

ANALYSES RÉTROSPECTIVES ET APPLICATIONS À LA REGION PACA ET AU DÉPARTEMENT DU VAR

Introduction

Le chapitre 1 a rappelé dans quelle mesure, derrière l'aspect brutal du déclenchement et de la diffusion du système de risques, pouvaient exister des causes profondes opérant dans une temporalité plus longue, inhérente en particulier au développement des réseaux techniques, des territoires et des sociétés. Si par nature, la coupure électrique existe depuis l'invention de l'électricité, la problématique des systèmes de risques associés aux coupures électriques tels que décrits jusqu'ici ne se pose pas dans les mêmes termes et aux mêmes échelles selon l'époque et les territoires. D'autre part, nous avons aussi souligné à quel point l'imbrication est un élément déterminant dans l'organisation des réseaux et tout particulièrement celle du réseau électrique. Ainsi, une panne électrique en région Provence-Alpes- Côte d'Azur (PACA) peut concerner exclusivement ce territoire tout comme elle peut être le résultat d'une panne à l'échelle de l'ensemble de la France, voire de l'Europe. De même, la région PACA peut être la source ou la cible des défaillances des méta-systèmes, nous retrouvons alors l'idée d'interdépendance scalaire et le fait qu'à l'échelle d'un sous-système, celui-ci est plus ou moins dépendant de ses niveaux supérieurs, tout comme ces derniers sont plus ou moins dépendants de cette composante de niveau inférieur.

Pour ces deux raisons, avant de nous focaliser plus spécifiquement sur des événements locaux ou régionaux, nous avons souhaité débiter ce premier chapitre d'analyse dite rétrospective par une réflexion sur l'évolution du contexte électrique à l'échelle plus vaste de la France dans un premier temps, puis de l'Europe. Il ne s'agit pas d'effectuer un diagnostic technique de l'état présent du réseau, qu'un ingénieur électrique serait mieux à même de produire qu'un géographe, mais plus spécifiquement d'observer comment les articulations entre l'équilibre électrique global de l'ensemble du système et les déséquilibres locaux ont pu se réaliser à des échelles différentes selon l'évolution des capacités techniques et des choix stratégiques. Dans ce cadre, l'analyse portera une attention spécifique à la région PACA et l'organisation de son approvisionnement électrique. Contrairement à la région bretonne, autre région actuellement en situation de fragilité électrique, et ayant toujours été en situation de sous production électrique par rapport à sa consommation, la région PACA était initialement une région au profil plutôt exportateur, il sera donc intéressant de réfléchir à la manière dont a émergé cette fragilité dans l'histoire du territoire électrique français. Les bifurcations qui peuvent s'observer dans cette trajectoire participent indirectement à la systémogénèse profonde du système de risques, à la création de possibilités nouvelles de déclenchement d'effets en cascades opérant à de nouvelles échelles. Si l'on pense qu'elles n'ont pas toujours existé, comment alors cette possibilité de système de risques s'est-elle créée, est-elle homogène dans

l'espace régional et quelles stratégies de gestion sont-elles mises en œuvre par les gestionnaires ?

Enfin, une fois proposées des hypothèses sur les causes profondes de la construction de certains systèmes de risques, nous débiterons les analyses rétrospectives de type plus évènementiel. On passe alors d'une réflexion sur la création du système de risques, à une réflexion sur son déclenchement, sa diffusion et sa résorption. Dans ce chapitre, la spatialisation de ces systèmes de risques prend en compte cette dimension temporelle mais reste assez simple dans le sens où nous ne tenons pas compte explicitement des enjeux d'imprécisions spatiales et d'incertitudes décrits dans le chapitre 3.

4.1. ENTRE ÉQUILIBRE GLOBAL ET DÉSÉQUILIBRES LOCAUX : LA CONSTRUCTION DU RÉSEAU ET LE « NON-AMÉNAGEMENT » DES TERRITOIRES ÉLECTRIQUES

4.1.1. A l'échelle de l'Europe

4.1.1.1. L'exemple de la panne du 4 Novembre 2006

L'exemple de la coupure électrique européenne du 4 novembre 2006 (RTE, 2006, UCTE, 2007) nous paraît tout à fait représentatif de cette problématique d'articulation entre les niveaux d'organisation d'un système et un exemple de crise électrique de grande ampleur où un évènement local *a priori* anodin (coupure volontaire d'une ligne allemande de 400 000 volts pour permettre le passage d'un navire norvégien circulant sur la rivière Ems en Allemagne), intervenant dans un contexte assez stable (pas de fortes consommations par rapport au modèle de prévision de la demande), provoque pourtant une cascade de surcharges et de déconnexions de lignes électriques obligeant les gestionnaires à délester volontairement quinze millions de foyers répartis inégalement dans presque toute l'Europe. L'enjeu n'est absolument pas de produire une description factuelle détaillée de la coupure électrique, plusieurs retours d'expériences sont déjà disponibles sur cette question et nous ne serions bien sûr pas en mesure de produire ce type d'analyse à une telle échelle (RTE, 2006, UCTE, 2007). Dans cet exemple, l'attention ne se porte pas sur l'origine, le déclenchement, ou sur les impacts indirects de la panne.

En revanche, notre intérêt est axé spécifiquement sur le processus de dislocation du système qui a eu lieu au cours de cet évènement et qui est assez typique des pannes en cascades dans les réseaux électriques. Initialement, les conditions de fonctionnement du réseau ne présentent pas de particularité et la consommation peut être qualifiée de relativement faible pour un samedi soir. Le maintien de l'équilibre global entre l'offre et la demande ne présente donc *a priori* aucune réelle difficulté. Dans la configuration du système électrique, ce soir-là, l'équilibre global est fondé sur des déséquilibres locaux que l'on observe notamment entre les trois grandes zones (virtuelles) qui vont apparaître pendant la coupure et qui sont résumées dans la figure empruntée au retour d'expérience sur cet évènement.

La dislocation du système provoquée par les surcharges en cascades et le déclenchement des organes de protection de plusieurs composantes du réseau, est donc le passage d'un équilibre global à des déséquilibres locaux qui conduit à une augmentation de la fréquence du réseau dans la zone nord-est du réseau européen où la production est à ce moment-là excédentaire par rapport au niveau de consommation. Inversement elle conduit à la diminution de la fréquence dans la partie ouest où la consommation est nettement excédentaire par rapport à la production, enfin dans la partie sud-est, le déséquilibre est moindre et la variation de fréquence l'est donc également (figure 34).

Comme précisé, ces trois zones sont initialement « virtuelles », dans le sens où elles ne constituent pas une échelle de fonctionnement, ni dans la planification, ni la gestion du réseau, ce sont des zones qui ont été « révélées » par la coupure. Ces sous-parties du réseau, reposent elles-mêmes sur des déséquilibres internes. Par exemple, bien que la zone ouest soit globalement en situation de sous production, la production d'électricité de la France était à ce moment-là assez nettement excédentaire par rapport à la consommation et donc fortement exportatrice, à l'inverse, en Italie par exemple, les flux électriques avec les voisins transfrontaliers étaient fortement importateurs. Pour retrouver un équilibre entre l'offre et la demande et éviter l'écroulement des sous-systèmes du réseau, qui aurait sans doute eu lieu si la fréquence d'un des sous-systèmes avait dépassé une fréquence de 52 Hz ou était descendu en dessous de 49 Hz, les gestionnaires de réseaux sont alors contraints de procéder à des délestages dans chacune des trois zones.

