



– PANTHÉON - SORBONNE –
U NIVERSITÉ PARIS **1**



La vulnérabilité de l'approvisionnement électrique de la métropole de La Paz (Bolivie)

Mémoire de Mater II (Recherche) : Géographie des pays émergents
et en développement

Photographie page de garde : Adrien BOURBON août 2010

Mémoire présenté par Adrien BOURBON et soutenu en Septembre 2010

Sous la direction de :

Jean-Marie THEODAT (Maître de conférence de géographie à Paris I, UMR 8586, directeur)

Sébastien HARDY (Chercheur à l'IRD, UMR 215 PRODIG, co - directeur)

Laurent FARET (Professeur de géographie à Paris 7, UMR 7135 SEDET, lecteur extérieur)

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Jean-Marie Théodat dont je salue le travail et le courage en Haïti.

Mes remerciements vont tout particulièrement à Sébastien Hardy qui m'a offert la chance de venir à La Paz effectuer ce travail de recherche. Son aide m'a beaucoup apporté, à la fois dans la maîtrise des méthodes de recherche que dans la rédaction. Je remercie également l'équipe de la représentation de l'IRD à La Paz, grâce à laquelle j'ai pu contacter la plupart des acteurs du secteur électrique.

Je tiens à remercier ensuite l'ensemble des ingénieurs boliviens et français qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail : Zoubir Aitmansour, Luis Antezana, Mourad Ayouz, Hector Baldivieso, Jorge Barrón, Mauricio Cepeda-Forero, Gauthier Delille, Marianne Entem, Hortencia Jimenez, Gaston Lemaitre Leaña, Reldo Rivero, Wilfredo Terán.

Mes pensées vont également vers mes collègues et amis Diana Rojas, Adhemar Conde et Vincent Preioni, qui en plus d'un soutien amical m'ont aidé à parfaire ma formation dans de nombreux domaines.

Enfin, je remercie ma famille, sans laquelle je ne serais pas parvenu au terme de ce travail.

Sommaire

Introduction	2
1. Contexte institutionnel et social de l’approvisionnement électrique en Bolivie et à La Paz	14
1.1 L’évolution du secteur électrique depuis 1995	14
1.2 L’accès à l’électricité dans la métropole de La Paz	20
2. Le Système Interconnecté National : l’approvisionnement électrique à l’échelle de la Bolivie	33
2.1 Les caractéristiques de production d’électricité à l’échelle nationale.....	33
2.2 Transport et distribution : une interconnexion à l’échelle nationale nécessaire à l’approvisionnement des grands espaces de consommation.....	42
2.3 Les organes de régulation du système	45
3. Le système d’approvisionnement électrique de La Paz : caractéristiques et vulnérabilités.....	49
3.1 Les infrastructures de production destinée à La Paz et leurs vulnérabilités	49
3.2 De la production à la distribution : les infrastructures d’approvisionnement vers la métropole et leurs vulnérabilités.....	53
3.3 La Paz au sein du SIN, une interconnexion nécessaire	57
4. La rupture d’approvisionnement en électricité : un risque à l’échelle de la métropole pacénienne	64
4.1 Les pannes électriques sur le territoire métropolitain de La Paz	64
4.2 Les conséquences de la perte de l’approvisionnement électrique : analyse « historique » des pannes à La Paz.	72
4.3 Quelle organisation et alternatives en cas de panne d’électricité ?.....	78
Conclusion.....	82
Bibliographie	104
Table des matières.....	110

Introduction

Le nombre de catastrophes d'origine naturelle a considérablement augmenté ces dernières décennies. Leur impact sur les sociétés met en évidence une vulnérabilité toujours plus importante des hommes face à la nature et à leur propre société (aléas anthropiques¹). 667 ont été recensées entre 1900 et 1949 contre 6 466 entre 1950 et 1999 (CRED 2005 *in* TEXIER 2009), et 2788 entre les seules années 2000 et 2005².

Le cyclone Katrina de 2005 qui fit 1 209 morts en Nouvelle-Orléans dans l'un des pays les plus développés démontre que ce sont les sociétés, du Nord comme du Sud, qui créent leurs propres vulnérabilités et non le type d'événement (aléa). Ce sont les pays du Sud (d'Amérique Latine, d'Afrique et d'Asie) qui dénombrent le plus de morts et de dégâts consécutifs à une catastrophe (CRED 2005 *in* TEXIER 2009), ce qui établit ces pays comme plus vulnérables du fait notamment d'un manque de moyens financiers, techniques et institutionnels et d'une mauvaise préparation pour faire face aux risques et réduire la faiblesse de leur société (VEYRET 2004).

Dans ce contexte, l'étude des risques et de la vulnérabilité des sociétés prend tout son sens, particulièrement en milieu urbain où les densités d'habitants et de constructions constituent en soi un risque, à plus forte raison quand il s'agit de villes construites sur des zones à risque³ comme c'est le cas des capitales andines (Quito, Lima, La Paz). La croissance urbaine a ainsi fortement contribué à l'augmentation de la vulnérabilité de certains espaces urbains (PIGEON 2005).

Il convient de ne pas prendre en considération les seules catastrophes majeures car les accidents peuvent également provoquer de fortes perturbations. On distingue en effet les incidents des accidents et des catastrophes. La différence est déterminée par le nombre de victimes, ainsi que par le coût des dégâts matériels (classement différent selon les pays et les organisations). Le ministère français de l'écologie et du développement durable a défini *l'incident* comme le degré le plus faible d'évènement avec aucune victime et moins de 300 000 € de dommage, et la *catastrophe majeure* comme le degré le plus important (au moins 1 000 morts et plus de 3 millions d'euro) (Ministère de l'écologie et du développement durable *in* TEXIER 2009, P.23).

¹ Si les catastrophes d'origine naturelle menacent l'homme et la société dans laquelle il vit, les aléas que l'on nomme anthropiques puisque n'ayant comme seule origine l'intervention humaine, sont également à prendre en considération, leurs effets pouvant être au moins aussi dévastateurs (Ukraine 1986, Toulouse 2001...).

² La collaboration du CRED avec l'USAID et l'OFDA à partir de 1999 a permis une amélioration qualitative et quantitative des données expliquant en partie cette très importante augmentation des cas recensés (D'ERCOLE, HARDY, ROBERT 2009).

³ Il s'agit ici principalement de zones sismiques, inondables, sujettes aux glissements de terrain, zones cycloniques...

Ce début d'année 2010 confirme une recrudescence de l'effet dévastateur des catastrophes naturelles comme le montre le séisme en Haïti du 12 Janvier 2010, qui a fait plus de 220 000 morts et a complètement ravagé les réseaux routiers, d'adduction d'eau et d'électricité. Le réseau¹ d'approvisionnement en électricité de la capitale Port-au-Prince était déjà dans un état très précaire avant la catastrophe puisque la compagnie d'électricité était en faillite à cause du nombre croissant de personnes qui ne pouvaient plus payer. Une telle catastrophe crée par ses effets dévastateurs d'innombrables dommages comme les sans-abris et les populations qui se retrouvent sans électricité ni eau et nourriture. Concernant la destruction des infrastructures d'approvisionnement en électricité, il faut considérer qu'avant même la catastrophe, moins d'un quart de la population avait accès à l'énergie électrique et parmi ceux qui la possédaient, beaucoup étaient raccordés de manière informelle². La catastrophe doit ainsi être analysée non seulement comme un élément déclencheur d'inégalité et de situation précaire, mais également comme révélatrice d'inégalités déjà existantes quant à l'accès aux services urbains : la crise provoquée par le séisme ne fait que renforcer un état de fait.

Les grandes pannes d'électricité dans le monde : un risque en tant que tel.

L'homme et la société dans laquelle il vit sont de plus en plus dépendants de l'énergie. Contrairement à celle vis-à-vis de l'eau, cette dépendance semble être plus inconsciente ou est considérée comme moins importante. Ce qui nous importe ici est de comprendre, à l'échelle d'un territoire urbain, quels sont les secteurs d'activités et les services urbains élémentaires dont le fonctionnement dépend en partie ou entièrement de l'électricité. A l'étude de ces services, il apparait que tous sont liés d'une manière ou d'une autre à l'énergie électrique pour leur bon fonctionnement. Leur perte consécutive à une rupture de l'approvisionnement en énergie électrique est donc susceptible de provoquer de profonds dysfonctionnements urbains.

La vulnérabilité des systèmes électriques, ainsi que la dépendance à ces derniers, ne concerne pas seulement les pays en développement ou émergents. Au regard des grandes pannes dans le monde, l'ensemble des systèmes électriques des pays du Nord comme du Sud semblent

¹ On distingue les termes de système, qui correspond à l'ensemble du système interconnecté des infrastructures de production à celle de distribution, de celui de réseau qui détermine toutes les infrastructures permettant le transport de l'électricité qu'il s'agisse des réseaux de haute tension ou de distribution. Par ailleurs, les réseaux de distribution comprennent également les infrastructures de transformation telles que les transformateurs moyenne tension / basse tension (RTE 2003).

² Les catégories de la société les plus touchées concernant l'électricité sont donc ceux qui avaient accès à ce service les autres apparaissant ici moins vulnérables à une rupture de l'approvisionnement.

concernés¹. De nombreux exemples de blackout² viennent illustrer ces faits ces dix dernières années. Par exemple, le 26 avril 2007, en Colombie, la panne d'une centrale paralysa 70% du pays durant deux heures (AFP 2009). Au Brésil, le 10 novembre 2009, un quart de la population du pays a été privé d'électricité pendant plusieurs heures dans les principales villes du pays (LE MONDE 2009). Le 14 août 2003, une panne toucha 50 millions de personnes dans le nord-est des Etats-Unis, notamment dans l'agglomération de New York et une partie du Canada (RTE 2004). En Espagne, les 23 et 24 juillet 2007, Barcelone a été privée d'électricité suite à un incendie dans une centrale électrique. Cette panne a paralysé tous les éléments essentiels³ de la ville (hôpitaux, centres administratifs, feux de signalisations, entreprises...) ce qui provoqua le chaos pendant 24h (AFP 2009).

Le risque de l'interruption de l'approvisionnement en énergie électrique est également présent dans la métropole pacéniennne. C'est pourquoi nous allons étudier les principales caractéristiques nécessaires à la compréhension d'une partie de la vulnérabilité de l'approvisionnement électrique de la ville.

Présentation du terrain d'étude

La métropole de La Paz⁴ est composée de trois sous-ensembles aux caractéristiques physiques très différentes, ce qui constitue un facteur d'explication de la répartition spatiale de la population de la ville (Figure n°1) (DEMORAES 1998) :

- La municipalité d'El Alto, qui constitue la partie la plus haute de la métropole, entre 3 900 et 4 160 m d'altitude. C'est également celle qui présente la déclivité la plus faible (inférieure à 10°). La température moyenne annuelle y est de 5,8°C. Les conditions environnementales y sont beaucoup plus rigoureuses que dans les deux autres sous-ensembles de la métropole : la rareté de l'oxygène, la pression atmosphérique ainsi que des vents froids et parfois violents expliquent qu'à l'origine ce sont les catégories les plus pauvres qui s'y installèrent (DEMORAES 1998).

¹ Les systèmes de grands pays tels que le Canada ou les Etats-Unis sont d'autant plus vulnérables qu'ils s'étendent sur des milliers de kilomètres ce qui augmente ainsi leur exposition à différents éléments perturbateurs.

² Coupure généralisée de l'approvisionnement électrique.

³ La notion d'élément essentiel fait référence dans ce texte aux travaux de Robert D'Ercole et Pascale Metzger (D'ERCOLE, METZGER 2002).

⁴ Dans cette étude, nous entendons par métropole de La Paz l'espace urbain continu composé des deux municipalités de La Paz et d'El Alto qui seront nommées comme telle lorsque l'étude ne s'intéressera qu'à l'un ou l'autre de ces territoires.

- La *cuenca*, le bassin en espagnol, partie centrale de la municipalité de La Paz, correspond au centre historique de la ville construite dans un canyon creusé par la rivière Choqueyapu. Elle est située entre 3 400 et 3 800 m, avec une température moyenne annuelle de 10,5°C. C'est la partie de la ville qui présente les déclivités les plus fortes (jusqu'à 70°) notamment dans le *macrodistrito*¹ *Periférica* (Figure n°1).
- Enfin, la partie sud de la métropole qui correspond aux *macrodistritos* *Sur* et *Mallasa* est une zone d'expansion de l'urbanisation depuis le centre historique dont les altitudes sont comprises entre 3 200 et 3 400 m pour une température moyenne annuelle de 12,7°C.

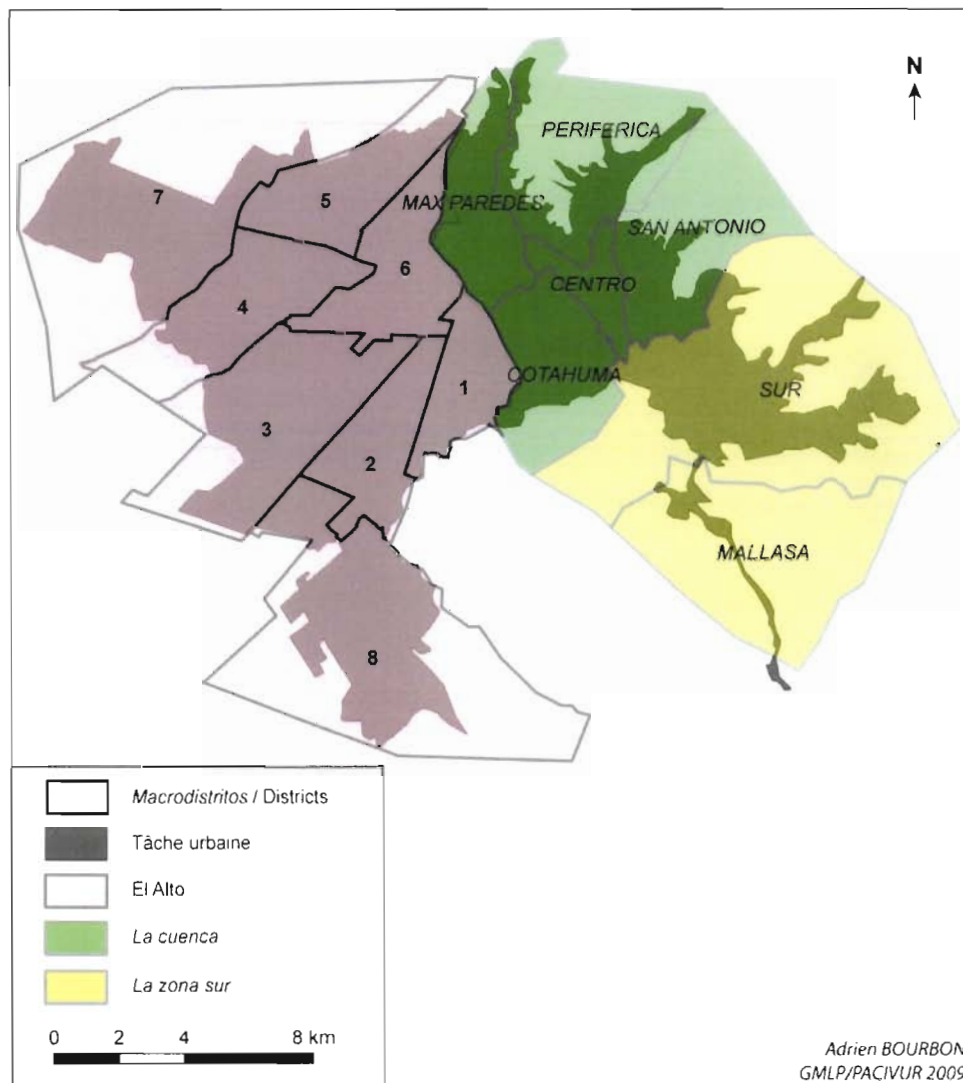


Figure 1: Découpage administratif et topographique de La Paz

¹ La municipalité de La Paz est divisée en sept *macrodistritos* urbains lesquels sont eux-mêmes composés de districts (Figure n°1).

L'action de la rivière Choqueyapu et ses nombreux affluents sur les pentes abruptes composées de matériaux peu consolidés, est à l'origine de l'intensité du ravinement, ainsi que de la déstabilisation des sols. Ce contexte explique la fréquence des coulées de boues, des glissements de terrain et un très fort processus d'érosion puisque les pluies sont concentrées sur une courte période de l'année¹. Ces fortes pluies orageuses provoquent par ailleurs bien souvent des inondations dans les lits majeurs de plus en plus urbanisés (DEMORAES 1998 P.8).

La croissance urbaine qui s'est accélérée dans les années 1980² (POUPEAU 2008, P.21), s'est traduite par une densification du bâti et de l'urbanisation. Les populations se sont installées de plus en plus à El Alto et sur les pentes des versants de la *cuenca* (PDU in DEMORAES 1998 P.25).

A El Alto cette urbanisation a concentré toute une population aux revenus très bas travaillant souvent dans des secteurs informels et sous-payés. Ces espaces se définissent par une absence de politique de planification de l'extension des espaces résidentiels qui se caractérise par une faible présence des services telle que l'électricité (POUPEAU 2008, P.77).

Les risques à La Paz

L'accroissement démographique a provoqué une sur-utilisation du sol à La Paz. Les terrains constructibles et habitables sont de plus en plus rares, tandis qu'une grande partie du territoire pacénien est soumis à une forte érosion (DEMORAES 1998). Dans la *cuenca*, 25% de l'espace était considéré par le PDU³ comme inconstructible ; aujourd'hui tout l'espace est habité en particulier sur le flanc occidental (DEMORAES 1998 P.69). Cela a notamment provoqué l'extension d'espaces plus en marge qui sont aujourd'hui les moins bien électrifiés puisqu'aucune planification n'a été faite avant l'arrivée des populations.

L'implantation accrue dans des espaces aux pentes très fortes et au sol instable a augmenté ces dernières décennies la vulnérabilité des foyers et des populations, les exposant toujours plus aux risques qui menacent La Paz. Ces risques sont définis comme « la probabilité d'occurrence d'un dommage, liée à la conjonction territoriale d'un ou plusieurs dangers et d'une présence humaine » (PIGEON 1996).

¹ Sur une moyenne annuelle de 590 mm, 413 mm tombent durant la saison des pluies les plus fortes, de décembre à mars (PDU in DEMORAES 1998 P.22).

² La croissance urbaine s'est accélérée dans les années 1980 avec la fermeture de nombreuses mines du pays qui a fait passer le nombre d'habitants de la métropole de 1 137 906 en 1992 à 1 436 935 en 2001 (INE).

³ Plan de développement urbain. Il s'agit d'un schéma directeur élaboré en 1976 par la municipalité de La Paz afin de trouver des solutions à l'évolution problématique de la ville.

L'orage de grêle qui a frappé la métropole de La Paz le 19 février 2002, constitue un cas d'étude à la fois pour les chercheurs et pour les gestionnaires des risques. Cette crise a mis en évidence de nombreuses failles dans la gestion d'une catastrophe. Le manque de communication entre les différents acteurs est apparu comme des plus manifestes (HARDY 2009). D'autre part, la mairie de La Paz et l'organisme chargé des opérations de défense civile n'étaient pas préparés à affronter une telle crise, ce qui a provoqué un grand désordre dans l'organisation des secours (HARDY 2009). De manière générale, la politique de gestion des risques à La Paz répond aux situations d'urgence par la construction d'ouvrages de génie civil destinés à contenir les aléas¹.

Notre étude porte sur la métropole, mais il est très difficile de déterminer une échelle pertinente afin d'évaluer les risques concernant les infrastructures électriques à La Paz puisque le système s'étend sur six départements du pays et qu'il est très ardu de récolter les données des seules territoires qui abritent des infrastructures électriques.

Contexte institutionnel et académique de l'étude

C'est dans le contexte de prise de conscience d'un accroissement de la vulnérabilité urbaine des pays andins qu'a été initié en mars 2006 le programme de formation et de recherche sur la vulnérabilité et les risques en milieu urbain (PACIVUR)². Ce programme de recherche s'inscrit dans des collaborations avec les municipalités des trois villes étudiées (La Paz, Lima, Quito), des universités, des instituts de protection civile et des ONG.

Ce travail de recherche, réalisé au sein du programme PACIVUR, en partenariat avec le Gouvernement Municipal de La Paz (GMLP), a eu pour objectif principal de récolter et d'analyser des données sur le système d'approvisionnement électrique de La Paz et son fonctionnement. Il aura donc été question, au cours de ces trois mois de terrain (mai à août 2010), de contacter les différents gestionnaires du système afin de récolter des informations sur leur fonctionnement dans la perspective de comprendre les impacts territoriaux d'une panne généralisée du système, et donc, aborder la vulnérabilité du fonctionnement urbain.

¹ Ainsi entre 2000 et 2005, 56% du budget de gestion des risques ont été investis dans l'intervention d'urgence et 44% dans ces constructions de contention des risques. Malgré cela, les sommes destinées aux interventions d'urgences continuent à être aussi importantes, soulignant l'inefficacité d'une politique aléa-centrée basée sur la résistance aux risques (HARDY 2009).

² Ce programme de l'UMR 8586 PRODIG a débuté avec la signature d'une convention signée entre l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et la Communauté Andine des Nations (CAN).

Le travail au sein du programme PACIVUR consiste à acquérir des connaissances, récolter des données, les digitaliser (sous SIG¹) et les analyser sous le prisme de la vulnérabilité sociale, politique et territoriale. Les données présentes dans cette étude sont toutes issues d'un travail de terrain, désormais stockées et accessibles dans la base de données du programme (mises en ligne à partir d'une plateforme Geonetwork).

Les travaux géographiques sur les systèmes d'approvisionnement en électricité étant très peu nombreux, nous avons particulièrement été attentifs au travail de Robert D'Ercole et Pascale Metzger sur les enjeux territoriaux de la métropole de Quito de 1999 à 2004 (D'ERCOLE, METZGER 2002, 2004). Cette étude constitue une base théorique dont nous avons tenté de suivre la méthodologie. De la même manière, les travaux réalisés par Sébastien Hardy sur l'approvisionnement en eau de la métropole pacénienne nous ont aidés à mieux appréhender les problématiques propres à ce territoire.

Une étude géographique de la vulnérabilité du système d'approvisionnement électrique d'une métropole

Dans toute grande métropole, la perte de l'approvisionnement électrique constitue un risque. De par son organisation structurelle, un système d'approvisionnement en énergie électrique est très vulnérable. Distribuées sur tout un territoire, ces infrastructures sont exposées à divers éléments perturbateurs qui peuvent remettre en cause leur bon fonctionnement. Par ailleurs, il dépend lui-même d'un nombre important d'éléments, dont la perte peut, par effet de transmission, également provoquer de fortes perturbations (eau, gaz...).

Au-delà de l'électricité elle-même, c'est la paralysie des éléments dépendants qui constitue le véritable risque dans la mesure où une panne peut toucher des secteurs aussi fondamentaux que l'adduction d'eau, la santé ou encore les secteurs économiques et financiers.

A travers l'analyse des structures et caractéristiques du système bolivien nous analyserons donc quelles peuvent être les conséquences de la rupture de l'approvisionnement électrique du territoire pacénien, ainsi que les répercussions dans le processus de gestion d'une crise plus globale. Notre étude s'intéressera ainsi aux mécanismes d'interdépendances horizontales et verticales des éléments nécessaires à l'approvisionnement, tout comme ceux dépendant de l'électricité.

Aléa et vulnérabilité

¹ Système d'Information Géographique.

Nous distinguons dans cette étude les notions d'aléa et de vulnérabilité dont la rencontre ou la confrontation, constitue le risque. L'aléa est le phénomène naturel ou anthropique sans lequel il n'y a pas de risque, mais dont la présence n'est pas nécessaire à la manifestation de la vulnérabilité. L'aléa dépend de lois physiques et statistiques et a une incidence spatiale. On assimile à l'aléa un caractère d'intensité que l'on peut, dans le cas du tremblement de terre, mesurer sur une échelle (par exemple l'Echelle de Richter). De la même manière, la notion de fréquence permet de mesurer l'occurrence d'un aléa sur un territoire donné. L'aspect aléatoire de la fréquence de l'aléa est fondamental lorsqu'on étudie l'appréhension du risque par les sociétés, les populations ou les gestionnaires de systèmes d'approvisionnement électrique (BECERRA, PELTIER 2009).

On observe deux types d'aléas : la perturbation et l'aléa de type stress. Le premier caractérise un aléa ponctuel dans le temps et susceptible de causer de grandes perturbations dans un temps très réduit, tandis que le deuxième définit un aléa menaçant de façon latente la population. L'érosion est un aléa de type stress qui peut se transformer ponctuellement en une perturbation dans un contexte précis : glissements de terrain, coulées de boue... (ASCHAN-LEYGONIE, BAUDET-MICHEL 2008 *in* BECERRA, PELTIER 2009).

Une étude de Sara Bouchon montre l'intérêt grandissant pour les pays dépendants des grands systèmes d'approvisionnement énergétique, de mesurer la vulnérabilité des infrastructures en réseau. Ce type d'étude prend donc en compte les aléas climatiques susceptibles de perturber à un moment ou un autre l'approvisionnement des pays, mais également d'autres types de vulnérabilités liées aux contextes politiques, sociaux et économiques (BOUCHON 2009 *in* BECERRA, PELTIER 2009). C'est en développant les capacités des réseaux qu'on parvient à les rendre moins vulnérables, cela passant bien souvent par la recherche d'alternative de fonctionnement ou d'approvisionnement.

La notion de vulnérabilité est apparue dans l'étude des risques en sciences sociales à travers les travaux d'auteurs tels que Theys et Fabiani (FABIANI, THEYS 1987). Les travaux de P. Blaikie puis de B. Wisner insistent sur le fait que les actions humaines permettent de faire face, d'anticiper ou de se remettre d'un aléa (BLAIKIE, WISNER 1994). Ainsi la vulnérabilité constitue une combinaison de facteurs qui détermine la mise en danger d'une société (WISNER 1994). Ces facteurs peuvent être de toutes sortes comme l'identifie G. Wilches Chaux dans ses onze formes de la vulnérabilité : vulnérabilité naturelle, physique, économique, sociale, politique, technique, idéologique, culturelle, éducative, écologique et institutionnelle (WILCHES-CHAUX 1998 *in* BECERRA, PELTIER 2009). La vulnérabilité est ainsi constituée, dans une approche

sociale des risques, des aspects socio-économiques d'une société. Nous la définirons donc comme le niveau d'atteinte prévisible d'un aléa sur un enjeu du territoire, en l'occurrence l'approvisionnement en électricité.

Dans la définition de la vulnérabilité des enjeux, on distingue la capacité de dommage susceptible d'affecter l'enjeu et la cause de la vulnérabilité de l'enjeu. Dans le cas d'une centrale thermoélectrique, la capacité de dommage serait ainsi la cessation d'activité, tandis que le moteur de cette panne serait la rupture d'un élément de la centrale pour une raison conjoncturelle. On pourrait donc conceptualiser ce mécanisme de la manière suivante :

Causes ou moteur de vulnérabilité => VULNERABILITE <= Dommage ou perte d'un enjeu.
--

Les enjeux :

Dans cette étude, nous considérerons l'approvisionnement électrique comme un enjeu¹ de la logistique urbaine et les éléments nécessaires desquels il dépend comme des éléments essentiels.

Le risque étant par définition le risque de perte de ce à quoi tient une société, il importe dès lors d'identifier quels sont ces enjeux afin de pouvoir renforcer leur capacités² et résilience. L'approche par les enjeux initiée par Robert D'Ercole tend à repenser l'étude des risques aléa-centrée par la perspective des enjeux. En milieu urbain, cette approche identifie les éléments du fonctionnement d'un territoire considérés comme « vitaux » dont le maintien ou le rétablissement en cas de crise constitue une priorité à l'échelle d'une ville. Il s'agit également des éléments nécessaires à la reconstruction d'un territoire, en d'autres termes sa résilience. Le but est également d'identifier sur quels autres enjeux ces éléments reposent et ceux leur étant dépendants ou liés. L'objectif d'une approche par les dépendances entre les enjeux est donc d'analyser les mécanismes de transmission rendus possible par une interconnexion des réseaux dans la métropole (énergie, informations, télécommunication, eau, transports, systèmes bancaires...). Par exemple, l'eau et l'électricité sont extrêmement liées et interdépendantes à La Paz pour permettre la production, la potabilisation et la distribution.

La vulnérabilité des sociétés industrielles et urbaines face à une panne est révélatrice de l'incapacité ou de la difficulté de nos sociétés dépendantes des réseaux et créatrice

¹ La notion d'enjeux apparaît dans les années 1990 mais est inscrite dans la définition du risque qu'à partir de 2002 dans le but de déterminer ce qui constitue le socle matériel d'une société urbaine (THOURET 2002).

² Les *capabilities*, que nous traduisons ici par capacités constituent l'ensemble des éléments dont dispose une société pour faire face aux risques (LALLAU, ROUSSEAU 2008 in BECERRA, PELTIER 2009).

d'environnement technique de rompre avec ces dépendances, ce qui favorise l'occurrence de crise.

Cependant, la prise en compte des enjeux dans l'étude des risques se fait trop souvent à travers le prisme d'un aléa, rarement plusieurs ou au-delà. Ainsi, la vulnérabilité des enjeux, quand elle n'est pensée qu'à travers l'aléa constitue une « *perpétuité de l'inefficacité de la recherche aléa-centré pour la prévention et la réduction des risques* » (D'ERCOLE, METZGER 2009).

Face à l'urgence de trouver des mécanismes de réduction des risques, dans le contexte décrit, le paradigme aléa-centré ne constitue aucunement, pour les décideurs et aménageurs, une réponse praticable et applicable. Il apparaît que placer les enjeux au centre de la réflexion des risques, à savoir identifier ce qui doit être « à tout prix » préservé pour le fonctionnement urbain, et alors identifier les vulnérabilités de ces enjeux, soit une manière concrète et efficace de réduction de la vulnérabilité urbaine (D'ERCOLE, METZGER 2009 in BECERRA, PELTIER 2009).

Dans l'étude des enjeux, il importe pour le chercheur de déterminer l'échelle d'étude à travers laquelle il identifiera « ce qui risque d'être perdu » sur un territoire donné. Ce qui est nécessaire pour le bon fonctionnement d'une communauté à une échelle locale le sera moins à l'échelle de la métropole. Il s'agit donc de déterminer une hiérarchie dans les enjeux à préserver, ainsi que l'échelle la plus pertinente pour l'analyse de ces enjeux. La notion d'enjeu, qui correspond à tout élément exposé au risque, peut être ainsi transformée en « enjeux majeurs¹ » pour les politiques de réduction des risques et vulnérabilités (D'ERCOLE, METZGER 2009 in BECERRA, PELTIER 2009 P. 394). Selon ces mêmes auteurs, on distingue trois ensembles d'enjeux du fonctionnement d'un territoire : la population et ses besoins (éducation, santé, patrimoine, loisirs, culture), la gestion et l'économie de la ville (entreprises, valeur du sol, administrations publiques, capitalité) et la logistique urbaine (eau, approvisionnement alimentaire, électricité, télécommunications, approvisionnement en combustible, mobilité) (D'ERCOLE, METZGER 2009 in BECERRA, PELTIER 2009 P.399).

L'approche par les enjeux permet de considérer l'espace géographique de l'enjeu *électricité* et non celui de tel ou tel aléa qui pourrait l'affecter. Il s'agit donc d'un espace social et territorial qui est étudié ici et non déterminé uniquement par des données géophysiques.

Dans le contexte de consommation grandissante de l'énergie électrique, les entreprises gestionnaires des systèmes et réseaux ont pris conscience de l'importance de réduire la

¹ « Les enjeux majeurs sont ceux dont le non-fonctionnement aurait les conséquences les plus graves sur l'ensemble d'un territoire notamment par des effets d'enchaînements et de dépendances du fait de l'interdépendance des éléments qui font fonctionner la ville » (D'ERCOLE, METZGER 2009 in BECERRA, PELTIER 2009 P.396).

vulnérabilité de leurs installations, notamment face aux aléas naturels (RTE 2003). Cependant, ces études sont souvent limitées au seul secteur de l'électricité, ne portant aucun regard sur les mécanismes de transmission de crises que peut engendrer la perte de l'approvisionnement. Il s'agit donc pour nous de considérer dans une étude multiscale les éléments pouvant atteindre le système, comme une sécheresse engendrant la très forte baisse de production d'une centrale hydroélectrique, jusqu'aux alternatives de fonctionnement des éléments de la ville nécessitant l'électricité pour fonctionner.

Dans l'étude des risques, on distingue plusieurs phases (avant, pendant et après) dans la temporalité et la gestion d'une crise, dans lesquelles, nous allons le voir, l'approvisionnement en électricité joue un rôle primordial (TEXIER 2009 P.24). La première phase se caractérise par le degré d'anticipation d'une crise qui peut passer par le degré de connaissance de la vulnérabilité d'une société donnée, la préparation des populations (simulation, communication...) et des actions de réduction de la vulnérabilité (TEXIER 2009 P.24). Dans cette première phase, l'électricité est nécessaire au fonctionnement des moyens de communication et des outils d'étude de l'évaluation des risques.

La deuxième phase correspond à la crise elle-même au cours de laquelle il s'agit de mettre en place toutes les mesures d'urgences (évacuation, approvisionnement, prévention des effets secondaires). Lors de très grosses catastrophes comme celle de 2010 en Haïti, le fait que le système d'approvisionnement en électricité de Port-au-Prince ait été affecté a considérablement compliqué la mise en place de cette deuxième phase. Les systèmes de télécommunication dépendant directement de l'électricité, il a été très difficile pour les urgences d'organiser les secours, ce qui a affecté ainsi la troisième phase de la crise. Cette troisième phase, celle de la réhabilitation est celle durant laquelle s'organise la reconstruction du territoire touché afin de tenter un retour à la normale (TEXIER 2009 P.25). Toujours dans le cas d'Haïti, la rupture de l'approvisionnement électrique a handicapé l'organisation et la communication des différents acteurs.

La métropole de La Paz-El Alto comme échelle d'étude de la vulnérabilité de l'approvisionnement électrique

Le choix de la métropole comme échelle d'étude, et non de la seule municipalité de La Paz, s'explique par le fait que le territoire urbain de La Paz-El Alto est un espace urbain continu. Les territoires ruraux ne sont donc pas étudiés dans le cadre de cette recherche (*macrodistritos* d'

Hampaturi et de Zongo et district 9), bien qu'ils dépendent très fortement de l'approvisionnement de la métropole. Une étude sur les risques dans ce territoire urbain ne peut se faire que dans son ensemble au regard des effets de transmission territoriale et de dépendance. Enfin, l'approvisionnement de La Paz et d'El Alto dépend des mêmes infrastructures et ne considère pas les frontières municipales. Un même poste source alimentera des quartiers de La Paz et d'El Alto et la déconnexion des lignes, provoquera des dommages sur les deux municipalités.

Pour rendre compte de l'approvisionnement en énergie électrique de l'agglomération pacénienne, son fonctionnement et sa vulnérabilité, nous étudierons dans un premier temps l'évolution du secteur électrique bolivien depuis la dernière grande restructuration de 1995, ainsi que la répartition de ce service à l'échelle nationale puis métropolitaine. Dans le cas d'un système interconnecté, les interdépendances territoriales sont très fortes, la perte d'un élément à Santa Cruz pouvant entraîner une panne à La Paz. Dans cette perspective, nous nous intéresserons dans un deuxième temps à analyser l'organisation spatiale du système pour identifier à cette échelle quelles peuvent en être les faiblesses. Partant de cette étude à l'échelle du pays, nous étudierons dans un troisième temps la manière dont est approvisionnée La Paz et comment elle s'inscrit dans le système national, afin d'identifier les éléments essentiels et leurs vulnérabilités. Enfin, en étudiant les pannes survenues à La Paz, nous identifierons leurs causes en distinguant la vulnérabilité intrinsèque et extérieure et leurs conséquences sur les autres éléments de la ville.

