge ($1 100 \text{ mégawatts} > 1 030 \text{ mégawatts}$) ; on dit qu'elle est chargée à $(1 100 \div 1 030) \times 100 = 107 \%$ de sa capacité, ou encore qu'elle est en surcharge de 7 % de sa capacité.

Pour alléger l'exposé, le problème est illustré pour les heures creuses d'hiver et les heures pleines d'hiver seulement, mais il reste fondamentalement le même en été.

a) Les transits lorsque tout le réseau est disponible

On considère que toutes les lignes du réseau sont en service, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas en avarie ou hors tension pour effectuer des opérations de maintenance. C'est le « régime normal » d'exploitation du réseau.

En régime normal, en heures creuses d'hiver et sans consommation d'électricité par les STEP pour le pompage, la quantité d'électricité qui circule sur chacun des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas représente 71 % de la capacité de chaque circuit. La ligne Chaffard - Grande Ile est alors chargée à 66 % de sa capacité.



Exemples de transits en heures creuses lors d'une journée type d'hiver, pompage maximal, réseau maillé à Albertville et Grande Ile

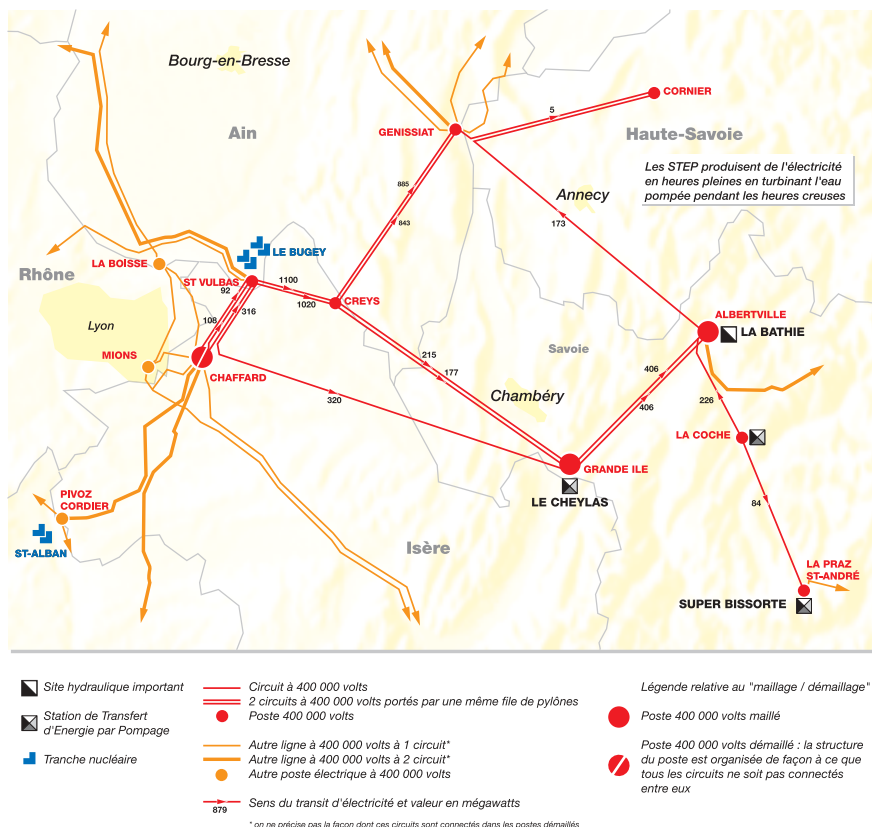
Si en revanche les STEP pompent de l'eau au maximum de leurs possibilités (c'est-à-dire qu'elles consomment le plus d'électricité), la quantité d'électricité qui circule en régime normal en heures creuses d'hiver sur chacun des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas représente alors 88 % de la capacité de chaque circuit. Dans le même temps, la ligne Chaffard - Grande Ile est alors chargée à 85 % de sa capacité.

En régime normal en heures pleines d'hiver, si les STEP produisent au maximum de l'électricité (en turbinant l'eau de leur bassin amont), la quantité d'électricité qui circule sur chacun des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas représente 61 % de la capacité de chaque circuit. La ligne Chaffard - Grande Ile est alors chargée à 31 % de sa capacité.

Si en revanche, toujours en régime normal en heures pleines d'hiver, les STEP ne produisent pas d'électricité (si par exemple elles n'ont pu pomper la nuit précédente la quantité d'eau nécessaire), la quantité d'électricité qui circule sur chacun des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas représente 88 % de la capacité de chaque circuit. La ligne Chaffard - Grande Ile est alors chargée à 54 % de sa capacité.

b) Que se passe-t-il si l'une des lignes 400 000 volts Creys - Saint Vulbas devient inutilisable ?

On a expliqué en préambule la « règle du N-1 » qui vise à garantir la continuité d'alimentation et éviter que des avaries banales ne dégénèrent en incident généralisé (voir page 29). Elle consiste



Exemples de transits en heures pleines lors d'une journée type d'hiver, pompage maximal, réseau maillé à Albertville et Grande-Ile

à s'assurer qu'une panne quelconque sur une ligne électrique (ou encore un transformateur de puissance, etc.) ne risque pas d'entraîner de coupure.