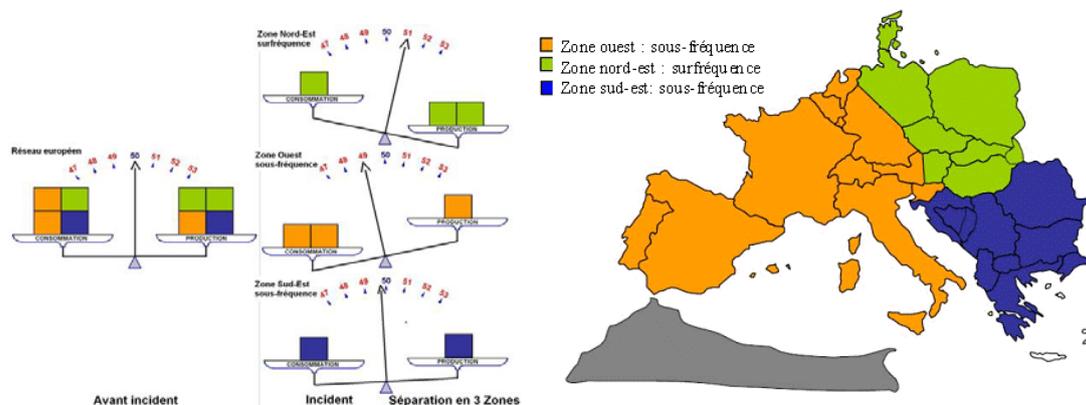


Figure 34 : Des situations de déséquilibre entre offre et demande d'électricité et l'apparition de déséquilibres de fréquence lors de la désolidarisation du réseau électrique UCTE le 4 novembre 2006. (Source : RTE, 2006).

Du fait de sa situation au cœur des échanges électriques de la zone ouest européenne et de sa situation excédentaire sur le plan de la production, c'est aussi en France que les pertes de puissances et les délestages ont été les plus importants avec plus de 5000 MW coupés, de manière répartie dans l'ensemble des régions du pays, et qu'elles impacteront directement environ 10% de la consommation totale française. La question de l'équilibre et de l'imbrication des niveaux apparaît alors assez complexe à saisir. En situation de « surproduction », la France se trouve pourtant en situation de sous-fréquence car elle bascule, du fait de la dislocation du réseau, d'une appartenance à un ensemble équilibré entre l'offre et la consommation électrique à l'échelle européenne ou plus exactement du réseau UCTE, à

une appartenance à un sous ensemble de pays du nord-ouest européen qui se trouve lui, en niveau global de « sous production ».

Pour réduire ce niveau de sous production globale et améliorer la fréquence globale du sous réseau nord-ouest, la France procède à des délestages alors qu'elle est, elle-même en situation de surproduction. Voir dans ce phénomène, une sorte de sacrifice courageux au bénéfice de nos voisins européens, comme certains gestionnaires ou journalistes français ont tenté de le présenter est toutefois un raccourci un peu rapide. En effet, si pour se protéger la France avait choisi de s'isoler du reste de l'Europe en coupant l'ensemble de ses liaisons transfrontalières, elle se serait trouvée dans une situation de forte surproduction, provoquant donc une hausse de la fréquence à des niveaux potentiellement très dangereux à l'échelle de son réseau électrique « fermé », et des coupures sans doute encore plus graves que celles observées à l'échelle de la zone nord-est au cours de la coupure électrique.

4.1.1.2. *Quel modèle de territoire électrique européen ?*

On connaît l'importance du syndrome NIMBY (« Not in my back yard ») touchant une partie des projets d'aménagement ou des constructions d'infrastructures. Ce phénomène est évidemment très présent dans la question des lignes électriques à très haute tension, d'autant plus que ces infrastructures sont à la fois perçues comme des nuisances visuelles et esthétiques fortes mais sont aussi associées depuis plusieurs années à de fortes suspicions de nuisances sanitaires, chez environ 60% des populations, d'après une enquête commandée par RTE et citée dans (Bouneau et al., 2007). Ce dernier souligne également que la ligne électrique qui était un symbole fort de modernité, jusqu'à être mis en avant par exemple dans l'affiche présidentielle de François Mitterrand en 1965, sous le slogan pour une France Moderne, est ensuite devenu au fil du temps, un objet dont l'esthétique doit désormais tenir à l'invisibilité. Ainsi, on imagine mal en 2012, une affiche présidentielle ou une affiche politique qui mettrait en avant un candidat sous une ligne électrique. La représentation sensorielle de l'infrastructure électrique a donc profondément changé en assez peu de temps.

Malgré cela, l'Europe électrique dont les racines remontent aux années 1950, est défendue et construite presque exclusivement dans une logique de grandes liaisons transfrontalières ; plusieurs documents mettent ainsi en avant l'urgence et le caractère prioritaire de ces liaisons pour la politique énergétique et la réalisation du Marché européen (notamment la liaison entre la France et l'Espagne). L'Union Européenne impose en effet que chaque Etat soit doté de capacités d'interconnexions au moins égales à 10% de sa capacité de production et déclare que « le Marché ne doit pas être entravé par des contraintes physiques » (UE, 2001), alors que pour plusieurs experts dont Pascal Boiteux, ancien président d'EDF, « tout ce remue-ménage a été décidé officiellement pour créer un véritable marché européen de l'électricité. Or, il faut être d'une douce innocence pour défendre un point de vue pareil. Pourquoi ? Parce qu'on ne construit plus de lignes depuis plusieurs dizaines d'années. » (Boiteux, 2003) ou encore « L'Europe électrique n'existe pas, elle n'a jamais été que la juxtaposition de systèmes électriques nationaux mal reliés entre eux. » (Soult, 2004).

Le problème de l'Europe électrique peut néanmoins se poser dans des perspectives moins radicales et plus alternatives, par exemple, au niveau de sa logique de fondation, passer d'une logique de liaison électrique transfrontalière reposant uniquement sur de grandes infrastructures de transport à une logique de développement de région électrique transfrontalière basée par exemple sur une logique de développement innovant et de valorisation commune des ressources locales paraîtrait mieux à même de faciliter l'adhésion des populations locales tout en étant plus adaptée aux stratégies de développement durable et aux objectifs environnementaux que s'est fixée l'Union Européenne et donc l'ensemble des pays membres. Elle consisterait alors à faire des régions transfrontalières européennes des moteurs de développement d'une Europe électrique durable, plutôt que de concevoir ces régions comme de simples contraintes à faire céder pour pouvoir mettre en place un grand marché électrique européen.

4.1.2 A l'échelle de la France, l'évolution et la réorganisation du territoire électrique entre 1960 et 2005

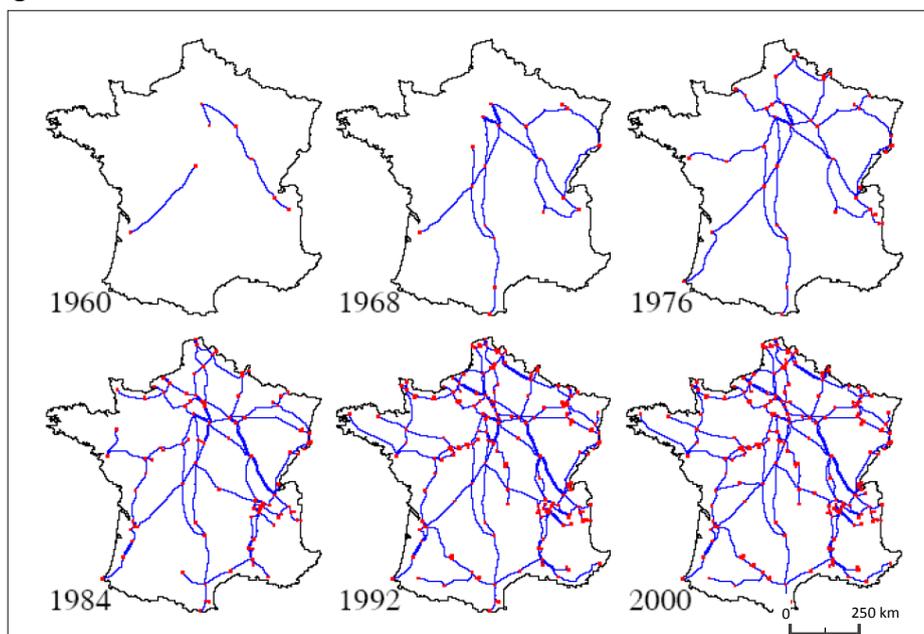
Nous avons évoqué dans le chapitre 1 des éléments sur la diffusion spatiale de l'innovation électrique et sur la croissance du réseau électrique en France ; dans le processus d'électrification du territoire français, les réseaux locaux et régionaux préexistaient au réseau national et ce n'est que dans un second temps, à partir de 1938, que s'est réalisée la synchronisation des huit systèmes régionaux et la mise en œuvre des interconnexions à un niveau national s'appuyant sur le réseau 220 000 Volts. Aux prémices d'un système national, chaque sous-système disposait donc, de manière autonome de capacités de production relativement proches des pics de consommation de sorte que même s'ils étaient en interactions puisqu'interconnectés, le niveau d'interdépendance entre les sous-systèmes était relativement faible ou du moins, ces systèmes disposaient d'une certaine autonomie. On peut donc considérer que l'équilibre entre offre et demande à l'échelle du système global repose initialement sur l'imbrication d'équilibres locaux ou du moins régionaux.