1. Contexte institutionnel et social de l'approvisionnement électrique en Bolivie et à La Paz

Les restructurations institutionnelles et structurelles de 1995 dans le secteur de l'électricité en Bolivie ont transformé la gestion de l'approvisionnement électrique. Les nationalisations des gouvernements Morales provoquent depuis 2006 de nouvelles restructurations dans cette gestion. Il importe ainsi dans le cadre de notre étude de comprendre dans quelles mesures ces transformations par la privatisation du secteur ont contribué à augmenter sa vulnérabilité, notamment auprès des populations.

1.1 ° L'évolution du secteur électrique depuis 1995

1.1.1 La réforme de 1995 : une restructuration du secteur électrique à l'échelle nationale.

Lorsque La Banque mondiale a approuvé le financement en 1987 du projet de réhabilitation du secteur¹ de l'électricité bolivien, celui-ci devait seulement améliorer l'exploitation de la *Empresa Nacional de Electricidad S.A.* (ENDE), l'entreprise publique d'électricité. Une évaluation récente de l'OED (département d'évaluation de La Banque mondiale) montre que les relations opérationnelles établies dans le cadre du projet ont permis à La Banque mondiale de participer à une réforme radicale du secteur bolivien de l'électricité, sous la forme d'un programme de privatisation visant à accroître l'efficacité² du secteur.

Dès 1989, La Banque mondiale avait recommandé à la Bolivie de privatiser, mais à l'époque, le gouvernement résistait à l'idée d'une réforme, jugeant le secteur suffisamment efficace. Il était en effet plus performant que celui des pays voisins. Par exemple, la Bolivie n'a jamais connu les pénuries et les pannes qui ont poussé à la privatisation dans d'autres pays d'Amérique latine comme en Argentine, au Pérou ou en Colombie (EDF-R&D 2010 ; MALDONADO, PALMA 2004). Avec l'arrivée au pouvoir du gouvernement de Gonzalo Sánchez de Lozada³ en 1993, la réforme est devenue possible.

¹ Nous entendons par secteur l'ensemble des acteurs, privés et publics qui permettent et gèrent l'approvisionnement électrique.

² L'efficacité du secteur est entendue ici à la fois comme la sûreté et la capacité de répondre à la demande.

³ Ce président sera par la suite réélu en 2002 et fuit en 2003 notamment en raison de mouvements sociaux contre les politiques ultras libérales menées durant ses mandats (privatisation des secteurs clés du pays (énergie, eau...)).

Jusqu'en 1994, le secteur de l'électricité était régi par le Code de l'électricité de 1968. La politique énergétique relevait du ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures qui était également responsable de la réglementation du secteur par l'intermédiaire de la *Dirección Nacional de Electricidad*¹ (DINE). Plusieurs entreprises opéraient dans le pays : ENDE était chargée de la production et du transport et la Compagnie Bolivienne d'Énergie Electrique (COBEE), société privée américaine, était responsable de la production et de la distribution dans la région de La Paz et d'Oruro. Deux coopératives rurales privées contrôlaient la distribution à Santa Cruz et à Sucre et deux filiales d'ENDE étaient chargées de la distribution à Cochabamba et Potosí.

Plusieurs problèmes semblaient freiner le développement du secteur. Les structures institutionnelles, le régime réglementaire et la présence d'un système régulateur faible n'étaient pas de nature à inciter les entreprises de production et de distribution à fixer leurs tarifs en fonction du coût marginal², à investir et à étendre le réseau, notamment en milieu rural. D'autre part, dans un contexte de forte croissance urbaine, l'offre avait de très grandes difficultés à suivre la demande.

Par ailleurs, les procédures d'octroi et de renouvellement des autorisations d'exploitation manquaient de transparence. Il y avait des conflits entre les divers rôles d'ENDE, puisque c'était à la fois le régulateur de facto (du fait du faible rôle de la DINE), le planificateur du système et le principal producteur. Relevant des municipalités, le processus d'approbation des tarifs s'était politisé, d'où des distorsions tarifaires entre les différentes régions et catégories d'utilisateurs. Même si, d'une manière générale, ENDE exploitait le système de production et de transport d'électricité avec efficacité et un degré raisonnable de fiabilité, certains signes avaient commencé au début des années 1990 à témoigner d'une dégradation de l'efficacité (pertes d'énergie électrique de 16,6 % en 1990, contre 11,6 % en 1986) (BARBU, LUZURIAGA 1999 P.2).

La base de la réforme du secteur de l'électricité se trouve dans le cadre juridique et réglementaire mis en place en 1994. La loi sur les capitalisations du 21 mars 1994 a ouvert les entreprises étatiques aux capitaux privés. Le 28 octobre 1994, une autre loi a défini le mode de réglementation de divers secteurs en créant des organes de contrôle distincts pour l'électricité, les télécommunications, les hydrocarbures, le transport et l'eau, tandis que le 21 décembre 1994, une troisième loi fixait les conditions d'exploitation du secteur de l'électricité. En application de la nouvelle structure sectorielle, les actifs d'ENDE ont été partagés entre trois sociétés de production

¹ Direction Nationale de l'Electricité.

² Le coût marginal est le coût supplémentaire induit par la dernière unité produite. Il permet de déterminer un optimum technique de production inclus dans une zone de bénéfice (UNIVERSALIS 2010).

qui ont été vendues aux investisseurs privés Corani, Valle Hermoso et Guaracachi. Les actifs de COBEE ont eux aussi été répartis entre plusieurs sociétés distinctes de production et de distribution. Il s'agit donc d'une division horizontale et verticale du secteur électrique. Les filiales de distribution d'ENDE et de COBEE dont ELECTROPAZ¹ fait partie, ont été totalement privatisées².

La restructuration du secteur a créé un nouveau cadre institutionnel plus solide. La surintendance de l'électricité³ a effectivement permis de décentraliser le contrôle d'un secteur indépendant et privatisé mis en place par le gouvernement de Sanchez de Lozada (AE 2010).

Les effets positifs de la réforme du secteur électrique

Cette réforme a eu cinq effets positifs en Bolivie : l'économie du pays y a gagné de nouveaux apports de capitaux étrangers. En effet, les investisseurs privés ont payé environ 1 600 millions de dollars pour obtenir le contrôle de toutes les entreprises mises en vente. Le Trésor bolivien a vu les recettes fiscales provenant du secteur de l'électricité (impôts sur le chiffre d'affaires et sur les bénéfices) augmenter de 247 % en trois ans (environ 42 millions de dollars en 1997 contre 17 millions de dollars en 1994). En outre, la dette d'ENDE garantie par l'État (environ 61 millions de dollars) a été transférée aux sociétés privées.

D'autre part, les usagers n'ont pas vu les tarifs d'électricité augmenter (exception faite d'ajustements indexés sur l'inflation et les prix des combustibles) et peuvent désormais s'adresser directement aux sociétés d'électricité par l'intermédiaire de bureaux chargés de traiter les réclamations des consommateurs.

Les conséquences négatives de la réforme

Les principales retombées néfastes de la réforme concernent jusqu'ici le taux d'électrification. Si on considère l'évolution de la couverture au niveau national, on s'aperçoit que les entreprises privées n'ont pas été capables, tout comme la ENDE à son époque, d'augmenter le taux de couverture en électricité dans les villes les plus importantes du pays (selon un axe La Paz, Cochabamba, Santa Cruz). En 1992, 78,6% de l'espace urbain du pays était électrifié, tandis que

¹ Electricidad de La Paz S.A est l'une des deux entreprises de distribution du territoire métropolitain.

² La Bolivie a suivi pour la privatisation des entreprises publiques un modèle particulier, vendant à des investisseurs privés 50 % des actions des sociétés publiques nouvellement créées et environ 2 % au personnel de ces entreprises.

³ En 2009, la superintendance a été restructurée et renommée *Autoridad de fiscalización y control social de Electricidad* (AE).

ce nombre s'abaissait à 73,7% en 2000, cinq ans après la réforme. Ces données s'expliquent par l'attitude conservatrice des sociétés de distribution des villes qui ne permet pas de combler ce déficit (Figure n°2). Elles semblent actuellement réticentes à étendre leurs services dans des espaces économiquement peu attrayants, à moins que le gouvernement fournisse des subventions, comme c'est le cas dans le cadre des projets de l'IDTR¹ (BARBU, LUZURIAGA 1999 ; IDTR 2010).

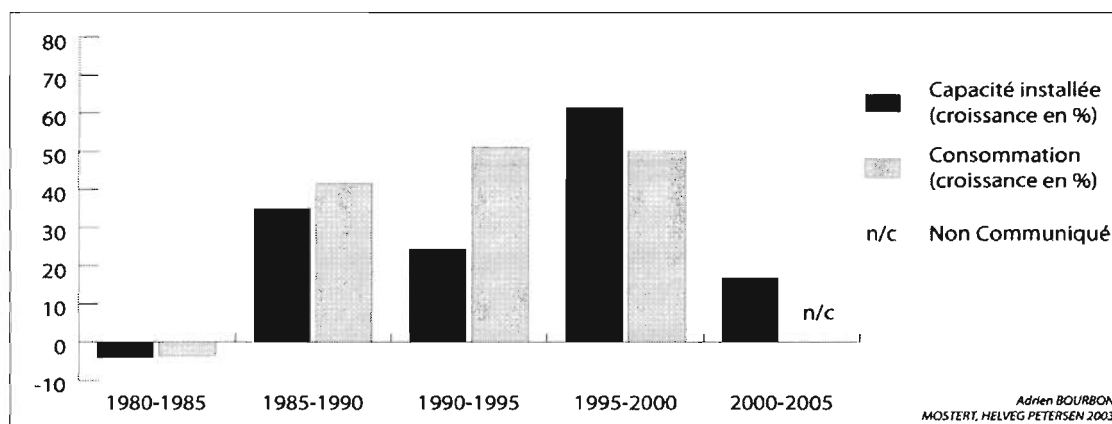


Figure 2: Evolution comparée de la capacité installée et de la consommation de 1980 à 2005.

D'autre part, il apparaît que les trois principaux départements du pays (La Paz, Cochabamba et Santa Cruz) possèdent une meilleure couverture que les autres. Ce sont également les départements qui connaissent la plus forte croissance démographique. Cependant, en considérant plus en détail les couvertures de ces départements on constate que la meilleure couverture se situe en milieu urbain, avec un milieu rural encore très peu électrifié. A l'échelle nationale, en milieu urbain pour dix foyers possédant l'électricité, quatre ne la possèdent pas tandis qu'en milieu rural pour dix foyers alimentés en électricité, trente-cinq ne le sont pas (INE² 2001).

De manière générale, la couverture en électricité a connu une croissance minimale depuis 2000. En ville, le taux de croissance est inférieur à celui des dix dernières années (1990-2000). Ces données marquent de manière significative une efficacité quasi nulle de la privatisation dans ce domaine (BARBU, LUZURIAGA 1999).

Comme le montre clairement la réforme, pour attirer des capitaux privés, la taille du secteur ou le développement relatif du pays comptent moins que l'existence d'un système réglementaire, d'institutions fortes et autonomes pour faire appliquer ce système et d'un gouvernement résolu à

¹ Infrastructure décentralisée pour la transformation rurale. C'est projet qui dépend du Vice ministère de l'électricité et des énergies alternatives (VMEEA).

² L'INE est l'institut national de statistique.

respecter ses engagements. En outre, le projet démontre la nécessité d'inclure dans la réforme des mesures spécifiquement adaptées aux espaces périurbains et ruraux non connectés.

Concernant le secteur en tant que tel, de 1995 à 2000, l'augmentation de la production d'électricité a été de 495MW (puissance installée) dans le système intégré. Environ 300 MW proviennent des sociétés « capitalisées », *Guaracachi* et *Valle Hermoso*, 70 MW de COBEE, le reste, autour de 120 MW, vient des quatre nouveaux entrants : *Rio Electrico*, *Hidroelectrica Boliviana*, *Synergia* et *Bulo-Bulo*, une filiale d'*Amoco Power*. Sur le total de 324 millions de dollars US que les producteurs ont investis en six ans, seulement 40% sont dus à l'obligation des investisseurs de se conformer aux engagements légaux pris dans le cadre de la privatisation. Cela signifie que la réforme en tant que telle n'était pas nécessaire pour inciter à réaliser des investissements (MOSTERT, HELVEG PETERSEN 2003 P.13).

1.1.2 Les plans d'ajustement structurel : l'instauration d'un nouveau mode de gouvernance dans la gestion d'un « service public » tel que l'approvisionnement électrique.

Les plans d'ajustement structurel sont des programmes de réforme économique de La Banque mondiale ou du Fond Monétaire International (FMI), destinés à restructurer l'économie d'un pays en crise¹. Ce type de programme peut agir soit sur l'économie, soit sur un secteur clé d'un pays tel que l'énergie. Il résulte d'une négociation² entre le gouvernement et les instances internationales, les prêts accordés étant débloqués au fur et à mesure de la mise en place de réformes pérennes. Il s'agit, dans le cas de programmes tels que celui-ci, de mettre en place des dispositions législatives favorisant l'ouverture du secteur, la réforme du marché, l'ouverture aux capitaux étrangers et la libre entreprise. L'objectif est de mettre en place un nouveau mode de gouvernance destiné à lutter contre la corruption et la bureaucratie en favorisant la suppression de postes administratifs jugés trop coûteux et le retrait de l'Etat de ce secteur. De la même manière, la privatisation entend casser les monopoles des entreprises d'Etat jugés trop lourds financièrement par leur déficit chronique afin d'ouvrir un secteur qui échappait jusque-là à toutes les règles du capitalisme

¹ L'ajustement structurel repose habituellement sur les éléments suivants : dévaluation de la monnaie nationale (afin de réduire les prix des produits exportés et de récolter des devises fortes pour rembourser la dette), hausse des taux d'intérêt (pour attirer les capitaux internationaux), réduction des dépenses publiques (licenciements dans la fonction publique, réduction des budgets de santé, d'éducation, etc.), privatisations massives, réduction des subventions publiques de fonctionnement à certaines entreprises ou à certains produits, blocage des salaires (pour éviter que la dévaluation ne provoque un enchaînement inflationniste) (ZACHARIE 2002).

² Les négociations impliquent trois acteurs à savoir : la Bolivie, le FMI chargé de la restructuration de la dette extérieure et intérieure du pays et la BM, chargée du financement des mesures nationales de restructurations et d'ajustement.

international, empêchait toute concurrence et l'entrée de capitaux étrangers (ZACHARIE 2002, STIGLITZ 2010, LE MONDE DIPLOMATIQUE 2008).

Ainsi, les effets des plans d'ajustement structurel de ces grandes instances internationales (La Banque mondiale, le FMI et en Amérique Latine, la Banque Interaméricaine de Développement, BID), qui visent à privatiser des secteurs essentiels au fonctionnement d'un pays, tels que l'énergie, ont provoqué le morcèlement d'industries nécessitant, sinon un monopole, du moins un fort contrôle étatique. Le résultat de la réforme a été la division d'un système qui fonctionnait relativement bien malgré le manque d'investissements pour l'intensification de la couverture au niveau national. Considérant seulement la zone nord de ce système (La Paz), il y a douze entreprises privées, tous domaines confondus, qui gèrent l'approvisionnement sur ce territoire. Cette surabondance des compagnies ne permet pas un réel contrôle de l'Etat sur leur agissement et ne permet pas non plus de les obliger à remplir leur devoir devant la loi, notamment en termes de raccordement¹ (AE 2010).

Ce type de restructurations sectorielles a entraîné la dérégulation d'un marché de grande importance pour le pays, les moyens de l'Etat pour contrôler le secteur étant très faible économiquement et humainement (AE 2010, STIGLITZ 2010). D'autre part, les conséquences sociales du retrait de l'Etat s'avèrent désastreuses non en terme de qualité de service, car nous avons vu qu'avant comme après la réforme, l'approvisionnement bolivien était relativement sûr, mais en terme d'extension car les entreprises ne voient aucune perspective de rentabilité dans l'électrification des espaces ruraux et périurbains.

L'échec de ces politiques d'ajustement a incité les gouvernements d'Evo Morales (depuis 2005) à renforcer le contrôle de l'Etat, autant en terme de régulation de marché que de contrôle social. D'autre part, dans un pays où les mouvements sociaux sont particulièrement fréquents et influents, il importe à l'Etat de contrôler la gestion des entreprises privées dans des secteurs qui touchent toute la population (DE LA FUENTE 2002).

Le processus de renationalisation des secteurs énergétiques (électricité, hydrocarbures...) en cours en Bolivie depuis l'élection d'Evo Morales (2005) entend de la même manière rattraper cet échec de la privatisation de 1995 tant en termes d'augmentation d'efficience que de densification des réseaux. En effet, en 2010, les usines électriques de la compagnie *Luz y Fuerza* de Cochabamba, ainsi que deux autres entreprises avec capitaux étrangers qui produisent 80% de l'électricité du pays ont été renationalisées. De cette manière, l'Etat détient la plus grande partie de l'énergie

¹ La loi oblige les entreprises de raccorder tout foyer se situant jusqu'à 100m des lignes de distribution.

produite en Bolivie. Le gouvernement bolivien souhaite que l'Etat contrôle l'ensemble du secteur électrique, de la production à la distribution. Cette politique s'inscrit dans la volonté du gouvernement de reprendre la gestion de ces secteurs (eau, électricité, télécommunication...) particulièrement importants, dont la privatisation n'avait pas permis l'extension territoriale et sociale.

1.2 L'accès à l'électricité dans la métropole de La Paz

Analyser la vulnérabilité d'un espace urbain face au risque de la perte d'approvisionnement électrique implique de s'intéresser à la manière dont est réparti spatialement ce service dans la métropole. Il est ainsi possible d'identifier quelles sont les populations les plus vulnérables à une panne à savoir celles raccordées aux réseaux de distribution de la ville. De même, en identifiant les populations exclues de ce service, il est possible de mettre en évidence les vulnérabilités sociales plus complexes liées à l'électricité.

1.2.1 Les lieux d'accès à l'électricité

La croissance de la demande en électricité dans la métropole de La Paz s'explique par la très forte croissance démographique, croissance qui a connu un taux beaucoup plus important à El Alto qu'à La Paz, la métropole comptant en 2001, 1 436 935 habitants (INE 2001). Le service d'approvisionnement électrique dans la métropole de La Paz apparaît comme globalement bien réparti (AE 21010, INE 2001). 91% des foyers sont approvisionnés en énergie électrique (Figure n°3). On observe ainsi un espace continu de foyers raccordés au moins à 94% partant du nord-ouest de la ville jusqu'au sud de la *Zona Sur* (Figure n°4). Ce *macrodistrito*, le plus riche de la ville, présente un habitat beaucoup plus dispersé, une densité d'habitants beaucoup plus faible (1 983 hab. /km²) (GMLP 2000-2005), et de meilleures conditions de vie (DEMORAES 1998, GMLP 2000-2005). On observe cependant, dans les parties les plus reculées de ce *macrodistrito*, au sud-est, des zones raccordées entre 86 et 93% (Figure n°4) qui correspondent à des espaces en transition urbaine dans lesquelles les populations riches de la *zona sur* investissent dans des terrains se situant dans des espaces non connectés.

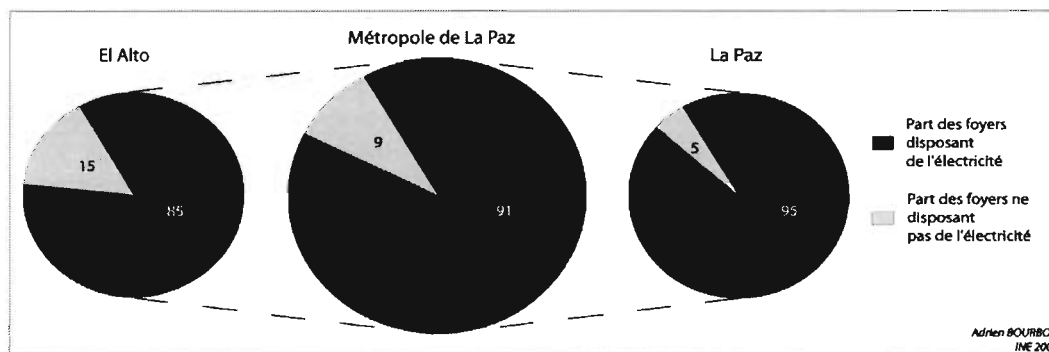


Figure 3: Graphique de répartition de l'accès à l'électricité

Les populations les moins bien connectées aux réseaux de distribution se situent sur les marges de la métropole. Le taux d'accès des foyers à ce service est supérieur dans la municipalité de La Paz à celui d'El Alto, mais la localisation des populations non connectées connaît de fortes similitudes (Figure n°4). Il s'agit des populations situées aux périphéries des deux municipalités, sur les *laderas*¹ de La Paz et aux périphéries d'El Alto. A La Paz, les espaces situés le plus à l'ouest, à la limite avec El Alto, présentent entre 7 et 14% des foyers non connectés (Figure n°4). Cela est notamment dû au fait que ce sont parmi les espaces de La Paz définis comme non constructibles, en partie à cause de leur fort taux de déclivité (entre 25 et 70%) (GMLP 2000-2005; PREIONI 2010). Cet élément physique du territoire constitue un des principaux facteurs d'exclusion territoriale (PEREIRA 2010). Le sud de *Cotahuma*, le nord du *macrodistrito* de la *Pérférica* et le nord-est de *San Antonio* présentent les mêmes caractéristiques de répartition des foyers non connectés (Figure n°4). Ces quartiers informels ne peuvent officiellement pas être connectés aux réseaux dans la mesure où les populations ne disposent pas de titre légal du terrain ou logement qu'ils occupent (HARDY, 2009).

¹ Ce terme désigne l'ensemble des espaces situés sur les versants de la *cuenca*.

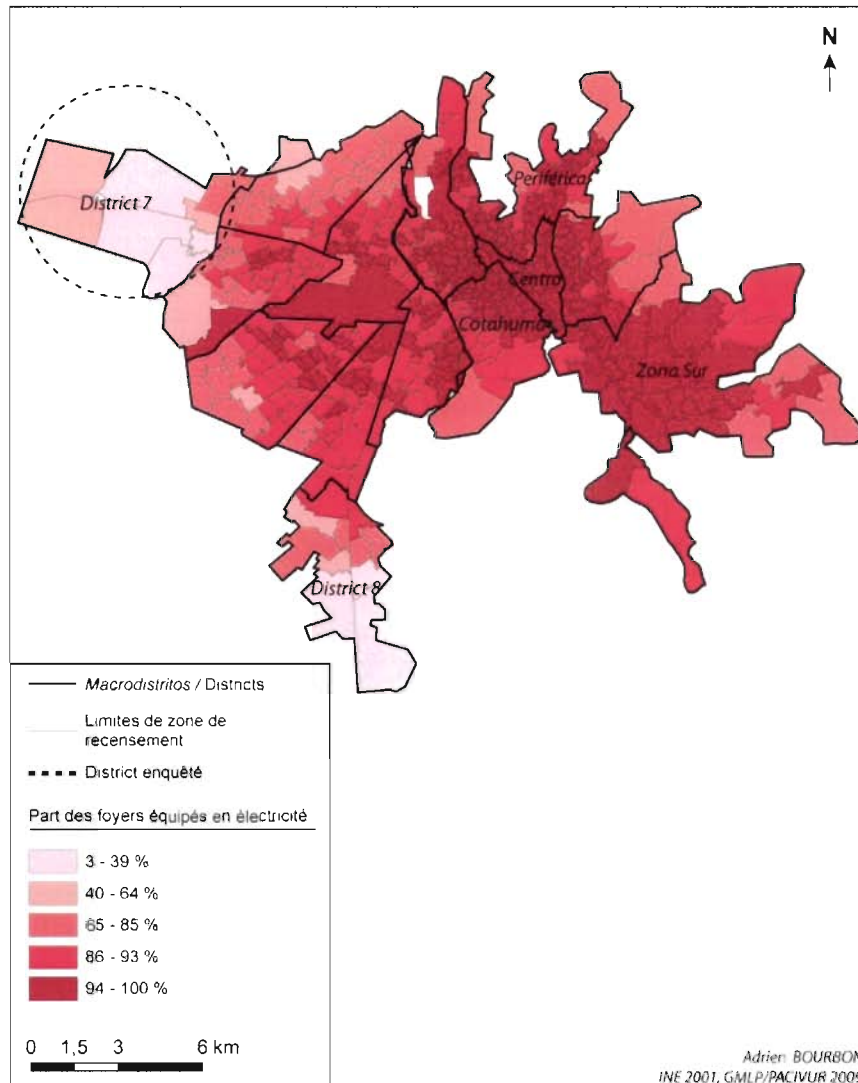


Figure 4: Accès à l'électricité des foyers de la métropole pacénienne

Afin de réaliser cette carte (Figure n°4), nous avons défini les seuils de données manuellement pour mettre en valeur les données extrêmes du pourcentage de foyer qui possède l'électricité. La première classe, de 3 à 39 % est destinée à mettre en évidence les 61 à 97 % des foyers qui n'ont pas l'électricité. Les deux dernières classes mettent en valeur les espaces où la répartition est quasiment totale.

Le Centre, apparaît donc comme le seul *macrodistrito* dont le taux d'électrification est compris entre 94 et 100% (Figure n°4). Avec la deuxième plus forte densité d'habitants (12 307 hab./km² pour seulement 5km²) (GMLP 2000-2005), c'est le plus petit des neuf *macrodistritos*. C'est également « le cœur » de la ville où sont situés les principaux centres décisionnels du pays dont les administrations, de nombreux ministères, le palais présidentiel et la mairie de La Paz. Il remplit également le rôle de cœur financier à l'échelle de la ville, mais aussi du pays car les

alentours des avenues *16 de Julio* et Camacho abritent les sièges de la Banque Nationale et de nombreuses banques boliviennes. Enfin, c'est un pôle important de services et de commerces (plus de 10 000 établissements (GMLP 2000-2005)). Le taux de couverture quasi-total de cette zone s'explique par l'importance d'assurer la capitalité¹ du pays (D'ERCOLE, METZGER 2009) dans laquelle l'approvisionnement électrique de ces diverses institutions est essentiel à leur fonctionnement.

Sur le territoire alténien, le service est un peu moins bien assuré, bien que de nombreuses zones de recensement soient raccordées jusqu'à 100%. On observe également que les zones les moins bien raccordées sont les quartiers périphériques en transition urbaine de la municipalité. Par exemple, dans les districts 7 et 8 (Figure n°4), l'habitat est nettement plus dispersé, avec encore de nombreuses traces d'une organisation rurale de l'espace. Nous verrons que cette dispersion des foyers est une des raisons du manque de volonté des entreprises distributrices de les raccorder. Il s'agit également des parties les moins peuplées d'El Alto ; ce sont des espaces reculés beaucoup moins bien desservis par les transports en commun et dans lesquelles les conditions de vie sont beaucoup plus dures du fait du manque de service et de travail.

1.2.2 Quelles utilisations de l'électricité à La Paz ?

On distingue à La Paz six catégories de consommateurs (Figure n°5) qui correspondent aux divers usages de l'électricité. Ainsi la catégorie *résidentielle*² concerne tous les foyers d'habitation où la consommation n'est pas très importante, mais représente le nombre le plus important de consommateurs à l'échelle de La Paz à savoir 381 888 compteurs³. La consommation des foyers, 527 510,54 MWh, est proportionnellement beaucoup moins importante que celle des autres catégories. Cela s'explique entre autre par le fait qu'à l'échelle du foyer, l'électricité est peu utilisée.

Afin de comprendre de quelle manière le territoire métropolitain pacénien est vulnérable face à l'électricité, il importe d'étudier comment est utilisée cette énergie. A l'échelle de la métropole, l'électricité remplit un rôle très important puisqu'elle est nécessaire à l'adduction d'eau, au bon

¹ Nous reprenons ici le terme de Robert D'Ercole et Pascale Metzger qui définissent tous les enjeux essentiels liés à la fonction de capitale de la ville. Bien que La Paz ne soit pas la capitale constitutionnelle (qui est Sucre), elle assure grand nombre de fonction administratives et économiques et abrite les centres du pouvoir exécutif bolivien.

² Il y a quatre catégories de consommateurs résidentiels selon l'électricité consommée (AE 2005).

³ Un compteur d'électricité correspond à un foyer d'habitation donc un compteur représente dans la plupart des cas plusieurs habitants. Il arrive parfois à La Paz que certains foyers aient deux compteurs, un pour la tension 220V et l'autre pour la tension 110V.

fonctionnement des télécommunications, à l'éclairage public, aux entreprises et industries¹, aux institutions et bâtiments publics (informatiques, bureautiques, ascenseurs...) (Figure n°5). Pour ce qui est de l'éclairage public nous verrons qu'il est très réduit dans de nombreux quartiers de la métropole notamment ceux situés en périphérie urbaine.

Catégories de consommateurs	2008				2009				Taux de croissance du nombre de consommateurs	Taux de croissance de la consommation
	Nombre de consommateurs	%	Consommation (MWh)	%	Nombre de consommateurs	%	Consommation (MWh)	%		
Résidentiel	365620	89,6	533 297,02	46,20	381888	89,61	527 510,54	45,37	4,4	-1,1
Général	40316	9,9	247 007,88	21,40	42059	9,87	250 784,07	21,57	4,3	1,5
Industriel	2009	0,5	238 970,35	20,70	2202	0,52	249 750,95	21,48	9,6	4,5
Minier	1	0,0002	2 129,40	0,18	1	0,0002	707,40	0,06	0	-66,8
Eclairage public	6	0,001	64 062,95	5,55	6	0,001	66 036,92	5,68	0	3,1
Autres	15	0,004	68 881,13	5,97	15	0,004	68 011,81	5,85	0	-1,3
TOTAL	407967	100	1 154 348,73	100	426171	100	1 162 801,70	100	4,5	0,7

Figure 5: Catégories de consommateurs

Adrien BOURBON
AE 2009

A l'échelle du foyer les Pacéniens et Alténiens n'utilisent que très peu cette source d'énergie. Par exemple, 89% de la population de la métropole utilisent le gaz pour cuisiner (Figure n°6) grâce à un service de livraison quotidien². Quelques rares foyers possèdent par ailleurs le gaz de ville. La subvention du gaz en Bolivie rend cette source énergétique plus abordable pour tous les foyers. Même dans les coins les plus reculés d'El Alto la livraison de bouteilles est assurée ce qui réduit considérablement la consommation des foyers en électricité en comparaison avec d'autres pays qui utilisent principalement cette énergie pour cuisiner.

Pour le chauffage ambiant et l'eau chaude, on constate que ces deux équipements sont très rares dans les foyers de la métropole. Excepté dans les foyers des classes supérieures, la plupart des Pacéniens et Alténiens ne possèdent pas de système de chauffage. Même dans les classes moyennes de tels équipements sont rares (AE 2010). Cela paraît à première vue problématique dans la mesure où les nuits sont très froides, surtout à El Alto (jusqu'à -10°C). Certes, la plupart des maisons de construction ancienne sont exposées plein sud afin de capter la chaleur du soleil toute la journée. Cependant, il s'agit plus d'un manque de moyen économique que d'un réel moyen d'alternative au chauffage domestique (AE 2010). Les cheminées sont également très rares et se rencontrent plus dans les quartiers résidentiels de la zone sud de La Paz qu'à El Alto. En effet, faire venir le bois pour chauffer les maisons revient cher dans une région très peu boisée. De la même manière, très rares sont les foyers disposant d'un système de chauffe-eau, la plupart de ceux qui en dispose possède un système nommé *ducha* ne consommant que très peu d'électricité

¹ Depuis la crise des années 1980, le secteur secondaire à La Paz s'est nettement affaibli, ce secteur ne représente aujourd'hui qu'une faible partie de l'économie de la ville (DEMORAES 1998).

² La distribution de gaz en bouteille est un service national. La centrale se situe à Senkata, au sud d'El Alto et les camions de distribution partent de cette centrale puis suivent un trajet précis de distribution. Parfois ce service connaît de fortes perturbations que nous n'avons pu étudier ici.

puisque contrairement à un chauffe-eau de type ballon, il ne fonctionne que le temps de l'utilisation et au passage de l'eau.

Les Pacéniens utilisent très peu l'électricité, si ce n'est pour l'éclairage, les quelques appareils ménagers, la télévision et/ou la radio et le réfrigérateur (Figure n°6). Seulement 29% de la population de la métropole possède un réfrigérateur. Le fait que les populations ne possèdent ni réfrigérateur, ni chauffage, constitue un facteur de vulnérabilité sociale étroitement lié à l'électricité, les maladies développées par la consommation d'aliments non frais et le froid étant très nombreuses. Le fait qu'une si faible part de la population possède ces équipements est dû à leur prix et les catégories économiquement les plus basses de la population ne pourraient se permettre de payer des factures d'électricité beaucoup plus élevées avec ces équipements.

Municipalité	TOTAL DES FOYERS	Possédant l'électricité (%)	Possédant le gaz, en bouteille ou en réseau pour cuisiner (%)	Possédant une radio (%)	Possédant une télévision (%)	Possédant un réfrigérateur (%)	Possédant un téléphone fixe ou cellulaire (%)
La Paz	205 254	95,32	87,33	90,22	87,93	44,06	50,53
El Alto	165 320	85,20	91,18	81,24	70,53	10,49	18,08
Métropole	370 574	91	89	86	80	29	36

Figure 6: Equipement des foyers en biens liés à l'électricité

Adrien BOURBON
INE 2001

1.2.3 Les foyers non électrifiés, une autre approche de la vulnérabilité face à l'électricité

En Bolivie, l'électricité est relativement bon marché, même pour les populations n'ayant pas des moyens économiques très importants mais là encore, les foyers consomment très peu. A La Paz, les prix sont les plus bas du pays¹. La volonté du gouvernement actuel d'Evo Morales est d'homogénéiser les prix nationaux par le bas. Pour les populations vivant dans des lieux de la ville où il est possible de se raccorder, les alternatives courantes pour s'approvisionner en électricité coûtent donc plus cher que le raccordement et le prix mensuel de l'électricité² (AE 2010). Des campagnes de prévention sont faites auprès des populations rurales par les compagnies distributrices dans le but de leur démontrer qu'il est plus économique et écologique de se raccorder à leur réseau quand cela est possible (AE 2010). Dans les données de l'INE, les foyers connectés sont indiqués comme suit : *Tienen energia eléctrica*³. Aucune distinction n'est donc

¹ Le kV coûte 50 centimes de bolivianos environ six fois moins que dans le reste du pays (AE 2010).

² En effet, panneaux solaires, générateurs à huile, gaz, pétrole et diesel coûtent plus cher en matières combustibles et équipements que l'électricité à La Paz.

³ Possèdent une source d'énergie électrique.

faite entre les foyers connectés au réseau de distribution formel¹ et ceux qui s'approvisionnent par des moyens alternatifs. Cela s'explique entre autre par le fait qu'il n'y a pas d'alternatives d'approvisionnement développées pour les raisons indiquées (INE 2001). Ainsi, les populations ne possédant pas l'électricité sont celles implantées dans des espaces soit où le réseau ne distribue pas ou, soit où l'entreprise refuse de connecter.

On peut identifier cela grâce aux postes de transformation basse tension². Ces infrastructures sont nécessaires à l'approvisionnement, donc quand il y en a pas ou très peu, comme dans les districts 7 et 8 d'El Alto (Figure n°7), cela signifie et confirme l'absence d'approvisionnement en raison d'un manque d'infrastructures et non de la seule incapacité des populations à payer les raccordements et les factures. Ainsi, on constate que plus la densité d'habitants est importante comme dans le centre ou la zone sud, plus il y a de postes de transformation basse tension (Figure n°7). Par ailleurs, on constate en parallèle de la Figure n°3, que ce sont là aussi les zones périphériques de la métropole les moins bien équipées.