Appliquons la « règle du N-1 » à la portion de réseau 400 000 volts entre Lyon et Chambéry.

On a précisé dans la partie 3 que la ligne Chaffard - Grande Ile est une ligne à un seul circuit alors que la ligne Creys - Saint Vulbas est une ligne à deux circuits. Nous allons donc étudier les deux cas de figure : tout d'abord quelles sont les conséquences d'une avarie affectant un seul circuit de la ligne Creys - Saint Vulbas ? Ensuite quelles sont les conséquences d'une avarie affectant simultanément les deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas ? (Rappelons que ce dernier cas de figure, rare la plupart du temps, présente une probabilité non négligeable en cas d'orage, de fort givre, etc.)

Si l'un des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas subit une avarie et se retrouve subitement hors tension, la quantité d'électricité qu'il transportait se reporte instantanément sur le circuit encore en fonction de la ligne Creys - Saint Vulbas et sur la ligne Chaffard - Grande Ile.

- Si cet incident a lieu en heures creuses, ce report provoque une surcharge de la ligne Chaffard - Grande Ile. La gravité de cette surcharge dépend du niveau de pompage des STEP : si les STEP ne pompent pas, la ligne est chargée à 103 % de sa capacité ; si les STEP pompent au maximum de leurs possibilités, elle est chargée à 120 % de sa capacité.
- Si cet incident a lieu en heures pleines, ce report ne provoque pas toujours de surcharge : si les moyens de pointe hydrauliques produisent plus de 800 mégawatts (soit 55 % de leur capacité totale de production), il n'y a pas de surcharge. S'ils produisent moins de 800 mégawatts, la ligne Chaffard - Grande Ile entre en surcharge, et cette surcharge est d'autant plus forte

que les moyens de pointe hydrauliques produisent moins : lorsqu'ils ne produisent pas du tout, la charge de la ligne Chaffard - Grande Ile vaut 120 % de sa capacité suite au report d'électricité causé par une avarie affectant l'un des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas.

Quelles mesures faut-il prendre pour éviter que la ligne Chaffard - Grande Ile ne déclenche du fait de la surcharge causée par une avarie d'un des deux circuits Creys - Saint Vulbas ?

- En heures creuses, la situation la moins contraignante est celle où les STEP ne consomment pas d'électricité pour le pompage. Pouvoir arrêter intégralement le pompage est donc une première mesure nécessaire, mais insuffisante puisque une surcharge faible demeure ; il faut en plus limiter de 200 mégawatts la production de la centrale du Bugey (et donc augmenter ailleurs la production d'autres centrales). Cela signifie que RTE doit demander à la centrale du Bugey de diminuer sa production de 200 mégawatts, et aux STEP de limiter préventivement leur consommation globale d'électricité pour le pompage à un maximum de 600 mégawatts, c'est-à-dire le volume qu'il est possible d'arrêter avant que la ligne Chaffard - Grande Ile ne déclenche à cause de la surcharge (voir page 40).
- En heures pleines, RTE doit s'assurer que les moyens de pointe hydrauliques produisent au moins 200 mégawatts (et dans le cas contraire l'exiger préventivement), puisque l'on suppose possible d'augmenter la production de 600 mégawatts entre l'instant où la surcharge apparaît et celui où la ligne déclenche à cause de la surcharge (voir page 40). Mais pour qu'elles puissent produire en heures pleines, il faut que les STEP aient l'opportunité de pomper suffisamment d'eau pendant la nuit ou qu'il y ait eu des apports naturels suffisants.

Examinons maintenant l'hypothèse d'une panne simultanée des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas. La quantité d'électricité transportée par ces deux circuits se reporte instantanément sur la ligne Chaffard - Grande Ile. Ce report est tellement important que la ligne déclenche pratiquement immédiatement, quel que soit le niveau de pompage des STEP en heures creuses ou leur niveau de production en heures pleines : la panne simultanée des deux circuits Creys - Saint Vulbas revient donc à la perte de tout lien électrique entre la région lyonnaise et la Savoie.

Pour limiter les transits à des niveaux acceptables par la ligne Chaffard - Grande Ile et éviter qu'elle ne déclenche en cas d'avarie touchant simultanément les deux circuits Creys - Saint Vulbas, l'arrêt préventif (et donc permanent) de tranches nucléaires serait alors nécessaire.

Il convient de noter qu'une avarie affectant les deux circuits Creys - Grande Ile a les mêmes conséquences, notamment en heures creuses, où l'arrêt du pompage est là aussi insuffisant pour empêcher le déclenchement de la ligne Chaffard - Grande Ile.

