

**Titre:** Détection des erreurs topologiques dans les réseaux électriques  
Title:

**Auteur:** Hoang Mai Hoa Vuong  
Author:

**Date:** 2002

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Vuong, H. M. H. (2002). Détection des erreurs topologiques dans les réseaux électriques [Ph.D. thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.  
Citation: <https://publications.polymtl.ca/7075/>

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/7075/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Xuan-Dai Do, & Serge Lefebvre  
Advisors:

**Programme:** Unspecified  
Program:

## **INFORMATION TO USERS**

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

**The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.** Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps.

ProQuest Information and Learning  
300 North Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106-1346 USA  
800-521-0600

**UMI**<sup>®</sup>



UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

DÉTECTION DES ERREURS TOPOLOGIQUES DANS LES RÉSEAUX  
ÉLECTRIQUES

HOANG MAI HOA VUONG  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
PHILOSOPHIAE DOCTOR ( Ph. D. )  
( GÉNIE ÉLECTRIQUE )

Mars 2002



National Library  
of Canada

Acquisitions and  
Bibliographic Services

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Acquisitions et  
services bibliographiques

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-71323-7

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée:

DÉTECTION DES ERREURS TOPOLOGIQUES DANS LES RÉSEAUX  
ÉLECTRIQUES

présenté par : **HOANG MAI HOA VUONG**

en vue de l'obtention du diplôme de: **Philosophiae Doctor**

a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de:

M. **O'SHEA Jules**, D. Ing, président du jury

M. **DO Xuan-Dai**, D.Sc.A., membre et directeur de recherche

M. **LEFEBVRE Serge**, Ph. D., membre et co-directeur de recherche

M. **LAGACÉ Pierre-Jean**, Ph. D., membre

M. **GABA Georges Z.F.**, Ph. D., membre

À mes parents

À mes tantes et mes oncles

## REMERCIEMENTS

C'est avec une profonde sincérité que j'adresse l'expression de ma gratitude à:

M. Xuan Dai Do, mon directeur de recherche, toujours prêt à comprendre mes difficultés et patiemment m'a aidé à surmonter les problèmes.

M. Serge Lefebvre, mon co-directeur de recherche pour sa direction compétente, son constant intérêt et soutien à mes efforts de recherche malgré son propre emploi du temps toujours très chargé, sans oublier aussi son assistance financière tout au long de l'année.

M. Jules O'Shea pour bien vouloir présider le jury de ma thèse.

Messieurs Jean-Pierre Lagacé, Georges Z.F. Gaba pour leur bienveillance à constituer le jury de ma thèse.

Messieurs les professeurs de la section Électrotechnique en qui j'ai toujours pu trouver conseils et encouragements.

## RÉSUMÉ

Cette thèse propose une nouvelle méthode pour détecter et identifier les erreurs de modélisation d'un réseau électrique.

Les erreurs traitées sont du type topologique, par exemple une ligne présentement ouverte est modélisée fermée ou vice-versa.

Cette même méthode permet aussi de déceler l'existence des erreurs de paramètre, si les données sont suffisantes, proposer des valeurs corrigées.

C'est un fait connu que l'ouverture ou la fermeture d'une ligne cause des variations significatives seulement dans les lignes et les barres avoisinantes. Ainsi, suite à une perturbation, souvent il suffit d'examiner la partie fortement liée à la perturbation. Une façon simple de répartir le réseau est de le diviser en boucles selon la théorie des graphes. Pour chaque boucle, nous déterminons une ligne critique dont le transit est mesuré. Cette mesure sert à identifier l'erreur éventuelle dans chaque boucle. L'analyse se base généralement sur l'étude de sensibilité qui est rendue facile, rapide, simple et relativement précise en utilisant les facteurs de distributions.