¹ Nous entendons ici par réseau de distribution formel le réseau de distribution principale interconnecté avec le reste du pays, par opposition à tout autre moyen d'approvisionnement informel.

² Les postes de transformation basse tension sont ceux qui transforment la tension depuis la moyenne tension (69 kV) à la basse tension (6,9 kV). Ces infrastructures sont gérées par la distribution.

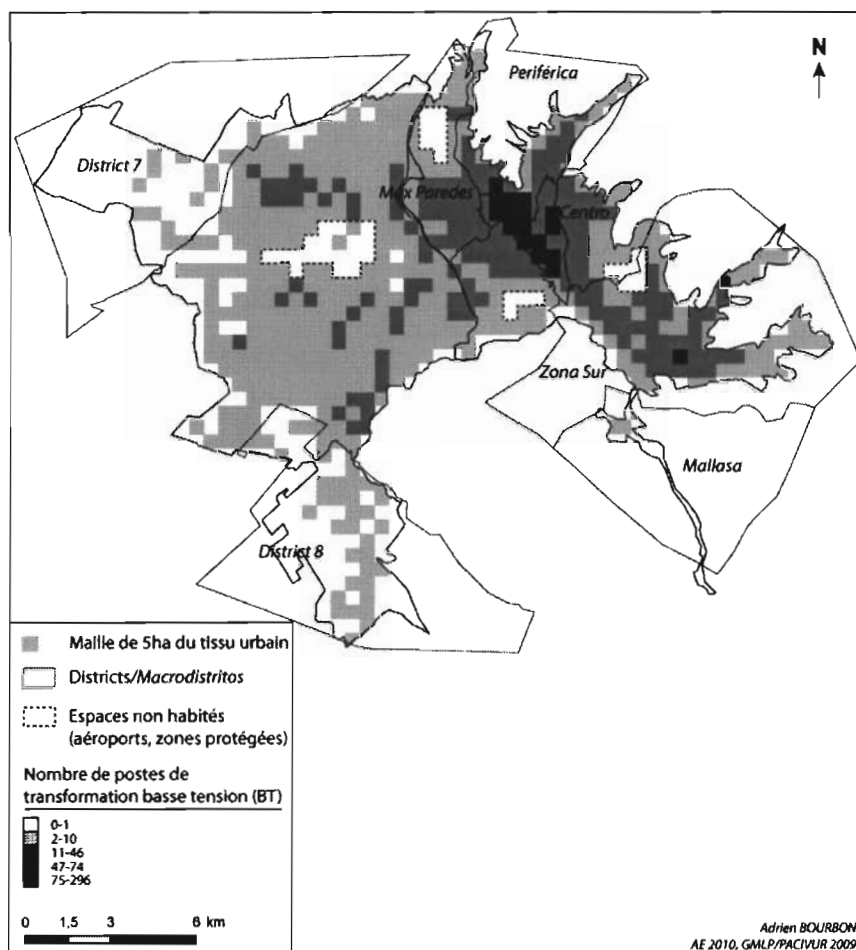


Figure 7: Répartition des transformateurs basse tension (BT)

Pour la construction de cette carte (Figure n°7), nous avons créé une classe avec les mailles qui ne possédaient même pas un transformateur afin de mettre en évidence les espaces où l’approvisionnement est rendu impossible par un manque d’infrastructure. Nous avons ainsi maillé le territoire de La Paz en zone de 5ha, chaque maille contenant un nombre défini de poste de transformation BT qui détermine le degré d’équipement de ces zones en infrastructure nécessaires à l’approvisionnement électrique.

Les projets de l’Etat pour l’amélioration de l’accès à l’électricité

En milieu rural et en périphérie urbaine, seulement 33% des Boliviens ont un accès à l’électricité, et 112 des 327 municipalités boliviennes possèdent une couverture de seulement 25%. Ces chiffres sont particulièrement liés aux indices de pauvreté et d’inégalité du pays. Dans le contexte

politique du gouvernement Morales, le *Viceministerio de Electricidad y Energias Alternativas*¹ (VMEEA) à travers l'*Infraestructura Decentralizada para la Transformacion Rural*² (IDTR) a lancé de grands projets de densification des réseaux de distribution³. Ces projets concernent surtout les territoires ruraux. Certains territoires alténiens sont cependant considérés par la municipalité comme tels, du fait de la persistance d'une économie tournée vers l'agriculture⁴. Le projet entend étendre le réseau de distribution aux foyers non connectés principalement pour des raisons structurelles. Selon la loi de l'électricité de 1994, les entreprises sont tenues de distribuer l'électricité aux foyers se situant à moins de 100m des lignes de moyennes et basses tensions (AE 2010, IDTR 2010). Il s'agit donc d'intervenir auprès des populations se situant au-delà de ces 100m. C'est le cas dans le district 7, dans le territoire de la *subalcaldia*⁵ de San Roque où l'IDTR a connecté 262 foyers⁶. La compagnie détentrice de la concession concernée, dans ce cas présent EMPRELPAZ, est appelée à participer en offrant des connexions ou en les installant. Elle est également tenue d'identifier quels sont les foyers non connectés et de planifier des projets de densification.

La loi de la Tarifa Dignidad

De la même manière, la loi de la *tarifa dignidad*⁷ de 2006 vise les populations les moins consommatrice d'électricité⁸. En milieu rural comme urbain, il s'agit de faire bénéficier les foyers de ces populations d'une réduction de 25% sur leur facture mensuelle à condition qu'ils maintiennent une consommation très basse⁹. Ces mesures sont financées par les entreprises du *Mercado Electrico Mayorista*¹⁰ (MEM). Dans le cadre de ces dispositions, ce sont 655 596 consommateurs de la catégorie *residencial* qui ont pu avoir accès à l'électricité ou voir leur facture baisser de manière à la faire correspondre à leurs moyens réels (AE 2010). Dans le

¹ Vice ministère de l'électricité et des énergies alternatives.

² Infrastructure décentralisée pour la transformation rurale.

³ Le projet est financé par La Banque mondiale (IDTR+GPOBA) à hauteur de 29 465 000 \$us.

⁴ Il s'agit en réalité d'une agriculture périurbaine, c'est-à-dire une organisation agricole tournée vers la ville (HARDY 2010).

⁵ Ce terme désigne les mairies de district à El Alto et de *macrodistrito* à La Paz.

⁶ Cf. Annexe n°... Quartiers connectés par l'IDTR.

⁷ Tarif pour la dignité.

⁸ Cette loi est initialement prévue pour les classes les plus populaires mais les populations d'autres classes de la société bolivienne peuvent en bénéficier également dans la mesure où elles respectent les limites de consommation.

⁹ Inférieure ou égale à 70kWh en milieu urbain et 30kWh en milieu rural.

¹⁰ Marché grossiste de l'électricité.

département de La Paz, 57% de la population a pu bénéficier de cette réforme, qui constitue un autre facteur d'explication de la faible utilisation d'électricité dans les foyers (AE 2010).

1.2.4 Le district 7 d'El Alto, une zone très mal connectée

Le district 7 d'El Alto (cf. Figure n°4 p. 22 : district enquêté) est le territoire de la métropole de La Paz où l'on compte le plus de foyers non connectés de manière formelle (INE 2001). Suite à une étude sur les populations vivant dans ces foyers, nous avons pu constater qu'ils ne disposaient d'aucune alternative pour s'approvisionner en énergie électrique, résultats correspondants aux données de l'INE, ainsi qu'aux informations collectées auprès de l'AE.

Ces quartiers¹ qui comptent en moyenne 500 à 750 personnes constituent une part importante du district ne possédant pas l'électricité (entretien avec l'agent municipal préposé à l'électricité de la *subalcaldia* de San Roque, District 7, El Alto 2010).

Dans le cadre de cette enquête, nous avons pu rencontrer de nombreux foyers non connectés. Bien que les situations soient différentes pour tous, les moyens de substitution sont les mêmes à savoir le gaz pour cuisiner et des bougies pour s'éclairer. L'électricité ne semble manquer dans ces foyers qu'en ce qui concerne l'éclairage.

Concernant le prix, que ce soit celui du raccordement ou de l'électricité même, les populations se plaignent qu'il soit trop cher pour leur faibles revenus et qu'il soit supérieur, dans leur quartier, à celui d'autres parties de la ville. Le propriétaire d'une épicerie approvisionnée en électricité nous a affirmé que les prix sont beaucoup plus chers que dans les espaces plus urbanisés où les connexions sont plus nombreuses. D'autre part, il affirme que le prix de la facture est relativement cher pour ses faibles revenus :

« Je viens d'un quartier plus près de la ceja², et je payais auparavant 24 Bs³. Ici le service est moins bon et je paye environ 74 Bs. par mois. Pour payer, il nous faut aller jusqu'aux bureaux d'EMPRELPAZ tous les mois. » (Propriétaire d'une épicerie du district 7 d'El Alto 2010).

Dans le quartier de Bella Vista, l'un de ceux n'étant pas raccordé par l'entreprise, nous avons rencontré une jeune femme tenant une petite épicerie et ne possédant pas l'électricité, bien que

¹ Les quartiers du district 7 ne disposant pas de l'électricité sont les suivants : Barrio Lindo, Bella Vista, Cala cala, El Rosario, Fortaleza, Khantati, Los Lirios, Mercedes, Pan de vida, San Pablo et San Crispin. Aucune donnée géographique référencée n'étant disponible auprès de la mairie de San Roque, nous n'avons pas pu les représenter.

² La *ceja* est un lieu stratégique et d'échange à El alto. Elle accueille la mairie, l'aéroport et un grand marché.

³ 1 Bs. = 0,1122 € (09/2010).

située juste devant une ligne de distribution (Photographie n°1). Il semblerait qu'EMPRELPAZ refuse de distribuer l'électricité pour seulement deux foyers à savoir elle et une autre habitation située un peu plus loin, du même côté de la route. Nous avons rencontré un autre foyer auparavant connecté mais dont la ligne a été coupée par EMPRELPAZ, les gens n'ayant plus les moyens de payer la facture.

« Nous sommes allé voir le président de la *junta vecinal*¹ (association de voisin) afin de lui demander de voir avec EMPRELPAZ s'ils pouvaient distribuer cette partie de la rue mais il a refusé de nous recevoir malgré les quatre caisses de bière avec lesquelles nous sommes venus. » (Jeune commerçante alténienne 2010).



Photographie 1: Foyers non connectés bien que situés juste devant une ligne de distribution (Quartier Bella Vista, District 7, El Alto)

De la même manière un homme âgé de soixante-dix ans, qui vit dans le quartier de Bella Vista depuis dix-sept ans, affirme ne jamais avoir eu l'électricité malgré de nombreuses demandes. Il habite du même côté de la ligne de distribution que la jeune commerçante (Photographie n°1). Il semblerait que le problème soit le même à savoir un manque de volonté de la part de la compagnie et du président de la *junta vecinal*, de raccorder un si petit nombre d'habitations.

¹ Les *juntas vecinales* sont des organisations sociales structurant la vie des quartiers. Elles sont présentes à El Alto tout comme à La Paz et sont fédérées au sein de la *Federación de Juntas Vecinales* (FEJUVE). Les représentants sont élus par les habitants des quartiers et font le lien avec la FEJUVE. Cette forme d'organisation politique au sein des quartiers est un héritage des formes d'organisation politique des campagnes aymaras et quechuas. On perçoit bien au travers de notre enquête les liens de clientélisme qui règnent dans ces comités de voisinage. C'est une forme d'organisation de contrôle sociale (POUPEAU 2008). Ainsi, le président de quartier reçoit les requêtes des habitants et les transmet au niveau supérieur, dans le cas présent à EMPRELPAZ.

« Ils (la compagnie et la junta vecinal) nous ont dit d'attendre que nous soyons plus nombreux afin de nous connecter. Moi et la jeune commerçante devons ainsi attendre que les gens qui vont habiter ces maisons en construction¹ aient finis de s'installer pour refaire une demande. » (Habitant du quartier Bella Vista 2010).

Dans ces quartiers d'El Alto, la densité d'habitants étant tellement faible, l'entreprise EMPRELPAZ organise la distribution en fournissant un compteur par zone, attribuant la gestion aux présidents de la *junta vecinal*. Elle communique ainsi avec une seule personne qui centralise les paiements (AE 2010).

Electricité et sécurité

Par ailleurs, la jeune commerçante accompagnée de sa fille en bas âge semblait préoccupée par l'absence d'éclairage public². Ces quartiers d'El Alto sont en effet particulièrement insécurisés en raison du manque de présence de la police.

« ... on se sent pas en sécurité dans ce quartier à cause du manque d'éclairage dans la rue. En tant que femme on a peur de rentrer chez soi avec toutes les choses qui se passent. » (Jeune commerçante alténienne 2010).

Le lien entre éclairage public et sécurité est particulièrement étroit et semble s'être renouvelé ces dernières années du fait de la cristallisation médiatique des violences urbaines. La question qui se pose est celle des effets de l'éclairage public sur la réduction de la criminalité urbaine la nuit. Il s'agit vraisemblablement plus d'un ressentiment que d'un réel lien de cause à effet, les crimes commis de jours semblant être plus nombreux. Les études faites sur l'efficacité de l'éclairage public dans la lutte contre la criminalité, au sein de l'école de Chicago, ont montré une relative inconséquence sur la baisse de celle-ci (JACOB 1961 in MOSSER 2007). De manière générale, si l'ensemble des études menées sur ce sujet depuis les années 1960 ont démontré l'absence d'effets réducteurs de l'éclairage public en la matière, il a été démontré par des études britanniques que les effets bénéfiques de l'éclairage public sur des espaces particulièrement sensibles dits *crime hot-spots* étaient bénéfiques et que, par-dessus tout, il contribuait à réduire le sentiment d'insécurité

¹ Les populations ne s'installent pas directement à El Alto. Elles logent parfois chez de la famille, dans des habitats en location et parfois même à La Paz le temps d'économiser suffisamment d'argent pour accéder à la terre dont le prix est nettement moins chère qu'à La Paz (POUPEAU 2008). D'autres, comme l'homme que nous avons rencontré dans le quartier Bella Vista (District 7), préparent leur venue à la ville en venant construire leur maison au fur et à mesure de leur temps libre. Ces populations viennent pour la plupart de l'Altiplano.

² Nous entendons par éclairage public l'ensemble des infrastructures lumineuses destinées à l'éclairage des routes et des rues. La gestion de ces infrastructures est assurée par les entreprises de distribution et payée par les municipalités.

des populations vivant dans ces quartiers. Dans des quartiers comme ceux du district 7 d'El Alto, où l'éclairage public est très faible, cela aurait au moins le bénéfice d'améliorer les conditions de vie des habitants. De la même manière, les travaux dans ce domaine ont montré l'influence de l'éclairage public et des *ambiances lumineuses* des quartiers sur le renforcement des sentiments collectifs de confiance, de cohésion et de solidarité. L'électricité et l'éclairage public sont alors perçus comme un instrument de politique d'aménagement entendu comme l'organisation de processus sociaux d'élaboration collective (MOSSER 2007).

En interviewant une jeune mère de plusieurs enfants vivant de l'autre côté de la route allant vers Copacabana nous constatons qu'elle non plus ne possède pas l'électricité dans sa maison où elle habite avec ses enfants depuis deux ans. Elle n'est pas propriétaire et doit donc négocier avec son logeur depuis longtemps afin qu'il fasse la demande auprès d'EMPRELPAZ. Ils ont dans le quartier un système de compteur pour tout un groupe de foyers¹. Cela leur permet uniquement d'avoir de la lumière dans le quartier la nuit. Cette organisation privée et informelle de l'éclairage public pose le problème de la responsabilité de la municipalité et de l'entreprise de distribution dans l'aménagement des nouveaux quartiers résidentiels. Cependant, il est à noter que d'une manière générale, les populations qui ne disposent pas de l'électricité dans leur foyers sont dès lors moins vulnérables vis-à-vis du système dans la mesure où une panne ne les touche pas (HARDY 2009).

L'étude des restructurations structurelles du secteur et la répartition du service à l'échelle de la métropole apparaît ainsi nécessaire avant toute analyse des structures du système à différentes échelles. Nous avons identifié plusieurs vulnérabilités dans l'organisation de ces réformes, ainsi que dans l'accès au service. Il semble donc que la restructuration du secteur ait grandement fragmenté la gestion au niveau national, ayant également des effets notables à notre échelle puisque nous verrons qu'il y a des tensions et difficultés de communication et de gestion entre les différentes entreprises privées et les régulateurs.

Le fait que le service soit globalement aussi bien réparti doit être relativisé par la faible consommation et utilisation de l'électricité par les Pacéniens et Alténiens. Cependant, l'électricité, comme dans toute grande métropole, si elle est peu consommée à l'échelle des foyers est nécessaire au bon fonctionnement des éléments essentiels dépendants de son approvisionnement.

¹ Ils payent ce compteur 175 Bs. à savoir 20 Bs. par famille

2. Le Système Interconnecté National : l’approvisionnement électrique à l’échelle de la Bolivie

Un système interconnecté d’électricité se décline en trois principales activités : la production, le transport et la distribution. En Bolivie, il s’agit de trois acteurs différents qui travaillent à l’approvisionnement des principaux espaces de consommation.

2.1 Les caractéristiques de production d’électricité à l’échelle nationale

2.1.1 L’organisation territoriale du Système Interconnecté National (SIN)

La Bolivie possède un système d’approvisionnement organisé sur tout son territoire. Bien qu’il s’agisse du système majoritaire et censé structurer tout le pays au niveau de l’approvisionnement électrique, tout le territoire n’est pas approvisionné par le SIN. En effet, seulement six des neuf départements de la Bolivie sont connectés à ce système. Même si l’étude porte sur La Paz, il est nécessaire s’agissant d’un tel système, d’étudier le système dans son ensemble afin d’identifier dans un premier temps les vulnérabilités à cette échelle. L’intérêt d’une telle étude s’explique par l’importance des mécanismes d’interdépendance et de transmission de vulnérabilité entre zones du système. En effet, une panne à Santa Cruz peut avoir des répercussions sur tout le système.

Le SIN est composé de quatre *areas* que l’on traduira ici par zones (Figure n°8) :

- La zone Nord, composée du seul département de La Paz, mais amenée à intégrer le département du Beni par le raccordement de Trinidad (en 2014) (CNDC 2010).
- La zone Centre, comprenant les départements de Cochabamba et d’Oruro.
- La zone Orientale, comprenant le département de Santa Cruz.
- La zone Sud, composée des départements de Potosi et Chuquisaca, mais également amenée à intégrer celui de Tarija (en 2011) (CNDC 2010).

Les départements faisant partie du SIN sont ceux qui sur leur territoire possèdent des infrastructures de production et de transport interconnectées avec les autres départements. Il s’agit en termes de population et d’activité économique des six plus importants départements des neuf qui composent la Bolivie.

De manière générale, on constate que les limites des quatre zones du SIN suivent relativement celles des départements¹.

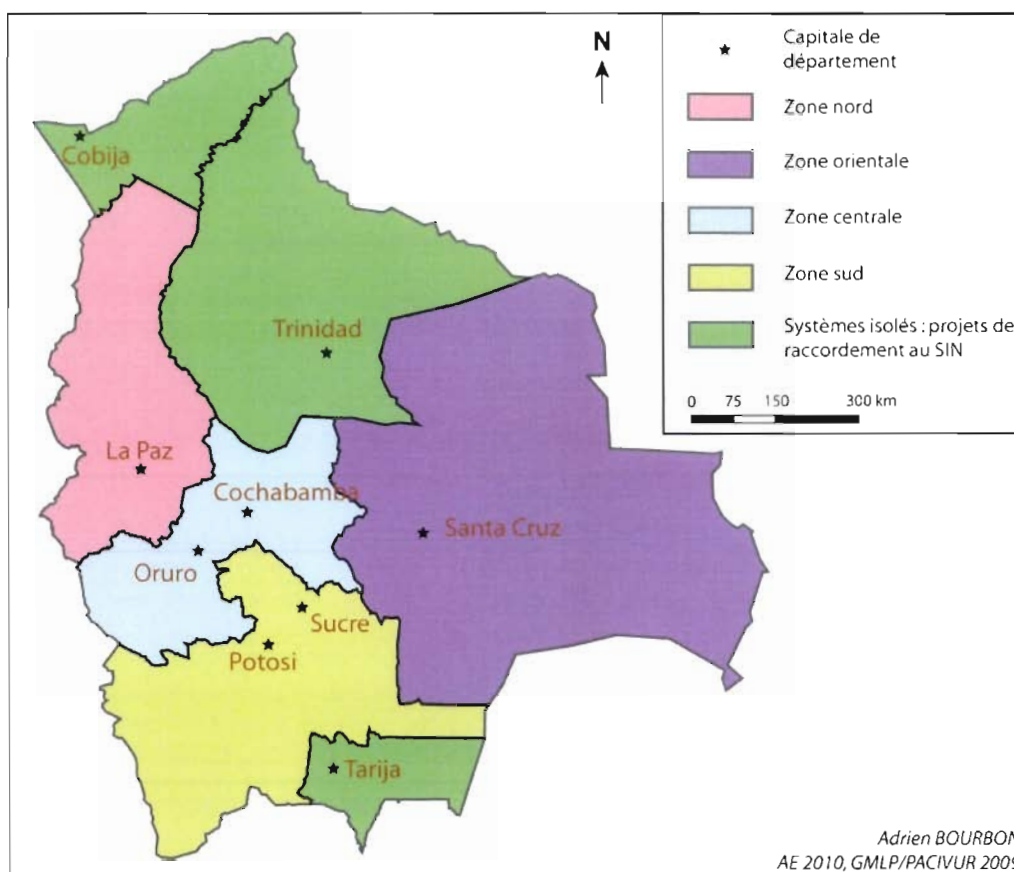


Figure 8: Zones du SIN

Les systèmes isolés

Les départements du Beni, de Tarija et de Pando sont trois systèmes que l'on dit isolés dans la mesure où la production, le transport et la distribution se font uniquement à l'échelle du département, avec comme unique objectif celui de satisfaire les besoins des grands espaces de consommation que sont les villes de Tarija, de Trinidad et de Cobija (Figure n°8). Cependant des projets de raccordement sont en cours pour relier Trinidad à la zone Nord par le prolongement de la ligne Chuspipata-Caranavi. Pour Tarija, le raccordement se fera au niveau du Système de Transmission Interconnecté (STI) en prolongeant les lignes de 230 kV au sud de Potosi jusqu'à la ville de Tarija (CNDC 2010). Après la mise en œuvre de ce projet, il ne restera plus que le

¹ Cependant, on observe quelques différences avec ces frontières concernant les centrales de la vallée Miguillas (COBEE) qui se trouvent sur le département de La Paz, mais qui appartiennent à la zone centrale selon le découpage du SIN. Ces différences correspondent à la logique du système puisque 90% de ces centrales sont destinés à alimenter la ville d'Oruro située dans la zone centrale (COBEE 2010). Ces différences correspondent à la logique du système puisque 90% de ces centrales est destinée à alimenter la ville d'Oruro située dans la zone centrale (COBEE 2010).

département de Pando, avec sa capitale Cobija, déconnecté du système et complètement exclu (AE 2010). En 2001, seulement 45,69% des foyers de ce département étaient raccordés à un réseau d'approvisionnement d'énergie électrique contre 65,73% dans le département de La Paz (INE 2001).

2.1.2 Caractéristiques générales de production

Depuis la réforme de 1995, la production électrique est morcelée en plusieurs entreprises et compagnies. Elles sont détentrices de concessions pour produire et sont réparties sur le SIN en respectant une certaine logique territoriale. Ainsi, la COBEE ne produit que sur le département de La Paz, sur les zones nord et centrale.

Considérant la nature de la production, on distingue deux principales origines de l'électricité en Bolivie : l'hydroélectricité et la thermoélectricité. La production hydroélectrique s'organise de deux manières différentes, selon le type de centrale et les caractéristiques hydrologiques de l'espace sur lequel elles sont installées :

- Les centrales dites « au fil de l'eau » : il s'agit généralement de centrales aux faibles puissances installées¹ qui fonctionnent grâce au courant d'un cours d'eau de taille moyenne, la plupart du temps créé artificiellement grâce à un lac de rétention d'eau en amont.
- Les centrales fonctionnant par rétention d'eau de type barrage : le principe est le même que dans le cas précédent à l'exception du fait qu'une rétention d'eau s'effectue ici sur un cours d'eau majeur afin de pouvoir mieux planifier la production en fonction de la demande. Le débit de l'eau délesté est ainsi fonction de la demande des espaces de consommation, gérée par les compagnies distributrices.

En ce qui concerne la production thermoélectrique, le principe est de produire de l'énergie électrique grâce à la chaleur issue de la combustion de matières premières. Les réserves de gaz naturel boliviennes sont telles que ce type de production est très présent dans le parc industriel de production électrique du pays. D'autre part, le fait qu'il ne soit pas nécessaire d'importer les ressources en hydrocarbure réduit les coûts de production pour les entreprises. Ainsi la Bolivie produit de l'énergie thermoélectrique de trois manières différentes : dans des centrales thermoélectriques fonctionnant au gaz naturel, au pétrole et par combustion de biomasse.

¹ Il s'agit de la somme des puissances installées des unités génératrices d'une centrale (Anuario AE 2008-2009).

Une répartition des espaces de production en fonction des divisions climatiques du pays

Cette diversité de la nature de la production est marquée géographiquement par la division climatique de la Bolivie. On peut distinguer trois zones climatiques aux caractéristiques différentes. Ces données s'avèrent essentielles pour la production de l'énergie.

La région andine, se caractérise par son climat froid et des altitudes très élevées (maximum de 6 542 m). Cette région est traversée par la cordillère des Andes formée de montagnes élevées et enneigées constituant une source fondamentale de ressource en eau. Ces ressources sont autant de sources d'alimentation pour les turbines des entreprises de production hydroélectrique parmi lesquelles :

- **Empresa Eléctrica Corani S.A (CORANI)** : l'entreprise CORANI possède neuf centrales hydroélectriques situées dans le département de Cochabamba comme la centrale Corani.
- **Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (COBEE)** : la COBEE opère dans le département de La Paz avec un total de trente unités hydroélectriques et deux unités thermoélectriques correspondant à quatorze centrales hydroélectriques et une centrale thermoélectrique. Parmi les centrales hydroélectriques, dix se situent dans la vallée Zongo, au nord-est de la ville de La Paz. Les quatre autres se situent dans la vallée Miguillas.
- **Hidroeléctrica Boliviana S.A. (HB)** : HB possède quatre unités de production également situées dans le département de La Paz, et réparties dans les centrales de Chojlla et Yanacachi. Il s'agit des centrales hydroélectriques les plus importantes du pays avec 38,4 et 51,1 MW de puissance installée.
- **Empresa Rio Eléctrico S.A. (ERESA)** : Elle opère sur le SIN avec sept unités de production hydroélectrique dans les centrales de Kiplani, Landara et Punutuma situées dans le département de Potosi.
- **Sociedad Industrial Energética y Comercial Andina S.A. (SYNERGIA)** : SYNERGIA opère dans la centrale Kanata avec une unité de production hydroélectrique grâce à l'apport des ressources hydriques de la cordillère de Tunari dans le département de Cochabamba.
- **Servicios de Desarrollo de Bolivia S.A. (SDB)** : depuis le 1^{er} octobre 2007, SDB opère avec la centrale hydroélectrique de Quehata (deux unités de production) situées sur la rivière Ayopaya (département d'Oruro).

La région des grandes vallées se caractérise quand à elle par son climat tropical, de basse altitude et ses abondantes ressources en hydrocarbures (gaz naturel et dérivés du pétrole) qui fournissent aux centrales thermiques un apport constant et important en matière première combustible.

- **Empresa Eléctrica Guaracachi (EGSA) :**L'entreprise EGSA opère avec vingt-trois unités de production réparties dans les centrales Guaracachi (près de Santa Cruz avec sept unités), Santa Cruz (deux unités), Aranjuez (à Sucre avec treize unités) et Karachipampa (à Potosi, avec une unité).
- **Empresa Eléctrica Valle Hermoso S.A (EVH) :**L'entreprise EVH possède six unités thermoélectriques dans les centrales Carasco et Valle Hermoso dans le département de Cochabamba.
- **Compañía Eléctrica Central Bulo-Bulo S.A. (CECBB) :**CECBB opère avec deux unités de production dans la centrale Bulo-Bulo (département de Cochabamba).

Enfin, dans la zone des Llanos il y a également des entreprises qui utilisent d'autres sources d'approvisionnement, telle que la biomasse.

- **GuabiráEnergía S.A. (GE) :** Elle opère avec une unité de production thermoélectrique à Montero (département de Santa Cruz) de 21 MW. C'est la première entreprise du SIN à utiliser la biomasse comme combustible dans ses centrales.

L'étude des différentes capacités des entreprises et leur situation géographique est nécessaire afin d'analyser par la suite à l'échelle de La Paz quelles sont les disponibilités d'énergie au niveau national, l'interconnexion signifiant, en théorie, la disponibilité de toute la production sur tout le SIN.

Dans les systèmes isolés, l'électricité est produite par des entreprises et des coopératives à l'échelle locale telles qu'ENDE et Servicio Eléctricos Tarija S.A (SETAR) (AE 2009).

En plus de ces entreprises, il existe en Bolivie des coopératives et des auto-producteurs qui couvrent les besoins en électricité de leurs populations et industries avec des moyens qui leur sont propre. En effet, le taux de couverture électrique du pays étant particulièrement bas (69,26%) (INE 2001), il s'agit d'un moyen nécessaire afin d'approvisionner certaines parties du territoire bolivien.

La capacité installée du SIN durant les années 2008 et 2009 était de 1284,8 MW pour une demande maximale de 939,3 MW. On constate une marge de possibilité de perte montrant une

relative capacité de la production à répondre aux demandes de consommation des Boliviens. Ces données ne comprennent pas les centrales qui ne fonctionnent que durant une partie de l'année. La somme des générations brutes¹ des centrales du SIN était en 2009 de 5634,5 GWh, ce qui correspondait à 92,1% de l'énergie totale produite en Bolivie². Par rapport à l'année 2008, il s'agit d'une évolution de 4,9% (AE 2009).

2.1.3 Répartition spatiale de la production nationale

Concernant la répartition de la nature de la production, 44% correspondent à de l'hydroélectricité et 56% à de la thermoélectricité. Les centrales thermiques sont beaucoup plus rentables en Bolivie dans la mesure où les projets sont subventionnés par l'Etat à travers la subvention du gaz national³. D'autre part, la construction d'une centrale thermique est beaucoup plus simple et rapide que celle d'une centrale hydroélectrique. Cependant, contrairement au cas français, il n'y a aucune taxe ni droit d'accès à l'eau qu'utilisent les entreprises. Ainsi l'énergie hydroélectrique est moins cher que la thermique, mais les centrales ont un taux de productivité nettement inférieur (AE 2010).

Dans le cas de La Paz (zone nord), il y a beaucoup plus de production hydroélectrique que thermoélectrique. La balance s'inverse cependant dans les trois autres zones du SIN (Figure n°9). La zone orientale, qui est la deuxième zone la plus productrice après la zone centrale, ne dispose par exemple que de centrales thermoélectriques (Figure n°9). On voit ainsi que dans la zone centrale, la production thermoélectrique est nettement supérieure à l'hydroélectrique malgré une puissance effective de 178,50 MW produite par hydroélectricité. Il s'agit de la zone la plus productrice, se situant par ailleurs au centre du SIN, espace géographiquement stratégique puisqu'elle peut de cette manière répondre à des demandes extérieures à sa zone plus facilement que la zone orientale. La zone sud-est la moins productrice du système avec seulement 76,30 MW de puissance effective ce qui représente 6% du total de la production du SIN (Figure n°9).

¹ Il s'agit de la production d'électricité mesurée à la sortie des unités de génération.

² Les 7,9% restant sont produit dans les systèmes isolés du SIN.

³ Le processus de nationalisation des ressources hydrocarbures boliviennes ; initié en 2005 sous la présidence de Carlos Mesa, a été approfondi sous celle d'Evo Morales en 2006 en récupérant l'ensemble des réserves gazières du pays et en renforçant les taxes sur la production de gaz (PERRIER-BRUSLE 2007).

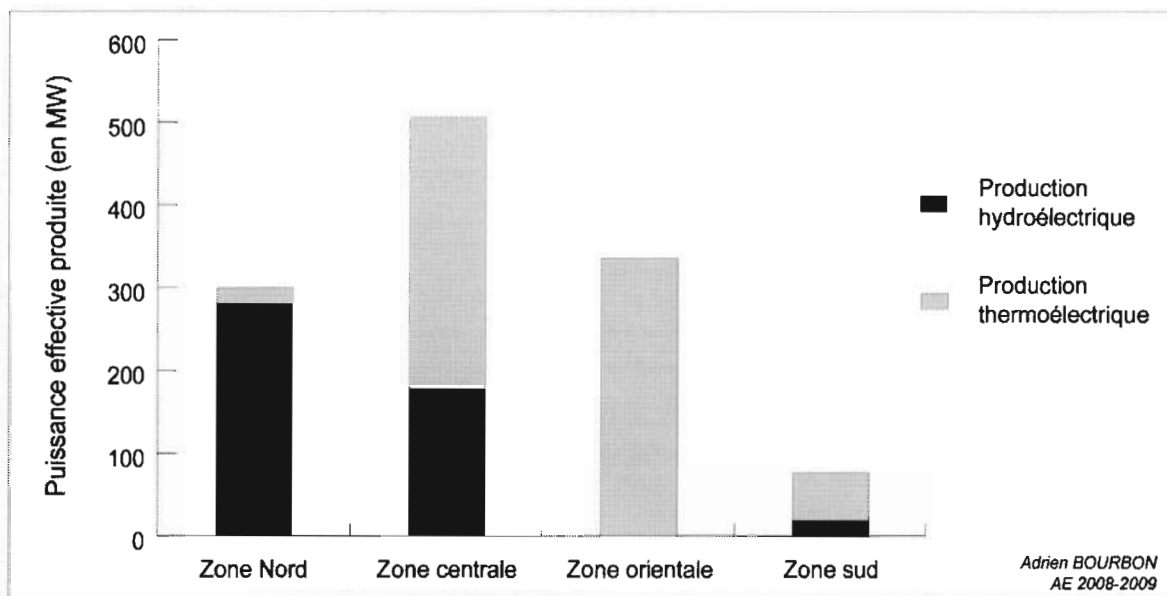


Figure 9: Nature de la production selon les zones du SIN

L'intérêt d'étudier l'évolution de la production hydroélectrique au cours d'une année est de voir quel est le comportement de cette production durant la période d'été. En effet, on constate de manière générale une importante fluctuation annuelle de la production hydroélectrique (Figure n°10). Ces données nous permettent de constater que la courbe de production mensuelle varie de manière beaucoup plus significative pour ces centrales que pour les thermoélectriques, ces dernières étant beaucoup plus stables tout au long de l'année (Figure n°10). D'une manière générale, les centrales hydroélectriques produisent moins en saison d'été, les mois les plus secs étant les mois de juin et juillet (Figure n°10). Pour les centrales de Santa Isabel et de Corani (zone centrale), la baisse de production se situe entre les mois de janvier et mars tandis que celle de la zone nord, que nous verrons plus en détail ultérieurement, la période de creux de la production se situe entre avril et novembre.

D'autres facteurs sont à prendre en considération afin de comprendre l'évolution de la production notamment des centrales du groupe de production Zongo. On constate que le mois où la production est la plus basse n'est pas juin mais septembre. Cela s'explique notamment par l'apport en eau de la fonte des neiges du Huayna Potosi et des autres montagnes enneigées de la vallée Zongo. Les centrales hydroélectriques de la zone centrale connaissent moins ces fluctuations saisonnières de production dans la mesure où elles sont de type barrage. Les réserves en eau sont donc suffisamment importantes pour produire de manière plus stable (Figure n°10).