On constate donc que sur avarie d'un circuit entre Lyon et Chambéry (ou pire : des deux

circuits d'une même ligne), le risque est grand de voir déclencher la ligne Chaffard - Grande Ile du fait de sa faible capacité. Le réseau n'aurait plus alors la capacité suffisante pour évacuer la puissance de la vallée du Rhône : le surplus de puissance entraînerait des surcharges sur les lignes restant en fonction, ainsi qu'une instabilité en tension, puis en fréquence, qui serait ressentie dans tout le réseau interconnecté européen. Dans ces circonstances exceptionnelles où le système électrique européen est en danger à très court terme (quelques dizaines de secondes) et où les paramètres essentiels tels que la fréquence et la tension sont dégradés et en évolution rapide, seuls auraient le temps d'agir des dispositifs automatiques d'urgence pour circonscrire au plus vite l'incident à l'échelon régional et éviter sa généralisation¹.

Les actions préventives ou curatives sur l'hydraulique étant insuffisantes même lorsqu'un seul circuit est hors d'usage, les exigences de sécurité, sûreté et efficacité du réseau fixées à RTE² nécessitent de rechercher des parades complémentaires, car le problème se pose dès maintenant. Une première réponse aujourd'hui mise en œuvre par RTE est le « démaillage » du réseau que l'on expose dans le paragraphe suivant.



RÉSUMÉ

En raison de sa faible capacité, la ligne Chaffard - Grande Ile risque plus que les autres d'entrer en surcharge, notamment en cas d'avarie sur une autre ligne, à cause des reports d'énergie. Les études menées par RTE montrent qu'en cas de défaillance sur la ligne Creys - Saint Vulbas, il faudrait agir sur les STEP (diminution du pompage ou augmentation du turbinage selon l'heure) mais aussi sur les centrales nucléaires de la vallée du Rhône (diminution sensible de la production). Sans ces modifications au niveau de la production, la surcharge sur la ligne Chaffard - Grande Ile serait trop importante et elle serait mise hors service par les automates de sécurité. Les autres lignes du secteur restant disponibles auraient alors à absorber les reports d'énergie de la ligne défaillante Creys - Saint Vulbas plus ceux de la ligne Chaffard - Grande Ile mise hors service. Il y aurait alors un grand risque d'incidents « en cascade » sur tout le réseau.

¹ Certains de ces automatismes d'urgence coupent l'alimentation des clients de façon sélective (c'est-à-dire en maintenant l'alimentation des clients prioritaires comme les hôpitaux), pour enrayer les baisses de fréquence et tenter de retrouver un équilibre stable en production et consommation. D'autres « découpent » le réseau pour isoler la zone de fonctionnement dégradé et éviter que l'incident ne se généralise.

² Loi du 10 février 2000.

4-2 Le démaillage de la ligne, une parade insuffisante

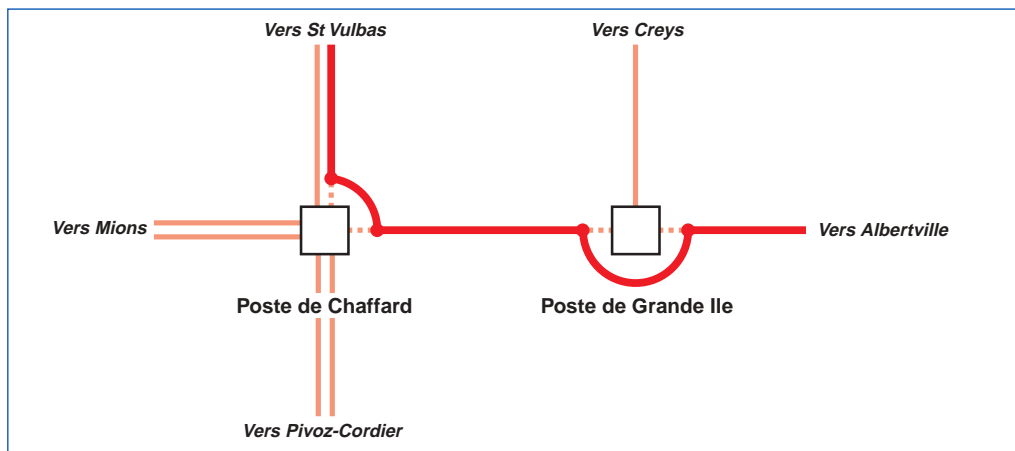
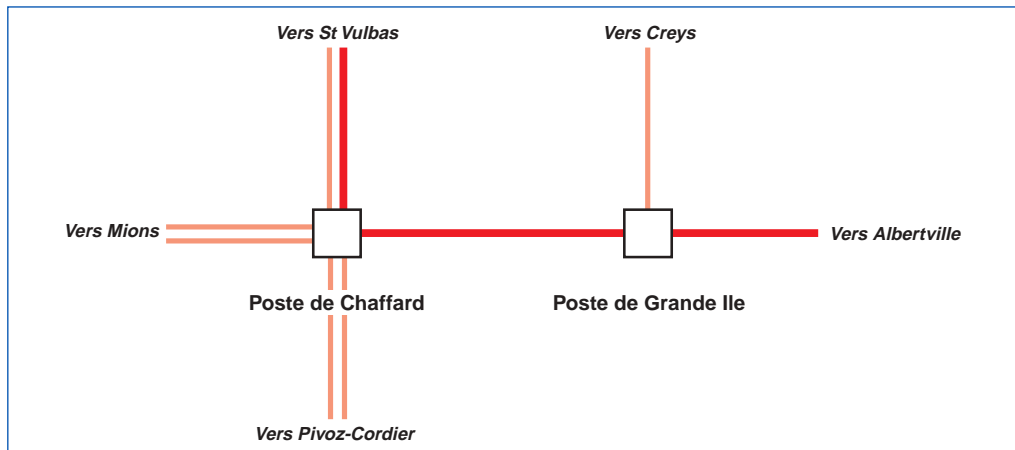
a) En quoi consiste le « démaillage » du réseau ?