A ce moment de l'Histoire et en l'état des techniques connues, concevoir le système électrique à l'échelle nationale permettait d'en augmenter la rentabilité commerciale et la fiabilité en rendant possible des mécanismes de complémentarités et de solidarités interrégionales. Ces solidarités étaient établies en particulier entre le sud de la France, riche en ressources hydrauliques mais n'absorbant qu'une partie de cette consommation, et le nord du pays, riche en ressources thermiques. Ainsi peut-on lire dans les ouvrages géographiques de l'époque : « la France se trouve partagée en deux secteurs à peu près égaux par une ligne tracée de Bordeaux à Strasbourg : au sud de cette ligne, se trouve la grande majorité des chutes ; au nord, se trouvent réalisées les conditions d'installations d'usines thermiques : bassins houillers, ports d'importation du charbon, grosse métallurgie. Or, les régions qu'alimentent les usines hydrauliques n'absorbent en moyenne que 70% de leur production, et l'aménagement des chutes s'effectue à une cadence plus rapide que le développement de la consommation, d'où la nécessité d'exporter l'excédent d'énergie. De telles exportations sont d'ailleurs conformes à la politique d'interconnexion des centrales de production. » (Clozier, 1934). L'équilibre global des systèmes électriques fut donc assez tôt construit dans une

logique de compensation entre des déséquilibres à l'échelle du pays permettant de maintenir un état de stabilité et d'optimiser son efficacité économique.

Pour poursuivre l'exemple français, l'organisation du système électrique est également liée aux progrès techniques qui permirent d'augmenter les niveaux de puissance des lignes de transport électrique avec la mise en service de lignes à 400 000 volts, et assurèrent aux gestionnaires une capacité de transport des électrons plus importante et sur des distances plus lointaines, ou encore au développement du nucléaire civil, qui a contribué à la mise en place d'une organisation centralisée de la production d'énergie, avec une mise à distance croissante entre des sites de production et leurs bassins de consommation, pour des mesures de sécurité. Les équilibres locaux ne sont dès lors plus considérés comme un enjeu puisque les capacités d'interconnexion permettent de maintenir un équilibre global. Dans le tome de l'Atlas de France consacré au Transport et à l'Energie, Roger Brunet qualifiait d'ailleurs « d'anti-aménagement du territoire » (Brunet, 1990) la réorganisation spatiale du secteur énergétique en œuvre depuis les années 1970.

En analysant l'évolution des propriétés topologiques du réseau de transport électrique 400 kV français entre 1960 et 2000, représentée en carte 3, (Buzna, al., 2009) ont montré que ce dernier ne répondait aux propriétés des réseaux scale free pour aucune des périodes analysées et se caractérisait par un réseau organisé à partir de nœuds qui possèdent en moyenne 2.8 nœuds connexes sur l'ensemble de la période. La propriété dite des « petits mondes » s'observe par contre plus nettement ; à partir du début des années 1980, la longueur moyenne des chemins optimaux entre les nœuds du réseau devient beaucoup plus faible que celle d'un réseau aléatoire. D'autre part, l'analyse nous informe des rythmes très distincts dans la construction du réseau avec une première phase de développement plutôt lente et linéaire entre 1960 et 1975, puis à partir de 1978, une accélération très nette du taux de croissance jusqu'à arriver à une certaine saturation à partir des années 1990, où le taux de croissance de nouvelles lignes diminue très brutalement.

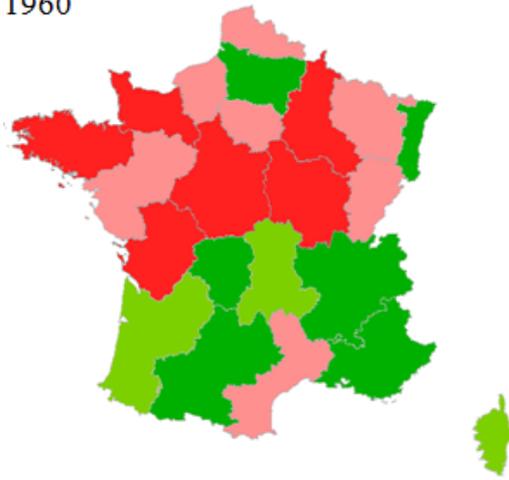


Carte 3 : La topologie du réseau 400kV et son évolution entre 1960 et 2000 (Buzna, 2009, données RTE)

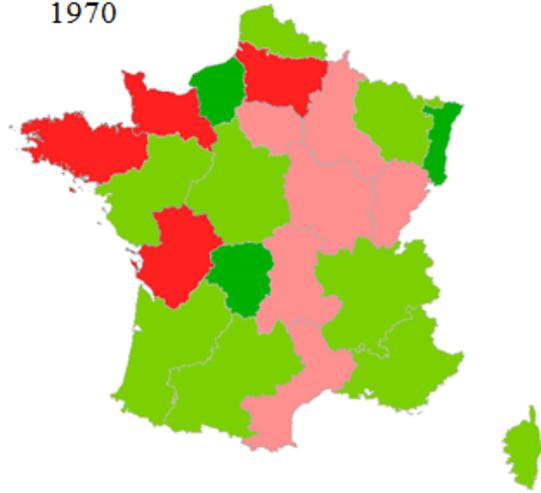
Cette évolution de la structure du réseau s'accompagne d'une réorganisation du territoire, d'un changement de la stratégie de production électrique, en adoptant la technologie du nucléaire (Chinon, première centrale française conçue pour la production électrique est mise en service à partir de 1963) et d'une forte hausse de la consommation électrique. Si l'on s'intéresse à l'évolution des rapports entre production et consommation électrique à l'échelle des régions dans la même période (carte 4), l'on peut observer des transformations importantes dans l'organisation de ces territoires. En 1960, cette organisation est encore fortement marquée par la disparité nord-sud soulignée dès les années 30: les régions du Sud ont tendance à produire davantage qu'elles ne consomment et inversement pour les régions du Nord. Les exceptions picardes et alsaciennes peuvent s'expliquer en partie du fait de la proximité de la région Ile-de-France pour le premier cas, et du contexte transfrontalier et historique particulier de la seconde. La région PACA, fortement dotée en installations hydrauliques produit à cette époque nettement plus d'énergie qu'elle n'en consomme, le rapport entre la production et la consommation donne un résultat de 1,7.