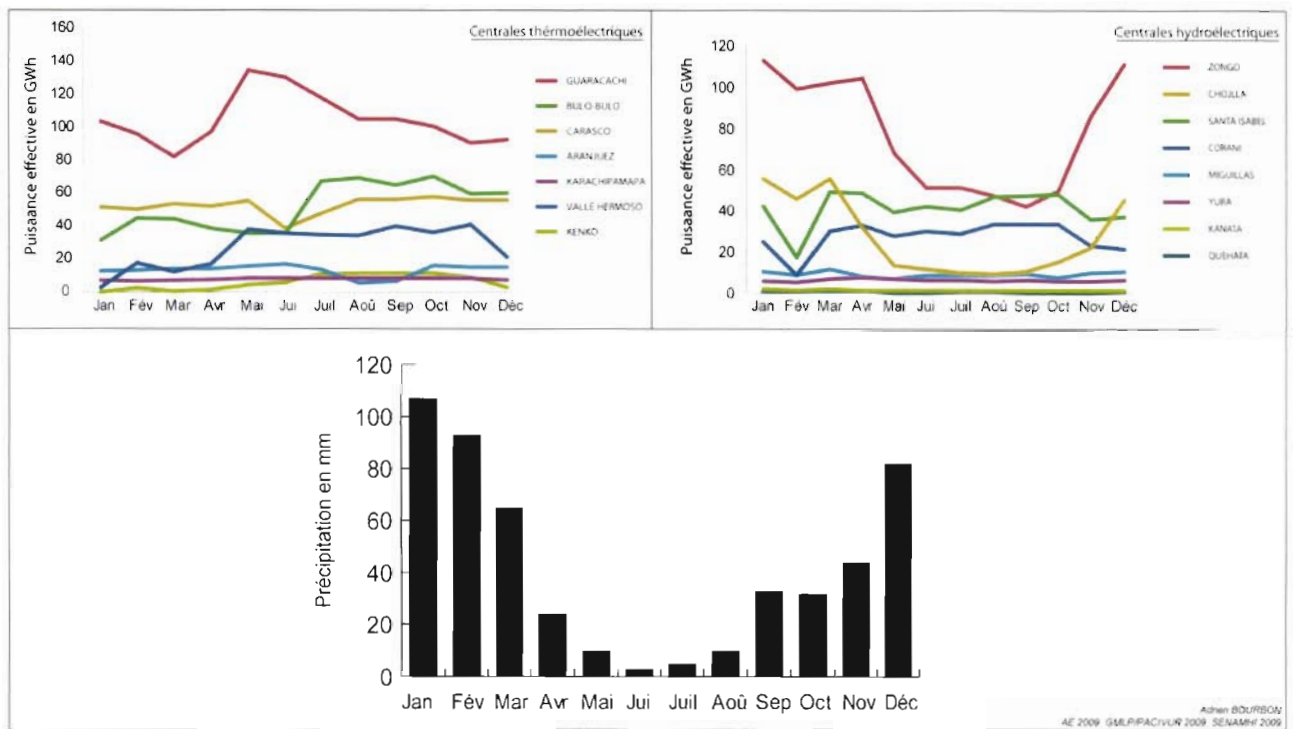


Figure 10: Evolution annuelle de la production.

Concernant les centrales thermoélectriques, leur production varie également au cours de l'année. Cependant, cette variation est davantage due à une adaptation de la production qu'aux baisses naturelles de la production hydroélectrique. Ainsi la production déficitaire de la zone nord est rattrapée par cet ajustement de la production de la zone centrale notamment (Figure n°10).

S'il y a une égalité parfaite quant au nombre de centrales des deux grands types de production présents sur le SIN, une disparité relativement importante existe entre leur puissances générées. 638 MW sont produits dans des centrales thermoélectriques contre seulement 303 MW pour l'énergie hydroélectrique (Figures n°10-11). La puissance installée, la capacité maximum de ce qu'une centrale peut produire (puissance maximale) était en 2009, sur tout le SIN, de 1524,2 MW. A partir de cette puissance, il faut prendre en considération les facteurs de perte d'énergie parmi lesquelles, l'altitude (facteur très important pour certaines centrales telle que celle de Kenko située à 4050m), la température et la pression. Les centrales thermoélectriques sont plus sensibles à tous ces facteurs de déperdition d'énergie (AE 2010). Pour tenter de remédier à ce facteur topographique, l'isolation dans la centrale doit être plus importante, avec des isolateurs de plus grande taille (AE 2009).

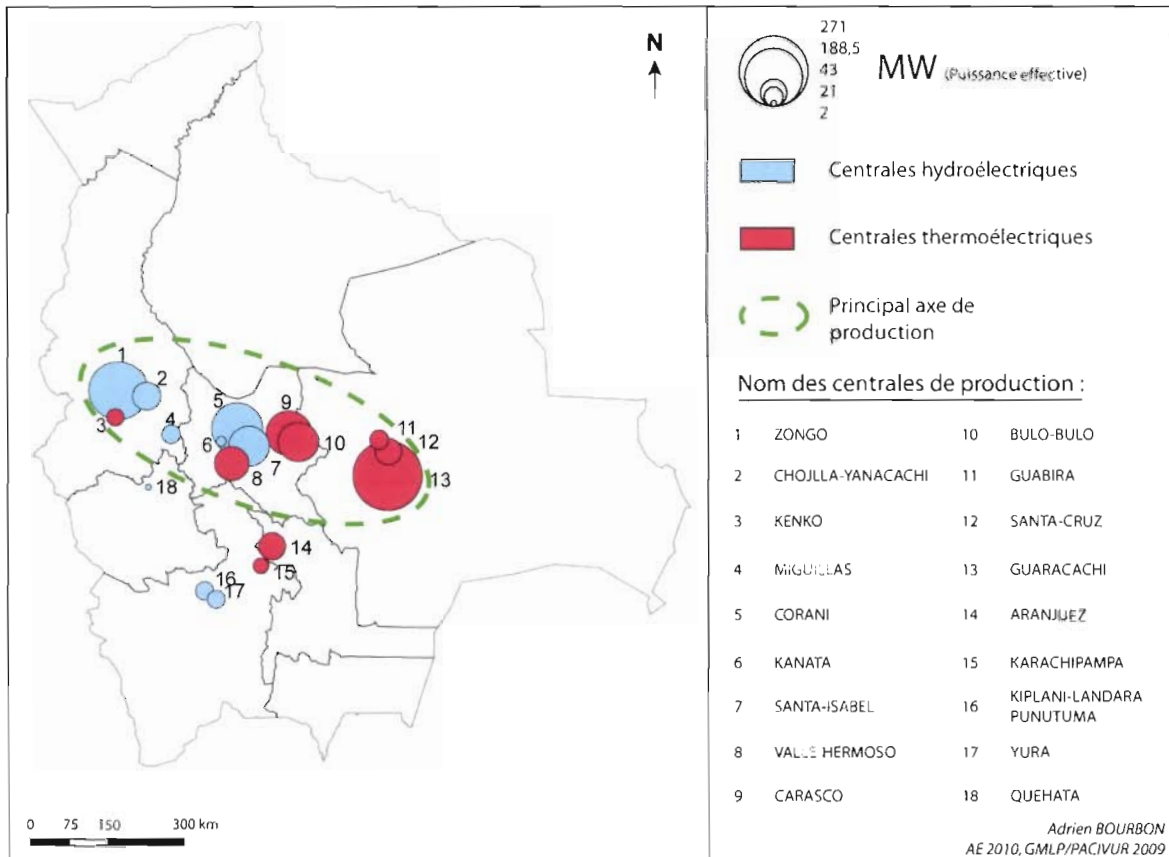


Figure 11: La production au sein du SIN

L'essentiel de la production se situe dans trois des six départements du SIN que sont La Paz, Cochabamba et Santa Cruz. On peut ainsi déterminer un axe de production partant de La Paz et de la vallée Zongo, qui passe par le département de Cochabamba et qui va jusqu'à Santa Cruz et ses trois groupes de production thermoélectriques (Figure n°11). Le département d'Oruro, faisant partie de la zone centrale, la plus productrice d'électricité, n'abrite sur son territoire qu'une centrale, celle de Quehata. Elle ne génère que 2,0 MW tandis que 522,2 MW sont produits sur le département de Cochabamba, l'autre département de cette zone.

2.2 Transport et distribution : une interconnexion à l'échelle nationale nécessaire à l'approvisionnement des grands espaces de consommation.

2.2.1 Le transport de l'électricité en Bolivie, entre SIN et STI

Les quatre zones du SIN sont interconnectées au niveau de la production et du transport de l'électricité dans un autre système qu'est le STI. Le SIN correspond à l'ensemble du système depuis la production jusqu'à la distribution, tandis que le STI correspond à ce que l'on pourrait nommer le tronc du réseau (AE 2010). Il s'agit de l'essentiel du système qui est interconnecté, à savoir les principales centrales de production et les lignes de haute tension (230 et 115 kV) incluant les postes de transformation liés afin de pouvoir transmettre l'énergie d'un point à un autre du SIN (Figure n°12). L'objectif avec le STI est de permettre à une zone du SIN, déficitaire dans sa production, en raison d'une baisse naturelle de la production (saison d'étiage) ou d'une défaillance sur la zone, de pouvoir être alimentée grâce aux autres zones. Toutes ces dispositions sont prises au niveau national par les organes de régulation du système afin de garantir la nécessaire solidarité énergétique entre les différentes zones du SIN (RTE 2003).

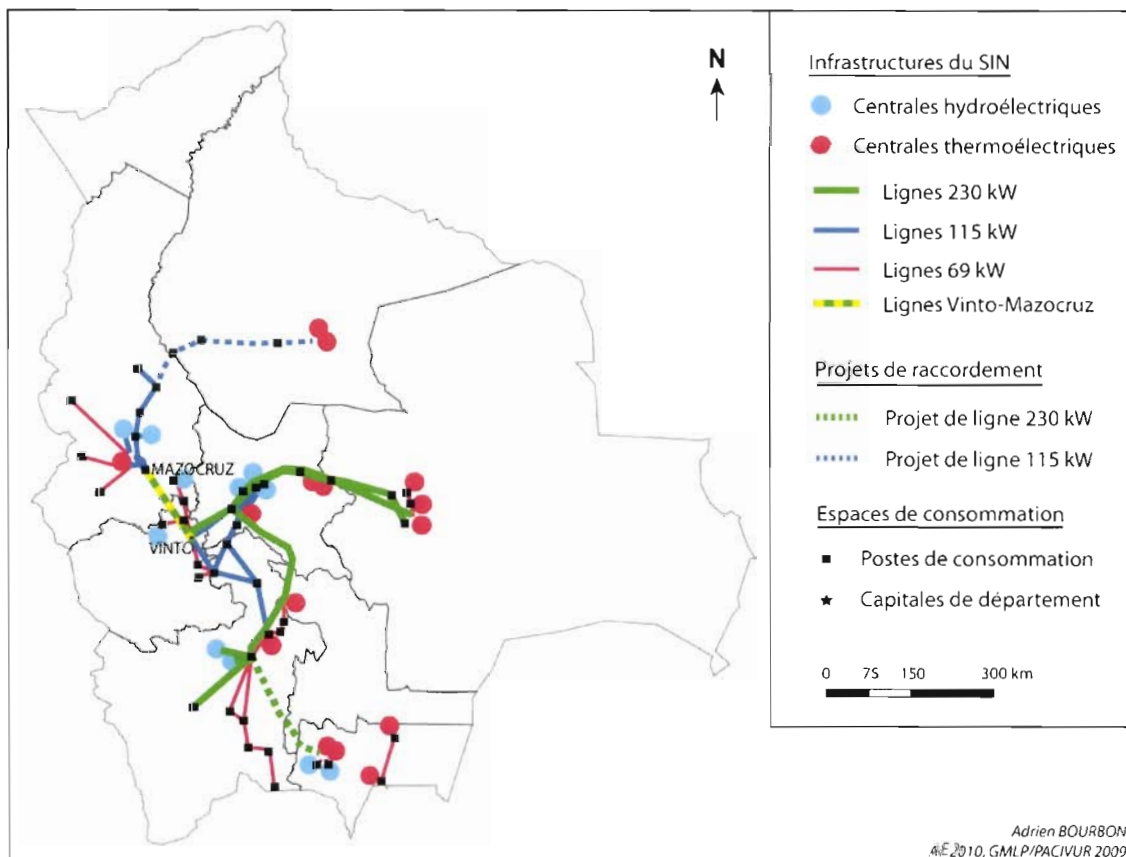


Figure 12: Le réseau de transport à l'échelle du SIN

Les réseaux de transport du SIN et du STI permettent aux centrales du système de pouvoir injecter leur production à destination des principaux espaces de consommation des six départements reliés entre eux. On distingue trois niveaux de tension sur le STI :

- La très haute tension (230 kV) dont le rôle principal est de transporter l'électricité sur de très longues distances. Elle passe par tous les départements du SIN en suivant les principaux axes de transport. Cela permet entre autre une mobilisation des entreprises gestionnaires des lignes en cas de défaillance importante sur les lignes (Figure n°12).
- La haute tension (130 kV) est la tension principalement utilisée à la sortie des centrales avant la transformation en très haute tension pour le transport, ou en moyenne tension pour la distribution. Elle est également présente autour des centres de distribution tels que les capitales de département afin de les alimenter en divers points. Elles constituent le deuxième niveau de haute tension sur le SIN, reliant principalement les espaces de consommation se trouvant à des distances relativement longues, nécessitant donc un maintien de la tension au plus haut pour minimiser les pertes. De la même manière, elles permettent de dédoubler les arrivées ou les départs d'électricité : on voit ainsi que le département de Potosi est relié au SIN par la ligne de très haute tension venant de Cochabamba et la ligne de haute tension venant d'Oruro (Figure n°12).
- Moyenne tension : c'est la tension utilisée pour la distribution. Ces lignes ne font pas partie du STI. Elles sont principalement destinées à évacuer la production des centrales vers les postes de transformation qui élèvent la tension pour le transport. Elles ont également pour fonction d'alimenter des espaces de consommation situés en périphérie des principaux espaces de consommation (Figure n°12).

Toutes les capitales de département du SIN sont directement connectées au STI afin d'alimenter les villes, mais aussi d'évacuer leur excédents de production. Seule La Paz n'est connectée au STI qu'à 10 km au sud de la ville (Figure n°12). On constate par ailleurs que les principales villes du pays ne sont connectées au STI que par une ou deux lignes. De cette manière, les alternatives d'approvisionnement se trouvent relativement limitées, rendant certaines capitales de département particulièrement vulnérables à une défaillance sur le SIN.

2.2.2 L'organisation de la distribution de l'énergie électrique au sein du *Mercado Eléctrico Mayorista*

La partie économique du SIN s'organise autour du *Mercado Eléctrico Mayorista* (MEM). Il s'agit du marché dans lequel se concentrent génération, transport et distribution. Dans ce marché se négocient la vente, l'achat et le transport de l'électricité. Ainsi, les entreprises distributrices achètent¹ l'électricité dans certains postes de transformation, qui marquent de cette manière le passage de la gestion des entreprises de production ou de transport à celles de distribution. Le marché interconnecté se situe quant à lui au niveau du STI où se réalisent les échanges au niveau des nœuds d'injection ou de retrait pour l'import et l'export d'électricité. Le but est de satisfaire la demande à un prix minimal tout en assurant un service sûr.

Caractéristiques de la demande d'électricité en Bolivie

Les compagnies de distribution distribuent l'électricité auprès des différents consommateurs². Le marché se fait au niveau des postes sources c'est-à-dire les postes de transformation qui réduisent la tension destinée à la distribution. Les principaux distributeurs du pays sont :

- **Cooperativa Rural de Electricidad Ltda. (CRE):** distributeur de Santa Cruz.
- **Electricidad de La Paz S.A.: (ELECTROPAZ):** distributeur de La Paz.
- **Empresa de Luz y Fuerza Eléctrica Cochabamba S.A.(ELFEC):** distributeur de Cochabamba.
- **Empresa de Luz y Fuerza Eléctrica Oruro S.A. (ELFEO):** distributeur d'Oruro.
- **Servicios Eléctricos Potosí S.A. (SEPSA):** distributeur de Potosi.
- **Compañía Eléctrica Sucre S.A. (CESSA) :** distributeur de Sucre.

Nous ne considérons ici que les entreprises distribuant de très grandes quantités d'énergie électrique, c'est-à-dire principalement vers les villes. De nombreuses autres entreprises opèrent, notamment en milieu rural sous un statut de coopératives ou d'entreprises municipales. D'autres entreprises privées distribuent en milieu rural tel qu'EMPRELPAZ, dans le département de La Paz. Toutes ces compagnies sont connectées au SIN. Celles qui ne le sont pas et qui distribuent

¹ Le prix est fixé par l'énergie thermoélectrique en fonction des coûts de production et de transport.

² La différenciation entre consommateurs est fonction de leur consommation et de la tension dont ils ont besoin. Ainsi, une usine sera connectée aux réseaux de distribution en moyenne tension au lieu de la basse tension, qui est la tension destinée à la catégorie de consommateurs résidentiels.

dans les systèmes isolées sont : SETAR, ENDE-Cobija et la *Compañía de Servicios Eléctricos S.A.* (COSERELEC).

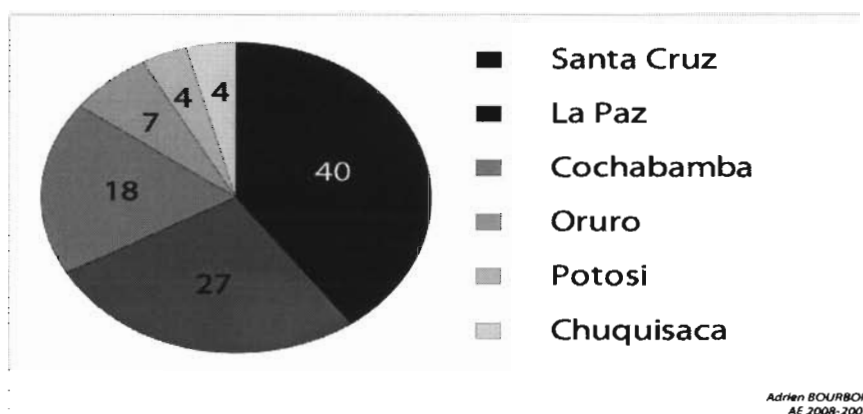


Figure 13: Part des ventes d'électricité selon les principales villes consommatrices.

En 2008, les ventes d'électricité effectuées par les entreprises distributrices ont atteint 4.358, 74 GWh sur les différentes capitales de département (Figure n°13). Entre les années 2008 et 2009, la demande gérée par les entreprises du SIN a atteint les 4644,26 GWh tandis que celle des systèmes isolés ne représentait que 978,27 GWh. Cette différenciation résulte à la fois d'une demande différente entre les espaces et par une très faible capacité de production dans ces zones.

La distribution est réglementée par la loi de l'électricité de 1994. Elle accorde à chaque compagnie une concession géographique sur laquelle elle est tenue de desservir les abonnés. C'est dans cette concession que s'organise le marché de la vente au détail de l'électricité. Dans le cas de La Paz, c'est ELECTROPAZ qui distribue sur le territoire métropolitain. La concession lui ayant été accordée en 1995, cette compagnie reprend ainsi la gestion de la COBEE pour la distribution de la ville (AE 2009).

2.3 Les organes de régulation du système

2.3.1 L'organisation de la régulation du SIN : les acteurs et moyens de communications entre l'Etat et les entreprises privées

La gestion du secteur de l'électricité au niveau de l'Etat se fait au travers du ministère des hydrocarbures et de l'énergie au sein du Vice Ministère de l'Electricité et des Energies

Alternatives (VMEEA). Les deux principaux organes de régulations que sont l'AE et le CNDC¹ dépendent directement de ce ministère et vice ministère.

L'AE a pour rôle de fiscaliser, contrôler, superviser et réguler le secteur de l'électricité selon les règles établies par la loi de l'électricité. L'aspect social du rôle de cet organe se situe principalement dans la défense des intérêts des consommateurs d'énergie de tout le pays. On parle, dans le contexte des gouvernements Morales, d' « énergie sociale ». La politique de l'AE entend étendre le service à tous les Boliviens, et particulièrement l'éclairage, dans tous les foyers puisque nous avons vu que c'est principalement à cet usage que les foyers des classes les plus populaires de la société utilisent l'électricité.

Le CNDC, l'autre organe de régulation, est l'entité responsable de la maintenance du SIN et de l'administration du MEM². Il est organisé en un comité de représentants et une coordination opérative, laquelle est chargée des opérations sur le SIN afin de s'assurer du respect des normes imposées aux entreprises. Les ingénieurs travaillant dans les centrales sont constamment en communication avec le CNDC, afin de répondre aux directives du Comité qui indique les flux à respecter tel que l'augmentation ou la baisse de la production (COBEE 2010). De la même manière lors d'une panne sur le réseau, avant toute opération des ingénieurs, ils doivent récupérer les directives des ingénieurs du CNDC dans un souci d'homogénéisation des opérations de l'ensemble des centrales du SIN (AE 2010, COBEE 2010). Ainsi, depuis La Paz où est installé le SCADA³ pour la production, les ingénieurs du CNDC donnent des directives à ceux des centrales pour baisser ou augmenter la production. De la même manière toutes les anomalies sont envoyées sous forme de rapport au CNDC. Les moyens de communications entre la COBEE et le CNDC sont le téléphone et la radio. Ce dernier point est fondamental pour évaluer par la suite quelles sont leurs alternatives de communication en cas de panne. La partie opérative du CNDC réalise les fonctions suivantes :

- Planification des opérations sur plusieurs temps : tous les 4 ans, semestriels, hebdomadaires et quotidiens. Toutes ces programmations s'élaborent en fonction des informations de l'offre et de la demande communiquées par les entreprises du SIN afin de permettre une gestion

¹ Comité national de répartition de charge.

² Les frais de gestion du comité sont assurés par les agents du MEM à savoir les entreprises, sur la base d'un impôt annuel. Le comité national est aussi chargé de soumettre tous les six mois à l'AE des propositions de prix de base pour la production d'électricité (OED 1999).

³ *Supervisory Control And Data Acquisition*. Il s'agit du système de supervision et coordination en temps réel grâce à des postes de contrôle situés à Cochabamba pour ce qui est de l'ensemble du SIN et à La Paz pour la production uniquement (AE 2010, COBEE 2010).

adaptée du système. Le CNDC, pour répondre à la demande d'électricité, se fonde sur ces calculs afin de programmer, au niveau des centrales de production, quels seront les territoires qui vont nécessiter d'importer de l'énergie (La Paz durant la saison d'été) et quels seront ceux qui vont pouvoir en exporter (La Paz en saison pluviale)¹.

- Prise de décision concernant la répartition de charge sur le SIN. Possédant les caractéristiques de chaque centrale, il s'agit de prendre en compte les facteurs de disponibilité de la production et de la transmission pour couvrir les pics de demande.
- Tarification : il s'agit du calcul des prix de l'électricité sur douze mois fondé sur la première programmation (tous les quatre ans). Par la suite les tarifs sont présentés à l'AE.
- Administration du MEM : ce sont toutes les opérations des activités du MEM comme les projets d'installation et de rénovation des infrastructures. De la même manière, il s'agit pour le CNDC d'émettre les normes opératives visant à réguler le SIN que toutes les entreprises doivent impérativement suivre.
- Planification de l'extension du SIN : le CNDC et l'AE au sein du ministère des hydrocarbures et de l'énergie participent avec les entreprises à la planification de projets visant à étendre le service à l'échelle nationale.

2.3.2 Un cahier des charges complet mais difficile à respecter

Les coupures d'électricité sont enregistrées par le CNDC au niveau national qui par la suite, exige des entreprises gestionnaires un compte rendu précis des causes de la panne, ainsi que l'élément précisément touché². Ces données sont ensuite transmises et centralisées à l'AE (AE 2010).

De manière structurelle, pour communiquer entre eux et ainsi tenter de remédier à une faille dans le réseau le plus rapidement possible, les gestionnaires et régulateurs du SIN utilisent les lignes de télécommunication et le système SCADA, qui est un système opérateur permettant de suivre le

¹ La consommation d'électricité sur un territoire donné n'étant pas une valeur sûre, il importe aux gestionnaires de connaître avec le plus de précisions possibles quelle quantité d'électricité ils vont devoir produire, transporter et distribuer. En Bolivie, le marché n'étant pas très important, les données programmées qui sont des probabilités varient peu des données réelles de demande contrairement à d'autres pays où le marché est nettement plus important et le système interconnecté beaucoup plus vaste comme en Europe et en Amérique du Nord (AE 2010, R&D-EDF 2010).

² En ce qui concerne les entreprises, celles du transport telles que la Transportadora De Electricidad (TDE), sont responsables de leurs infrastructures, de leur bon fonctionnement, de leur entretien et des réparations en cas de défaillance. Afin de répondre à l'indice de qualité établi par l'AE, la compagnie doit répondre à des normes suivant certains facteurs tels que la fréquence des déconnexions des composants de transport et la durée moyenne des déconnexions d'un composant de transport.

Pour la distribution, il s'agit de répondre à une bonne qualité des produits techniques : niveau de tension et déséquilibres de tension, perturbations, interférences avec le réseau de télécommunication, fréquences et durée des interruptions, qualité du service commercial, réponse aux réclamations des consommateurs, attention aux consommateurs.

système en temps réel et d'identifier dans le même temps des éventuelles failles. Toutes les compagnies étant reliées à ce système, le CNDC donne immédiatement les indications nécessaires au rétablissement de la tension perdue en suivant la norme opérative établie par le CNDC et validée par l'AE (AE 2009-2010).

Les entreprises sont tenues de rendre des comptes quant à la gestion de leur concession dans le but d'assurer un service de qualité sur le SIN. Cependant, la communication est très difficile entre l'Etat et les entreprises privées, celles-ci n'étant dans les faits tenues à aucun contrôle sur leur agissement. Ainsi, pour cette étude nous avons contacté les divers organes de régulation du système, ainsi que les deux entreprises productrices COBEE et HB. Cependant, ELECTROPAZ, l'entreprise distributrice, a refusé de nous fournir des données. L'intervention de l'AE afin de récupérer des informations sur la distribution, nécessaires à ce travail n'a en aucun cas changé le refus de l'entreprise de coopérer.

Il apparait donc que les entreprises distributrices sont les plus difficiles à réguler et à contrôler dans la mesure où les réseaux de distributions sont très complexes et que les moyens de l'AE sont très limités (AE 2010). Suite à l'élection d'Evo Morales en 2005, dans le cadre des changements de gouvernance invoqués dans les secteurs clés du pays, des réunions avaient été programmées visant à établir une gestion plus intégrée et moins fractionnée de l'approvisionnement électrique à l'échelle des zones du SIN. Les difficultés de communication entre les différents acteurs, ainsi qu'un manque de volonté manifeste de participer à ces changements structurels de la part des entreprises ont fait que pour la zone nord, la réunion ne s'est fait qu'en juillet 2010, soit cinq ans après sa programmation.

Le SIN structure donc l'approvisionnement en énergie électrique de la Bolivie à l'échelle nationale. Notre étude portant uniquement sur la vulnérabilité de la métropole de La Paz en la matière, il importe de garder à l'esprit les mécanismes d'interdépendance entre les zones du système, tout comme les disponibilités d'énergie, tant en terme spatial qu'en terme de temporalité. En effet, ils participent à la vulnérabilité de l'approvisionnement en énergie électrique de la métropole.

3. Le système d'approvisionnement électrique de La Paz : caractéristiques et vulnérabilités

Après avoir analysé de quelle manière sont organisés production, transport et distribution au sein du Système Interconnecté National, nous allons voir dans ce chapitre comment est connectée la ville de La Paz à ce système. Il s'agit d'étudier quels sont les éléments qui permettent à la métropole de La Paz d'être approvisionnée de manière constante et suffisante afin de pouvoir remplir les fonctions fondamentales qui sont celles d'une ville de cette envergure, à savoir politique, économique et sociale. Nous verrons donc dans cette partie quelles sont les éléments essentiels du système d'approvisionnement de La Paz.

3.1 Les infrastructures de production destinée à La Paz et leurs vulnérabilités

3.1.1 Les lieux de production de l'énergie électrique de la zone nord

Si production, transport et distribution opèrent au niveau national, dans la zone nord, centrée sur La Paz, ce système comporte également des organes de production propres, ainsi que des structures de transport et des infrastructures de distribution destinées principalement à approvisionner le territoire métropolitain (COBEE 2010).

L'identification et l'analyse des éléments qui permettent cet approvisionnement se divisent en deux temps. Il s'agit tout d'abord de spatialiser les éléments des différents acteurs du système afin d'analyser où se produit l'énergie pour La Paz, par où elle est transportée et enfin, où elle est transformée et distribuée. Dans un deuxième temps, nous allons étudier comment s'organise l'activité pour chacun de ces acteurs afin d'identifier les éléments essentiels. Par exemple, pour une centrale hydroélectrique, nous verrons comment elle est alimentée en eau (prise d'eau), élément fondamental à son bon fonctionnement et les éléments qui lui permettent de générer de l'énergie comme les turbines.

Dans la zone nord, la production est assurée par les deux entreprises privées COBEE et HB qui produisent respectivement 70 et 30% de la production de cette zone (AE, 2009). Cette production est essentiellement de nature hydroélectrique avec seulement une centrale thermoélectrique, celle de Kenko (COBEE 2010).

3.1.2 Les centrales des vallées Zongo et Taquesi.

Les centrales hydroélectriques de la COBEE sont situées dans la Vallée Zongo, dans le *macrodistrito* rural du même nom. Elles sont organisées en cascades¹ (alimentées par la rivière Zongo) mais sont indépendantes les unes des autres. De cette manière, si une centrale souffre de dommages structurels, cela n'engendre aucune répercussion sur les autres (COBEE 2010). Cependant, la perte d'une centrale du groupe de production Zongo engendrerait une perte de production et donc d'alimentation de La Paz. Si la centrale Huaji (Figure n°14), la plus importante du groupe Zongo en termes de puissance effective produite, venait à être affectée par un quelconque dommage qui paralyserait sa production, cela engendrerait une perte de 17% de la production des centrales Zongo soit 10,3% du total de la production de la zone.

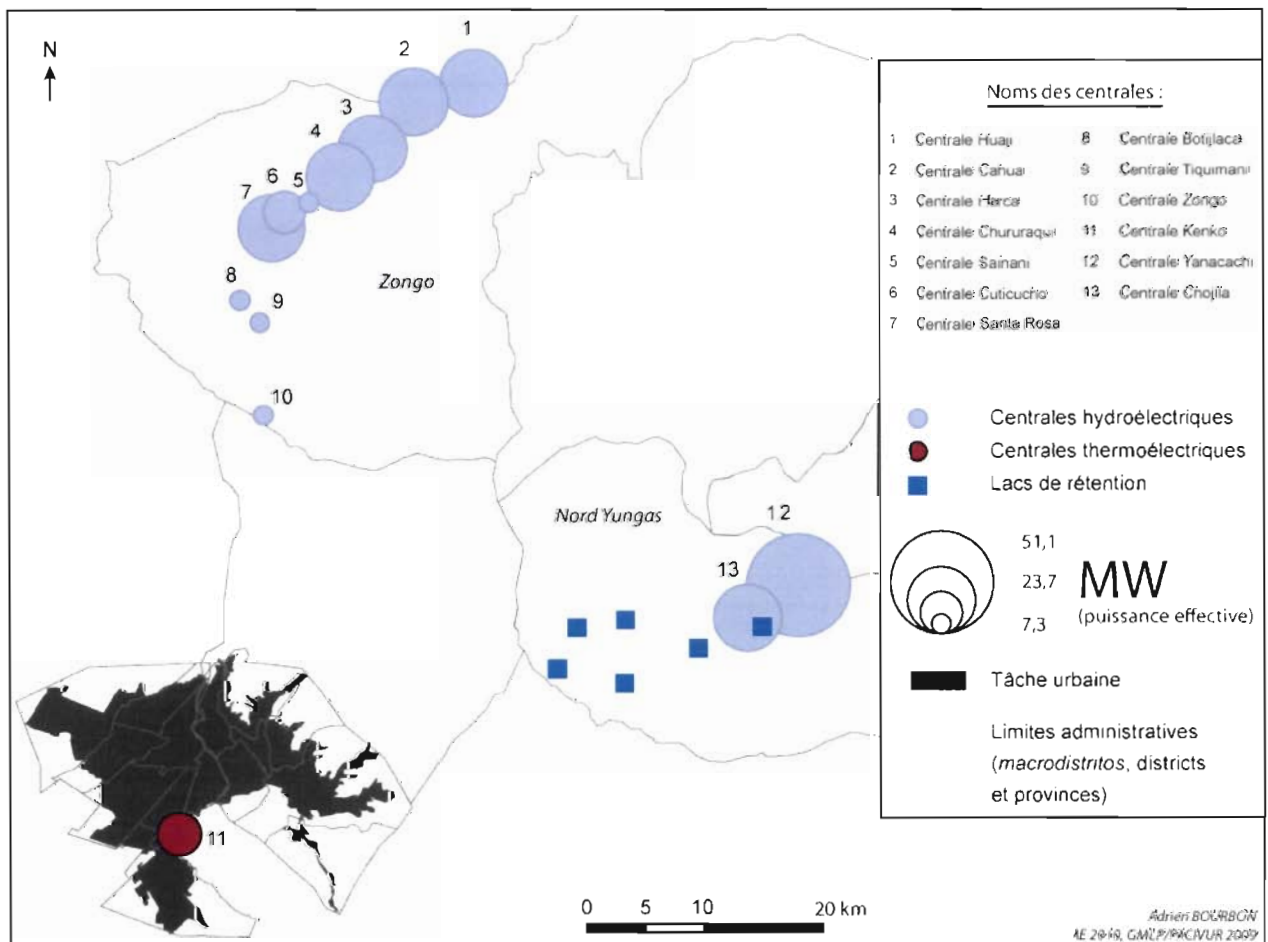


Figure 14: Caractéristiques de production de la zone nord

¹ Ces centrales sont toutes situées d'amont en aval de la vallée.

L'identification des éléments des centrales de la vallée Zongo

L'eau destinée à alimenter les centrales de la vallée provient des pluies en saison pluviale et de la fonte des neiges des montagnes des environs en saison d'été. Cette eau est captée et conduite dans des lacs de rétention d'eau par le biais de canaux et ensuite stockée une nouvelle fois dans des bassins de rétention qui servent à contrôler le débit d'arrivée d'eau dans les turbines pour baisser ou augmenter la production¹. Il s'agit de récupérer l'eau en amont des différents cours d'eau afin de permettre aux turbines de fonctionner. Par la suite, l'eau utilisée par les turbines d'une centrale est à son tour stockée dans des bassins de rétention pour alimenter les centrales suivantes. Les canaux, lacs de rétentions et bassins de rétention doivent donc être entretenus et surveillés par les ingénieurs du génie civile de la COBEE car en cas de perte d'un de ces éléments les conséquences sur toutes les centrales peuvent être très importantes (AE 2010, COBEE 2010).