On a considéré jusqu'ici que le réseau est « maillé » aux postes de Grande Ile et Albertville, c'est-à-dire que tous les circuits électriques qui y aboutissent sont connectés ensemble.

Le démaillage appliqué à la ligne Chaffard - Grande Ile est le suivant : au poste de Grande Ile, cette ligne n'est connectée qu'avec un seul des circuits Grande Ile - Albertville. Tous les autres circuits et des transformateurs de puissance au

poste de Grande Ile sont connectés ensemble de leur côté. De plus, au niveau du poste du Chaffard, la ligne Chaffard - Grande Ile est actuellement connectée directement à l'un des circuits Saint Vulbas - Chaffard pour constituer un long circuit qui part du poste de Saint Vulbas jusqu'au poste de Grande Ile sans entrer dans le poste du Chaffard.

De cette façon, la ligne Chaffard - Grande Ile devient un maillon d'une très longue file de circuits électriques. Ce chemin plus long pour l'électricité oppose d'autant plus de résistance au passage du courant. Par rapport à la situation précédente où les postes de Grande Ile et Albertville sont maillés, la quantité d'électricité



Schémas de principe de la section Chaffard - Grande Ile en réseau maillé (figure du haut) et en réseau démaillé (figure du bas)

qui circule naturellement sur toute cette file est plus faible. On peut ainsi espérer limiter la charge et par suite l'apparition et la gravité de surcharges sur la ligne Chaffard - Grande Ile de faible capacité (mais dans le même temps on ne peut pas profiter de toute la capacité des autres circuits qui constituent cette file).

Effectivement, si l'on se place en régime normal en heures creuses d'hiver, en supposant que les STEP pompent de l'eau au maximum de leurs possibilités (et donc consomment le plus d'électricité), on constate que la quantité d'électricité qui circule sur la ligne Chaffard - Grande Ile représente seulement 64 % de la capacité de la ligne contre 85 % dans les mêmes conditions à réseau maillé à Albertville et Grande Ile. Dans le même temps, le transit sur l'axe Creys - Saint Vulbas reste sensiblement le même en régime normal qu'à réseau maillé (voir cartes pages 47 et 54).

b) Que se passe-t-il en cas d'avarie sur la ligne à deux circuits 400 000 volts Creys - Saint Vulbas ?

Si l'un des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas subit une avarie et se retrouve hors tension, la quantité d'électricité qu'il transportait se reporte instantanément sur les circuits encore en fonction. Comme on peut s'y attendre, le report sur la ligne Chaffard - Grande Ile est plus faible qu'il ne l'était dans la configuration à réseau maillé présentée plus haut. Mais dans le même temps, le report sur le circuit restant en service entre Creys et Saint Vulbas est lui d'autant plus important.

Du fait du faible report, aucune contrainte n'apparaît sur la ligne Chaffard - Grande Ile, en heures pleines comme en heures creuses et ce, quel que soit le niveau de production (en turbinage) ou de consommation (en pompage) des STEP. En revanche, la quantité importante d'électricité qui circule désormais sur le circuit restant actif entre Creys et Saint Vulbas peut excéder sa capacité de transport et causer sa surcharge.

- Si l'incident a lieu en heures creuses, le circuit

Creys - Saint Vulbas encore en fonction est d'autant plus chargé que le pompage des STEP est important : si les STEP ne pompent pas, la charge atteint 104 % de la capacité du circuit ; si elles pompent au maximum, la charge atteint 140 % de la capacité du circuit.

- Si l'avarie a lieu en heures pleines, le circuit Creys - Saint Vulbas encore en fonction est d'autant moins chargé que la production d'électricité par les moyens de pointe hydrauliques en turbinage est important. Il n'entre en surcharge que si le niveau de production des STEP est, là encore, inférieur à 800 mégawatts (soit 55 % de la capacité totale de production des STEP) ; sans production des moyens de pointe hydrauliques, la charge du circuit restant actif entre Creys et Saint Vulbas représente 130 % de sa capacité.