Cette procédure est encore valable pour le cas des erreurs multiples où nous opérons par superposition afin d'identifier successivement les lignes de faux statuts. Cependant, l'utilisation des facteurs de distribution devient moins précise pour l'ouverture d'une ligne où le transit est élevé. Comme la mise hors-service simultanément de quelques lignes est susceptible de causer une perturbation majeure, l'application du théorème de superposition doit être limitée à un petit nombre des erreurs multiples.

La méthode a été testée avec succès sur un petit réseau comme IEEE 14 barres et un grand réseau comme le réseau Hydro-Québec.

Essentiellement, la méthode vise à apporter une solution pour rendre plus efficaces les techniques de détection d'erreurs topologiques utilisées actuellement dans les Centres de Contrôle. L'analyse des besoins versus celle des qualités de cette méthode a

dégagé des perspectives d'application dans les environnements de la planification et de la conduite en temps réel.

## ABSTRACT

This thesis suggests a new method for error detection and identification in an electric power system.

The errors dealt with are of topological kind, for example an opened line is modelised closed or vice versa.

The same method also allows the detection of parameter errors and, if the data are sufficient, suggests correct values.

It is a well known fact that an outage or a closing of a line caused significant variations only in neighbouring lines and bus. Thus, following a disturbance, often it's enough to examine the part strongly linked to the disturbance. A simple way to share out the network is to divide it into loops in accordance with the graph theory. For each loop, we determine a critical line of which the transit is measured. This measure is used to identify the eventual error in each loop.

Generally, the analysis is based on the study of sensibility made easy, fast, simple and relatively precise by the use of distribution factors.

This processing is still possible in the case of multiple errors wherein we use superposition to identify lines of false statute one after another. However, the use of distribution factors becomes less precise concerning the opening of a line where transit is high. As the putting out of order of some lines can cause a great perturbation, the use of the superposition theorem must be limited to a small number of multiple errors.

The method has been successfully tested on a small network as IEEE 14 bus and a large network such as Hydro-Quebec's.

Essentially, the method aimed at offering a solution that makes more efficient the technic of detection and identification of topological errors, used presently in power system control centers. The analysis of the needs against that of this method's qualities lets out prospects of application in power system planning and real-time operation.

## TABLE DES MATIÈRES

	<b>Pages</b>
<b>DÉDICACE .....</b>	iv
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	v
<b>RÉSUMÉ .....</b>	vi
<b>ABSTRACT .....</b>	viii
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	ix
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	xiv
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	xvi
<b>LISTE DES SYMBOLES.....</b>	xviii
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	xix
 <b>INTRODUCTION.....</b>	1
 <b>CHAPITRE I ESTIMATION DE L'ÉTAT D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE .....</b>	4
1.1 Modèles mathématiques de l'estimateur d'état .....	4
1.1.1 Estimateur d'état non-linéaire.....	4
1.1.2 Estimateur d'état linéaire découplé .....	7
1.2 Notion d'observabilité .....	10
1.3 Analyse des résidus.....	11
1.3.1 Détection et identification des erreurs de mesures .....	11
1.3.2 Faiblesse du test résidu .....	12

**CHAPITRE II MODÉLISATION DU RÉSEAU EXTERNE ..... 17**

2.1	Généralité .....	17
2.1.1	Motivation .....	17
2.1.2	Critères exigés du modèle externe.....	19
2.1.3	Modélisation du réseau externe .....	19
2.2	Réseau équivalent .....	21
2.2.1	Description des modèles.....	21
2.2.1.1	Équivalent externe de type Ward .....	21
a-	Modèle Ward simple.....	22
b-	Modèle Ward PV .....	23
c-	Modèle Ward étendu.....	24
2.2.1.2	Équivalent externe de type Dimo-R.E.I. ....	25
2.2.1.3	Méthode de linéarisation .....	28
2.2.2	Ajustement du modèle de l'estimateur d'état .....	29
2.2.3	Mise à jour de l'équivalence .....	29
2.2.4	Évaluation préliminaire .....	32
2.3	Réseau non réduit .....	34
2.3.1	Calcul de l'état du réseau externe .....	34
2.3.2	Ajustement du bilan de puissance .....	35
2.3.3	Évaluation préliminaire .....	36
2.4	Estimateur d'état généralisé .....	37