Seules, les régions Rhône-Alpes et Alsace ont conservé un profil excédentaire en termes de production électrique sur l'ensemble de la période 1960 - 2005. Les régions dont le bilan est resté exclusivement déficitaire sont légèrement plus nombreuses, on peut citer en particulier la région Ile-de-France, la Bourgogne ou la Franche-Comté. Ces régions sont relativement bien raccordées au réseau 400kV, ce qui explique que ce déficit chronique ne se traduit pas par des difficultés particulières pour le maintien de l'approvisionnement électrique. En revanche, le cas de la Bretagne, qui elle aussi a toujours été partiellement tributaire de l'électricité produite dans d'autres territoires, pose d'avantage de difficultés d'approvisionnement dans la mesure où la région est faiblement connectée au réseau 400kV, avec notamment une absence de bouclage du réseau.

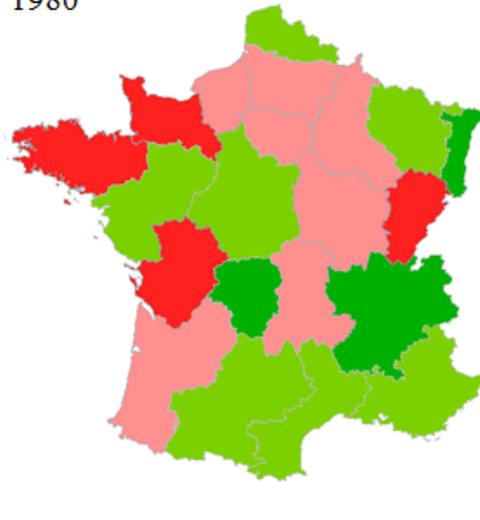
1960



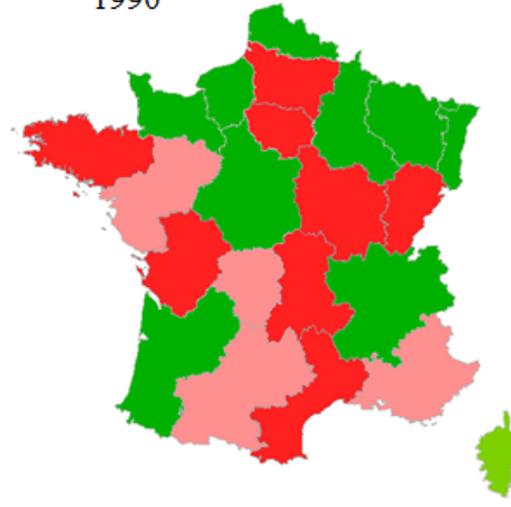
1970



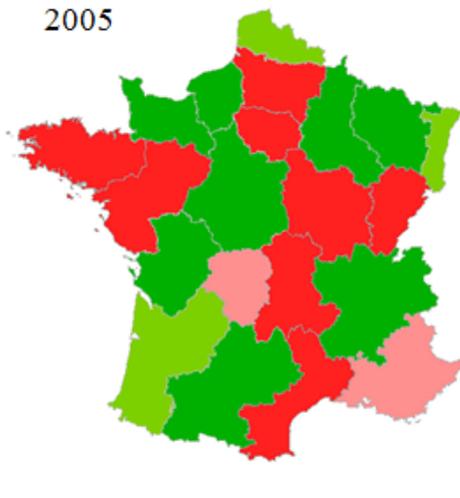
1980



1990



2005



0 200 km

-  Production fortement déficitaire (0 à 0.4)
-  Production plutôt déficitaire (0.4 à 1)
-  Production plutôt excédentaire (1 à 1.6)
-  Production fortement excédentaire (1.6 à +)

Cartes 4 : Evolution du rapport entre production et consommation électrique à l'échelle des régions françaises entre 1960 et 2005. (Données : RTE)

4.2. SYSTÉMOGÉNÈSE ET ORGANISATION SPATIALE DU RISQUE ÉLECTRIQUE EN REGION PACA

4.2.1 Une bifurcation dans le rapport entre la production et la consommation électrique dans les années 1980

Autre région plus faiblement connectée au réseau 400kV, la région PACA connaît une trajectoire plus complexe, puisqu'entre 1960 et 1980, elle possède un profil plutôt excédentaire qui va bifurquer à partir de 1980. Le solde devient alors de plus en plus déficitaire et passe de 1.1 en 1980 à moins de 0.5 en 1990, puis à 0.4 en 2005. Même si ce raisonnement s'affranchit un peu de la répartition réelle des flux électriques sur le réseau, on peut considérer que la production hydroélectrique, qui constitue l'essentiel de la production régionale de PACA, a pu absorber la croissance de la demande jusqu'au début des années 1980. Puis, à partir des années 1980, en même temps qu'a commencé à se développer le réseau 400kV dans la région, la production électrique a connu une diminution importante (avec la fermeture de plusieurs vieilles centrales thermiques) alors que la consommation continuait à augmenter très rapidement.

En distinguant la production et la consommation à l'échelle de la région PACA (figure 35), on observe nettement cette bifurcation qui tend à s'accroître à partir du début des années 1980 jusque dans les années 1990, puis à se stabiliser à la baisse avec une production électrique couvrant aux alentours de la moitié de la consommation régionale. Il est important de préciser que du fait de la composition essentiellement hydroélectrique du parc de la région, la production connaît aussi des variations annuelles assez importantes, liées par exemple aux problèmes de sécheresse dans ses territoires.

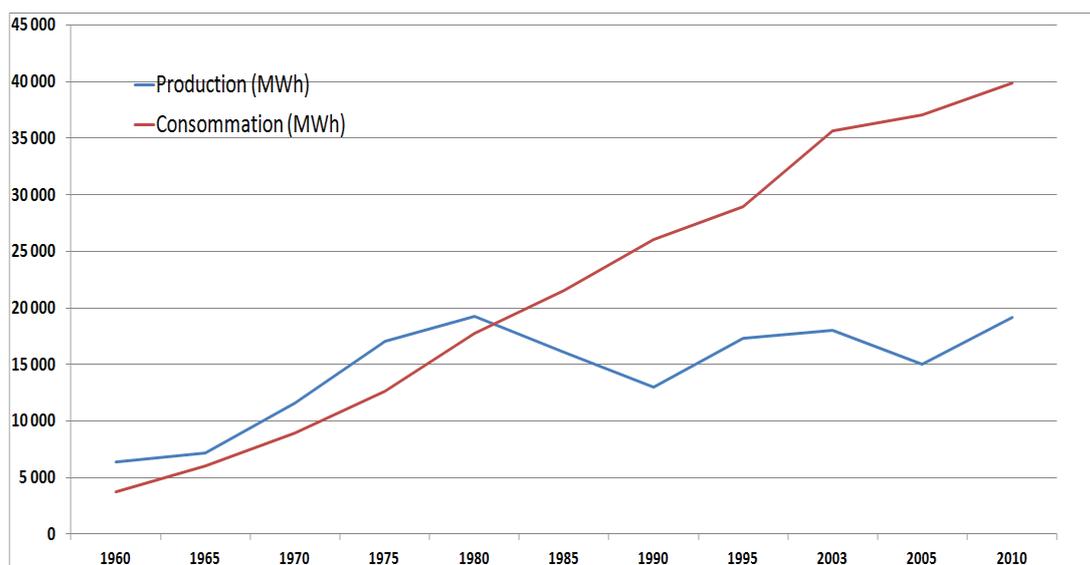


Figure 35 : Evolution de la production et de la consommation électriques à l'échelle de la région PACA entre 1960 et 2010 (Données, RTE).

Le développement des réseaux électriques a essentiellement reposé sur un processus de mise à distance de plus en plus important entre consommation et production, et peut se voir comme une réorganisation des rapports d'interdépendance entre les territoires ; le passage d'un équilibre global construit sur des équilibres locaux, vers un équilibre global construit sur la compensation entre des déséquilibres de plus en plus marqués, s'organisant à des échelles et selon des logiques différentes. Dans un premier temps, la ressource hydraulique a constitué une part essentielle de la production électrique du système français, la répartition des chutes d'eaux sur le territoire est un facteur explicatif de la dichotomie nord-sud dans les équilibres régionaux production / consommation. Dans un second temps, avec le déploiement des centrales nucléaires et des lignes 400kV auxquelles sont d'ailleurs raccordées toutes les centrales, la distinction entre un sud hydraulique et un nord thermique devient moins essentielle, de nouvelles contraintes et de nouvelles échelles d'organisations apparaissent. On peut aussi se demander s'il n'existe pas une sorte « d'effet transfrontalier » lié à la volonté de créer un marché électrique à l'échelle européenne, on remarque en effet que les régions fortement excédentaires en termes de production ont tendance à concerner des régions frontalières et bien connectées à leurs voisins par des lignes très haute tension.