Pour éliminer toute surcharge :

- En heures creuses il faut arrêter intégralement le pompage et diminuer la production de la centrale du Bugey de 1 000 mégawatts, ce qui équivaut à l'arrêt d'une tranche nucléaire. Il y a en effet une grande disproportion entre la baisse de puissance de la production et la baisse de la surcharge : il faut 3,5 mégawatts de baisse de production à la centrale du Bugey pour diminuer le transit de 1 mégawatt sur Creys - Saint Vulbas.
- En heures pleines, comme dans le cas précédent, RTE doit s'assurer que les moyens de pointe hydrauliques produisent au moins 200 mégawatts (et dans le cas contraire l'exiger préventivement), puisque l'on suppose possible d'augmenter la production de 600 mégawatts entre l'instant où la surcharge apparaît et celui où la ligne déclenche à cause de la surcharge (voir page 40).

L'avarie des deux circuits de l'axe Creys - Saint Vulbas reste elle aussi toujours très difficile à gérer. En heures pleines, la hausse du turbinage des moyens de pointe hydrauliques

permet de diminuer la surcharge. Mais en heures creuses, l'arrêt du pompage des STEP est insuffisant et il faut là encore recourir à des baisses de la production nucléaire.

En résumé, le démaillage (débouclage), dans les faits, déplace le problème.

Même si les conséquences de l'avarie d'un ou des deux circuits de la ligne Creys - Saint Vulbas sont moins lourdes avec le démaillage (débouclage), la faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile empêche tout de même, dans tous les cas de figure, l'exploitation complète du potentiel des STEP de Savoie et d'Isère et nécessite des baisses, éventuellement préventives, sur la production nucléaire de la région lyonnaise. Le risque de voir dégénérer une simple avarie en incident généralisé est plus faible avec le démaillage que sans, mais n'est pas complètement écarté.

Cette parade n'est donc pas durablement acceptable pour RTE.

Par ailleurs, si le démaillage n'entraîne pas de surcoût d'investissements, il n'est pas anodin. En premier lieu, cet aménagement est contraire à la logique d'un réseau maillé, et interdit d'en profiter pleinement : il fige la configuration du réseau, immobilise des installations, limite sensiblement la manœuvrabilité et ne permet plus de tirer profit de la configuration des installations électriques des postes.

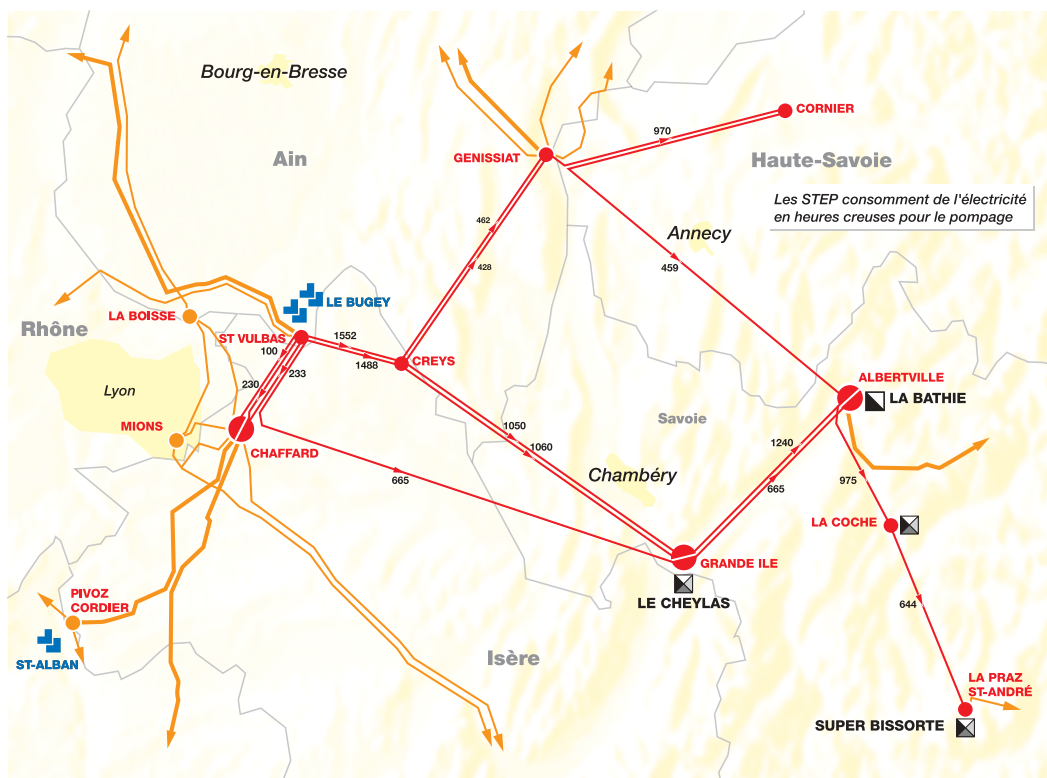
En outre, le démaillage augmente le volume des pertes par effet Joule. Les pertes par effet Joule représentent une quantité d'énergie dissipée sous forme de chaleur par les lignes lorsqu'elles sont parcourues par un courant électrique. Ces pertes sont d'autant plus importantes que le réseau oppose au passage du courant une résistance globale élevée (ce que le démaillage cherche précisément à réaliser pour limiter les flux). Cela signifie que pour chaque kilowattheure consommé par un client, les centrales de production doivent produire non seulement ce kilowattheure mais aussi le surplus d'énergie qui sera dissipé sous forme de chaleur par les lignes électriques qui achemineront ce kilowattheure