**CHAPITRE III DÉTECTION D'ERREURS DE MODÉLISATION  
D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE.....38**

3.1	Motivation de la détection d'erreur .....	38
3.2	Problématique .....	41
3.3	Étude de l'état de l'art.....	44
3.3.1	Bonanomi.....	44
3.3.2	N. Singh et H. Glavitsch.....	47
3.3.3	Lugtu .....	48
3.3.4	Felix Wu .....	49
3.3.5	Clément.....	52
3.4	Bilan de l'état de l'art .....	55

**CHAPITRE IV SOLUTION PROPOSÉE POUR L'ÉLIMINATION  
DES ERREURS TOPOLOGIQUES.....56**

4.1	Concept général .....	56
4.2	Méthodologie.....	58
4.2.1	Énumération des boucles .....	58
4.2.2	Calculs de sensibilité .....	59
4.2.3	Réconciliation des données .....	63
4.3	Algorithme .....	66
4.3.1	Algorithme de recherche des boucles .....	66
4.3.2	Algorithme de la phase I.....	67
4.3.3	Algorithme de la phase II .....	68
4.4	Génération de la méthode .....	70

4.4.1 Cas de deux erreurs.....	70
4.4.1.1 Erreurs de topologie sur 2 lignes d'une même boucle.....	70
4.4.1.2 Erreur de topologie sur 2 lignes appartenant à 2 boucles	
différentes mais surveillées par le même capteur .....	70
4.4.1.3 Erreur de topologie sur 2 lignes appartenant à 2 boucles différentes	
qui ne sont pas surveillées par le même capteur .....	71
4.4.2 Cas de plus de 2 erreurs .....	71
4.4.3 Détection, identification et estimation des erreurs de paramètres .....	72
4.4.3.1 Détection .....	72
4.4.3.2 Identification .....	72
4.4.3.3 Estimation .....	73
4.5 Évaluation préliminaire .....	76
 <b>CHAPITRE V MISE EN ŒUVRE DE LA MÉTHODE .....</b>	77
5.1 Tests sur les réseaux .....	77
5.1.1 Réseau illustratif: Réseau standard IEEE 14 barres .....	77
5.1.1.1 Cas d'une seule erreur.....	77
5.1.1.2 Cas de deux erreurs .....	86
5.1.2 Réseau Hydro-Québec .....	88
5.1.2.1 Cas d'une seule erreur.....	89
5.1.2.2 Cas des erreurs doubles .....	91
5.2 Discussion .....	95
5.3 Comparaison.....	99
5.3.1 Comparaison global .....	100
5.3.2 Comparaison numérique.....	101

5.3.2.1 Réseau IEEE 14 barres .....	101
a- Bonanomi .....	101
b- Clément .....	102
c- Thèse .....	104
5.3.2.2 Réseau Hydro-Québec .....	105
a- Thèse .....	105
b- Estimateur d'état .....	106
5.3.2.3 Réseau IEEE 30 barres .....	107
a- Félix Wu .....	107
b- Lugtu .....	108
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>109</b>
<b>RÉFÉRENCE .....</b>	<b>115</b>

## LISTE DES TABLEAUX

	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1.1 : Résidus obtenus .....</b>	<b>15</b>
<b>Tableau 5.1 : Répartition des boucles du réseau IEEE 14 barres .....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau 5.2 : Valeurs théoriques <math>\Delta S_{kj}</math> des lignes dans la boucle n° 1 .....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau 5.3 : Tableau caractéristique des branches critiques du réseau IEEE</b>	
<i>14 barres .....</i>	<b>83</b>
<b>Tableau 5.4 : Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits</b>	
<i>sur les branches critiques.....</i>	<b>85</b>
<b>Tableau 5.5 : Hypothèses retenues après la première identification.....</b>	<b>85</b>
<b>Tableau 5.6 : Résultats selon différentes corrections .....</b>	<b>85</b>
<b>Tableau 5.7 : Hypothèses retenues après la première identification</b>	
<i>( Cas deux erreurs ).....</i>	<b>86</b>
<b>Tableau 5.8 : Hypothèses retenues après la correction du statut de la branche 2-3</b>	
<i>( Cas deux erreurs ).....</i>	<b>87</b>
<b>Tableau 5.9 : Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits</b>	
<i>sur les branches critiques.....</i>	<b>89</b>