D'autre part, en 2007, dans un rapport d'information sur la sécurité d'approvisionnement électrique de la France et les moyens de la préserver, plusieurs sénateurs soulignaient les disparités importantes dans les équilibres régionaux de l'électricité en France, considérant « opportun de lancer une réflexion sur la mise en œuvre d'une obligation d'équilibrage entre production et consommation qui pourrait être définie sur la base de grandes régions électriques » (Sénat, 2007). Assez logiquement, on comprend que la désolidarisation des systèmes électriques telle qu'on peut l'observer dans les coupures électriques importantes, est davantage susceptible de produire des déséquilibres à petite échelle si l'équilibre global est fondé sur un mécanisme de compensation des déséquilibres locaux plutôt que sur l'imbrication d'équilibres locaux. En parallèle, cette dernière stratégie pourrait également induire des externalités négatives parmi lesquelles une limitation des économies d'échelles et des rendements croissants avec la taille des unités de production, une limite des mécanismes de solidarité entre les sous-réseaux qui impose donc à chaque sous-système de pouvoir assumer « seul » son pic de consommation. Ainsi, sur un plan purement théorique, un équilibre global fondé sur des équilibres locaux peut également induire une augmentation de la capacité totale de production, ce qui peut rendre ce modèle économiquement moins rentable et même écologiquement plus dommageable selon le type de production électrique utilisé.

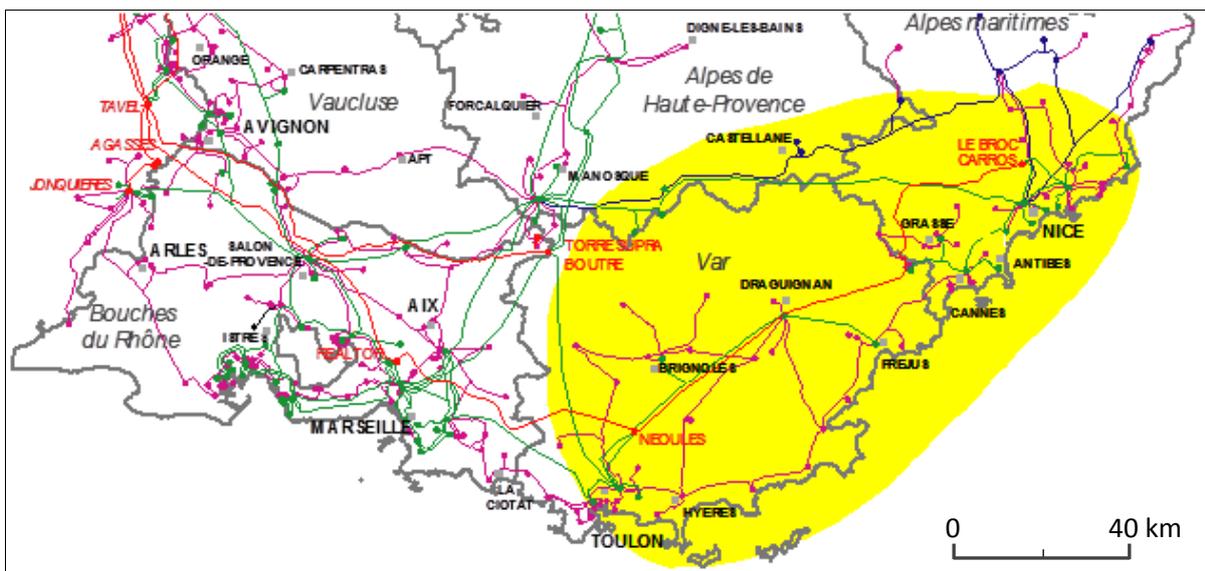
L'analyse précédente a révélé que la fragilité électrique de la région PACA n'était pas une situation de départ et qu'elle avait émergé à partir des années 1980. Cette fragilité tient à deux éléments :

- La capacité de production électrique est insuffisante et n'excède pas 50% de la consommation, ce qui implique une dépendance forte au réseau de transport pour importer de l'électricité produite hors région.
- La connexion au réseau de transport 400kV est également insuffisante, puisque la région PACA, comme la région Bretagne, ne bénéficie pas jusqu'à aujourd'hui d'un bouclage du réseau, l'absence de liaison entre Boute et Carros engendre un non-

respect du critère de sécurité dit N-1 (c'est-à-dire la capacité à pouvoir fonctionner en cas de perte d'une ligne). De plus, le poste de Tavel, en bordure Est du Gard, constitue l'unique point d'entrée du réseau 400kV dans la région PACA.

4.2.2 Un territoire au profil fortement hétérogène

La répartition des moyens de production à l'intérieur de la région est également très hétérogène, ainsi, à l'échelle de la partie Est de la région, la production électrique ne dépasse pas 10% de la consommation électrique. Il y a donc une dépendance forte au réseau de transport électrique dans cette partie de la région ; or c'est justement dans cette zone Est, que la configuration non bouclée du réseau de transport induit une fragilité particulière (carte 5). Cette fragilité et les rebondissements autour du projet de création de la ligne 400kV Boute-Carros sont de notoriété publique et constituent une préoccupation importante pour les gestionnaires électriques et la gouvernance territoriale au cours de ces dernières années. Elles aboutissent d'ailleurs en 2011, à la mise en place d'un Grenelle interdépartemental de la sécurisation électrique pour la zone est de PACA.



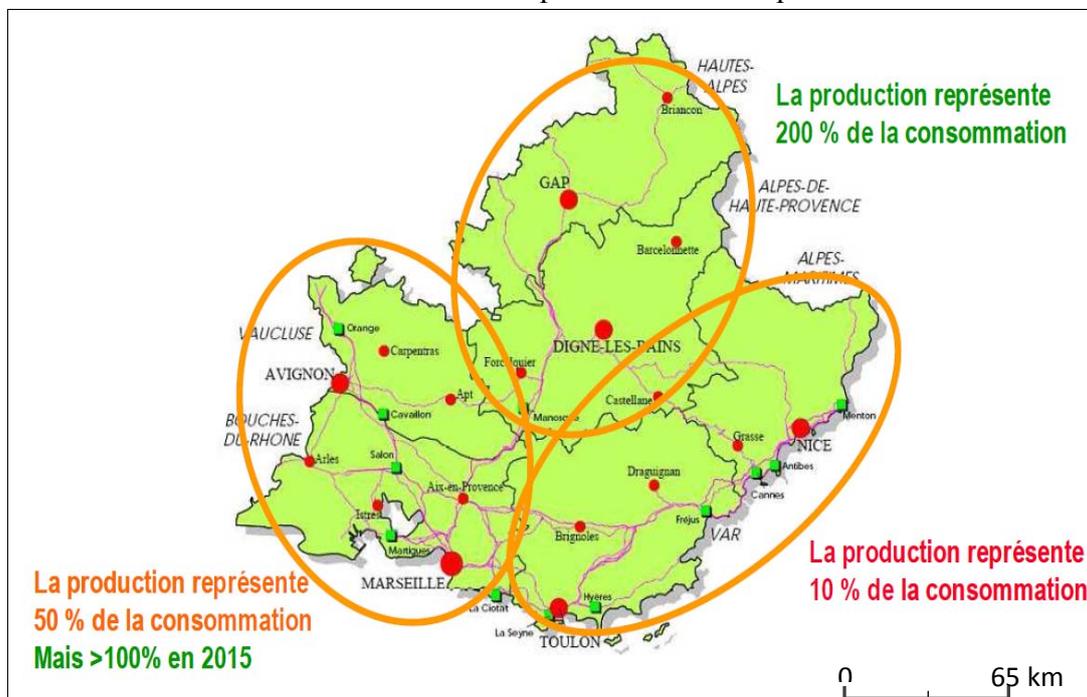
Carte 5 : Configuration du réseau et zone de fragilité PACA EST de criticité 4 (source RTE, 2006)