Les prises d'eau constituent à l'échelle d'une centrale un élément extrêmement important dans la mesure où elles permettent de l'alimenter. En termes d'approvisionnement en eau, la vulnérabilité intrinsèque des centrales apparaît donc comme relativement moyenne puisque chaque centrale est alimentée par plusieurs cours d'eau. La rivière Zongo alimente toute les centrales, mais dans chaque site, des affluents viennent renforcer son débit. Il s'agit principalement de rivières torrentielles et de lacs. C'est la raison pour laquelle les deux plus importantes centrales du groupe de production (Harca et Huaji) sont situées en aval (Figure n°14). Les tuyaux semblent plus sensibles car constamment soumis à une très forte pression pouvant en rompre les joints. Pour cela, ils sont régulièrement surveillés par les techniciens des sites qui opèrent des contrôles mensuels et annuels afin d'évaluer leur usure et leur vétusté. De la même manière, les canaux connaissent beaucoup de problèmes avec le temps en raison de leur forte exposition aux intempéries.

Les turbines, autre élément de la production de la vallée Zongo, sont fabriquées en Allemagne. Elles arrivent à La Paz par Buenos Aires puis Santa Cruz. Cependant, chaque centrale possède plusieurs turbines de rechange en cas de détérioration trop importante (cf. Annexe n°19). Les différents éléments présents dans l'eau, aussi infimes soient-ils, abiment les cuillères des turbines au cours du temps à cause de la très forte pression de l'eau. Elles sont donc également contrôlées tous les trois mois afin de les réparer ou de les remplacer. De la même manière, l'huile nécessaire

¹ La centrale Cuticucho (Figure n°...) possède par exemple deux tuyaux d'arrivée d'eau, un pour quatre turbines correspondant à quatre unités de génération (capacité installée entre 1,8 et 2,7 MW), et l'autre à une seule unité à la capacité installée de 14,5 MW.

pour faire tourner les machines est contrôlée mais ne se change en moyenne que tous les quatre ans (COBEE 2010).

Les turbines sont très sensibles aux moindres petits éléments solides tels que des graviers ou des déchets. Il est donc primordial pour les employés de la COBEE de surveiller la rivière et ses alentours afin que personne ne vienne jeter quoi que ce soit dans la rivière. C'est pour cela qu'un système de contrôle de la rivière et des entrées de la vallée est effectué par l'ensemble des employés de la COBEE et la Police bolivienne (COBEE 2010).

Les centrales n'ont pas de dispositif de sécurité à proprement parler. L'entrée au site est relativement contrôlée à l'entrée de la vallée par la police, mais au sein des centrales, l'accès apparaît relativement simple (COBEE 2010). Un autre poste de police est situé en aval de la vallée en cas de problème mais la route ne permet pas de se déplacer très rapidement. De cette manière, quiconque aurait de mauvaises intentions ou souhaiterait perturber l'approvisionnement de La Paz en électricité semble pouvoir se rendre sur les centrales pour en interrompre le fonctionnement. Lors des événements de 2003¹, des manifestants ont ainsi provoqué des incendies dans la centrale Kenko et ont menacé de faire tomber les pilonnes de haute tension.

Cependant, au moins un technicien contrôle en permanence le poste de contrôle dans les centrales. Il assure ainsi une permanence durant 24h, nécessaire en cas de problème afin de réguler la production et appeler les ingénieurs si la défaillance ne se résout pas. Un protocole est établi en cas de crise et le personnel fait une simulation de situation d'urgence tous les six mois afin que chacun sache ce qu'il doit faire. Tous les employés ont un rôle propre à jouer lors d'une situation de crise. Le niveau de préparation du personnel du groupe Zongo peut de cette manière être considéré comme bon car d'un point de vue technique et organisationnel, les centrales sont prêtes à subir une forte défaillance. Cependant concernant leur niveau de préparation à une crise qui serait provoqué par un élément extérieur à l'activité, nous n'avons aucune information, mais la centrale Cuticucho (Figure n°14) a été détruite en 2003 par un glissement de terrain.

Les centrales de production nécessitent un approvisionnement interne en électricité pour fonctionner. Elles sont approvisionnées par l'énergie que l'ensemble des centrales produisent et qui est transformée en moyenne tension au niveau de la centrale Tiquimani (Figure n°14). Afin de relancer les machines en cas de coupure sur le système, toutes les centrales sont équipées de batteries (cf. Annexe n°21). Les centrales possèdent ainsi des alternatives d'approvisionnement

¹ La « guerre du gaz » est le nom donné aux mouvements sociaux constitués de syndicalistes, paysans cultivateurs de coca et de citoyens ordinaires pour empêcher la vente des réserves de gaz de la nation aux États-Unis via un port chilien. Ces événements sont à l'origine de la fuite du président de l'époque, Gonzalo Sánchez de Lozada.

énergétique en cas de panne. Elles sont par ailleurs toutes équipées d'un poste de transformation afin d'élever la tension pour le transport et de l'injecter dans les trois lignes de transport de la COBEE à destination des postes de transformation d'Alto-Achachicala et Chuquiaguillo.

Le principal acteur de la production pour La Paz est la compagnie COBEE. En principe, dans un système électrique la production est destinée à être injectée dans le système national sans distinction territoriale. Cependant dans les faits, pour des raisons de logistique et de minimisation des pertes dues au transport, la production doit être proche des lieux de consommation. Ainsi toute la production de la COBEE est destinée à La Paz, les excédents étant disponible sur le SIN.

Les centrales de la vallée Taquesi

Les centrales d'Hydro Bolivia sont situées dans la province *Nor Yungas*, au nord-est de La Paz et au sud de Chuspipata (Figure n°14). Ce groupe de production compte quatre unités sur trois centrales hydroélectriques : Chojlla, Chojlla-Antigua et Yanaquachi, la plus importante centrale hydroélectrique du pays en termes de puissance effective produite (AE 2010, COBEE 2010). Tout comme la COBEE, la production de HB est en priorité destinée à la métropole de La Paz. Elles sont alimentées par une seule prise d'eau, la rivière Taquesi (cf. Annexes n°11 et 12). En saison d'étiage, l'eau nécessaire à la production est stockée dans des lacs de rétention afin de permettre un fonctionnement des centrales malgré un apport en eau nettement moindre. Cependant le fait qu'un seul cours d'eau (la rivière Taquesi) et une seule conduite mène jusqu'à la centrale constitue ici un facteur de vulnérabilité puisque l'endommagement de cette conduite ou l'assèchement de la rivière paralyserait l'ensemble du groupe de production.

3.2 De la production à la distribution : les infrastructures d'approvisionnement vers la métropole et leurs vulnérabilités

3.2.1 Les principales lignes d'approvisionnement de La Paz en saison des pluies

La métropole de La Paz est alimentée en énergie électrique par seulement quatre lignes à haute tension ce qui, nous allons le voir, constitue une vulnérabilité structurelle du système.

Concernant les lignes assurant le transfert de la production des centrales de la zone nord jusqu'à La Paz, la ligne Chojlla-Chuquiaguillo (115 kV) permet d'évacuer la production de Chojlla jusqu'au poste source de Chuquiaguillo. Cette ligne est essentielle puisque elle est la seule à

évacuer la production du groupe de production. Cela constitue en soi une vulnérabilité importante puisque si cette ligne qui transporte 30% de la production de la zone nord venait à être déconnectée, une grande partie de la population pacénienne ne serait plus approvisionnée. C'est donc ici le manque d'alternative de fonctionnement qui constitue la vulnérabilité de la ligne. Par ailleurs, elle traverse la région des Yungas avec des sommets allant jusqu'à 5.000 m d'altitude dont l'accessibilité est limitée à seulement quelques pistes. En cas de défaillance de la ligne, son rétablissement peut être compliqué par le manque d'accessibilité aux pilonnes.

La production des centrales de la vallée Zongo de la COBEE est évacuée par trois lignes qui partent de la centrale la plus en aval, celle de Huaji (Figure n°14), jusqu'au poste de transformation de Maniaguqui qui divise le transport en deux directions, vers le poste de Chuquiaguillo et le poste source d'Alto-Achachicala (COBEE 2010). De cette manière, si une ligne est déconnectée, la tension transportée peut être reportée sur les autres (COBEE 2010).

Bien que la production puisse emprunter deux voies de transport vers deux postes de transformation différents, il s'agit de 63% de la production de la zone et là encore, la totalité de cette production est destinée à La Paz, voir au reste du SIN en saison des pluies. D'autre part, la seule ligne allant jusqu'à Alto-Achachicala est destinée à alimenter par le nord, la ville de La Paz, la production se dispersant par la suite entre les différents postes de transformation et de distribution. Si cette ligne venait à être perdue, il ne resterait plus que l'alimentation par le nord-est, par la station Chuquiaguillo. La perte d'un de ces deux points d'entrée de l'électricité provoquerait donc nécessairement une baisse de l'approvisionnement, voire une coupure de toute une partie de la ville selon le contexte.

3.2.2 La vulnérabilité des postes de transformation, des infrastructures clés pour alimenter La Paz

ELECTROPAZ est en charge de la distribution en milieu urbain sur le département de La Paz et EMPRELPAZ de la distribution en milieu rural¹.

Les postes de transformation sont les infrastructures permettant de faire le lien entre production, transport et distribution. On distingue parmi ces infrastructures les postes de transformation élevant la tension pour le transport (postes mixtes) et les postes de réduction de tension pour la

¹ Cependant il y a de nombreux problèmes dans cette gestion de la territorialité des concessions puisqu'ELECTROPAZ ne s'intéresse pas aux zones rurales en transition (VMEEA 2010). Ces zones ne sont pas assez rentables compte tenu des investissements nécessaires à l'installation de nouvelles infrastructures (AE 2010, VMEEA 2010). Cependant, ELECTROPAZ semble reprendre leur gestion quand elles atteignent un certain degré d'urbanisation, puisque l'entreprise voit dans cette transformation de meilleures perspectives économiques qu'en zone rurale (VMEEA 2010).

distribution, autrement appelés postes sources (la source étant considérée du point de vue de la distribution) (R&D-EDF 2010).

- Les postes mixtes : ils ont pour objectif de faciliter le transport en élevant ou maintenant la tension afin de minimiser les pertes durant le trajet de l'énergie. Le poste de Senkata maintient la tension de 115 kV jusqu'au poste de Kenko qui doit baisser la tension à 69 kV, la tension de distribution à La Paz.
- Les postes de distribution ou postes sources marquent la frontière entre le transport et la distribution, l'énergie passant de la gestion de TDE, de COBEE ou de HB à celle d'ELECTROPAZ (DELLILE, MALARANGE 2009). Ce sont les dernières infrastructures avant les lignes de distribution de basse tension qui approvisionnent les consommateurs. Leur rôle est de transformer l'énergie depuis les tensions de transport de proximité de la ville (115/69 kV) jusqu'à celles de consommations (6,6/6,9/12/24,9/34,5 kV pour La Paz) (AE 2010).

Dans les deux cas, l'élément le plus important d'un poste de transformation est le transformateur lui-même (DELLILE, MALARANGE 2009).

La Paz abrite sur son territoire vingt-trois postes de transformation, afin d'approvisionner la ville en énergie électrique. Parmi ces vingt-trois postes, onze sont des postes mixtes et douze des postes de distribution. Tous les postes de distribution appartiennent à ELECTROPAZ, tandis que certains postes mixtes appartiennent soit à TDE, COBEE ou ELECTROPAZ. Le poste mixte de Chuquiaguillo est une infrastructure de la TDE et celui de Kenko, situé sur le même site que la centrale thermoélectrique, appartient à la COBEE. C'est un des facteurs d'explication des problèmes de gestion et de responsabilité lors d'une panne puisque les entreprises se rejettent la faute d'une défaillance.

Les postes mixtes sont des éléments très importants dans la mesure où ce sont eux qui permettent le passage de la production au transport. Ceux de Chuquiaguillo, d'Alto-Achachicala, de Kenko, de Senkata et de Mazocruz sont fondamentaux dans notre étude car ils reçoivent et transforment l'énergie destinée à La Paz. On distingue ainsi trois entrées de l'électricité sur la métropole de La Paz ; une au nord par le poste d'Alto-Achachicala, une au sud, par le poste de Kenko et une au nord-est par celui de Chuquiaguillo. Les deux premiers de ces trois postes sont sur le territoire d'El Alto, tandis que le deuxième se situe dans le *macrodistrito* de la *Periférica* à La Paz.

Le fait que le poste de transformation de Chuquiaguillo reçoive à la fois la production de Chojlla et de Zongo fait de ce poste un élément essentiel et vulnérable. Sa perte ou sa défaillance provoquerait une panne considérable due à un manque d'alternative de fonctionnement.

Enfin, comme autour de toute grande ville, les postes de transformation sont relativement connectés entre eux afin de pouvoir l'encercler d'un réseau de haute tension (RTE, 2003). Dans le cas de La Paz, ce réseau relie les postes d'Alto-Achachicala, de Chuquiaguillo et de Kenko entre eux (cf. Annexe n°4). Il s'agit de lignes de 115 kV qui permettent d'alimenter les postes source de distribution. L'objectif est de maintenir une tension élevée afin de permettre le transport autour de La Paz et d'alimenter les clients consommateurs de moyenne tension (industries, usines...) qui sont peu nombreux dans le cas de La Paz.

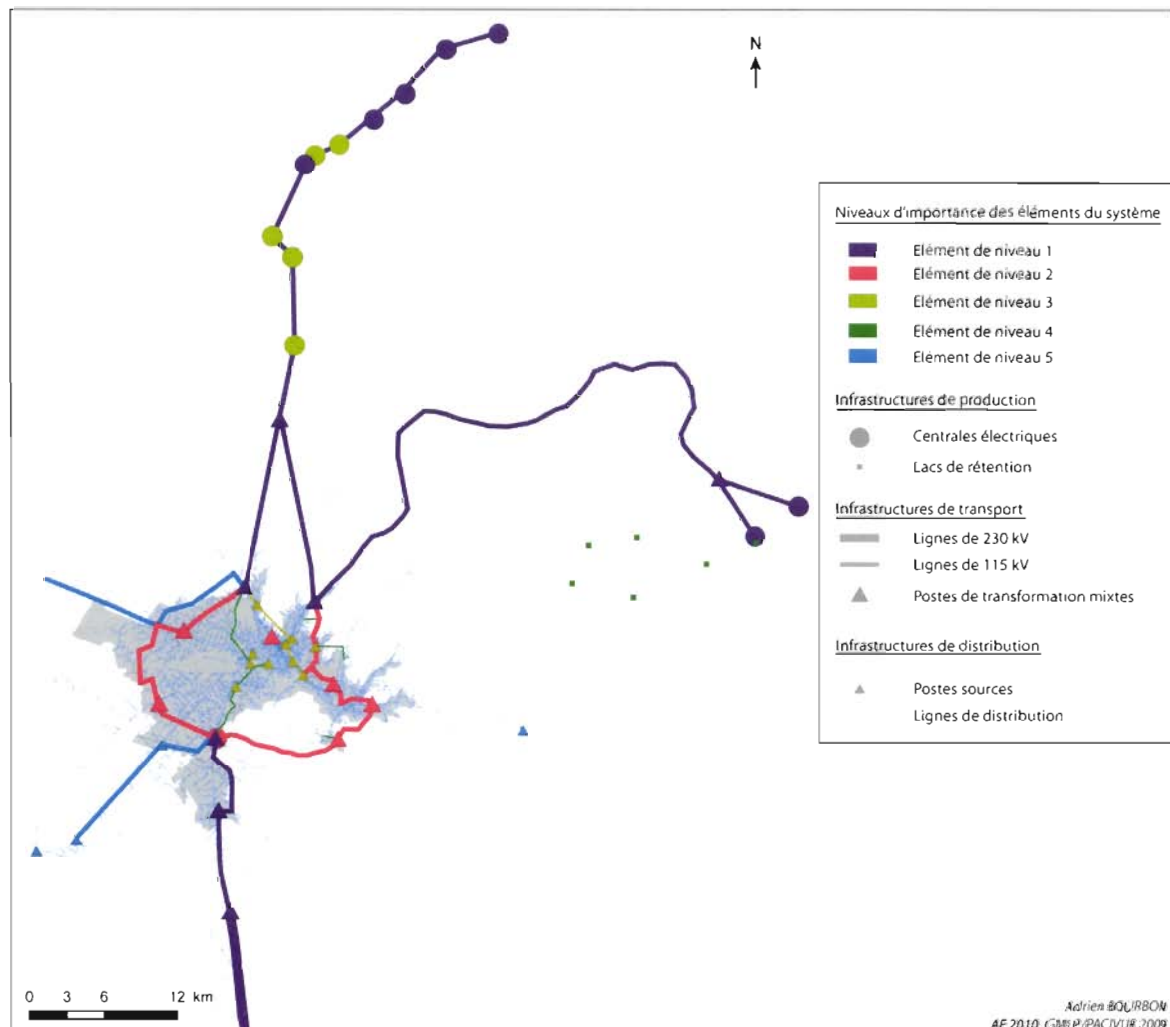


Figure 15: Les éléments essentiels du système d'approvisionnement électrique de La Paz

A partir de ce travail d'identification à l'échelle de la métropole, nous avons regroupé les infrastructures du système selon cinq niveaux. Ces niveaux correspondent au degré d'importance des infrastructures dans le processus d'approvisionnement à l'échelle de La Paz. Les postes de transformation permettant l'entrée de la production dans la métropole sont ainsi identifiés comme de niveau 1 car leur fonction est essentielle à l'approvisionnement de toute la métropole. Les lignes qui transportent la production sont également de niveau 1. Les lignes de distribution et les postes sources sont considérés comme moins essentiels (Figure n°15 : niveau 5), toujours à l'échelle métropolitaine puisque leur défaillance n'entraîne une rupture de l'approvisionnement que dans certains quartiers. D'autre part, l'interconnexion permet à un poste source d'alimenter dans une certaine mesure un quartier qui connaît une rupture grâce à un système d'interrupteur entre transformateurs.

3.3 La Paz au sein du SIN, une interconnexion nécessaire

3.3.1 La ligne Vinto - Mazocruz, un lien essentiel pour l'approvisionnement de La Paz en saison d'étiage.

La Paz est reliée au STI par les lignes Vinto-Mazocruz, Mazocruz-Senkata et Senkata-Kenko qui ne forment qu'une seule ligne reliée par ces quatre postes sources. C'est la seule ligne liant La Paz au reste du SIN¹ (Figure n°16).

¹ Cette ligne est parfois appelée Vinto-Kenko puisqu'elle relie le poste de transformation Vinto à la centrale thermoélectrique Kenko.

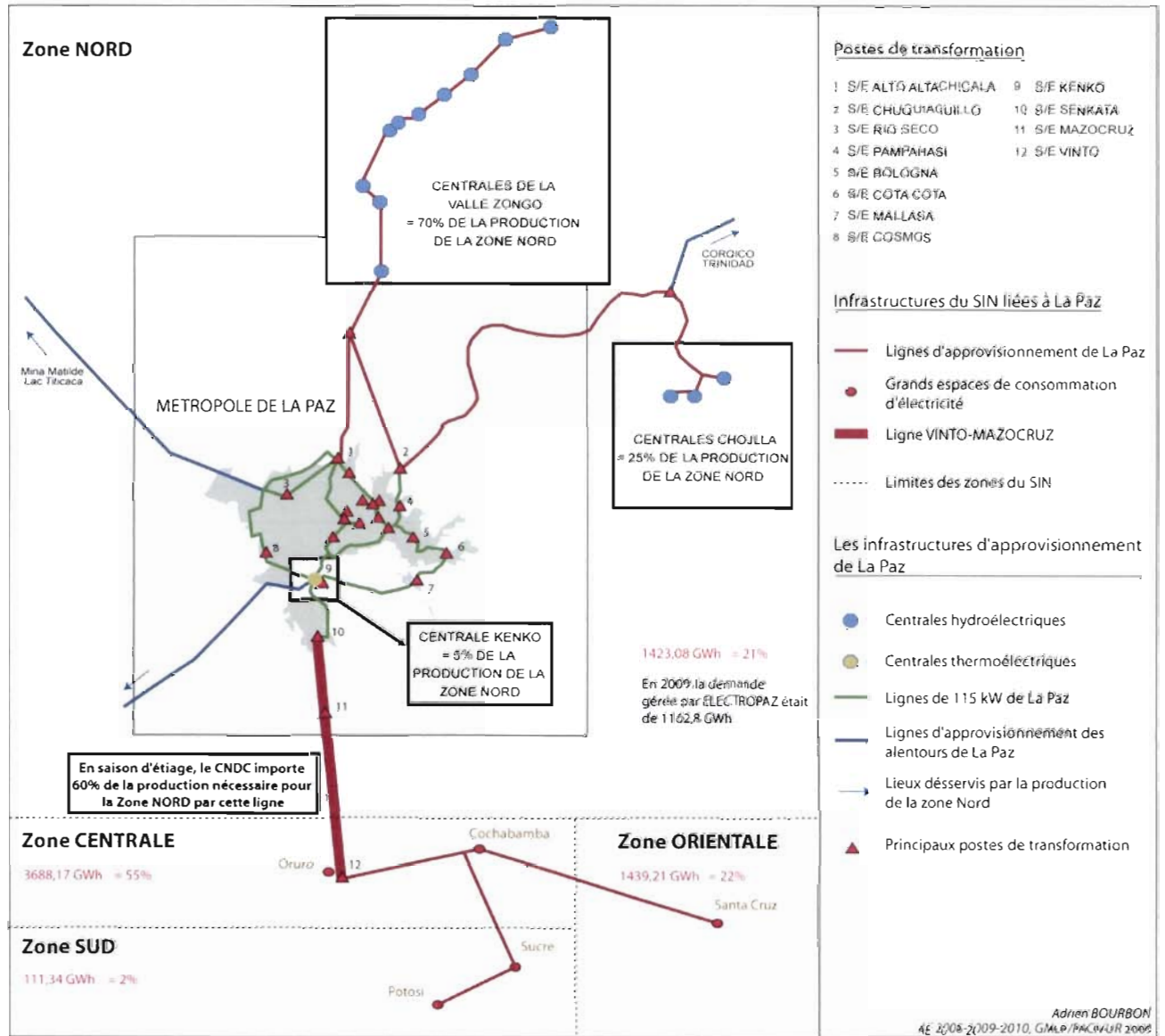


Figure 16: L'approvisionnement de La Paz au sein du SIN

Vinto et Mazocruz sont deux postes de transformation qui d'un côté augmentent la tension pour le transport et de l'autre la baissent ($230 > 115$ kV) pour la distribution.

La ville est connectée grâce à cette ligne haute tension qui lui permet de lier sa production et consommation aux autres zones du SIN. Elle transporte l'électricité depuis le poste source de Vinto, dans la zone centrale (à l'est d'Oruro), jusqu'à celui de Mazocruz sous une tension de 230 kV (Figure n°16). Cette ligne, de Vinto à Mazocruz s'étend sur 194 Km et de Mazocruz à Senkata sur 7,8 Km. Enfin, la ligne Senkata-Kenko, subdivisée en deux : Senkata-Kenko 1 et Senkata-Kenko 2, qui correspond aux deux transformateurs de Kenko s'étend sur 6,3 Km pour la première et 8 Km pour la deuxième. Elles font partis du STI et sont toutes sous la gestion de TDE. Les trois

tronçons ne formant qu'un seul axe, cette ligne assure le relais quand la production de cette zone ne suffit plus à approvisionner la ville. Cette connexion entre la zone nord et le reste du SIN implique qu'un incident d'une relative importance à l'extérieur de la zone aurait des répercussions sur la ville de La Paz. De la même manière, une défaillance de la zone nord en a sur le reste du SIN comme ce fut le cas lors de la panne du 07/04/2007 (EL DIARIO 10/04/2007).

Là encore, c'est le manque d'alternative de fonctionnement qui constitue le plus important facteur intrinsèque de vulnérabilité de cette ligne. Le fait que le tronçon Vinto – Mazocruz soit la troisième plus longue ligne du pays augmente sa vulnérabilité liée au fait qu'elle soit la seule à connecter La Paz au STI. En effet, plus la ligne est longue, plus elle est exposée aux éventuels aléas qu'elle peut rencontrer. Le CNDC tend à vouloir réduire cette vulnérabilité en connectant la zone nord par le département du Beni à l'est.

3.3.2 L'approvisionnement de La Paz, une gestion dépendante du climat...

La prise en compte de la temporalité de la production est fondamentale pour évaluer quelles sont les répercussions de la perte de l'approvisionnement électrique de la ville. Compte tenu de l'importance de la production hydroélectrique pour La Paz et des variations pluviométriques au cours de l'année, il importe d'adopter une perspective spatio-temporelle.

Le fait que La Paz soit alimentée en énergie hydroélectrique à 94% est un facteur important de vulnérabilité dans la mesure où une année est divisée en deux saisons en Bolivie, celle des pluies et celle d'étiage¹. Ainsi, de novembre à avril, les centrales de la COBEE et de HB tournent à plein régime et permettent à elles seules, l'alimentation de la métropole en électricité. Cependant, d'avril à novembre, lors de la saison d'étiage, la production baisse de manière significative passant de 168 GWh en janvier (mois le plus productif) à 63,03 GWh en septembre (mois le moins productif) soit une baisse de 62% entre ces deux mois. La différence entre ces deux périodes de l'année implique pour les gestionnaires du réseau et notamment le CNDC d'opérer différemment selon la saison à savoir injecter de la production des autres zones et notamment de la zone centrale dans la zone nord par la ligne Vinto-Mazocruz (Figure n°16). Lors de cette saison de l'année, le CNDC fait importer 60% de l'électricité nécessaire à la satisfaction de la demande de la zone par cette ligne. Les 40% restant sont produits par les centrales de COBEE et HB (Figure n°16). Nous avons vu que la zone centrale est la plus productrice du pays, mais cette production n'est pas destinée aux seules villes de Cochabamba et d'Oruro. Une partie importante

¹ Cf. Figure n°10.

de cette production est en effet destinée à tous les principaux espaces de consommation du pays et notamment La Paz.

Le territoire métropolitain est donc relativement autonome en électricité quand il y a de l'eau, c'est-à-dire que les centrales hydroélectriques de la COBEE et de HB sont suffisamment alimentées en ressource hydraulique pour satisfaire la demande du territoire métropolitain et même en exporter vers les autres zones¹ (Figure n°17). Cependant, la production baisse considérablement de mai à octobre face à une demande qui elle ne baisse pas et augmente même durant les mois de juillet et août. Cette différence entre la consommation et la production de la zone est significative sur le graphique de la production mensuelle (Figure n°17). C'est sur cette différence que les gestionnaires doivent travailler afin de réduire les vulnérabilités liées à l'importation de 60% de la production par une seule ligne. C'est également cette différence qui constitue la plus importante vulnérabilité intrinsèque du système d'approvisionnement de La Paz car les risques de pannes sont beaucoup plus importants durant cette période où la production de la zone ne satisfait plus à elle seule la demande de la métropole.

La centrale Kenko², au sud-est d'El Alto (Figure n°16), remplit la fonction de centrale d'appoint pour La Paz. Avec ces deux unités, sa production ne représente que 6,5% du total de la zone nord. Son rôle est de pallier, dans une certaine mesure la baisse naturelle de la production des centrales hydroélectriques. La courbe mensuelle de production de cette centrale montre bien cette inversion de tendance entre production hydroélectrique et thermoélectrique (Figure n°17). De juillet à octobre, les mois les plus secs de l'année, sa production est au maximum. Le fait que ce type de centrale ne soit pas dépendant des variations saisonnières permet cet ajustement (Figure n°17) (AE 2010).

¹ L'énergie ne pouvant être stockée et les gestionnaires étant soumis aux règles du marché, il importe de trouver un débouché à l'électricité produite. Ainsi pour 100 kV, si la distribution n'en achète que 50%, pour couvrir les besoins de sa concession, les 50 kV restant devront être injectés dans le SIN afin de ne pas être perdus (AE 2010).

² Cf. photographie de la centrale (Annexe n°5).

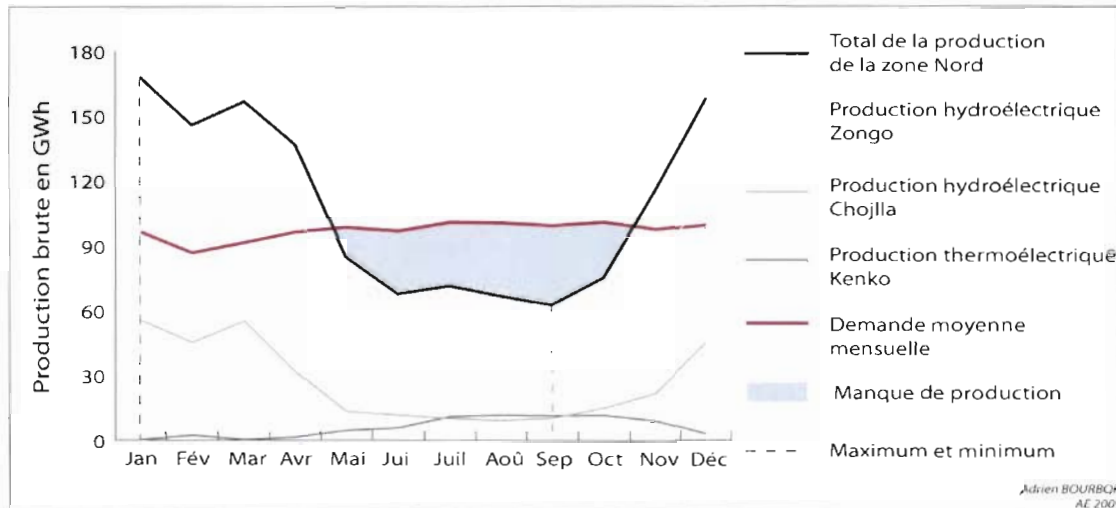


Figure 17: Evolution mensuelle de la production et consommation de la zone nord

Durant la saison d'été, la génération de la zone nord est au maximum. Ainsi, si une centrale est perdue, les conséquences seront très importantes puisque les autres centrales ne suffisent pas à rattraper cette perte. C'est donc lors de cette période que l'EDAC¹, le protocole de gestion de la distribution en cas de baisse de fréquence, est le plus souvent activé afin de couper l'alimentation de certains quartiers pour éviter que tout le système de la zone nord ne s'effondre en cascade.

3.3.3 ... et des différentes périodes de consommation quotidienne.

Les variations de la demande dans le temps, notamment au cours de la journée, influent également énormément sur la balance production-consommation (AE 2010, COBEE 2010, VMEEA 2010). Dans l'identification des éléments nécessaires à l'approvisionnement de La Paz, l'ensemble des centrales jouent un rôle primordial dans la mesure où toute la production est directement liée à la demande, qu'il est nécessaire de satisfaire. Si une centrale cesse de produire, il en résulte une baisse de la production face à une constante de la demande. Cependant, dans une certaine mesure, cette baisse de la production non programmée par l'entreprise, peut être rattrapée par la production des autres centrales, grâce à la gestion des entreprises productrices et du CNDC. C'est pour cela que les centrales hydroélectriques ne fonctionnent pas tout le temps à leur maximum, mais selon les diverses périodes de la demande (Figure n°18). On distingue donc trois périodes dans la demande :

- **De 0h à 7h** : période de consommation basse. C'est la période de la journée où la demande est au plus bas et où la capacité d'ajustement est de 19%.

¹ Esquema De Alivio de Carga : Schéma de soulagement de charge.

- **De 7h à 17h** : période de consommation moyenne. Il s'agit d'un temps intermédiaire avec une capacité d'ajustement légèrement moindre (15%).
- **De 17h à 00h** : période de consommation élevée. C'est la période où la demande est la plus importante de la journée et la capacité d'ajustement nettement réduite (10%).

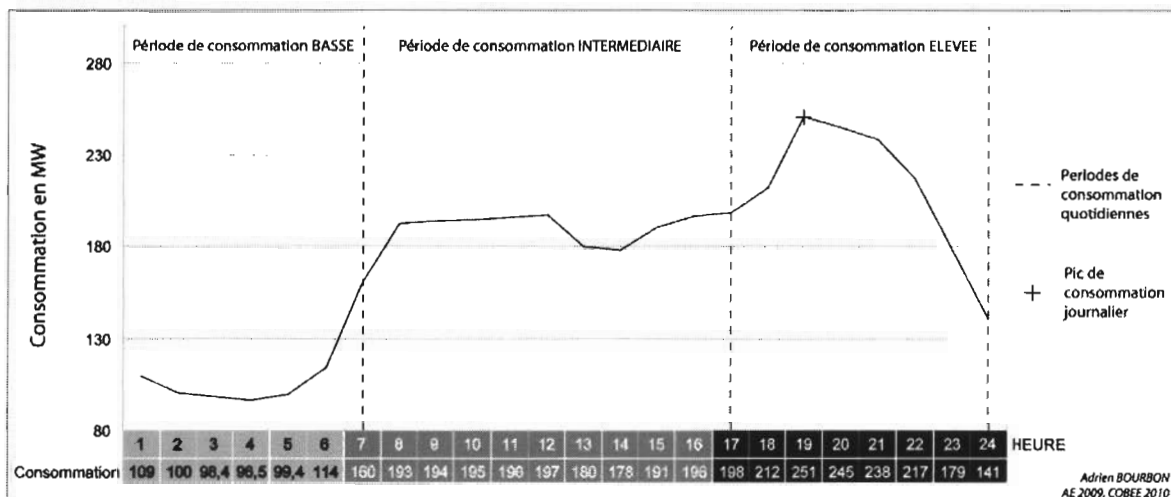


Figure 18: Périodes de consommation quotidienne

La capacité de réponse est la capacité des centrales à faire face à une hausse de la demande ou à la défaillance d'un élément (COBEE 2010). Durant ces différents temps, les centrales n'opèrent qu'à 20% de leur capacité et peuvent ainsi répondre à une hausse de la demande en laissant passer plus d'eau afin d'augmenter la vitesse de leurs turbines pour augmenter la production. De la même manière, elles peuvent ainsi rattraper une panne d'un générateur d'une centrale, mais sur un temps relativement court puisque l'eau stockée s'épuise très vite dans le cas de centrales hydroélectriques fonctionnant au fil de l'eau (COBEE 2010).

La dernière période (de 17h à 00h) correspond aux heures durant lesquelles les populations actives rentrent chez elles, allument la télé, utilisent les différents équipements électroniques qu'ils possèdent (radio, télé, *ducha*, électroménager, multimédia...). De la même manière, l'éclairage urbain commence à fonctionner, ainsi que les lumières qu'utilisent les vendeurs des commerces de rue. C'est donc également celles durant lesquelles la population est la plus vulnérable et dépendante vis-à-vis de l'électricité, dans la mesure où une panne perturberait considérablement la sortie de travail des Pacéniens. Une coupure d'électricité généralisée à ces heures-ci perturberait avant tout la circulation (feux de circulations) et l'éclairage urbain. On voit bien ici le risque de transfert de vulnérabilité dans la mesure où c'est l'accessibilité qui serait alors l'enjeu touché par effet de transmission.

Il apparaît donc que le système soit nettement plus vulnérable en période de consommation élevée, la demande étant à son maximum alors que les centrales ne peuvent répondre à une éventuelle défaillance que sur un temps très court. Si une perturbation intervient en période de consommation basse (00h00-07h00) la défaillance peut être rattrapée par les autres centrales qui augmentent alors leur production grâce à la marge prévue à cet effet. Cependant, si la défaillance intervient en période de consommation élevée (17h00-00h00), la capacité de réponse est nettement moindre (Figure n°18). D'autres paramètres entrent cependant en jeu, tels que l'importance de la centrale paralysée (en termes de puissance effective produite) et la saison au cours de laquelle se produit la défaillance. Si une telle défaillance intervient en saison sèche, la capacité de réponse des autres centrales étant très faible, il s'agira pour le CNDC d'injecter de la production extérieure à la zone nord, et pour ELECTROPAZ d'activer l'EDAC afin d'éviter un phénomène d'écroulement de fréquence.

4. La rupture d’approvisionnement en électricité : un risque à l’échelle de la métropole pacénienne

La vulnérabilité des réseaux urbains tels que l’électricité se comprend comme la possibilité de perte des éléments assurant l’approvisionnement en énergie d’une collectivité. Par transmission, cela peut entraîner la vulnérabilité de l’ensemble du fonctionnement d’un territoire.