au client. En pratique, ce surplus d'énergie dissipée est payé directement par RTE aux producteurs ; RTE répercute ensuite cette charge sur l'ensemble des clients du réseau à travers le recouvrement du tarif du transport d'électricité. Augmenter les pertes par effet Joule signifie donc concrètement augmenter d'autant la production d'électricité, et par contrecoup le coût du kilowattheure pour le consommateur final et les émissions polluantes associées.

RÉSUMÉ

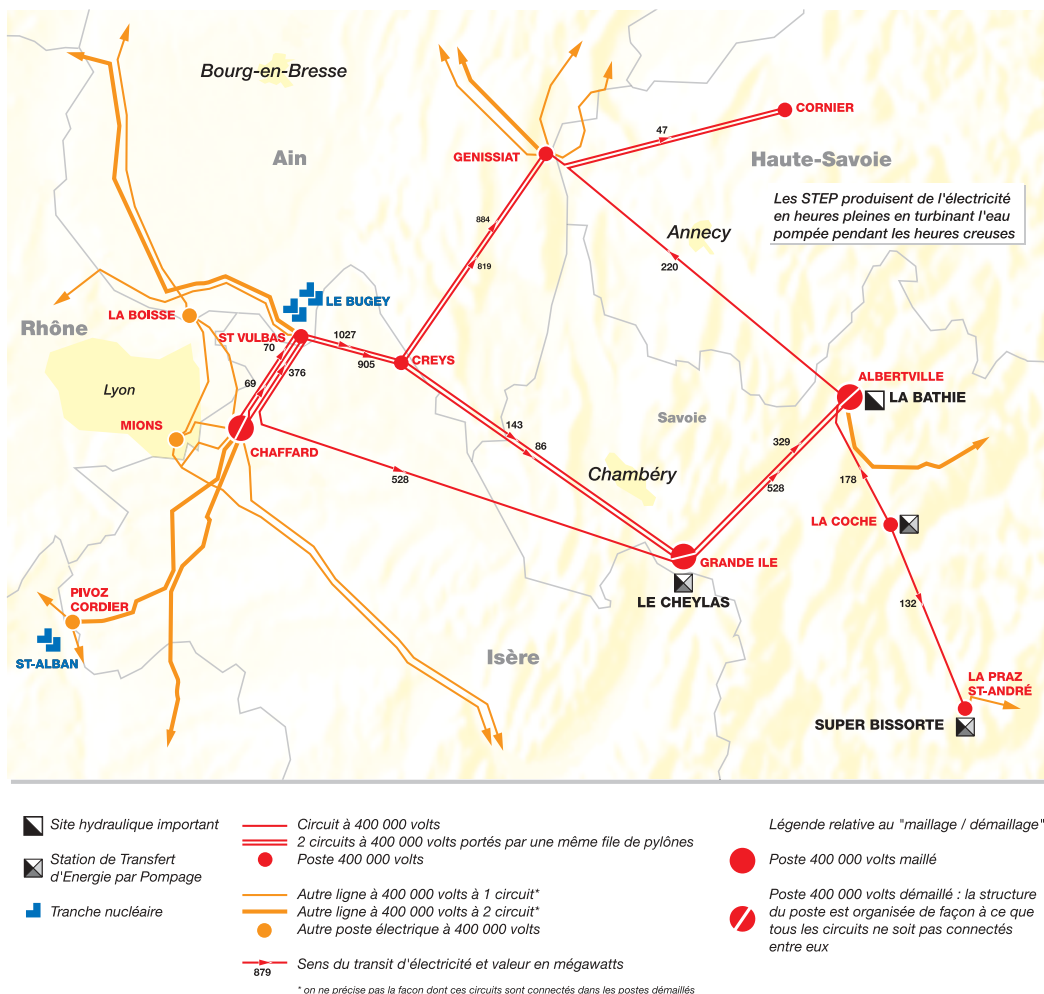
Pour ne pas risquer un incident de grande ampleur à cause de la faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile, RTE a séparé cette ligne du reste du réseau régional. En langage technique, on parle de « démaillage ». Cette mesure, qui conduit à un allongement artificiel de la ligne afin d'augmenter sa résistance au courant, permet d'éviter les surcharges sur la ligne à 400 000 volts Chaffard - Grande Ile. Mais les risques de surcharge sont alors d'autant plus grands sur les autres lignes restées interconnectées, puisqu'il y a une ligne de moins pour absorber les éventuels reports d'énergie en cas d'avarie sur le réseau.