Le système électrique est un réseau multi-niveau, reposant sur l'imbrication de lignes de niveaux de tension variables en fonction de la distance sur laquelle l'énergie est transportée (augmentation de la tension du courant pour limiter l'effet Joule engendrant une perte d'énergie tout au long du transport). Du fait de cette imbrication des réseaux, les territoires de fragilité sont eux-mêmes imbriqués, ainsi la région PACA dans son ensemble est une zone fragile en termes d'alimentation électrique ; dans cet ensemble fragile, la zone est de PACA est un sous-ensemble encore plus vulnérable ; à l'intérieur de ce sous-ensemble, de nouveaux sous-ensembles vulnérables peuvent exister. La détection de ces zones s'appuie sur un facteur de criticité, qui renvoie à « la profondeur (en MW) de la coupure potentielle associée à la contrainte » (RTE, 2006) ; par exemple, la criticité de niveau 1 renvoie à une coupure de 0 à 50 MW, de 50 à 200 MW pour la criticité de niveau 2, de 200 à 1000 MW pour la criticité de

niveau 3 et de niveau 4 pour les coupures supérieures à 1000MW. La criticité associée à la zone PACA Est correspond à ce niveau 4. Cette hétérogénéité des moyens de production et de transport électrique à l'échelle de la région se double de l'hétérogénéité des profils de consommation et de leurs évolutions. Ainsi, on peut souligner une double fracture à l'échelle de la région, la première, entre les départements littoraux qui représentent plus de 80% de la consommation électrique régionale, et les départements intérieurs (carte 6). La seconde, à l'échelle des départements littoraux est tout aussi marquée et oppose d'un côté les départements du Var et des Alpes Maritimes (PACA-est), dont le profil de consommation électrique est très orienté vers les activités résidentielles et tertiaires, alors que le département des Bouches-du-Rhône possède une consommation plus forte et primordiallement industrielle.

Cette distinction implique plusieurs éléments :

- En termes d'effet de la coupure, les pertes aux activités économiques sont *a priori* plus importantes à l'ouest.
- En termes de croissance, la consommation résidentielle augmente de manière plus rapide que la consommation industrielle, ce qui conduit, pour un état statique des moyens de production et de transport, à une aggravation du risque dans la zone Est de PACA.
- En termes de compatibilité des activités dans l'espace, on peut penser que la production électrique est par nature une activité de type industriel, aussi dans des territoires tournés vers une économie résidentielle comme peuvent l'être le Var ou les Alpes-Maritimes, il est peut-être plus difficile de mettre en œuvre et faire accepter la construction d'infrastructures liées à la production électrique.



Carte 6 : L'hétérogénéité des rapports production – consommation à l'échelle de la région PACA. (Source : RTE, 2006)

Du fait de cette fragilité, la partie est de la région PACA a connu plusieurs pannes électriques importantes dans la décennie 2000-2010. Ces pannes sont généralement liées à des délestages,

c'est-à-dire, que le gestionnaire du réseau coupe volontairement une partie de l'énergie pour éviter l'écroulement du réseau. Contrairement à un écroulement du réseau, lors de ces délestages, le gestionnaire garde un certain contrôle et dispose de possibilités pour maintenir l'énergie à une partie de la population dont on a identifié au préalable qu'elle était fortement dépendante à l'électricité ; on parle alors de clients prioritaires, ces derniers sont intégrés dans ce qu'on appelle des plans de délestages.

En période de pic de consommation, la sécurité d'approvisionnement électrique est évidemment plus difficile à maintenir qu'en période de faible consommation ; ainsi on apprend dans le volet régional PACA du Schéma de Développement du Réseau Public de Transport d'Electricité que : « pendant 1500 heures en 2005, la demande Est PACA dépasse le niveau au-delà duquel la sécurité d'alimentation de la zone n'est plus assurée en cas de perte fortuite d'une ligne (risque « N-1 »). Une telle situation est sans équivalent en France. *A fortiori*, la perte simultanée de deux lignes (risque « N-2 ») conduit au délestage de manière quasiment inéluctable en cas de perte de la ligne double Néoules-Broc Carros et une fois sur deux en cas de perte de la ligne double Réaltor - Néoules. Or, ce risque « N-2 » est avéré en raison de la fréquence des incendies : des délestages pour cette raison ont eu lieu à trois reprises dans entre 2001 et 2005 (6 juillet 2001, 29 et 30 juillet 2003)» (RTE, 2006). Cette dernière remarque sur les incendies nous rappelle que le risque de coupure électrique s'intègre dans un système de risques ; ainsi pour mieux comprendre comment s'effectue cette articulation entre le risque d'incendie et le risque électrique en région PACA, nous reviendrons dans la partie suivante sur les coupures électriques du 6 mai 2005 et de juillet 2003.

4.3. LES INTERACTIONS ENTRE INCENDIES ET COUPURES ÉLECTRIQUES EN REGION PACA

4.3.1. Le cas de l'incendie du 6 mai 2005

La coupure électrique qui a affecté la région Provence-Alpes Côte d'Azur (PACA), en mai 2005 illustre tout à fait cette notion de système de risques. Le point de départ de la séquence d'évènements serait, *a priori*, un simple abattage d'arbre vers 17 heures dans la commune de Velaux (Bouches du Rhône) ; à cause d'un vent important sur la zone, l'abattage de l'arbre est mal maîtrisé puisqu'il tombe sur une ligne BT (basse tension) qui finit par céder, ce qui serait à l'origine du départ d'incendie (SDIS 13, 2006). Cette première succession d'évènements fait naître un niveau de risque incendie important du fait de vents forts (entre 80 et 100 km/h) et de la proximité d'un massif forestier de 1000 hectares. Pour limiter la propagation du feu, le CODIS mobilise alors des renforts humains des départements du Gard, du Var et du Vaucluse ainsi que plusieurs avions bombardiers d'eau. Vers 17h30, le CODIS demande à RTE la mise hors tension de deux lignes 63 kV (Rognac - Duranne et Rognac - Vitrolles), afin de permettre des interventions aériennes sûres et efficaces ; puis vers 19h, la mise hors tension des deux lignes 400 kV (Tavel - Réaltor), qui seront coupées après autorisation du Préfet des Bouches du Rhône aux alentours de 20h30 pour la première, et 20h50 pour la seconde. Ce délestage volontaire facilite alors les interventions aériennes qui permettent de maîtriser l'incendie autour de 21h, avec environ 250 hectares de surfaces

impactées, ce qui est relativement peu quand on sait que l'été précédent, un incendie dont le point de départ se situait également à Velaux, avait détruit près de 2 900 hectares.

Parallèlement, du fait de la fragilité électrique de la région, tant du point de vue de ses moyens de production (la capacité de production régionale est mal répartie et n'excède pas 40% de la consommation), que de sa connexion au réseau de transport (critère de sécurité N-1 non respecté ; c'est-à-dire qu'en cas de perte d'un ouvrage 400 kV, le gestionnaire ne peut assurer le maintien d'alimentation), de l'incapacité de pouvoir faire appel à de l'énergie importée en quantité suffisante (l'interconnexion région PACA- Italie repose sur une simple ligne 225 kV) la mise hors tension des lignes 400 kV Tavel- Réaltor nécessite le délestage de 1200 MW, provoquant la coupure d'alimentation d'environ 1 million de foyers, répartis de manière éparse dans presque toute la région, avec des juxtapositions entre les îlots alimentés et ceux délestés. Vers 21h, lorsque l'incendie est circonscrit, le CODIS autorise la remise sous tension des lignes 400 kV, mais la relance d'un système électrique après une coupure d'une telle ampleur nécessite un certain temps de réponse, tant et si bien que certaines zones ne seront pas réalimentées avant 2 h du matin.