4.1 Les pannes électriques sur le territoire métropolitain de La Paz

4.1.1 Analyse des interruptions enregistrées par le CNDC depuis 2006

L’interruption de l’approvisionnement électrique de La Paz peut avoir plusieurs origines. De manière générale, il s’agit de l’atteinte d’un des éléments du système par un aléa anthropique ou naturel¹, la défaillance de l’élément causant par la suite une déperdition d’énergie (baisse de tension) ou une rupture d’approvisionnement (coupure totale, relativement longue). Grâce à la centralisation des données du CNDC par l’AE, nous disposons du relevé de l’ensemble des coupures qui ont affecté l’espace urbain de La Paz sur la période du 07/01/2006 au 02/05/2010. Ces données présentent les entreprises responsables (production, transport, distribution), la date, ainsi que l’heure de début et de fin de la panne. Nous avons ainsi déterminé dans quelle mesure l’approvisionnement électrique connaît de longues coupures en calculant la durée de chaque interruption. La cause précise qui a affecté un élément du système est également disponible. Nous avons pu de cette manière classer les durées et les causes par catégories et sous-catégories (Figure n°19).

¹ La nature d’un processus physique, si elle est définie comme naturelle ou anthropique a pour origine des dynamiques plus complexes. Un processus pouvant paraître comme naturel se révélera avoir comme origine des causes anthropiques c’est-à-dire influencées par les mutations de peuplement (HARDY 2008, PIGEON 2008).

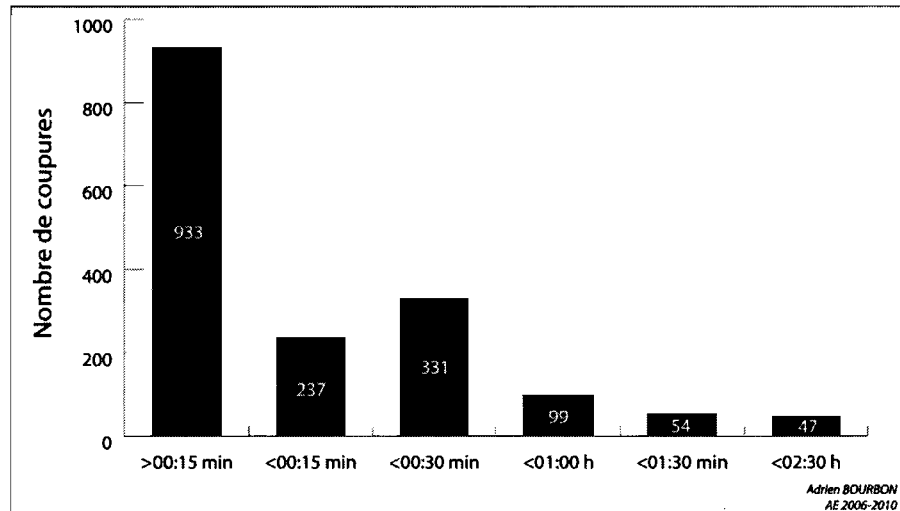


Figure 19: Nombre de coupures selon leur durée

De manière générale, on constate que la plupart des coupures durent moins de quinze minutes (Figure n°19). Cela correspond d'une part à une relative sûreté du système et d'autre part, à un travail en temps réel des gestionnaires (CNDC et entreprises du SIN) qui permet le rétablissement de la tension au plus vite dans un souci de qualité de service auprès des consommateurs (AE 2010, R&D-EDF 2010).

La durée des coupures varie donc de 0s à 15h (la plus longue enregistrée le 31/07/2007). Nous verrons par la suite plus en détails la portée spatio-temporelle de ces coupures, mais il apparaît déjà que d'une manière générale, une panne d'électricité soit considérée par les gestionnaires comme importante au-delà de quinze minutes (AE 2010, R&D-EDF 2010). On observe par ailleurs un nombre relativement important des coupures de plus de trente minutes qui s'explique notamment par l'affectation de nombreux éléments perturbateurs sur le système.

4.1.2 Les causes de vulnérabilité : entre vulnérabilité intrinsèque et extérieure

Concernant les causes des pannes, on peut connaître la nature de l'élément perturbateur qui a affecté le système. On distinguera de cette manière les atteintes aux éléments du système d'origine intrinsèque de celles causées par un élément extérieur tel qu'un aléa naturel ou anthropique (D'ERCOLE, METZGER 2002, 2004 ; HARDY 2009 P.7). Ces deux types de vulnérabilité se manifestent souvent par des déconnexions de lignes de transmission, mais également par toute sorte de problèmes techniques.

Les causes décrites par les entreprises dans leurs rapports ont diverses origines, mais il est possible de les regrouper en quatre catégories et sous catégories (Figure n°20). Nous avons ainsi déterminé toutes les attaques extérieures sur des éléments du système comme relevant de l'exposition à un processus, naturel ou anthropique, et les causes directement issues de problèmes techniques internes aux entreprises comme intrinsèques au système.

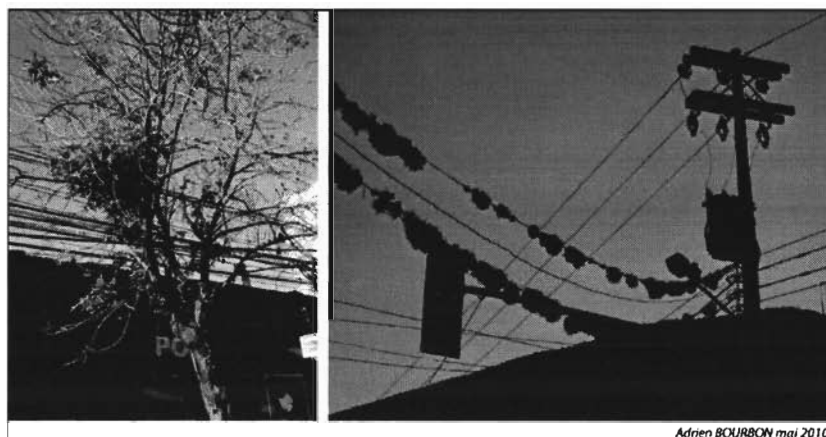
Catégories de cause	Causes précises
Causes anthropiques	Causes accidentelles Incendie Raccordement informels
Causes naturelles	Phénomènes hydro morphologiques Phénomènes climatiques
Causes intrinsèques	Défaillances Travaux préventifs Activation d'un système de sureté automatique
Déconnexion d'une ligne	Déconnexion d'une ligne de distribution Déconnexion d'une ligne de très haute tension Déconnexion d'une ligne de haute tension

Figure 20: Classement des causes de pannes à La Paz

Les causes extérieures de vulnérabilité

Parmi l'exposition à des éléments perturbateurs extérieurs au système, on distingue donc les causes anthropiques des causes naturelles dans la mesure où l'impact sur les structures ne causent pas les mêmes dommages. Concernant les causes naturelles, il est quasiment impossible de les prévoir. La seule manière pour les gestionnaires du réseau de réduire la vulnérabilité des infrastructures électriques exposées à ce type de processus est de planifier ou de replanifier leur implantation en fonction des espaces affectés (D'ERCOLE, METZGER 2009 in BECERRA, PELTIER 2009). L'étude des causes montre que de nombreux effets de ces éléments perturbateurs sembleraient pouvoir être évités dans une certaine mesure par les entreprises. Les nombreuses pannes dues au contact d'un élément du réseau de distribution, et notamment des

lignes, avec des arbres, peuvent être dues à un mauvais entretien des lignes¹, et des éléments les entourant, de la part d'ELECTROPAZ (Photographie n°2). Les lignes de distribution de La Paz sont particulièrement exposées à des processus anthropiques. La très forte concentration des lignes aériennes dans les rues induit qu'elles ne sont pas à l'abri de diverses atteintes comme la prise au piège d'un oiseau dans les lignes (Photographie n°2) (AE 2010).



Photographie 2: Exemples de lignes de distribution mal entretenues (La Paz)

Le champ indiquant l'espace sur lequel s'est déroulé l'incident à l'origine de la coupure permet d'identifier sur quelle partie du secteur du système se produit le plus de coupures et à quoi chaque acteur est le plus vulnérable² (Figure n°21). Par ailleurs, parmi la production, le transport et la distribution, les éléments qui perturbent le système ne sont pas les mêmes. Les infrastructures de distribution sont plus vulnérables à des éléments perturbateurs venant en contact direct avec les lignes de distribution. Elles sont également très vulnérables à des aléas anthropiques provoqués par des tierces personnes (accidents de voitures, travaux etc.).

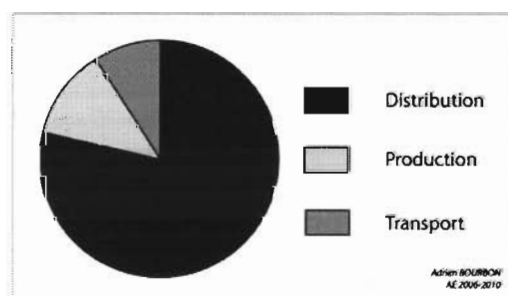


Figure 21: Répartition des coupures selon l'acteur du système responsable

¹ Les vieilles branches qui tombent sous le poids de l'eau (pluies), de la neige ou d'autres éléments naturels sont des causes qui reviennent souvent dans les données du CNDC.

² La vulnérabilité est ici définie par la fréquence de l'endommagement d'un élément.

Ces quatre dernières années, sur l'agglomération de La Paz, c'est sur les infrastructures de distribution qu'il y a eu le plus de dysfonctionnements (Figure n°21). Les principales causes au niveau de la distribution sont dues à des événements accidentels ne signifiant pas, là encore, l'absence de responsabilité de la part du distributeur. Nous avons vu que les causes accidentelles peuvent être dues à une mauvaise protection ou mauvaise sécurisation des lignes par le gestionnaire. De la même manière, la maintenance des lignes et leur nettoyage doivent être effectués régulièrement pour éviter toute décharge au contact d'éléments extérieurs (mousse, raccordements informels, lignes tombantes mettant en contact les autres lignes pouvant ainsi créer une surcharge Photographie n°2).

Une des solutions les plus efficaces apportée à la surexposition des infrastructures de distribution aux événements extérieurs est l'enfouissement des lignes de distribution. Cette solution permet une meilleure résilience des réseaux de distribution face aux attaques extérieures. Ce n'est cependant pas une solution universelle dans la mesure où elle est onéreuse¹. Elle est efficace et efficiente, mais ce sont également des infrastructures très vulnérables aux fortes chaleurs et inondations (KB INTELLIGENCE 2009). L'enfouissement des lignes de distribution hors des zones inondables serait cependant une solution efficace pour protéger ces infrastructures.

Au niveau de la production, les processus qui remettent en cause le bon fonctionnement des centrales ne sont pas de même nature. On constate une vulnérabilité des centrales, notamment celles de Santa Rosa et Cuticucho, à des éléments perturbants les transformateurs. En effet le 07/04/2007, la foudre s'étant abattue sur un transformateur 115/6,9 kW, les générateurs sont restés paralysés, aggravant la panne. Les éléments qui perturbent le plus les infrastructures de production sont ainsi la foudre et les déconnexions de lignes, aucune information n'étant communiquées concernant les causes qui provoquent ces déconnexions. Nous avons vu également que les processus de rétablissement de la génération d'une centrale après l'arrêt des machines étaient très longs en raison du protocole de sécurité à respecter. Ce type de cause est classé dans les activations de systèmes de sureté automatiques.

Les infrastructures de transport sont quant à elles vulnérables aux aléas naturels notamment sur l'altiplano où elles sont confrontées à des vents violents ainsi qu'à des chutes de neige qui peuvent provoquer des ruptures de lignes (AE 2010). Considérant les agressions extérieures sur des lignes de haute ou de moyenne tension et les accidents de circulation entrant en contact avec un pylone

¹ Environ 100€/m en Haute Tension et 150€/m en BT (KB INTELLIGENCE 2009). Par ailleurs, ELECTROPAZ est pour le moment incapable d'investir une telle somme (AE 2010).

électrique, ces atteintes peuvent également être considérées comme dues à une mauvaise protection des infrastructures de transport électriques par TDE. Le simple fait de déplacer ces lignes de manière à les rendre hors de portée des divers accidents de la route ou encore hors des zones sujettes aux glissements de terrain réduirait leur vulnérabilité et donc l'occurrence des coupures qui leur sont liées (D'ERCOLE, METZGER 2009).

4.1.3 Entre vulnérabilité structurelle et vulnérabilité territoriale

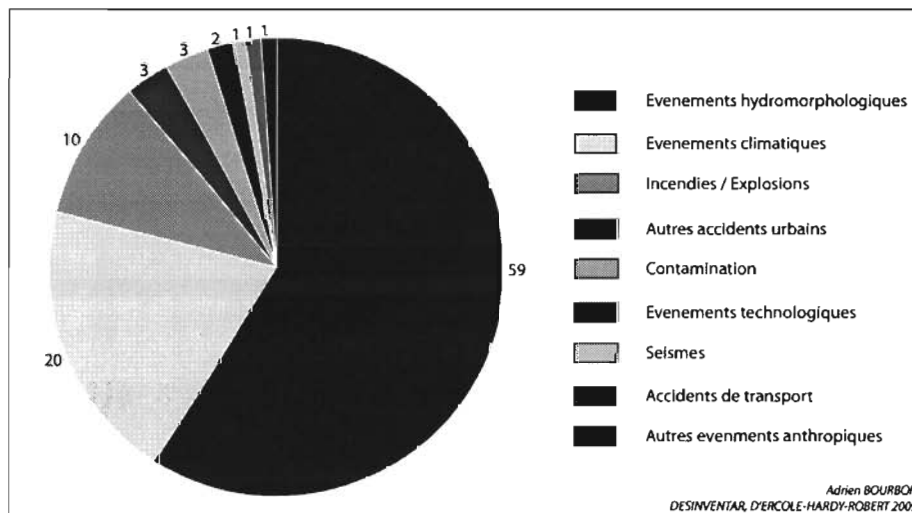


Figure 22: Catégories d'événement ayant provoqué des dommages dans la métropole de 1990-2007

Nous avons travaillé sur les données de la base Desinventar¹ en considérant les événements ayant affectés d'une quelconque manière le territoire de la métropole de La Paz. Selon cette base de données et le classement effectué par le programme PACIVUR (D'ERCOLE, HARDY, ROBERT 2009), 59% des événements ayant affectés la métropole entre 1970 et 2007 sont de type

¹ Les aléas anthropiques ne sont pas plus prévisibles que les naturels, cependant leur anticipation peut être plus facile et rapide. La construction d'ouvrage de génie civil est une mauvaise réponse aux situations d'urgences qui par ailleurs ne sont que rarement la conséquence directe de l'occurrence d'un aléa (HARDY 2009). Cependant, le fait de protéger les infrastructures d'approvisionnement par ce type d'ouvrages de génies permet de réduire leur accessibilité. Nous avons vu que beaucoup d'interruptions sont dues à des accidents de voitures entrant en contact avec des infrastructures électriques comme les lignes de transport qui pourraient être ainsi mieux protégées, enfouies quand cela est techniquement possible ou implantées hors des grands axes de circulation. ¹ Il y a des limites à prendre en considération afin de relativiser les résultats tirés de cette source, comme le fait que certains événements sont plus considérés que d'autres (les accidents de circulation n'étant quasiment pas pris en considération par les gestionnaires de la base de donnée en Bolivie alors que c'est une des causes affectant le système), ou encore que certains événements soient répertoriés plusieurs fois (D'ERCOLE, HARDY, ROBERT 2009). D'autre part, certaines natures d'événements sont confuses dans la base concernant l'origine de la cause de l'événement, reflétant une confusion plus profonde de la gestion même des risques dans la ville de La Paz. Par exemple, le glissement de terrain ayant touché le 14 février 2009 le *macrodistrito* de San Antonio et ayant détruit de nombreux foyers est un phénomène pouvant paraître comme naturel, lié à de fortes pluies. Toutefois, l'analyse de l'événement révèle qu'il a principalement été provoqué par l'infiltration des eaux usées des foyers, les quartiers environnants n'étant pas connectés au réseau d'évacuation d'eaux usées et les rejetant ainsi dans le sol, contribuant grandement à sa fragilité (HARDY 2009). De manière générale, si les événements qui provoquent des dommages d'origine naturelle sont plus nombreux, aléas anthropiques et naturels s'entremêlent à La Paz.

hydro morphologique, c'est-à-dire principalement des inondations, coulées de boues et glissements de terrain¹. Ces données correspondent ainsi aux aléas qui menacent les infrastructures électriques en termes d'occurrence et d'impact (Figure n°21).

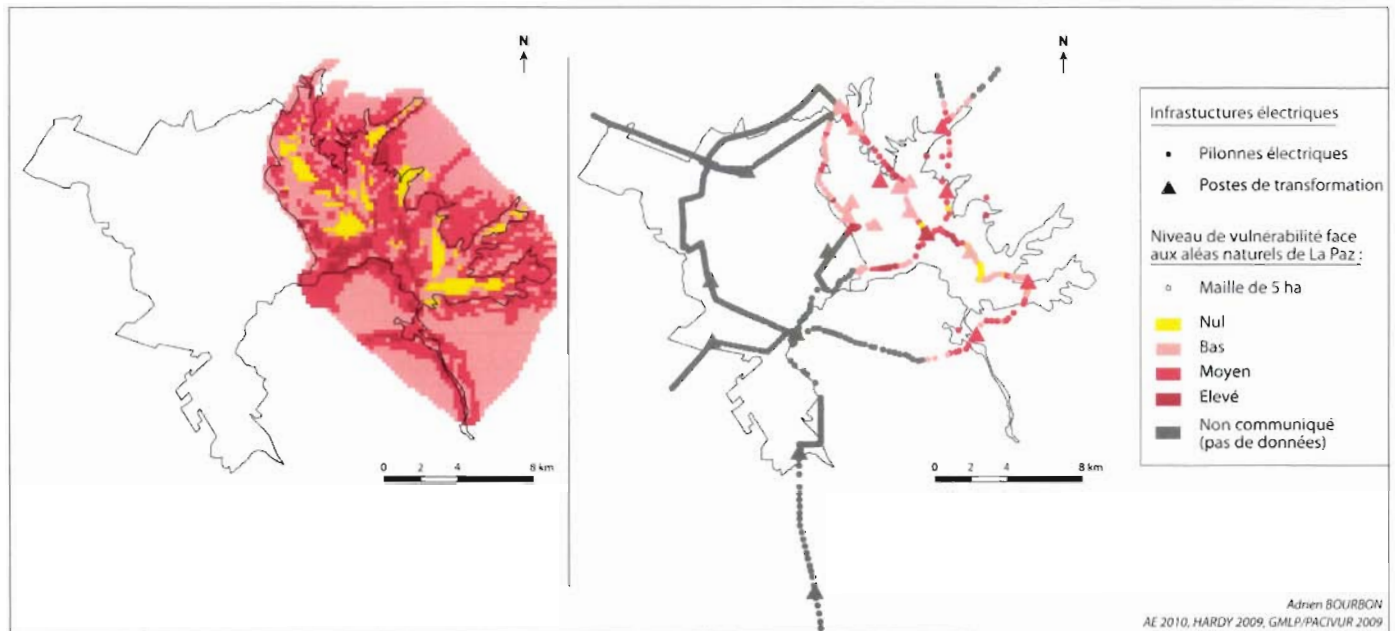


Figure 23: Vulnérabilité des infrastructures électriques face à certains aléas naturels

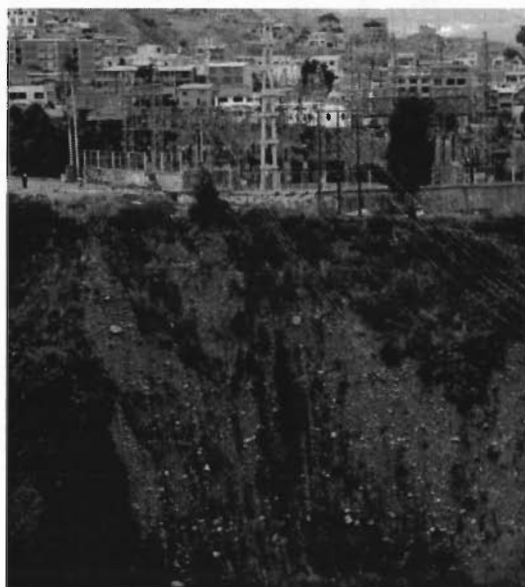
Cette carte (Figure n°23) a été construite à partir de données enregistrées par le GMLP en 2004 et qui identifie certains processus physiques susceptibles² d'endommager le territoire urbain (HARDY 2008). Nous avons principalement des données sur La Paz et très peu sur El Alto ce qui ne signifie pas une absence de ces processus sur ce territoire. D'autre part, les infrastructures qui se situent en dehors du territoire métropolitain comme les centrales de production, leurs lignes et postes de transformation ne font pas partie de cette étude car nous ne disposons d'aucune donnée sur les risques de ces territoires (notamment des vallées Zongo et Taquesi).

Nous avons identifié de cette manière les infrastructures du système situées dans des espaces exposés à un ou plusieurs des événements recensés. On observe que de nombreuses infrastructures sont situées sur des terrains sujets aux glissements de terrains, aux inondations, aux coulées de boues, aux éboulements et de manière plus latente à l'érosion, qui menacent

¹ Sont également considérés dans cette catégorie les orages de grêle ayant provoqué des inondations comme celle de février 2002 (D'ERCOLE, HARDY, ROBERT 2009).

² Dans ces données, onze de ces processus ont été identifiés : inondation, coulée de boue, glissement de terrain (avéré, susceptible simple, susceptible complexe), éboulement, érosion superficielle, érosion souterraine, érosion à la fois souterraine et superficielle, fontis, siphonage (HARDY 2008).

l'approvisionnement de la métropole. Un des facteurs de cette surexposition des infrastructures des entreprises aux aléas sur le territoire municipal de La Paz est dû à la pression foncière (Photographie n°3). Nous avons défini ici les niveaux d'exposition en fonction de la présence de plusieurs types d'aléa, les infrastructures exposées à différents types sont définies comme particulièrement vulnérables. Le poste de transformation de Chuquiaguillo (Niveau 1) est ainsi implanté sur un espace dont nous avons défini la vulnérabilité comme moyenne (GMLP 2004, PACIVUR 2010). De la même manière, les lignes d'approvisionnement qui contournent le territoire métropolitain passent par des espaces de vulnérabilité moyenne à élevée. La ligne joignant les postes de Kenko et d'Alto Achachicala qui longe la limite entre les deux municipalités est exposée à des glissements de terrain et des coulées de boues. Les pylônes portant les lignes de transmission sont particulièrement vulnérables à ce type d'aléas dans la mesure où ils déstabilisent les sols, peuvent faire tomber les pylônes et rompre les lignes.



Photographie 3: Poste source de Rossassani : exemple d'infrastructure qui présente un niveau élevé de vulnérabilité dû à une forte exposition aux processus naturels de La Paz.

Les inondations peuvent également avoir des conséquences, même sur les lignes aériennes. Les pylônes peuvent être déstabilisés par le courant (et les objets emportés) et les prises de mise à la terre peuvent sauter, déconnectant la ligne toute entière et provoquant des pannes sur tout le territoire métropolitain (KB INTELLIGENCE 2009).

4.2 Les conséquences de la perte de l’approvisionnement électrique : analyse « historique » des pannes à La Paz.

4.2.1 Etude des principales pannes d’électricité à La Paz

Une panne est toujours due à une fluctuation importante et brutale de la fréquence dans le système (en Hz). Lors de la panne du 07/04/2007, la fréquence a brusquement augmenté ce qui a provoqué l’effondrement d’une grande partie du système par l’effondrement de la fréquence. Il est donc primordial pour les gestionnaires de la contrôler et de la réguler en permanence. L’écroulement de fréquence est l’une des manifestations techniques majeures d’un système électrique à un événement perturbateur¹. Il est provoqué par une évolution imprévue de la consommation ou de la production. L’offre et la demande pèsent chacun sur la balance du marché de l’électricité et il est nécessaire que cette balance reste stable. La perte d’un élément fondamental tel qu’un transformateur dans un poste de transformation peut entraîner une baisse de cette fréquence (AE 2010). De la même manière, quand une ligne saute, la demande reste la même mais la production ne peut plus parvenir jusqu’à la distribution en raison d’une faille dans le réseau de transport. Dans ce cas aussi, cela provoque une baisse de la fréquence.

Ces incidents sont relativement prévus par les gestionnaires. L’EDAC, établi par le CNDC mais organisé à l’échelle de la distribution par l’entreprise détentrice de la concession ELECTROPAZ, prévoit de retirer de la tension injectée sur tel ou tel espace de consommation à La Paz afin de soulager le réseau de distribution de la baisse de fréquence. Le but de cette manœuvre est d’éviter, par la rupture volontaire d’une partie de l’approvisionnement, une panne généralisée de tout l’espace de distribution. Ce système est mis en place, par exemple, si une centrale connaît une défaillance.

Malgré le nombre recensé de coupures, le système est considéré comme sûr aux yeux de ses régulateurs :

« Notre système est sûr et stable, compte tenu de la demande à laquelle il doit faire face. Les clients sont bien équipés et bien desservis » (W. TERAN, ingénieur de l’AE 2010).

L’appréhension d’une panne à La Paz

¹ Les trois autres sont la surcharge en cascade, l’écroulement de tension et la rupture de synchronisme (R&D-EDF 2010 ; RTE, 2004).

A l'exception de quelques cas ayant touché notamment une grande partie du pays (07/04/2007), les pannes d'électricité ne sont pas des événements traités de manière significative dans la presse bolivienne¹. Il peut en résulter plusieurs hypothèses. Soit les coupures ne touchent pas d'éléments essentiels et ne perturbent pas le fonctionnement urbain, et dans ce cas, les journalistes n'ont pas d'intérêt à en parler. Soit la population de La Paz ne vit pas une coupure électrique comme un événement particulièrement important en raison notamment de la faible utilisation qu'elle fait de cette énergie au sein des foyers et d'une faible activité industrielle (AE 2010, INE 2001, GMLP 2000-2005).

Nous avons pu constater que l'information était principalement destinée aux populations dans la perspective de les informer des recours juridiques et des démarches à suivre pour obtenir des dédommagements. Dans un pays soucieux de la transparence de l'Etat et des entreprises opérant dans ce type de service et qui désire rompre avec l'impunité et la corruption, il s'agit de démontrer aux populations que les organes de régulation étatiques prennent des sanctions contre les entreprises privées à l'origine d'une panne.

Une partie des articles a donc pour objectif d'informer la population sur les modalités de réparation et sur les sanctions prises par les organes régulateurs (CNDC et l'AE) envers la ou les entreprises responsables de la panne. Elles ont une semaine pour faire un bilan qui identifie les causes et l'envoyer au CNDC qui synthétise l'information. Le processus de réparation des victimes de la panne peut prendre du temps en raison des conflits concernant les responsabilités des défaillances dans le système.

Le 20/07/2010, le poste de transformation Catacora a connu une défaillance² qui a provoqué une panne de 11h24 à 12h07 et touché le centre de La Paz, paralysant toute activité économique et administrative dans les bureaux des différents édifices du GMLP. La circulation a été affectée sur l'avenue du Prado, un axe de circulation majeur à La Paz qui fait la jonction entre la partie sud et El Alto (début de l'*Autopista*). Nous voyons ici le rôle fondamental des postes de transformation qui fragilisent, par leur vulnérabilité, la distribution qu'ils doivent assurer à travers les lignes de distribution qu'ils alimentent.

¹ Afin d'identifier la répercussion sociale des coupures d'électricité au travers du traitement de ces événements par la presse, nous avons fait une sélection des pannes les plus importantes en terme de durée (cf. Annexe n°2).

² L'origine de cette panne nous est inconnue car ELECTROPAZ n'a pas encore rendu son rapport au CNDC.

4.2.2 La panne du 07/04/2007 : un cas d'étude des risques liés à l'électricité

Le 07/04/2007, La Paz a connu une panne de 4h40, entre 11h45 et 16h25. Au niveau national, la panne a également affecté les villes d'Oruro, de Santa Cruz, de Cochabamba, de Sucre et de Potosi (Figure n°24).

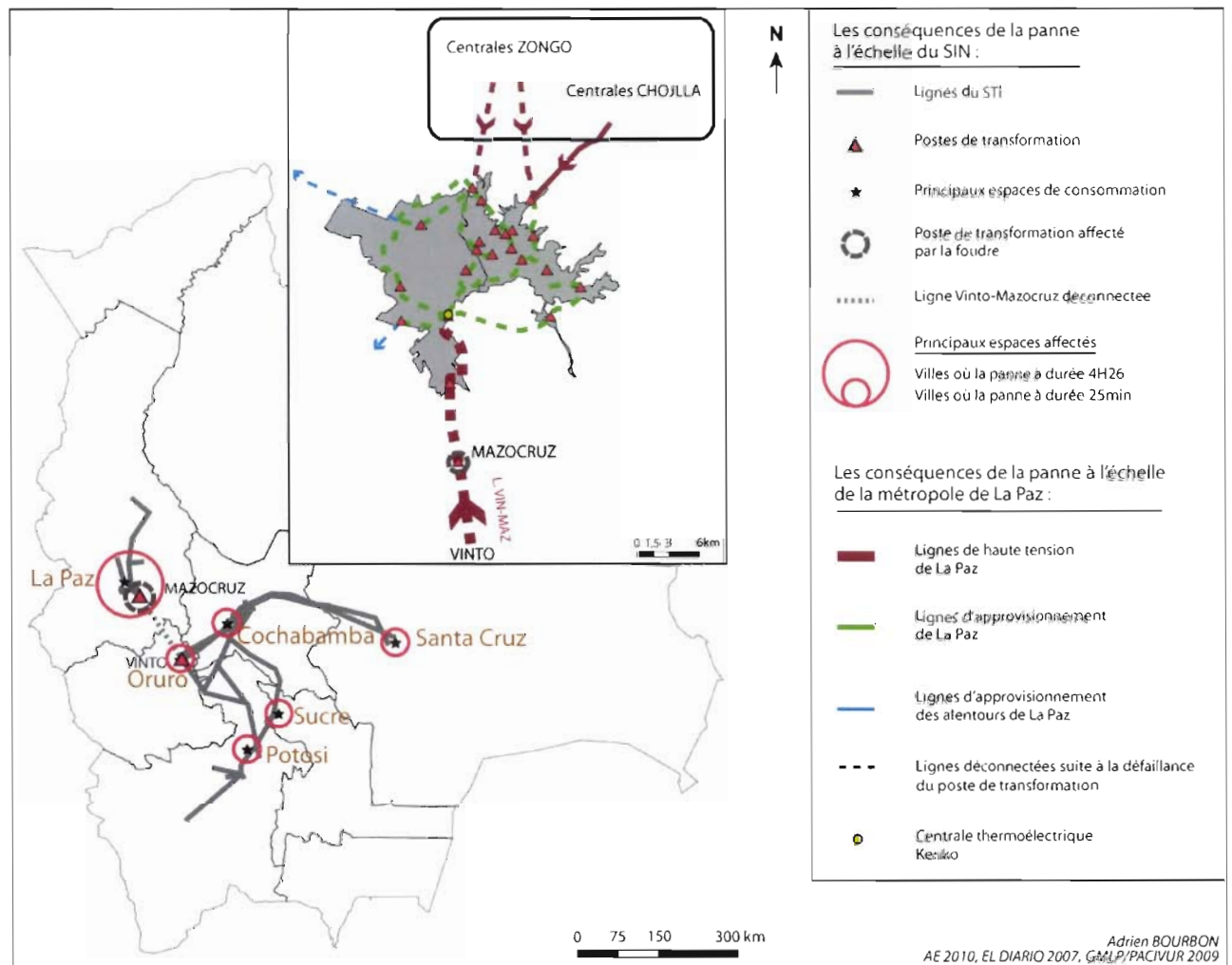


Figure 24: Conséquences de la panne du 04/07/2007

La défaillance à l'origine de cette panne a eu lieu dans le SIN, au niveau du poste de transformation de Mazocruz. La rupture du courant s'est produite en raison du foudroiement d'un paratonnerre dans le poste qui a provoqué la déconnexion de la ligne de 115 kV qui relie Mazocruz à Kenko. L'importante baisse de fréquence provoquée par la perturbation de la balance entre production et consommation a déconnecté l'ensemble des lignes d'approvisionnement de La Paz (Figure n°24). Le déficit d'approvisionnement a été de 80 MW passant sur la ligne, soit 21% de la demande de la zone nord.

Dans les villes de Cochabamba, Santa Cruz, Potosi, Sucre et Oruro, la panne a duré nettement moins longtemps qu'à La Paz en raison du rôle moins important de cette ligne pour ces territoires. En termes d'envoi et de réception d'énergie, ce poste source est le plus important du pays ce qui explique les effets de la baisse de fréquence sur l'ensemble du SIN (EL DIARIO 10/04/2007). Cependant, cette baisse de fréquence s'est résolue rapidement dans ces autres villes grâce à la production de la zone orientale. En dehors de la zone nord, la panne n'a ainsi duré que 25 min, le CNDC ayant rétabli l'alimentation à 12H10.

4.2.3 Les secteurs d'activité touchés par les ruptures d'approvisionnement en électricité.

Beaucoup de secteurs d'activité ont été touchés par cette panne tels que les hôpitaux, les banques, les entreprises et les infrastructures de la police et des pompiers (EL DIARIO 10/04/2007). Par effet de transmission, cette panne a provoqué de fortes perturbations sur le trafic routier de La Paz renvoyant ici à la vulnérabilité de l'accessibilité du réseau routier pacénien (PREIONI 2010). Les feux de circulation, directement alimentés par les lignes de distribution aériennes, ont cessé de fonctionner, provoquant un véritable chaos dans le centre-ville. Dans la nuit du 30/01/2007 au 31/01/2007, des orages accompagnés de foudres et de fortes pluies avaient provoqué une autre panne dans le système d'approvisionnement de La Paz ce qui met en évidence la vulnérabilité des infrastructures électriques à des éléments extérieurs. La principale conséquence relatée par les journaux lors de cette panne fut également la déprogrammation des feux de signalisation à cause de la foudre dans de nombreuses rues de la municipalité de La Paz. Or, beaucoup de ces rues telles que la 20 de octubre, Nicolas Acosta et Yanacocha sont des axes majeurs de circulation (Figure n°25).