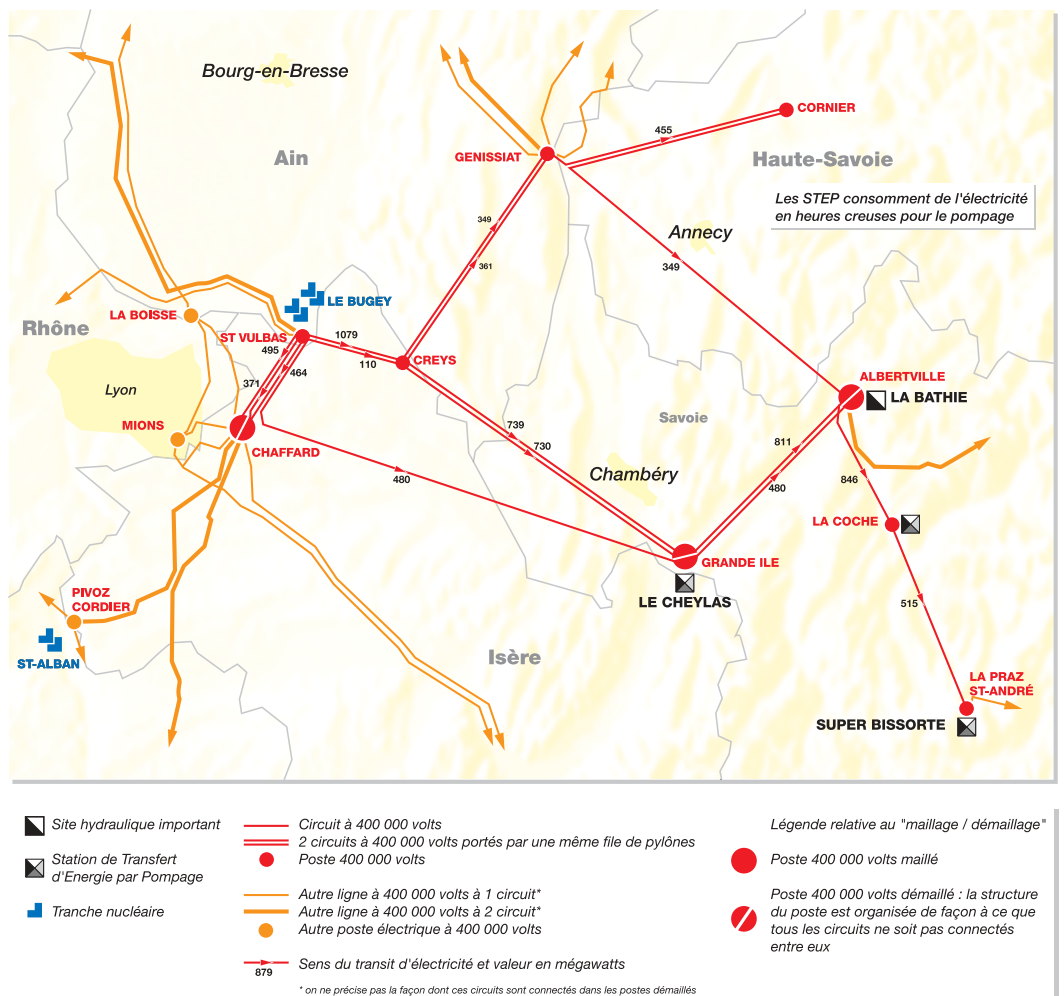


- Site hydraulique important
 - Station de Transfert d'Energie par Pompage
 - Tranche nucléaire
 - Circuit à 400 000 volts
 - 2 circuits à 400 000 volts portés par une même file de pylônes
 - Poste 400 000 volts
 - Autre ligne à 400 000 volts à 1 circuit*
 - Autre ligne à 400 000 volts à 2 circuit*
 - Autre poste électrique à 400 000 volts
 - Sens du transit d'électricité et valeur en mégawatts
 - Légende relative au "maillage / démaillage"
 - Poste 400 000 volts maillé
 - Poste 400 000 volts démaillé : la structure du poste est organisée de façon à ce que tous les circuits ne soit pas connectés entre eux
- * on ne précise pas la façon dont ces circuits sont connectés dans les postes démaillés