Cette coupure étant volontaire, le gestionnaire du réseau conserve une maîtrise sur le système, ce qui a permis notamment, de préserver l'alimentation des clients prioritaires (les hôpitaux par exemple). Néanmoins et malgré cette précaution, l'absence d'électricité a multiplié les situations à risques : personnes coincées dans les ascenseurs, aucun éclairage public, dysfonctionnement des feux de circulation, saturation des standards d'appels des services de secours ou encore fermeture de tunnels urbains. Dans ce système de risques, l'aléa déclencheur : l'incendie, menace par effet direct une surface d'environ 1000 ha et se propage entre 17h et 21h, par contre, en tenant compte des effets indirects, cette couverture spatiale s'étend, et plonge dans une situation de crise une surface de plusieurs centaines de kilomètres carrés, pendant une période débutant à 21h et finissant en moyenne à 24h. Indirectement, c'est l'incendie, et même la simple chute d'un arbre, qui va faire qu'une personne reste bloquée dans un ascenseur situé à plus de 200 kilomètres de l'aléa initial.

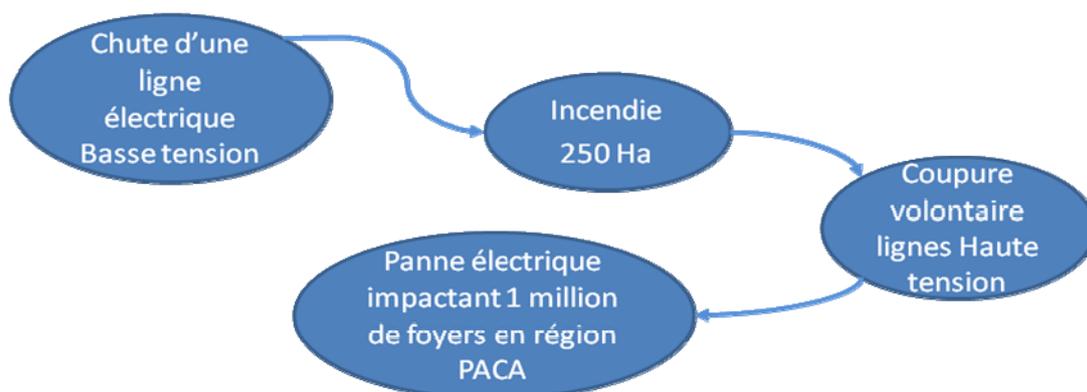
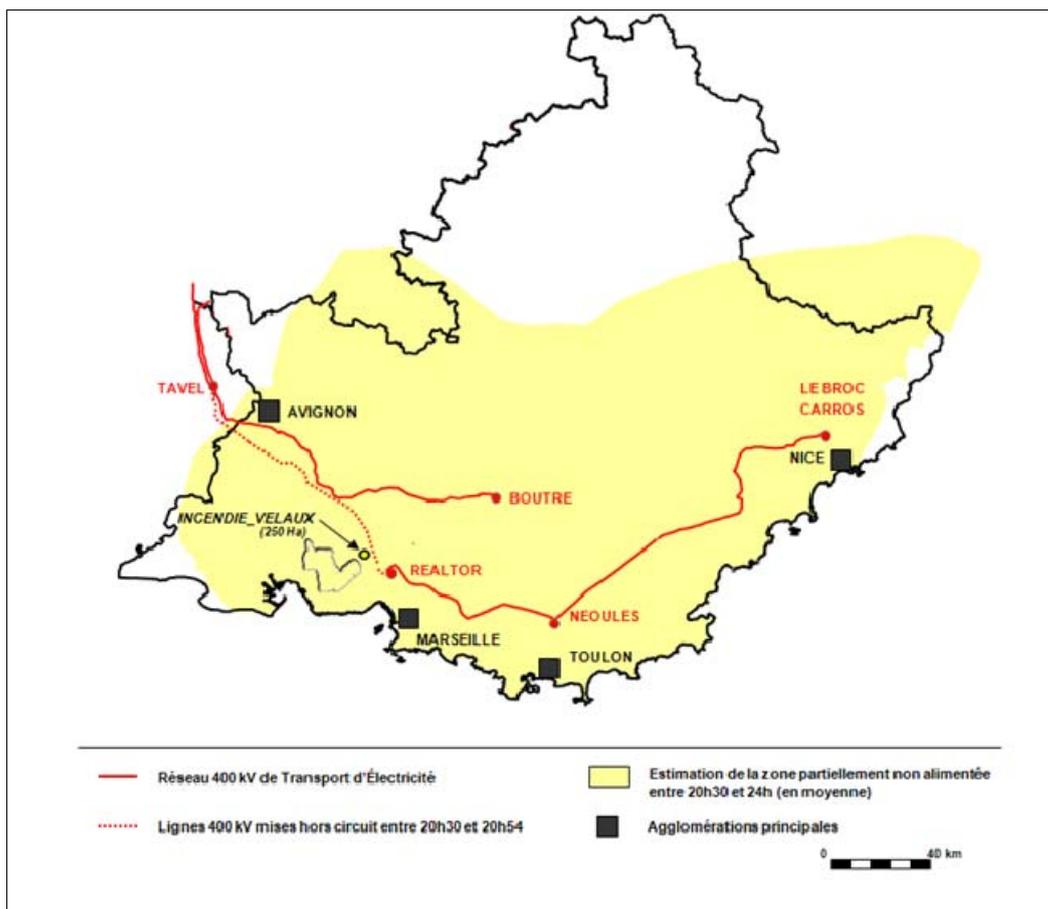


Figure 36 : Cascade d'événements conduisant à partir de la chute d'une ligne basse tension à la coupure électrique d'un million de foyers en région PACA.



Carte 7 : Localisation de l'incendie, de la ligne électrique haute tension Tavel Réaltor coupée et estimation imprécise de la zone impactée par la coupure.

L'interaction entre aléa incendie et aléa électrique est un enjeu particulièrement important en région PACA, ainsi dans son bilan de sûreté 2005 (RTE, 2006), le gestionnaire du réseau de transport électrique déclare que pour l'année 2005, 22 journées d'incendie ont menacé des lignes électriques, se soldant à 3 reprises par des délestages. Inversement, comme nous l'avons vu, l'aléa électrique peut être déclencheur de l'aléa incendie, même si la fréquence de cet effet domino demeure difficile à chiffrer puisque les causes d'un incendie ne sont pas toujours identifiables. Les estimations sur la part d'incendies de forêts causés par des problèmes de lignes électriques varient d'ailleurs très fortement. Certaines associations de protection de l'environnement parlent dans la presse de 40% des cas de feux de forêts causés par les lignes électriques haute tension (R. Ferrato, Var Matin, 2005), les analyses de la Base Prométhée réalisées par l'Observatoire de la Forêt Méditerranéenne (OFME, 2003), donnent des résultats nettement inférieurs, dans 9% des cas observés entre 1973 et 2003, les incendies sont directement liés aux lignes électriques (contact branche-ligne) ; à ce pourcentage il faut rajouter les accidents électriques, rangés dans la catégorie accidents, qui représentent 13% des cas.