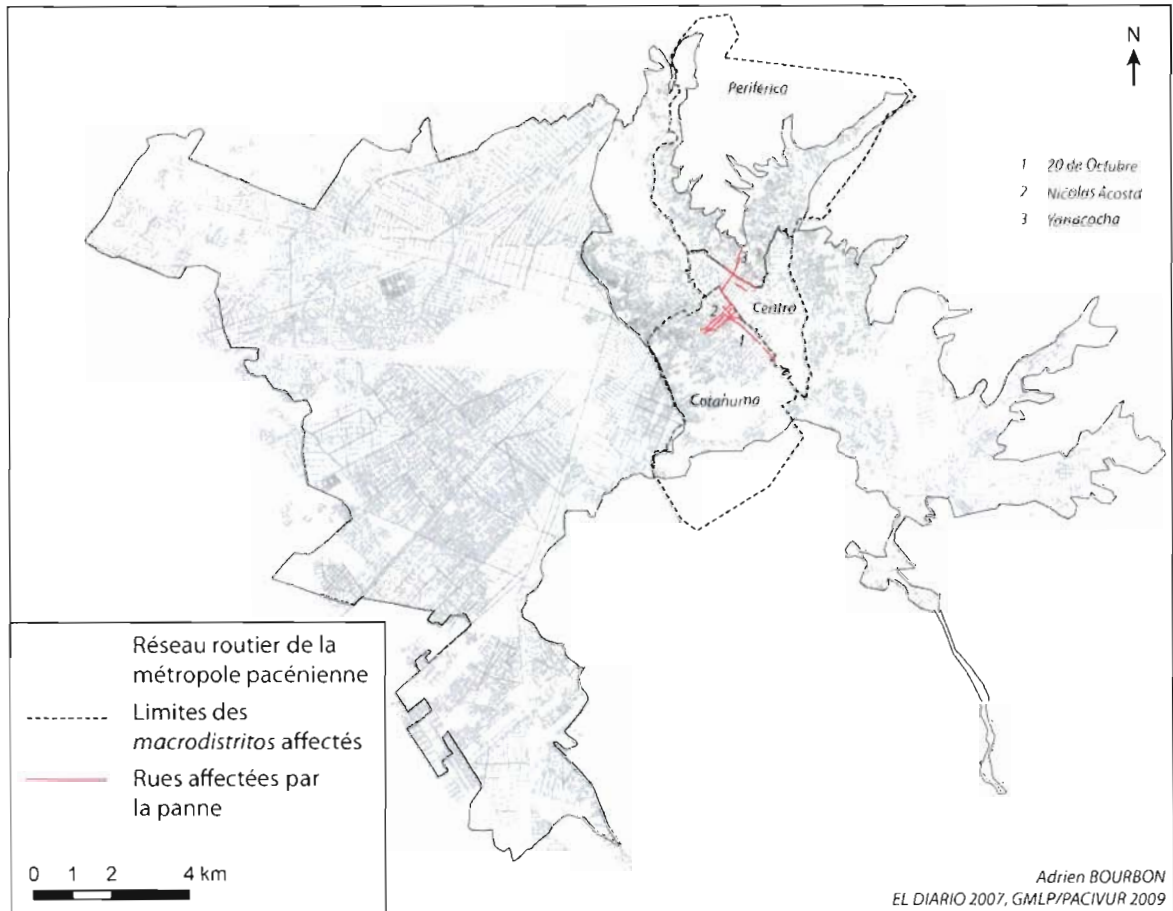


Figure 25: La panne du 02/02/2007

Les pannes paralysent l'activité de nombreux commerçants et entreprises. La distribution de carburant, secteur dont la vulnérabilité à une panne d'électricité semble nettement moins évidente a également été affectée le 07/04/2007. De nombreuses stations-service ont été paralysées durant la durée de la coupure (Figure n°26). Le moyen de substitution à l'énergie électrique le plus abordable économiquement et le plus simple d'installation¹ est la mise en place de générateurs d'appoint fonctionnant au combustible (diesel). Il est donc évident que si des stocks de carburant ne sont pas constitués par les structures telles que les hôpitaux, les casernes de pompier, les centres d'appel d'urgence ou l'adduction d'eau, la paralysie des stations-service peut provoquer de fortes complications dans la recherche de moyens de substitution en l'attente du rétablissement de l'électricité.

¹ Les autres moyens étant par exemple l'installation en circuit fermé à l'échelle du foyer d'énergie solaire (panneau photovoltaïque), mini-éolienne, générateur à huile...

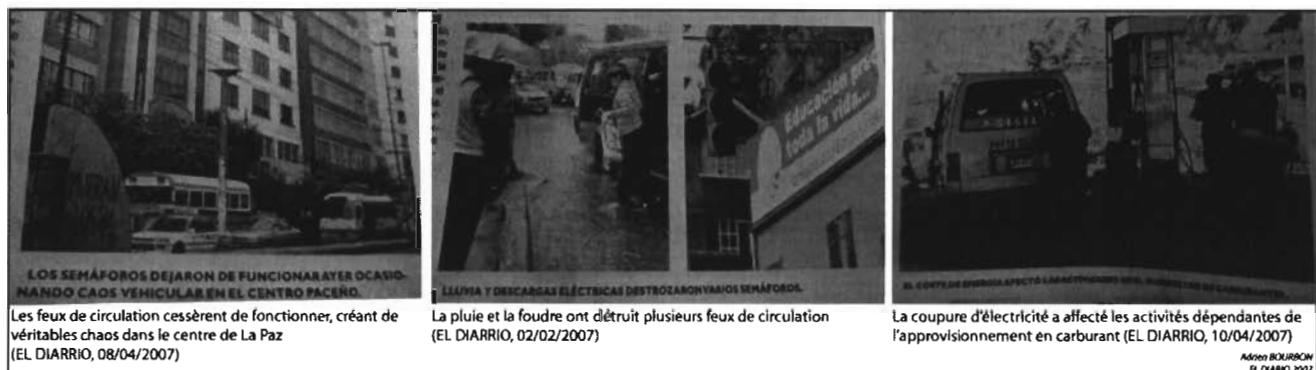


Figure 26 : Les conséquences d'une panne d'électricité à La Paz

La perte de l'approvisionnement en carburant par une telle panne perturbe tous les secteurs nécessitant des véhicules pour fonctionner. L'affectation de ces nombreux secteurs dépend de plusieurs facteurs tels que la durée de la panne et là encore, les mesures de prévention prises en amont afin de stocker du carburant sont fondamentales. Les ambulances, véhicules de police et de pompier, dont le service est fondé sur le déplacement en véhicule, se retrouvent donc paralysés selon la durée de la panne si aucun stock n'a été prévu par les administrations de ces services¹. La paralysie des stations-services constitue donc un risque important.

Les véhicules de transport, secteur également primordial à La Paz dans la mesure où une importante partie des transports en commun se font par véhicule motorisé, se retrouvent paralysés en cas de rupture de l'approvisionnement en carburant. Toute l'activité économique peut se retrouver perturbée lors d'une panne d'électricité puisqu'une très forte majorité de Pacéniens et Alténiens utilise les transports en commun (seulement 19,30% des foyers pacéniens possèdent leur propre véhicule et 8,58% des foyers alténiens (INE 2001).

Le rôle de la régulation lors d'une panne

La coupure du 07/04/2005 a été telle que le responsable national de la régulation du secteur électrique a pris de fortes mesures contre les entreprises gestionnaires, allant d'un blâme à des sanctions financières. Estimant que le rétablissement aurait dû s'effectuer plus rapidement, il a également incité les personnes affectées à aller se plaindre auprès des entreprises de distribution. L'entreprise propriétaire de l'élément défectueux est en effet tenue de résoudre immédiatement le problème. Une enquête a donc été diligentée sur le fait que la COBEE ait mis autant de temps

¹ Par ailleurs, les véhicules à La Paz consomment en moyenne plus de carburant que dans d'autres grandes villes en raison de la très importante déclivité des routes et de l'effet du manque d'oxygène due à l'altitude.

pour résoudre le problème. Néanmoins, lors d'une coupure de cette importance, les centrales ainsi que les lignes et postes de transformation correspondant se déconnectent automatiquement afin de ne pas endommager toute la zone (COBEE 2010). Lors de cette panne les interrupteurs des centrales Zongo se sont ouverts afin que les machines ne brûlent pas¹. Après la panne, il faut remettre toutes les machines en route en inspectant les dommages pour éviter que tout le système de production ne brûle à son tour. De la même manière, il est nécessaire de rétablir la fréquence afin de réinjecter la production, les risques de créer une baisse de fréquence sur l'ensemble du SIN étant très important (COBEE 2010).

4.3 Quelle organisation et alternatives en cas de panne d'électricité ?

Afin de comprendre comment s'organisent les éléments essentiels de la métropole en cas de panne et quels moyens de prévention sont mis en place, nous avons étudié le fonctionnement de quelques-uns de ces éléments comme les hôpitaux et les usines de potabilisation d'eau.

4.3.1 La vulnérabilité des hôpitaux face à l'électricité.

Les hôpitaux jouent un rôle important en période de fonctionnement normal du territoire métropolitain pacénien. Ce rôle s'amplifie lors d'une crise puisque ce sont des lieux qui vont abriter et soigner les blessés. Leur approvisionnement en électricité est particulièrement nécessaire au fonctionnement de nombreux appareils, dont beaucoup sont destinés aux urgences. Nous avons donc commencé dans le cadre de cette étude, une analyse non exhaustive des alternatives et fonctionnements de trois hôpitaux majeurs de La Paz².

L'hôpital général de La Paz est un hôpital public pouvant accueillir quatre cent personnes. Il se trouve dans un vaste complexe hospitalier comprenant de nombreux autres centres spécialisés. Il s'agit d'un hôpital d'accueil d'urgence pour personnes n'ayant pas les moyens d'aller dans des centres privés (CONDE, 2010). En cas de panne, la partie clinique du complexe hospitalier possède un générateur de secours (diesel) avec des stocks pouvant approvisionner l'hôpital entre trois et cinq heures (CHAVEZ JAZO 2010). Ce type de générateur (cf. Annexe n°28) s'enclenche directement lors d'une rupture d'approvisionnement du système normal. Il peut donc affronter la grande majorité de celles qui affectent La Paz. Cependant, cette alternative de fonctionnement ne

¹ Il s'agit d'un système de protection automatique qui s'enclenche lorsque les systèmes de contrôle internes aux centrales détectent une anomalie.

² Ils sont considérés comme tel de par leur capacité d'accueil (nombre de lits) et l'équipement dont ils disposent (CONDE 2010).

peut pas subvenir aux besoins de tous les appareils et toutes les machines. Pour la clinique, l'énergie produite par le générateur est destinée aux urgences, aux blocs opératoires et à toutes les thérapies intensives. D'autres parties de l'hôpital ne disposent pas d'alternative comme les hémodialyses¹, qui sont des appareils particulièrement importants dans le traitement de patients et qui sont débranchées automatiquement lors d'une panne d'électricité puisque leur consommation est beaucoup trop importante pour être alimentées par un générateur d'appoint (CHAVEZ JAZO 2010). Lors de la grêle de 2002, l'hôpital a été submergé de patients. Cependant aucune coupure d'électricité n'a été enregistrée. La dernière qu'a connue l'hôpital a eu lieu entre le mois d'avril et le mois de mai 2010 et priva l'hôpital d'une heure d'électricité, le générateur ayant été suffisant (CHAVEZ JAZO 2010). Nous ne disposons d'aucune information quant à l'organisation de l'hôpital pour le réapprovisionnement en combustible car comme nous l'avons vu, les pannes affectent également les stations-service². L'hôpital général de La Paz apparaît comme moyennement vulnérable puisqu'il est équipé de moyens d'alternative mais qui ne lui permettent pas de l'approvisionner très longtemps et pas pour tous les appareils de la structure.

L'hôpital Arco Iris est un hôpital privé jouant également un rôle important en cas de crise dans la mesure où il est très bien équipé. Il possède en tout 100 lits et dispose du chauffage et de l'eau chaude grâce à des panneaux solaires installés sur son toit (CONDE 2010). C'est également le service de maintenance de l'hôpital qui se charge de la gestion de l'approvisionnement en interne de l'eau et de l'électricité. L'hôpital est équipé d'un générateur d'appoint et peut approvisionner l'hôpital dans les services des blocs opératoires, thérapies intensives, urgences, service néo-natal, eau et machine à oxygène pendant cinq jours. En cas de panne plus longue, les panneaux solaires destinés au chauffage de l'eau peuvent approvisionner l'hôpital. Nous pouvons considérer l'hôpital Arco Iris comme peu vulnérable face à l'électricité dans la mesure où il possède les moyens suffisants pour affronter plusieurs types de coupure d'électricité. D'autre part, il possède également plusieurs alternatives et non un seul générateur d'appoint.

Enfin, l'hôpital général L.U.O, également un établissement public mais à la capacité d'accueil nettement moindre (134 lits) que le premier (CONDE 2010), possède un transformateur d'ELECTROPAZ en interne mais aucun moyen alternatif d'approvisionnement en énergie électrique. Il possède seulement de petites batteries permettant l'éclairage des blocs opératoires en

¹ Il s'agit d'une méthode d'épuration du sang par la création d'un circuit de circulation extracorporelle et son passage dans un dialyseur.

² Là encore, si aucun accord n'est passé avec les compagnies distributrices, le renouvellement des stocks de l'hôpital pourrait ne pas s'effectuer.

cas de panne entre une demi-heure et une heure. Il apparaît donc comme très vulnérable du fait qu'il ne possède aucun véritable moyen d'alternative.

4.3.2 Les usines de potabilisation d'eau

Tout comme les hôpitaux, les usines de potabilisation d'eau ont un besoin fondamental en électricité pour fonctionner, le risque de perte de cet autre enjeu du territoire métropolitain par transmission liée à l'électricité étant très important. Nous avons ainsi étudié le degré de dépendance de l'usine de potabilisation Achachicala, située au nord de La Paz. Elle assure la potabilisation de l'eau destinée à la partie centrale de la municipalité de La Paz à hauteur de 700l/s. De manière générale, l'utilisation de l'électricité pour ce type d'usine n'est pas très importante en quantité mais n'en est pas moins nécessaire. Elle est principalement utilisée dans quatre phases du processus de potabilisation à savoir pour préparer la chaux nécessaire à l'élévation du pH de l'eau dans la première phase, afin d'éliminer les matériaux lourds. Dans la deuxième phase, elle est nécessaire à la floculation c'est-à-dire le mélange, par de gros agitateurs, de l'eau non traitée avec les substances injectées (chaux et sulfate d'aluminium). Dans la troisième phase, l'électricité est utilisée afin de faire fonctionner le moteur du pont d'évacuation des boues de traitement. Enfin, les pompes de nettoyage des filtres sont les éléments du processus les plus consommateurs d'énergie électrique dans une quatrième phase.

Cependant parmi ces phases du processus qui consomment de manière conséquente de l'énergie électrique, seulement les deux premières sont d'une extrême importance afin de fournir une eau relativement saine à la ville. La phase de nettoyage peut attendre une fin de panne pour être relancée quand bien même la panne durerait jusqu'à trois jours (AITMANSOUR 2010). La centrale possède un groupe de production d'urgence, à savoir un générateur diesel¹ qui permet de faire fonctionner la centrale pendant 24h sans réapprovisionnement. L'énergie produite par le générateur (45 kVA), est ainsi destinée aux deux seules premières phases du processus, le groupe ne pouvant produire suffisamment pour l'ensemble de la centrale. En raison d'une très forte contamination de l'eau de Milluni (dû à l'infiltration des eaux de pluies dans d'anciennes mines), l'usine d'Achachicala consomme proportionnellement plus que les trois autres du même fonctionnement. Les trois premières usines fonctionnent normalement en cas de panne mais produisent une eau de moins bonne qualité, les filtres n'étant pas nettoyés.

¹ Il est constamment rempli de 450 l de stock d'essence.

Ces autres usines d'EPSAS que sont El Alto (approvisionnement d'El Alto par le nord), et Pampahasi (approvisionnement de la partie est de La Paz) possèdent également des générateurs de secours qui peuvent de la même manière assurer le rôle de l'usine en cas de panne prolongée. Cependant, Tilata (approvisionnement d'El Alto par l'ouest) est une usine particulière puisque contrairement aux autres qui récupèrent l'eau de différents bassins versants, l'eau est puisée dans la nappe phréatique grâce à trente pompes qui nécessitent beaucoup d'énergie électrique pour fonctionner. Le générateur de secours présent dans cette centrale ne permet de faire fonctionner qu'une ligne pour une seule pompe, ce qui réduit considérablement la production d'eau potable destinée à 228 898 habitants d'El Alto (AITMANSOUR 2010, HARDY 2009, MILLON 2010).

Afin de réduire encore plus leur vulnérabilité face à l'électricité, les usines d'EPSAS ont un accord avec la compagnie pétrochimique YPFB¹ afin d'être réapprovisionner en combustible dans le cas d'une panne de plus de 24H.

De manière générale la compagnie de distribution d'eau potable EPSAS a mis en place des moyens d'alternative relativement sûrs pour faire face à une panne d'électricité. Cependant, dans cette évaluation, l'usine Tilata apparaît comme nettement plus vulnérable dans la mesure où une grande partie de sa production est paralysée en cas de panne.

Des projets de microcentrales hydroélectriques actionnées par le débit de l'eau qu'utilisent les centrales sont en cours afin de rendre indépendantes énergétiquement les centrales vis-à-vis du réseau de distribution principale (EPSAS 2010). Cela permettrait de réduire la vulnérabilité de ces centrales face à une panne éventuelle par la réduction de leur dépendance au réseau de distribution.

L'approvisionnement en électricité de la métropole dépend de nombreuses infrastructures dispersées sur une grande partie du territoire bolivien. Cette dispersion rend ces infrastructures très vulnérables à différents éléments perturbateurs, la rencontre des deux constituant un risque très important pour la ville de La Paz. Nous avons vu que si de nombreux éléments essentiels de la ville prennent conscience de l'importance d'équiper leurs structures en alternatives d'approvisionnement, certains paramètres ne sont pas toujours pris en compte comme le fait que les stations-service pourraient ne plus remplir leur rôle en cas de panne.

¹ Compagnie pétrolière nationale.

Conclusion

Rappel des objectifs du travail de recherche

Ce travail de recherche réalisé au sein du programme PACIVUR en Bolivie, s'inscrit dans l'analyse des éléments essentiels nécessaires au fonctionnement normal du territoire métropolitain de La Paz et de leur vulnérabilité. Dans ce cadre, ce travail dresse un premier tableau des caractéristiques principales de l'approvisionnement en énergie électrique. Nous avons ainsi dû collecter des données sur le système interconnecté bolivien à différentes échelles en identifiant les acteurs qui opèrent dans la zone nord et en les contactant quand cela était possible¹. De la même manière, afin d'étudier les vulnérabilités sociales liées à l'électricité, il aura fallu identifier les espaces les moins connectés et en analyser les raisons et les organisations informelles destinées à pallier ce manque.

Nous avons vu que l'étude de l'approvisionnement d'un territoire précis, dans le cadre de l'interconnexion du SIN, ne peut se faire sans analyser à petite échelle de quelle manière est structuré ce système. C'est la raison pour laquelle nous avons pensé nécessaire de consacrer une partie à l'étude du SIN dans son ensemble pour comprendre comment est organisé l'approvisionnement à l'échelle du pays. Ces données sont notamment nécessaires pour comprendre de quelles parties du territoire provient l'électricité destinée à La Paz en saison d'étiage et comprendre par où est transportée cette énergie.

Les résultats

Comme toute grande métropole, La Paz concentre une demande importante et croissante en énergie électrique. Nous avons vu que cette demande se caractérise différemment selon l'échelle adoptée, mais qu'elle est globalement nécessaire au fonctionnement de ce territoire.

L'approvisionnement en électricité est un service urbain qui contribue au développement de la métropole et à l'amélioration des conditions de vie des populations. Malgré une bonne répartition de ce service, en partie due à un prix accessible pour une grande partie des foyers, on distingue encore de nombreuses habitations non connectées aux réseaux de distribution. Un des facteurs d'explication est le manque de volonté des entreprises d'investir dans des espaces jugés trop peu

¹ Nous n'avons pas pu contacter les entreprises TDE (transport haute tension) et EMPRELPAZ (distribution en espace rural) par manque de temps. Par manque de volonté de fournir des données sur ses infrastructures et sa gestion, les seules données sur ELECTROPAZ présentées dans ce travail ont été fournies par l'AE.

rentables. C'est dans ce contexte que le gouvernement actuel et de nombreux programmes de coopération internationale entendent rattraper le retard pris par les restructurations consécutives de la réforme de 1995, en instaurant une gouvernance de ce secteur où l'Etat reprend une place importante (notamment à partir de nationalisations d'entreprises du secteur électrique).

La Paz est connectée au système national par une ligne nécessaire afin d'importer de l'électricité produite par les autres zones de ce SIN. D'une manière globale, la zone nord, dans laquelle est située La Paz, produit suffisamment d'énergie électrique pour la métropole ; en revanche, cette production devient insuffisante en saison d'étiage¹. La production de cette zone nord se fait principalement dans des centrales hydroélectriques, à l'est et au nord-est de la métropole. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire pour les gestionnaires du système d'importer de l'électricité en saison d'étiage afin de combler le manque de production.

Cette organisation différentielle de l'approvisionnement en fonction de la saison est l'un des facteurs de vulnérabilité les plus importants de cet enjeu de la logistique urbaine pacénienne (D'ERCOLE, METZGER 2008). Le manque d'alternative de fonctionnement de la ligne Vinto-Kenko (cf. figure n°15 : éléments de niveau 1) implique que sa perte engendre la rupture quasi-totale de l'approvisionnement de La Paz.

Ce fut le cas le 07/04/2007 quand la foudre s'abattit sur le poste de transformation de Mazocruz (cf. figure n°15 : éléments de niveau 1). Les pannes qu'engendre ce type d'événement touchent de nombreux secteurs clés sur tout le territoire métropolitain (La Paz-El Alto) puisque les deux municipalités sont approvisionnées par les mêmes infrastructures.

Ce type de panne met en évidence la vulnérabilité du système que nous avons distinguée sous deux formes, la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité extérieure (HARDY 2009). La première est relativement importante dans le cas de la zone nord du SIN en raison du morcèlement de la gestion de l'approvisionnement en partie dû à la réforme de 1995 qui a multiplié le nombre d'acteurs. D'autre part, la complexité d'un tel système impose de prévenir des pannes, par exemple en multipliant les alternatives de fonctionnement ou de transport ce qui implique un coût important que les entreprises ne peuvent ou ne veulent pas toujours assurer. Enfin, l'étude des pannes a démontré qu'un grand nombre était lié de près ou de loin à une mauvaise gestion des acteurs.

La vulnérabilité extérieure est quant à elle l'ensemble des éléments qui échappent aux gestionnaires du système (HARDY 2009). Il est toutefois possible d'identifier ces éléments

¹ Une année est composée dans ce pays d'une saison des pluies et d'une saison d'étiage.

susceptibles d'endommager les infrastructures afin d'envisager des mesures préventives. Il peut s'agir de l'exposition d'un élément à un aléa tel qu'un glissement de terrain, ou encore le groupe de production Zongo à une sécheresse. Il s'agit également de la dépendance des centrales hydroélectriques de la vallée Zongo à l'eau qui permet de faire fonctionner les turbines.

Pour évaluer cet aspect de la vulnérabilité, nous avons donc tenté de considérer tous ces éléments dont dépend l'approvisionnement de la métropole, ainsi que ceux qui menacent les infrastructures. Par exemple, une unité de production est dépendante de l'eau, mais également de l'huile nécessaire à faire tourner les turbines. Elle a également besoin d'électricité pour l'ensemble des appareils de contrôle et pour relancer les machines après une panne.

Enfin, l'objectif final d'une telle étude est d'identifier les mécanismes de transmission de crise par l'identification des rapports entre enjeux du territoire, puis par l'étude de leurs alternatives de fonctionnement. Nous avons vu qu'un certain nombre de ces enjeux comme l'adduction d'eau ou l'accessibilité était particulièrement liés à l'électricité et que la perte de son approvisionnement provoque des perturbations sur leur fonctionnement.

Nous avons donc entrepris une première approche de la vulnérabilité de ces enjeux face à un élément qui leur est extérieur, à savoir l'électricité. Les établissements de santé et les usines de potabilisation d'eau sont de cette manière très dépendants à l'électricité pour fonctionner normalement. Les usines de potabilisation d'eau nécessitent également cette énergie pour approvisionner la ville.

L'approvisionnement de la métropole pacénienne apparaît donc comme globalement sûr au regard des pannes enregistrées. La vulnérabilité des infrastructures que nous avons identifiées ne se manifeste qu'assez rarement puisque la seule panne ayant touché l'ensemble du territoire étudié pendant une durée assez longue est celle du 07/04/2007, ce qui au regard des événements connus dans d'autres pays ne semble pas très conséquent. Cependant, il faut replacer ces données dans le contexte d'une ville au sein de laquelle l'énergie électrique n'est pas consommée de manière très importante pour les diverses raisons que nous avons mentionnées dans la première partie.

La perte de l'approvisionnement en électricité de la métropole constitue un risque important compte tenu des éléments qui lui sont liés. De la même manière, il s'agit d'un enjeu de la logistique urbaine dont le rôle apparaît comme fondamental pour la gestion d'une crise puisque nous avons vu que des éléments tels que les hôpitaux, l'adduction d'eau ou les télécommunications dépendent directement de l'électricité pour fonctionner. Dans le cas d'une crise, si un élément du système vient à être perdu et que cet élément permet l'approvisionnement

d'un hôpital tel que l'Hôpital général de La Paz, la gestion de la crise viendrait à être fortement perturbée dans la mesure où l'ensemble des personnes touchées physiquement (s'il y en a) devraient être placées dans d'autres établissements.

Projet de thèse

L'objectif d'un tel travail est d'évaluer par la suite les possibilités de réduction des vulnérabilités dans une perspective de prévention des risques et de gestion des crises (HARDY 2008). Dans cette perspective, nos résultats seront fournis à l'ensemble des contacts établis lors de cette étude. Au-delà de l'échange de l'information et de la coopération réciproque entre partenaires, ce qui nous importe est de faire évaluer les résultats obtenus afin de faire participer les acteurs à l'identification des facteurs de vulnérabilité de leurs infrastructures, toujours dans le but de la réduire.

Dans cette optique de collaboration, il serait nécessaire de continuer à travailler avec les différents acteurs sur la base de critiques et limites apportées à cette première ébauche de la vulnérabilité de l'approvisionnement en énergie électrique de La Paz. Le géographe n'est pas spécialiste de l'électricité et ce domaine requiert de nombreuses compétences complémentaires que seul l'ingénieur en électricité peut apporter.

Ce mémoire de deuxième année de master n'est qu'une étude non exhaustive de cette vulnérabilité. Dans le cadre d'une thèse, ce travail nécessiterait d'approfondir l'analyse des mécanismes de transmission de vulnérabilité en identifiant tous les secteurs qui nécessitent l'électricité pour fonctionner. Il s'agirait par la suite d'étudier de manière nettement plus approfondie comment ces éléments sont organisés en cas de rupture d'approvisionnement et quelles sont les limites de cette organisation.

D'autre part, notre travail sur SIG pourrait être approfondi, notamment en ce qui concerne la distribution. En identifiant par quelle infrastructure est approvisionnée tel ou tel espace, il serait possible d'étudier lesquels sont les plus vulnérables puisqu'alimentés par un seul transformateur... Cependant, là encore, cette analyse spatiale requiert un partenariat avec des ingénieurs du réseau de distribution car il existe des interrupteurs qui permettent de relier certains postes de transformation entre eux en cas de panne.

Le travail d'identification des éléments essentiels de la production, du transport et de la distribution de l'électricité n'est également qu'une étape préliminaire. En collaboration avec les entreprises, ce travail nécessiterait d'être fait dans toutes les infrastructures.

Il serait également intéressant d'étudier les relations entre La Paz et les « espaces ruraux associés » à la production d'électricité (vallées Zongo et Taquesi), par exemple dans la gestion des ressources des différentes rivières (PIGEON 2007). Au Laos, une étude de D. Schmidt-Vogt démontre les conséquences négatives des centrales hydroélectriques sur les activités des populations rurales liées aux ressources des rivières (SCHMIDT-VOGT 2004 *in* PIGEON 2007 p. 51).

Enfin, ce travail pourrait prendre en compte la dimension environnementale de la problématique énergétique en s'intéressant aux alternatives de production issues des nouvelles technologies et orientées vers les énergies renouvelables. Toujours dans la perspective de comprendre la vulnérabilité du territoire métropolitain vis-à-vis de l'électricité, nous pourrions évaluer les projets d'indépendances énergétiques face aux réseaux interconnectés et au système national. Ce type de restructuration territoriale par l'approvisionnement électrique à petite échelle peut de cette manière contribuer à la réduction de la vulnérabilité territoriale.

ANNEXES

Annexe 1: Foyers raccordés par l'IDTR	89
Annexe 2: Pannes étudiées à travers la presse pacénienne	89
Annexe 3: Diagramme unifilaire du STI	90
Annexe 4: Diagramme unifilaire de la zone nord	91
Annexe 5: Centrale thermoélectrique Kenko	92
Annexe 6: Principaux postes de transformation de la métropole de La Paz	92
Annexe 7: Centrale Chururaqui.....	93
Annexe 8: Centrale Zongo.....	93
Annexe 9: Centrale Chojlla.....	93
Annexe 10: Tuyau d'adduction d'eau.....	93
Annexe 11: Canal en mauvais état.....	93
Annexe 12: Prise d'eau.....	93
Annexe 13: Transformateur de la centrale Zongo.....	93
Annexe 14: Tuyau d'arrivée d'eau.....	93
Annexe 15: Lac de rétention d'eau en amont des centrales de Zongo.....	94
Annexe 16: Bassin de rétention.....	94
Annexe 17: Canal d'adduction d'eau.....	94
Annexe 18: Unité de production.....	94
Annexe 19: Turbine PELTON.....	94
Annexe 20: Poste de contrôle.....	94
Annexe 21: Batteries destinées à faire redémarrer les centrales en cas de panne.....	94
Annexe 22: Lignes d'évacuation du groupe Zongo.....	94
Annexe 23: Ligne Chuspipata-Chuquiaguillo.....	95
Annexe 24: Ligne Senkata - Kenko.....	95

Annexe 25: Partie de la ligne Kenko - Chuquiaguillo.....	95
Annexe 26: Habitation en construction ne disposant pas de l'électricité.....	95
Annexe 27: Publicité de l'Etat pour la loi Tarifa Dignidad.....	95
Annexe 28: Exemple de générateur d'appoint.....	95
Annexe 29: Description des causes de coupure d'électricité.....	96

Municipio	Sub. Alcaldía	District	Quartier	Nombre de foyers connectés
El Alto	SAN ROQUE	7	LIBERTAD	6
El Alto	SAN ROQUE	7	VILLA ANDRANI I-II	5
El Alto	SAN ROQUE	7	VILLA NUEVA	15
El Alto	SAN ROQUE	7	PRIMAVERA	4
El Alto	SAN ROQUE	7	SAN LORENZO	13
El Alto	SAN ROQUE	7	VILLA MERCEDES	7
El Alto	SAN ROQUE	7	SAN LUCAS	17
El Alto	SAN ROQUE	7	TOPATER	20
El Alto	SAN ROQUE	7	ANEXO TOPATER	9
El Alto	SAN ROQUE	7	POMAMAYA ALTA	14
El Alto	SAN ROQUE	7	MIRAFLORES	13
El Alto	SAN ROQUE	7	19 DE JUNIO	28
El Alto	SAN ROQUE	7	COOPERATIVA	28
El Alto	SAN ROQUE	7	SAN MIGUEL	13
El Alto	SAN ROQUE	7	JULIAN APAZA II	49
El Alto	SAN ROQUE	7	PRADOS DEL NORTE	21
TOTAL				262

Annexe 1: Foyers raccordés par l'IDTR

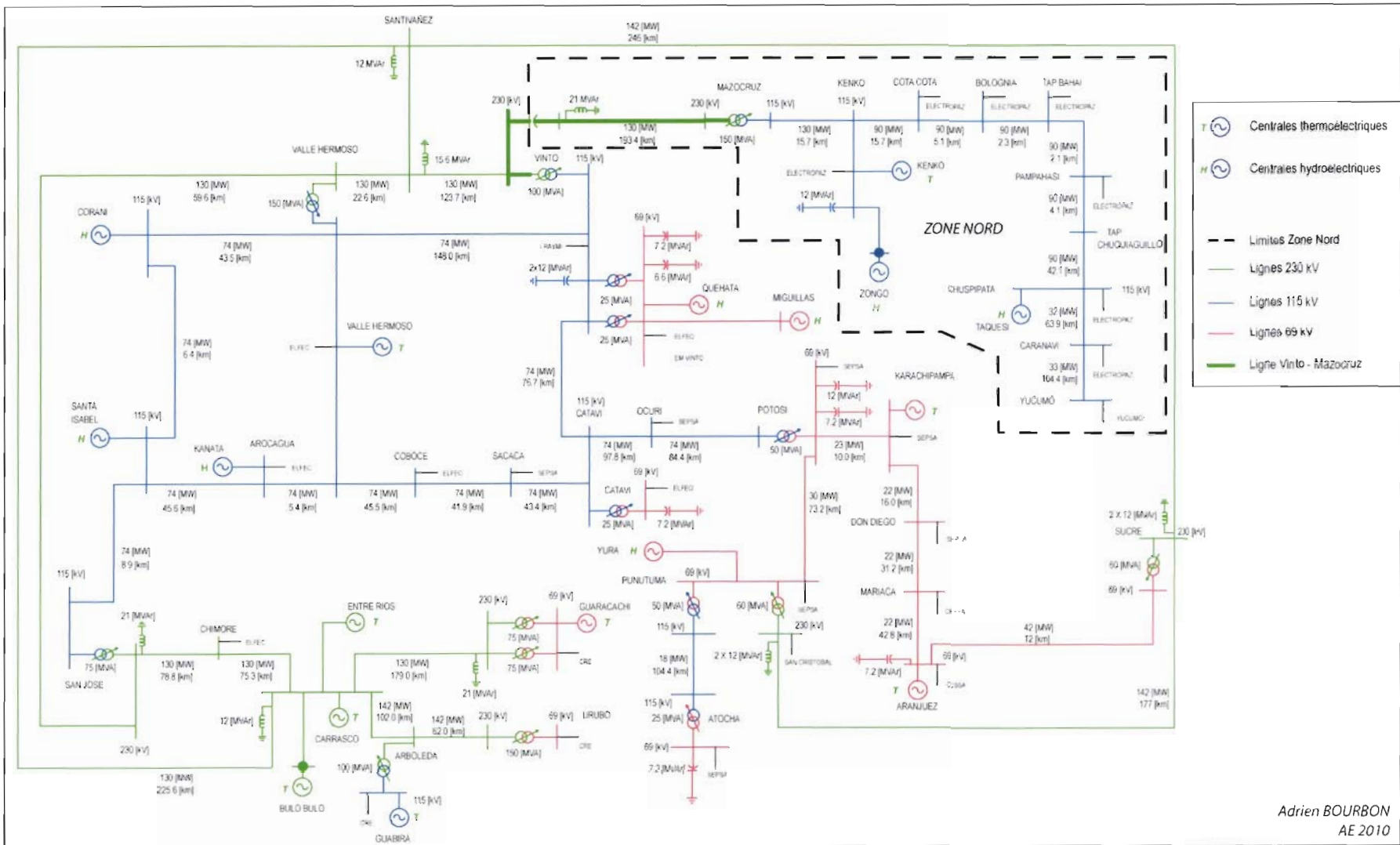
Adrien BOURBON
IDTR 2010

Entreprises gestionnaires	Secteurs	Classes de durée	Date	Causes
ELECTROPAZ	Distribution	>02:30	11/01/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	>02:30	01/02/2007	Cause intrinsèque
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	<00:15	03/04/2007	Cause naturelle
COBEE	Production	>02:30	07/04/2007	Cause anthropique
COBEE	Transport	>02:30	07/04/2007	Cause anthropique
COBEE	Production	>02:30	07/04/2007	Cause anthropique
ELECTROPAZ	Transport	>02:30	07/04/2007	Cause intrinsèque
ELECTROPAZ	Distribution	>02:30	09/07/2007	Cause naturelle
ELECTROPAZ	Distribution	>02:30	09/07/2007	Cause anthropique
ELECTROPAZ	Distribution	>02:30	09/07/2007	Cause anthropique
ELECTROPAZ	Distribution	>02:30	02/08/2007	Cause intrinsèque
HB	Production	>02:30	20/11/2007	Cause anthropique
HB	Production	>02:30	20/11/2007	Cause anthropique
HB	Production	>02:30	08/02/2008	Non déterminée
Coupages non traitées par la presse				
Coupages traitées par la presse				