<b>Tableau 5.10 : <i>Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits sur les branches critiques (Cas deux erreurs)</i></b> .....	93
<b>Tableau 5.11 : <i>Hypothèses retenues après la première identification basant sur les erreurs relatives</i></b> .....	97
<b>Tableau 5.12 : <i>Comparaison des méthodes développées</i></b> .....	100

## LISTE DES FIGURES

	<b>Pages</b>
<b>Figure 1.1 : Circuit pour estimer la source de tension <math>E_s</math></b>	13
<b>Figure 1.2 : Réseau IEEE 14 barres</b>	16
<b>Figure 2.1 : Réseau interconnecté</b>	18
<b>Figure 2.2 : Implémentation du modèle Ward étendu</b>	24
<b>Figure 2.3 : Équivalent R.E.I</b>	27
<b>Figure 2.4 : Modèle X-R.E.I</b>	31
<b>Figure 3.1 : Arrangement typique d'un disjoncteur</b>	41
<b>Figure 3.2 : Une portion du réseau PG&amp;E</b>	42
<b>Figure 3.3 : Conditions avant la commutation</b>	47
<b>Figure 3.4 : Conditions après la commutation</b>	47
<b>Figure 4.1 : L'approximation linéaire dans les calculs de puissance</b>	60
<b>Figure 4.2 : Bilan de puissance à la barre <math>i</math></b>	64
<b>Figure 4.3 : Deux boucles ayant le même capteur de mesure</b>	70
<b>Figure 4.4 : Modèle pi d'une ligne</b>	73
<b>Figure 5.1 : Réseau IEEE 14 barres et les mesures disponibles</b>	78
<b>Figure 5.2 : Arbre et boucles du réseau réduit IEEE 14 barres à l'étape D</b>	78

<b>Figure 5.3 : Formation des boucles 2,3 et 4 du réseau IEEE 14 barres.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure 5.4 : Répartition des boucles du réseau IEEE 14 barres.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure 5.5: Réseau IEEE 30 barres .....</b>	<b>107</b>

## LISTE DES SYMBOLES

**z** : vecteur des mesures

**h** : vecteur des fonctions de mesure

**x<sub>t</sub>** : vrai vecteur d'état

**e** : vecteur d'erreur des mesures

**R** , **W** : matrice diagonale des coefficients de pondération

**H<sub>x</sub>** : matrice Jacobienne des mesures

**r** : vecteur résiduel

**H** : matrice Jacobienne découpée

**z<sub>p</sub>** : vecteur des mesures des mesures des puissances réelles

**z<sub>QV</sub>** : vecteur des mesures des puissance réactives ou des modules de tension

**W** : matrice de sensibilité résiduelle

**R'** : matrice diagonale des variances des résidus

**ẑ** : vecteur des valeurs estimées des mesures

**Y<sub>bus</sub>** : matrice d'admittance nodale

**Z = R + jX** : impédance de ligne

**Y = G + jB** : admittance de ligne

**A** : matrice d'incidence des lignes

**τ** : facteur de distribution de transit dû à la mise hors service d'une ligne

Line Outage Distribution Factor ( LODF )

**ρ** : facteur de distribution de transit dû à la variation de la puissance injectée à une barre - Line Flow Distribution Factor ( LFDF )