Le cas du 6 mai 2005 soulève plusieurs remarques. Il est d'abord intéressant de noter l'existence d'une boucle de rétroaction positive entre les aléas, dans la mesure où un problème léger dans le système électrique (chute d'une ligne basse tension) provoque un incendie qui en retour provoque un aléa électrique de plus grande ampleur (reposant sur la mise hors tension volontaire d'une ligne haute tension). D'autre part, si les aléas se combinent, il en est de

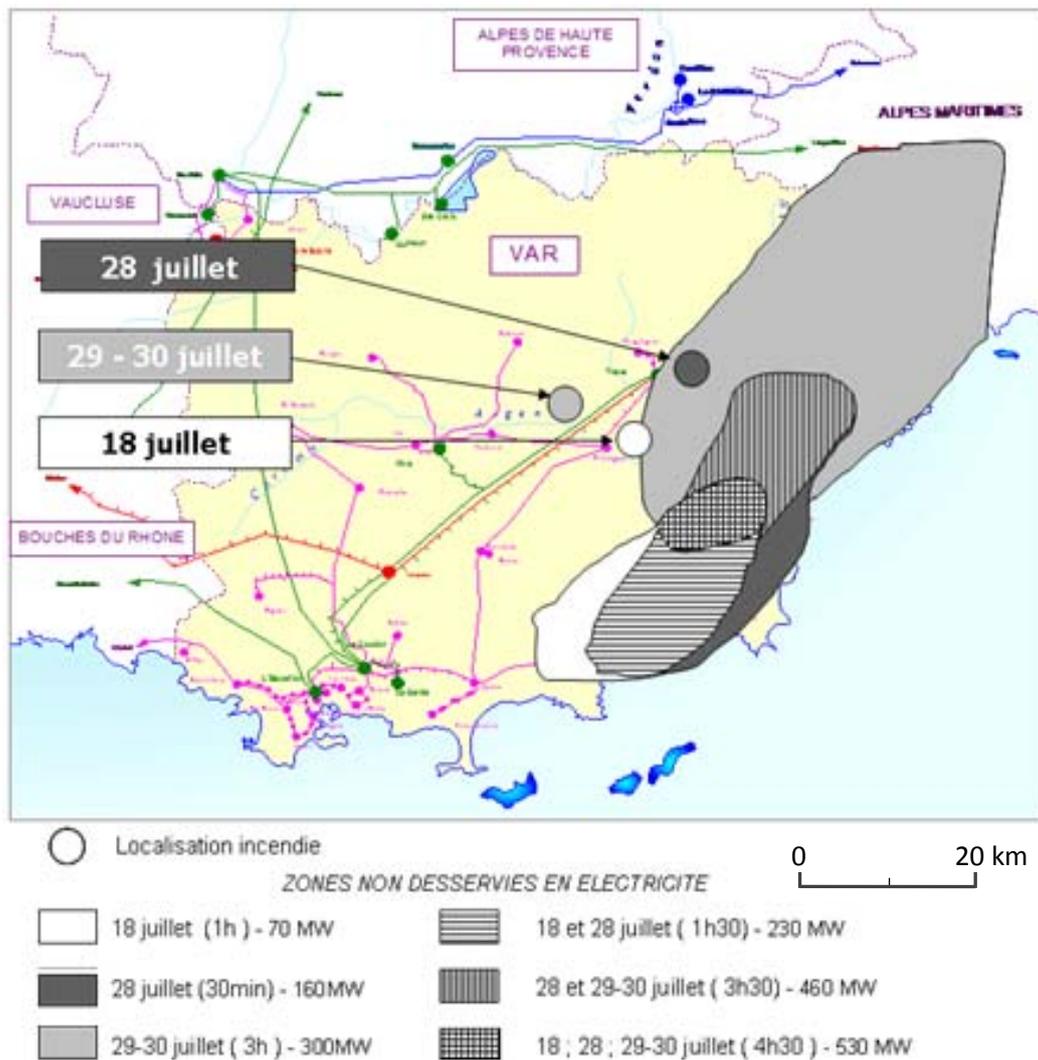
même des vulnérabilités, puisque, si cet évènement a pu se réaliser, c'est avant tout parce que la région PACA cumule une forte fragilité en termes d'alimentation électrique avec une forêt méditerranéenne fortement vulnérable aux incendies. Enfin, les deux aléas de cet exemple sont situés en région PACA mais il est tout à fait envisageable qu'un aléa situé hors de ses limites affecte indirectement l'alimentation électrique de la région dans son ensemble, tout comme il est possible qu'un aléa situé dans la région possède un impact électrique qui, par effet de cascade et dans certains contextes de consommation, déborde les frontières régionales et nationales (un aléa local qui se transformerait en crise globale).

Un effet indirect de la panne électrique que nous avons volontairement peu abordé concerne la relance du débat sur la ligne 400kV Boutre-Carros ; au-delà des enjeux économiques, environnementaux et énergétiques que cette infrastructure soulève, on peut préciser que d'après des simulations dans un contexte de consommation identique, la présence d'une ligne 400kV entre Boutre et Carros aurait permis de minimiser l'ampleur du délestage sans pour autant l'éviter totalement (le niveau de criticité diminue mais n'est pas annulé). D'autre part, d'après les études prévisionnelles de RTE, sur un spectre de scénarios plausibles d'évolution de la demande de consommation en région PACA, les risques qui pèsent sur la région en termes d'alimentation électrique, même dans le cas d'une création de la ligne 400kV Boutre-Carros, réapparaîtraient entre 2015 et 2020.

Si l'on s'intéresse à l'importance de la localisation de l'aléa de départ, on se rend compte qu'une légère variation aurait pu engendrer des impacts indirects très différents ; la coïncidence spatiale entre aléa et composantes à enjeux du réseau électrique est ici un élément essentiel pour expliquer l'ampleur de cette crise. En intégrant des effets dominos, la sensibilité à de légères fluctuations devient plus importante, ce qui n'est pas sans poser de problèmes en termes de prévisions. Ainsi, il aurait suffi que l'incendie soit à proximité de la ligne Realtor-Néoules plutôt que de la ligne Tavel-Realtor, ce qui correspond à un décalage dans la direction sud-est de l'ordre de 20 kilomètres de l'aléa de départ, pour que les impacts de la mise hors tension ne concernent plus que la zone Est de PACA.

4.3.2. Les cas d'incendies de Juillet 2003

Dans la présentation régionale du Schéma de Développement du Réseau Public de Transport Electrique (RTE, 2005), le gestionnaire du réseau de transport procède à une analyse qui va tout à fait dans ce sens, à travers l'exemple des incendies de la région des Maures et des coupures électriques qui en ont découlé lors de 3 incendies en Juillet 2003. La carte 8 montre bien que de légères variations dans la localisation de l'aléa initial peuvent engendrer des variations importantes dans la diffusion des impacts indirects.



Carte 8 : Variabilité des impacts électriques (en termes d'espace – durée - puissance délestée) en fonction de la localisation des incendies du Massif des Maures durant l'été 2003 (D'après RTE, 2005)

On en déduit que le développement réticulaire des territoires et les interdépendances qu'il fait naître, fait émerger des risques plus complexes, tant au niveau des combinaisons d'évènements possibles que des formes spatiales que ces combinaisons engendrent. L'anticipation de ces systèmes de risques devient particulièrement difficile dans la mesure où de légères variations spatiales de l'aléa initial sont susceptibles de provoquer des systèmes de risques aux trajectoires très différentes. Pour les systèmes de risques de coupure électrique en région PACA, ces espaces forestiers varois sont donc à la fois susceptibles dans la mesure où les installations électriques sont soumises à des perturbations externes (incendie ou simplement un contact entre une ligne et un arbre) mais également critiques dans la mesure où l'endommagement de ces installations électriques peut dans certains contextes provoquer une diffusion spatiale importante des impacts indirects.

D'autre part, le fait que certains espaces soient impactés quelles que soient les variations de la localisation de l'aléa de départ, est un signe d'une vulnérabilité accrue, que l'on peut anticiper, à condition de combiner l'analyse du risque d'incendie avec la simulation du comportement du système électrique soumis à des perturbations d'intensité et de localisation