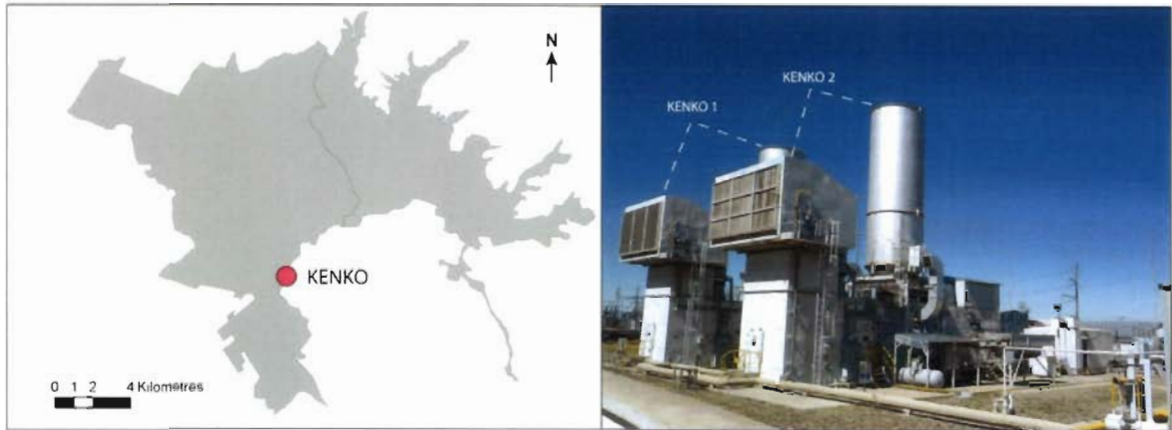
Adrien BOURBON
AE 2006-2010, EL DIARIO

Annexe 2: Pannes étudiées à travers la presse pacénienne

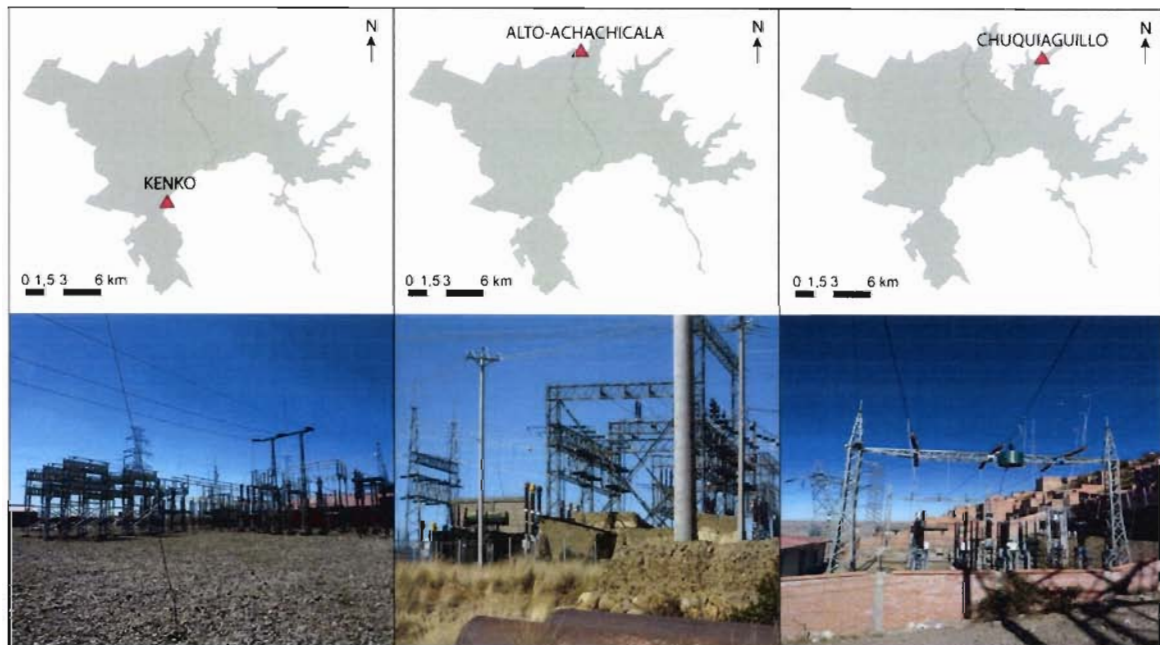
Annexe 3: Diagramme unifilaire du STI



Adrien BOURBON
AE 2010



Annexe 5: Centrale thermoélectrique Kenko



Annexe 6: Principaux postes de transformation de la métropole de La Paz

Adrien BOURBON
 Carte : AE 2010, ©MLP/PACIVUR 2009
 Photo : Adrien BOURBON mai 2010



Annexe 7 : Centrale Chururaqui (Vallée Zongo)



Annexe 8 : Centrale Zongo (Vallée Zongo)



Annexe 9 : Centrale Chojlla (Vallée Taquesi)



Annexe 10 : Tuyau d'adduction d'eau (centrale Chojlla)



Annexe 11 : Canal en mauvais état (Vallée Taquesi)



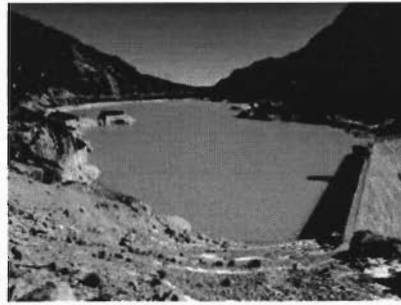
Annexe 12 : Prise d'eau (Rivière Taquesi)



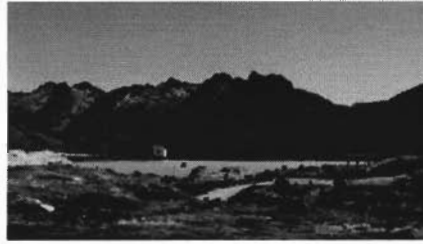
Annexe 13 : Transformateur de la centrale Zongo



Annexe 14 : Tuyau d'arrivée d'eau (Centrale Tiquimani-Vallée Zongo)



Annexe 15 : Lac de rétention d'eau en amont des centrales de Zongo



Annexe 16 : Bassin de rétention situé au niveau de la centrale Tiquimani (Vallée Zongo)



Annexe 17 : Canal d'adduction d'eau (Vallée Zongo)



Annexe 18 : Unité de production (Centrale Cuticucho-Vallée Zongo)



Annexe 19 : Turbine Pelton (Centrale Cuticucho-Vallée Zongo)



Annexe 20 : Poste de contrôle (Centrale Cuticucho-Vallée Zongo)



Annexe 21 : Batteries destinées à faire redémarrer les centrales en cas de panne (Centrale Cuticucho-Vallée Zongo)



Annexe 22 : Lignes d'évacuation de la production du groupe Zongo



Annexe 23 : Ligne Chuspipata-Chuquiaguillo (115 kV)



Annexe 24 : Ligne Senkata-Kenke (115 kV)



Annexe 25 : Partie de la ligne Kenko-Chuquiaguillo



Annexe 26 : Habitation en construction ne disposant pas encore de l'électricité (District 7 - El Alto)



Annexe 27 : Publicité de l'Etat pour la loi Tarifa dignidad (Tarif pour la dignité)



Annexe 28 : Exemple de générateur d'appoint (Hôpital Général-La Paz)

Catégories de causes	Causes précises
<p style="text-align: center;">CAUSES ANTHROPIQUES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Causes Accidentelles : il s'agit des atteintes accidentelles sur les infrastructures telles que les accidents de la circulation ou de manière générale, toute atteinte d'un tiers sur les infrastructures du système. Les travaux, dans ou à l'extérieur de la métropole, peuvent endommager les infrastructures électriques quand les véhicules et machines rentrent en contact avec des câbles et déconnectent des lignes (R&D-EDF 2010). Une meilleure communication entre les entreprises d'électricité et celles responsables de ces travaux (bâtiment...) permettrait de les éviter. ▪ Raccordement informel : ces raccordements illégaux se retrouvent dans les quartiers informels quand les populations ne disposent pas des moyens nécessaires au raccordement (moyens financiers). ▪ Incendie : concernant les incendies, la défaillance du système peut être due à l'incendie comme elle peut en être l'origine par exemple par la surcharge d'un élément, une explosion ou l'absence de mise à la terre des infrastructures de transport et de distribution (R&D-EDF 2010).
<p style="text-align: center;">CAUSES NATURELLES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phénomènes hydro morphologiques : il s'agit du type d'aléa le plus fréquent de La Paz. Lors d'un glissement de terrain ou des coulées de boues, si des infrastructures du réseau se trouvent sur l'espace affecté, les conséquences seront particulièrement importantes puisque c'est souvent toute l'infrastructure qu'il faut dès lors restaurer, cela nécessitant un temps très long. Les inondations, qu'elles soient dues à des pluies torrentielles ou à des orages de grêles comme en février 2002, touchent une grande partie de La Paz (cf. figure n°... annexes) et menacent les infrastructures de distribution. ▪ Phénomènes climatiques : sont considérés ici tous les événements climatiques perturbant les infrastructures. Il s'agit principalement de forts vents, de la neige, de la grêle, de fortes pluies et d'orages accompagnés de foudre... Les infrastructures telles que les postes de transformation sont très vulnérables à la foudre. Bien qu'équipé de paratonnerre, quand elle tombe sur un élément cela engendre quelquefois des coupures relativement longues (cf. panne du 07/04/2007).
<p style="text-align: center;">CAUSES INTRINSEQUES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Défaillances : Il s'agit de toutes les causes issues d'une mauvaise gestion du système par les gestionnaires. On distingue ici les erreurs humaines des ruptures dues à des perturbations provoquées par la vétusté des infrastructures ou des erreurs en amont, notamment lors de la programmation ou l'installation des matériels. Les isolateurs des postes de transformation apparaissent comme particulièrement vulnérables¹, au regard du nombre de failles enregistrées dans notre base. ▪ Travaux préventifs : Ce sont tous les travaux nécessitant le débranchement de parties du système, pour des raisons de sécurité, de maintenance ou de réparation des infrastructures. Des techniques ont été mises au point sur les systèmes européens, notamment pour pouvoir effectuer certaines maintenances sous tension concernant les lignes du réseau de transport haute tension car le débranchement de ce type de ligne provoque des coupures relativement longues pour les consommateurs (R&D-EDF 2003). ▪ Activation d'un système de sûreté automatique : il s'agit de l'ensemble des mécanismes automatiques ou manuels prévus par les gestionnaires dans le but de rattraper une défaillance du réseau. Puisque l'activation de ces systèmes engendre une coupure, nous considérons qu'il s'agit d'une cause intrinsèque. Dans certains cas, ces systèmes de sûreté sont enclenchés à la suite de l'exposition à un aléa.
<p style="text-align: center;">DECONNEXIONS DE LIGNE</p>	<p>Déconnexion d'une ligne :</p> <p>Nous avons distingué ici les déconnexions des différentes lignes de tension : haute, moyenne et basse. La distinction est importante puisqu'il est plus simple par la suite de spatialiser d'où vient le problème, le système étant constitué de lignes de différentes tensions qui correspondent spatialement à des espaces bien distincts Parmi les coupures enregistrées, on distingue :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les déconnexions de ligne à haute tension ▪ Les déconnexions de ligne moyenne tension ▪ Et les déconnexions de ligne de distribution (basse tension)

Définition des acronymes

AE : Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (Autorité de fiscalisation et de contrôle social de l'électricité)

AFP : Agence France Presse

BID : Banque Interaméricaine de Développement

Bs : Bolivianos (Monnaie bolivienne)

BT : Basse Tension

CAN : Communauté Andine des Nations

CECBB : Compañía Eléctrica Central Bulo-Bulo S.A. (Compagnie d'Electricité Centrale Bulo-Bulo S.A.)

CESSA : Compañía Eléctrica Sucre S.A. (Compagnie d'Electricité Sucre S.A.)

CNDC : Comité Nacional de Despacho de Carga (Comité national de dispatching de tension)

COBEE : Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (Compagnie Bolivienne d'Energie Electrique)

CORANI : Empresa Eléctrica Corani S.A (Entreprise d'Electricité Corani S.A.)

COSERELEC : Compañía de Servicios Eléctricos S.A. (Compagnie de Services Electriques S.A.)

CRE : Cooperativa Rural de Electricidad (Coopérative Rurale d'Electricité)

CRED : Center for Research on the Epidemiology of Disasters (Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres)

DINE : Dirección Nacional de Electricidad (Direction Nationale d'Electricité)

EDAC : Protocole de gestion de la distribution en cas de baisse de fréquence

EGSA : Empresa Eléctrica Guaracachi (Entreprise d'Electricité Guaracachi)

ELECTROPAZ : Eléctricidad de La Paz S.A. (Electricité de La Paz S.A.)

ELFEC : Empresa de Luz y Fuerza Eléctrica Cochabamba S.A. (Entreprise de Lumière et d'Energie Electrique Cochabamba S.A.)

ELFEO : Empresa de Luz y Fuerza Eléctrica Oruro S.A. (Entreprise de Lumière et d'Energie Electrique Oruro S.A.)

EM-DAT CRED : Evènements d'Urgence – Base de Données Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres

EMPRELPAZ : Empresa Rural de Energía Eléctrica de La Paz (Entreprise Rurale d'Energie Electrique de La Paz)

ENDE : Empresa Nacional de Electricidad (Entreprise Nationale d'Electricité)

EPSAS : Empresa Publica Social de Agua y Saneamiento (Entreprise Sociale de l'Eau et de l'Assainissement)

ERESA : Empresa Rio Eléctrico S.A. (Entreprise Rio Electrico S.A.)

EVH : Empresa Eléctrica Valle Hermoso S.A (Entreprise d'Electricité Valle Hermoso S.A.)

FEJUVE : Federación de Juntas Vecinales (Fédération des Juntas Vecinales)

FMI : Fonds Monétaire International

GE : Guabirá Energía S.A. (Guabira Energie S.A.)

GMLP : Gobierno Municipal de La Paz (Gouvernement Municipal de La Paz)

GPOBA : Global Partnership on Output-Based Aid (Partenariat Mondial Basé sur les Résultats de l'Aide)

HB : Hidroeléctrica Boliviana S.A.

IDTR : Infraestructura Decentralizada para la Transformacion Rural (Infrastructure Décentralisée pour la Transformation Rurale)

INE : Instituto Nacional de Estadística (Institut National de Statistique)

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ISA : Compañía de Transmisión de Energía Eléctrica (Compagnie de Transmission de l'Energie Electrique)

KB INTELLIGENCE : spécialiste de l'identification, de la collecte et du traitement de l'information

MEM : Mercado Electrico Mayorista (Marché Grossiste de l'Electricité)

OED : Operations Evaluation Department (Département d'Evaluation des Opérations)

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PACIVUR : Programme Andin de Formation et de Recherche sur la Vulnérabilité et les Risques en milieu urbain

PDU : Plan de Développement Urbain

R&D-EDF : Recherche et Développement – Electricité De France

RTE : Réseau de Transport d'Electricité

SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition

SDB : Servicios de Desarrollo de Bolivia S.A. (Services de Développement Boliviens S.A.)

SEPSA : Servicios Eléctricos Potosí S.A. (Services d'Electricité Potosi S.A.)

SETAR : Servicio Eléctricos Tarija S.A (Services d'Electricité Tarija S.A.)

SIG : Système d'Information Géographique

SIN : Sistema Interconectado Nacional (Système Interconnecté National)

STI : Sistema de Transmisión Interconectado (Système de Transmission Interconnecté)

SYNERGIA : Sociedad Industrial Energética y Comercial Andina S.A. (Société Industrielle Energétique et Commerciale Andine S.A.)

TDE : Transportadora De Electricidad (Transporteur d'Electricité)

TESA : Transmisora de Electricidad San Cristóbal (

USAID : United State Agency for International Development (Agence des Etats-Unis pour le Développement International)

VMEEA : Viceministerio de Electricidad y Energias Alternativas (Vice ministère de l'Electricité et des Energias Alternativas)

YPFB : Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (Gisements Pétrolifères Fiscaux Boliviens)

LEXIQUE

CATEGORIE DE CONSOMMATEURS : Classification des consommateurs selon les caractéristiques et activités pour lesquelles ils utilisent l'électricité.

CENTRALE : Ensemble d'une ou plusieurs unités de production situées sur un même site.

CENTRALE HYDROELECTRIQUE : Centrale qui utilise les ressources hydriques pour la production d'électricité.

CENTRALE THERMOELECTRIQUE : Centrale qui utilise les combustibles (gaz, diesel ou autres) pour la production d'électricité.

CONCESSION : Acte administratif par lequel l'Autorité de fiscalisation et de contrôle social de l'électricité, au nom de l'Etat Bolivien, donne à une corporation le droit d'exercer l'activité de service public de distribution, ou d'exercer auprès des Systèmes Isolés de manière intégrée les activités de génération, transmission et distribution.

CONSOMMATEUR NON REGULIER : Consommateur qui a une demande de puissance égale ou supérieure à un certain minimum, qui est en condition de contracter de manière indépendante l'approvisionnement direct d'électricité avec le générateur, distributeur ou autre fournisseur.

CONSOMMATEUR REGULIER : Consommateur situé dans l'espace de concession d'un distributeur et nécessairement approvisionné par celui-ci.

DISTRIBUTEUR : Entreprise d'électricité titulaire d'une concession de service public qui exerce l'activité de distribution.

DISTRIBUTION : Activité d'approvisionnement d'électricité des consommateurs réguliers et/ou non réguliers, par des installations de distribution primaires et secondaires.

ENTREPRISE D'ELECTRICITE : Corporation publique, privée ou mixte, nationale ou étrangère, coopératives incluses, constituée dans le pays et qui a obtenu une concession ou licence pour l'exercice des activités de l'industrie électrique.

FACTEUR DE PERTES D'ENERGIE : Facteur qui reflète les pertes marginales de transmission pour satisfaire une augmentation d'énergie en un nœud, par l'augmentation de production en unité marginale.

GENERATEUR : Entreprise d'électricité titulaire d'une licence qui exerce l'activité de génération.

GENERATION BRUTE : Production d'électricité en bornes d'une unité productrice.

GENERATION : Processus de production d'électricité en centrale de tout type.

GWh : Gigawatt

HT : Haute Tension

Hz : Hertz

INDUSTRIE D'ELECTRICITE : Industrie qui comprend génération, interconnexion, transmission, distribution, commercialisation, importation et exportation d'électricité.

kV : Kilovolt

kVA : Kilovolt ampère

MW : Mégawatt

MWh : Mégawatt heure

PUISSANCE EFFECTIVE : Puissance maximum qu'une unité génératrice est capable de fournir au réseau, sous les conditions de température et de pression atmosphérique du site où elle est installée.

PUISSANCE INSTALLEE : Somme des puissances d'origine (fabrication) des unités génératrices d'une centrale.

REPARTITION DE CHARGE : Affectation spécifique de charge aux centrales productrices pour atteindre l'approvisionnement le plus économique et fiable, selon toutes les variations de l'offre et de la demande électrique assurant la qualité du service.

SYSTEMES ISOLES : Tout système électrique non connecté au SIN.

TARIF : Au niveau de la distribution, c'est le prix de vente de l'électricité aux consommateurs, en accord avec les caractéristiques de l'approvisionnement et la consommation d'électricité.

TRANSMISION : Activité de transformation de la tension électrique et son transport en bloc du point d'entrée par un générateur, auto producteur ou autre transporteur, jusqu'au point de réception d'un distributeur, consommateur non régulier, ou autre transporteur.

UNITE DE PRODUCTION : Machine utilisée pour la production d'électricité.

Tables des illustrations

FIGURES

Figure 1: Découpage administratif et topographique de La Paz.....	5
Figure 2: Evolution comparée de la capacité installée et de la consommation de 1980 à 2005.	17
Figure 3: Graphique de répartition de l'accès à l'électricité	21
Figure 4: Accès à l'électricité des foyers de la métropole pacénienne.....	22
Figure 5: Catégories de consommateurs.....	24
Figure 6: Equipement des foyers en biens liés à l'électricité.....	25
Figure 7: Répartition des transformateurs basse tension (BT).....	27
Figure 8: Zones du SIN	34
Figure 9: Nature de la production selon les zones du SIN	39
Figure 10: Evolution annuelle de la production.	40
Figure 11: La production au sein du SIN.....	41
Figure 12: Le réseau de transport à l'échelle du SIN	42
Figure 13: Part des ventes d'électricité selon les principales villes consommatrices.	45
Figure 14: Caractéristiques de production de la zone nord.....	50
Figure 15: Les éléments essentiels du système d'approvisionnement électrique de La Paz.....	56
Figure 16: L'approvisionnement de La Paz au sein du SIN	58
Figure 17: Evolution mensuelle de la production et consommation de la zone nord.....	61
Figure 18: Périodes de consommation quotidienne	62
Figure 19: Nombre de coupures selon leur durée.....	65
Figure 20: Classement des causes de pannes à La Paz	66
Figure 21: Répartition des coupures selon l'acteur du système responsable.....	67
Figure 22: Catégories d'événement ayant provoqués des dommages dans la métropole de 1990-2007.....	69

Figure 23: Vulnérabilité des infrastructures électriques face à certains aléas naturels	70
Figure 24: Conséquences de la panne du 04/07/2007	74
Figure 25: La panne du 02/02/2007	76
Figure 26 : Les conséquences d'une panne d'électricité à La Paz	77

PHOTOGRAPHIES

Photographie 1: Foyers non connectés bien que situés juste devant une ligne de distribution (Quartier Bella Vista, District 7, El Alto)	30
Photographie 2: Exemples de lignes de distribution mal entretenues (La Paz)	67
Photographie 3: Poste source de Rossassani : exemple d'infrastructure qui présente un niveau élevé de vulnérabilité dû à une forte exposition aux processus naturels de La Paz.	71

BIBLIOGRAPHIE

Sur l'électricité :

AE, 2009, *Anuario estadístico 2008-2009*, La Paz : AE, 252 p.

AFP, 11 novembre 2009, *Les grandes pannes d'électricité dans le monde*.

BARBU A., LUZURIAGA L., 1999, *Réforme du secteur de l'électricité en Bolivie*, OED, n°192, pp. 1-3.

DELLILE G., MALARANGE G., 2009, *Les réseaux de distribution*, Paris : R&D-EDF, 20 p.

FERNANDEZ M., BIRHUET E., 2002, *Resultados de la restructuración energética en Bolivia*, Santiago de Chile : CEPAL/ECLAC, 77 p.

KB INTELLIGENCE, 2009, *Etude technique sur la fragilité des réseaux publics de distribution d'électricité face aux événements climatiques majeurs*, Paris : FNCCR, 62p.

LE MONDE, 11 novembre 2009 - *Coupure géante d'électricité au Brésil*.

MALDONADO P., PALMA R., 2004, *Seguridad y calidad del abastecimiento eléctrico a más de 10 años de la reforma de la industria eléctrica en países de América del sur*, Santiago de Chile : CEPAL, 90 p.

MOSSER S., 2007, *Eclairage et sécurité en ville : l'état des savoirs*, *Déviance et Société*, Médecine et Hygiène, pp. 77-100.

MOSTERT W., HELVEG PETERSEN K., 2003, *Une étude de cas de privatisation de sociétés d'électricité : La Bolivie*, Ouagadougou : Direction Générale de l'Energie, 17 p.

RTE, 2004, *Mémento de la sûreté du système électrique*, Paris : RTE, 277 p.

RTE, CNER, SEMIA, 2003, *Les chemins de l'électricité*, Paris : RTE, 12 p.

Sur les risques :

ARNAL C., D'ERCOLE R., FILLOD R., NIFLE R., PIGEON P., *Mise au point d'un outil d'aide à la décision dans le domaine du risque sismique. Démarche expérimentale d'appropriation de la problématique des risques par les acteurs d'une collective urbaine*, Rapport BRGM, RP-50020-FR, 121 p.

BECERRA S., PELTIER A., (dir.) 2009, *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris : L'Harmattan, 563 p.

BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I., WISNER B., 1994 - *At risk-natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Londres : Routledge.

CHALINE C., DUBOIS-MAURY J., 1994, *La ville et ses dangers*, Paris : Masson, 247 p.

CHARDON A.C., 1994, *Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels*, Revue de géographie Alpine, n°4, pp. 97-112.

CHARDON A.-C., THOURET J.-C., 1994, *Cartographie de la vulnérabilité globale d'une population citadine face aux risques naturels : le cas de Manizales (Andes de Colombie)*, Mappemonde n°4, *Les risques naturels*, p.37-40.

D'ERCOLE R., 1994, *Les Vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : Concepts, typologie, modes d'analyse*, Revue de géographie Alpine, n°4, pp. 87-86.

D'ERCOLE R., HARDY S., METZGER P., ROBERT J., 2010, *Vulnerabilidades urbanas en los paisés andinos (Bolivia, Ecuador, Peru)*, Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, Tome 38, n°3, Lima, 575p.

D'ERCOLE R., METZGER P., 2002, *Los lugares esenciales en el distrito metropolitano de Quito*, Quito : IRD / DMQ, 225 p.

D'ERCOLE R., METZGER P., 2004, *La vulnerabilidad del distrito metropolitano de Quito*, Quito : IRD / DMQ, 496 p.

D'ERCOLE R., METZGER P., 2005, *Aléa, vulnérabilité et matérialité sociale du risque : pour une gestion préventive des territoires*, Annales de la Recherche Urbaine, 15 p.

FABIANI J-L., THEYS J., 1987, *La société vulnérable : Evaluer et maîtriser les risques*, Paris : Presse de l'ENS, 659 p.

GUEREMY, P., 1987, *La cartographie des risques naturels in Géomorphologie et risques naturels*, Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, n°69-70-71-72.

MAIF, 2008, 3^{ème} *Rencontre géographes et Assureurs face aux risques naturels. L'évaluation des politiques de prévention*, Paris : MAIF, 239 p.

PIGEON P., 2002, *Approches géographiques des risques « naturels »*, Paris : Annales de géographie, pp. 627-628.

PIGEON P., 2005, *Géographie critique des risques*, Paris : Economica, 217 p.

PIGEON P., 2007, *L'environnement au défi de l'urbanisation*, Rennes : PUR, 189 p.

REGHEZZA M., VEYRET Y., 2005, *Aléas et risques dans l'analyse géographique*, Paris : Les annales des mines responsabilité & environnement, n°40, pp. 61-70.

TEXIER P., 2009, *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, Réponses sociales institutionnelles et non institutionnelles*, Thèse de doctorat nouveau régime, Université Paris-Diderot, 466 p.

THOURET J.-C., D'ERCOLE R., 1994, *Les phénomènes naturels créateurs de dommages : diagnostic, inventaire et typologie*, Revue de la Géographie Alpine, n°4, pp. 17-26.

THOURET J.-C., D'ERCOLE R., 1996, *Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales*, Cahier des Sciences Humaines, ORSTOM, n°32, vol. 2, pp. 407-422.

VEYRET Y. (dir.), 2004, *Les Risques*, Paris : SEDES, 255p.

VEYRET Y., REGHEZZA M., 2005, *L'émergence du risque en Géographie*, Risques et problématiques géographiques, Cahiers Nantais, n°64, pp. 3-9.

Sur la Bolivie et La Paz :

DE LA FUENTE M., 2002, *La guerre de l'eau à Cochabamba, Bolivie. Un mouvement social contre la privatisation des ressources*, Conférence prononcée le 22 avril 2002, Créteil.

DEMORAES F., 1998, *Etude de l'évolution de l'agglomération de La Paz - El Alto depuis les vingt dernières années, compte tenu des contraintes environnementales du site*, Mémoire de maîtrise, Institut savoisien de la montagne, 120 p.

EL DIARIO, 2 février 2007, *Tormenta eléctrica y lluvia alarmó a ciudadanía paceña*.

EL DIARIO, 10 avril 2007, *Dentro de una semana se conocerá oficialmente las causas del apagón*.

GMLP, 2000-2005, *Dossier estadístico del Municipio de La Paz 2000 – 2005*, GMPL, La Paz.

HARDY S., 2008, *Estudio de identificación de zonas de riesgos en los distritos 5 y 6 de El Alto*, COOPI/ECHO, La Paz, 61 p.

HARDY S., 2009, *La vulnérabilité de l'approvisionnement en eau dans l'agglomération pacénienne : le cas du sous-système El Alto*, Dossiers : Vulnérabilités urbaines au sud, document 457, URL : <http://www.cybergeu.eu/index22270.html>, 22 p.

INE, 2001, *Hogares, vivienda y servicios basicos*, INE, La Paz.

INE, 2001, *Población por organizaciones comunitarias y localidades*, INE, La Paz.

MILLON L., 2010, *Vulnérabilité du système d'approvisionnement en eau potable de La Paz, sous systèmes Achachicala et Pampahasi*, Mémoire de Master 1, ENTPE, Lyon, 82 p.

NATHAN F., 2005, *La régulation sociale des risques naturels urbains : étude sociologique du cas de La Paz, Bolivie*, Mémoire préliminaire de thèse de doctorat, Genève, 99 p.

PEREIRA R., 2010, *Fragmentación y segregación territorial en la ciudad de La Paz*, Intervention à l'occasion du colloque *Ciudades andinos/amazónicas, ciudades globales*, 21 juillet, La Paz.

PERRIER-BRUSLE L., 2007, *Le gaz bolivien. La Bolivie face à son avenir*, Paris : Outre-Terre, 18 p.

POUPEAU F., 2008, *Carnets boliviens 1999 – 2007, un goût de poussière*, Montreuil : Aux lieux d'être, 218 p.

PREIONI V., 2010, *L'accessibilité : une donnée essentielle pour la gestion de crise. Le cas de La Paz*, Mémoire de Master 2 IT-ISA, Université de Franche-Comté, Besançon, 107 p.

Autres :

LE MONDE DIPLOMATIQUE, 20 mai 2008, *FMI-FAIM*.

STIGLITZ J-E., 2010, *Le triomphe de la cupidité*, Les liens qui libèrent, Paris, 474 p.

ZACHARIE A. (dir.), 2010, *Refonder les politiques de développement*, Bruxelles : La Muette, 128 p.

Entretiens :

Entretien avec l'agent municipal préposé à l'électricité de la subcaldia de San Roque, réalisé le 9 juillet 2010

Entretien avec Zoubir AITMANSOUR, Ingénieur, EPSAS, réalisé le 27 juillet 2010

Entretien avec Luis ANTEZANA, Ingénieur, COBEE, réalisé le 20 juillet 2010

Entretien avec Hector BALDIVIESO, Superintendant de projets, COBEE, réalisé le 14 juin 2010

Entretien avec Jorge BARRON, Coordinateur de projet, IDTR, réalisé le 29 juin 2010

Entretien avec Mauricio CEPEDA-FORERO, Ingénieur, R&D-EDF, réalisé le 19 mars 2010

Entretien avec Adhemar CONDE, étudiant, UMSA, réalisé le 8 juillet 2010

Entretien avec Dr. Eduardo CHAVEZ JAZO, Directeur, Hôpital Général de La Paz, réalisé le 8 juillet 2010

Entretien avec Gauthier DELILLE, Ingénieur, R&D-EDF, réalisé le 8 avril 2010

Entretien avec Marianne ENTEM, Ingénieur, R&D-EDF, réalisé le 19 avril 2010

Entretien avec Arturo IPORRE SALGUERO, Directeur, CNDC, réalisé le 10 juin 2010

Entretien avec Hortencia JIMENEZ, Directrice du secteur électricité, Vice Ministère de l'Electricité et des Energies Alternatives, réalisé le 29 juin 2010

Entretien avec Gaston LEMAITRE LEAÑO, Ingénieur des opérations et de la maintenance, Hydroelectrica Boliviana, réalisé le 8 juillet 2010

Entretien avec Reldo RIVERO, Ingénieur, IDTR, réalisé le 29 juin 2010

Entretiens avec Wilfredo TERAN, Ingénieur, AE, réalisés les 18 mai, 29 mai, 29 juin, 19 juillet et 12 août 2010

Table des matières

Sommaire	1
Introduction	2
1. Contexte institutionnel et social de l’approvisionnement électrique en Bolivie et à La Paz	14
1.1 L’évolution du secteur électrique depuis 1995	14
1.1.1 La réforme de 1995 : une restructuration du secteur électrique à l’échelle nationale.	14
1.1.2 Les plans d’ajustement structurel : l’instauration d’un nouveau mode de gouvernance dans la gestion d’un « service public » tel que l’approvisionnement électrique.	18
1.2 L’accès à l’électricité dans la métropole de La Paz	20
1.2.1 Les lieux d’accès à l’électricité.....	20
1.2.2 Quelles utilisations de l’électricité à La Paz ?.....	23
1.2.3 Les foyers non électrifiés, une autre approche de la vulnérabilité face à l’électricité	25
1.2.4 Le district 7 d’El Alto, une zone très mal connectée	29
2. Le Système Interconnecté National : l’approvisionnement électrique à l’échelle de la Bolivie	33
2.1 Les caractéristiques de production d’électricité à l’échelle nationale.....	33
2.1.1 L’organisation territoriale du Système Interconnecté National (SIN)	33
2.1.2 Caractéristiques générales de production.....	35
2.1.3 Répartition spatiale de la production nationale.....	38
2.2 Transport et distribution : une interconnexion à l’échelle nationale nécessaire à l’approvisionnement des grands espaces de consommation.	42
2.2.1 Le transport de l’électricité en Bolivie, entre SIN et STI	42
2.2.2 L’organisation de la distribution de l’énergie électrique au sein du <i>Mercado Eléctrico Mayorista</i>	44

2.3	Les organes de régulation du système	45
2.3.1	L'organisation de la régulation du SIN : les acteurs et moyens de communications entre l'Etat et les entreprises privées	45
2.3.2	Un cahier des charges complet mais difficile à respecter.....	47
3.	Le système d'approvisionnement électrique de La Paz : caractéristiques et vulnérabilités.....	49
3.1	Les infrastructures de production destinée à La Paz et leurs vulnérabilités	49
3.1.1	Les lieux de production de l'énergie électrique de la zone nord.....	49
3.1.2	Les centrales des vallées Zongo et Taquesi.	50
3.2	De la production à la distribution : les infrastructures d'approvisionnement vers la métropole et leurs vulnérabilités.....	53
3.2.1	Les principales lignes d'approvisionnement de La Paz en saison des pluies	53
3.2.2	La vulnérabilité des postes de transformation, des infrastructures clés pour alimenter La Paz.....	54
3.3	La Paz au sein du SIN, une interconnexion nécessaire	57
3.3.1	La ligne Vinto – Mazocruz, un lien essentiel pour l'approvisionnement de La Paz en saison d'étiage.	57
3.3.2	L'approvisionnement de La Paz, une gestion dépendante du climat.....	59
3.3.3	... et des différentes périodes de consommation quotidienne.....	61
4.	La rupture d'approvisionnement en électricité : un risque à l'échelle de la métropole pacénienne	64
4.1	Les pannes électriques sur le territoire métropolitain de La Paz	64
4.1.1	Analyse des interruptions enregistrées par le CNDC depuis 2006	64
4.1.2	Les causes de vulnérabilité : entre vulnérabilité intrinsèque et extérieure.....	65
4.1.3	Entre vulnérabilité structurelle et vulnérabilité territoriale.....	69
4.2	Les conséquences de la perte de l'approvisionnement électrique : analyse « historique » des pannes à La Paz.	72
4.2.1	Etude des principales pannes d'électricité à La Paz	72
4.2.2	La panne du 07/04/2007 : un cas d'étude des risques liés à l'électricité	74

4.2.3	Les secteurs d'activité touchés par les ruptures d'approvisionnement en électricité.	75
4.3	Quelle organisation et alternatives en cas de panne d'électricité ?	78
4.3.1	La vulnérabilité des hôpitaux face à l'électricité.	78
4.3.2	Les usines de potabilisation d'eau	80
Conclusion		82
ANNEXES		87
Définition des acronymes		97
LEXIQUE		100
Tables des illustrations		102
BIBLIOGRAPHIE		104
Table des matières		110