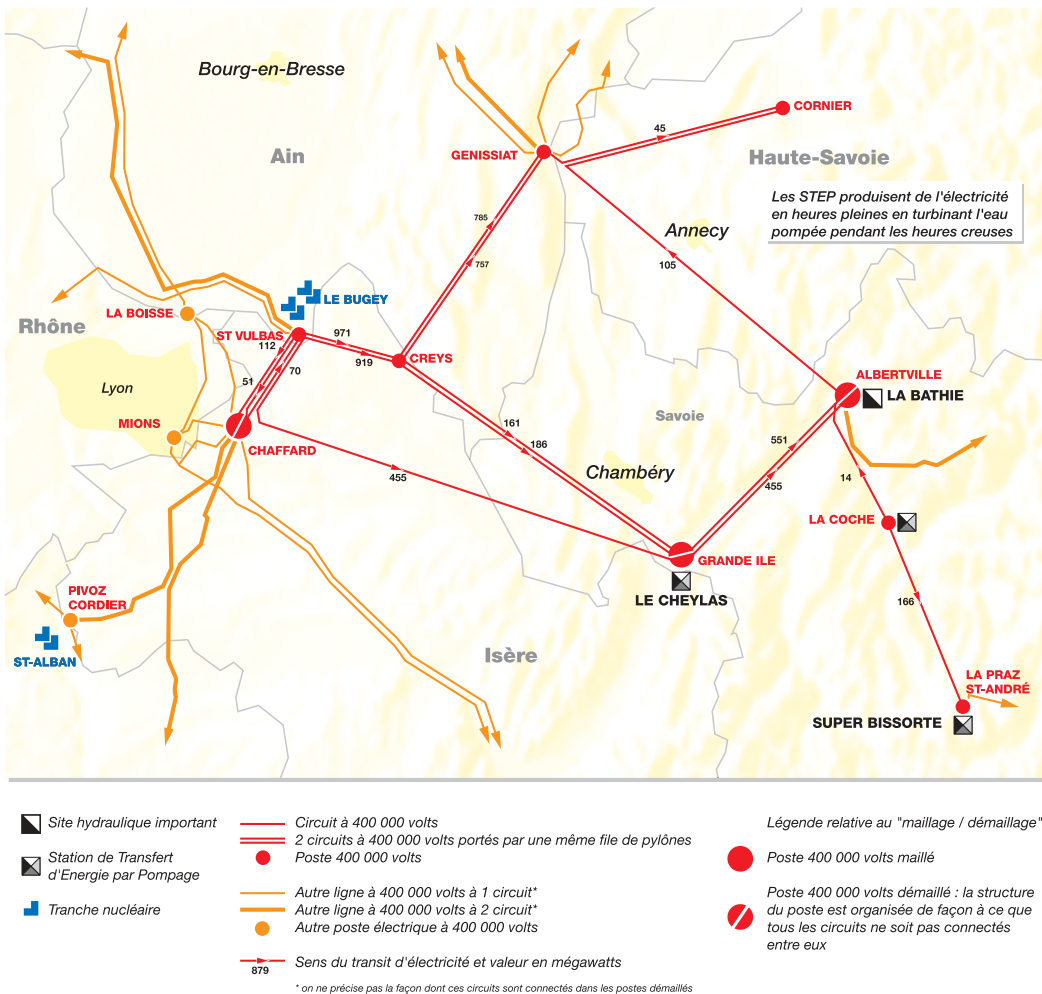
Carte de transits en régime normal sans renforcement, réseau démaillé à Albertville et Grande Ile en heures creuses d'hiver



Carte de transits en régime normal sans renforcement, réseau démaillé à Albertville et Grande Ile en heures pleines d'hiver



Carte de transits en régime normal sans renforcement, réseau démaillé à Albertville et Grande Ile en heures creuses d'été



Carte de transits en régime normal sans renforcement, réseau démaillé à Albertville et Grande Ile en heures pleines d'été

4-3 L'augmentation des coûts d'exploitation du système électrique

Pour garantir la sûreté de fonctionnement en dépit de la trop faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile, RTE doit donc d'une part démailler le réseau à Grande Ile et Albertville, et d'autre part modifier le programme de production des centrales nucléaires et hydrauliques. Ces mesures ont un coût. On a déjà évoqué le surcoût causé par l'augmentation du volume des pertes par effet Joule. RTE doit également payer explicitement au producteur le service que ce dernier rend au réseau en modifiant le programme de production de ses centrales ; le producteur facture ce service sur la base du surcoût que représente pour lui cette modification. En satisfaisant cette demande de RTE, il ne peut en effet plus produire comme il le souhaitait au meilleur coût : il doit se priver de tout ou partie de la production de groupes à bas prix de revient et, comme il doit honorer ses contrats avec ses clients, doit en compensation recourir à des centrales plus chères.

Au total, le surcoût d'exploitation causé par la trop faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile se chiffre annuellement à environ 10 millions d'euros (voir page 101).

Ce coût est directement payé par RTE, mais se traduit *in fine* par un renchérissement du kilowattheure pour l'ensemble des clients : RTE doit en effet répercuter cette charge sur l'ensemble des clients du réseau à travers le recouvrement du tarif du transport d'électricité.

RÉSUMÉ

La faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile a une double répercussion sur les coûts du transport d'électricité. D'une part, RTE est obligé de demander aux producteurs d'aménager leurs plans de production afin de ne pas provoquer de surcharge sur le réseau. Ces aménagements sont facturés à RTE par les producteurs. D'autre part, le démaillage de la ligne Chaffard - Grande Ile, rendu nécessaire par sa faible capacité, est synonyme d'augmentation des pertes par effet Joule. Pour compenser ces pertes, RTE doit acheter de l'électricité sur le marché concurrentiel. Au total, le surcoût induit par la faible capacité de la ligne Chaffard - Grande Ile représente environ 10 millions d'euros par an.