**Z<sub>bus</sub>** : matrice d'impédance nodale.

**LISTE DES ANNEXES**

	<b>Pages</b>
<b>ANNEXE I :</b> <i>Réseau IEEE 14 barres</i>	
Résultats de l'écoulement de puissance : Cas de base.....	121
<b>ANNEXE II :</b> <i>Réseau IEEE 14 barres</i>	
Résultats de l'écoulement de puissance: Branche 2-3 est hors-service	
.....	125
<b>ANNEXE III :</b> <i>Réseau Hydro-Québec</i>	
Résultats de l'écoulement de puissance : Niveau 735 kV .....	129
<b>ANNEXE IV :</b> <i>Réseau Hydro-Québec</i>	
Description des lignes .....	154
<b>ANNEXE V :</b> <i>Réseau Hydro-Québec</i>	
Description des boucles .....	164
<b>ANNEXE VI :</b> <i>Réseau Hydro-Québec</i>	
Tableau caractéristique .....	167
<b>ANNEXE VII :</b> <i>Réseau Hydro-Québec</i>	
Mesures bruitées utilisées pour le premier test.....	183

**ANNEXE VIII : Réseau Hydro-Québec**

Mesures bruitées utilisées pour le deuxième test..... 205

**ANNEXE IX : Exemple du modèle Ward..... 227****ANNEXE X: Article N° 1**

Detection and Identification of Topological Errors from Real-Time

Measurements Reconciliation ..... 235

**ANNEXE XI: Article N° 2**

Detection and Estimation of Topology and Parameter Errors from Real

Time Measurements ..... 244

## INTRODUCTION

Depuis longtemps, on a vu apparaître des réseaux électriques interconnectés, par exemple aux États-Unis, le pool énergétique Pennsylvanie-New Jersey-Maryland ( P.J.) existe depuis 1927. Peu après, vers la fin des années vingt, on a envisagé à la mise en place des réseaux interconnectés à l'échelle continentale. En 1980, le réseau d'Europe de 380 kV et 220 kV ( synchrone ) couvre les zones suivantes: Portugal, Espagne, France, Luxembourg, Belgique, Hollande, Jutland, Allemagne de l'Ouest, Autriche, Italie, Suisse. Il existe plus de 3500 compagnies d'électricité aux États-Unis parmi lesquelles 3204 ont le statut «d'Utilities» et 325 sont des «Non Utilities Generators». Une telle expansion a pour but de profiter des avantages bien connus des réseaux interconnectés dont les grands traits sont:

- permettre une diminution du niveau de réserve d'énergie, donc un avantage financier
- éviter des déficits d'énergie ou des surplus de l'offre d'énergie par rapport à la demande
- donner une possibilité d'échanges d'énergie sur une base économique.

De nombreux pays envisagent ou ont déjà procédé à une déréglementation du marché de l'énergie électrique. Par exemple, en 1997, en plus des Etats-Unis, des pays de l'Union européenne ( UE ) avaient déjà un système électrique largement déréglementé ( avec accès des tiers au réseau ), dé-intégré ( avec répartition fonctionnelle, plusieurs acteurs apparaissent à chaque niveau: production, transport, distribution. Tous les acteurs ne sont pas forcément présents aux trois niveaux ) et privatisé. Ces pays sont: Angleterre ( et Pays de Galles ), Finlande, Pays-Bas, Portugal, Suède. D'autres pays de l'UE avaient un système électrique relativement éclaté et/ou dé-intégré mais sans une complète déréglementation: Allemagne, Autriche, Danemark, Espagne [ 1 ]. Les raisons pour les changements varient d'un pays à l'autre, mais il y a lieu de mentionner certains facteurs communs:

- la disparition des monopoles nationaux et l'encouragement à la concurrence dans le secteur de la production.
- les droits qu'auront les consommateurs de demander des offres de prix compétitifs pour leurs fournitures d'électricité.

Dans ce contexte, on doit s'attendre à une augmentation considérable non seulement du nombre de réseaux interconnectés mais aussi de leurs dimensions.

Les bénéfices économiques découlant de l'interconnexion de réseau ne doivent pas affecter la sécurité du réseau et la qualité de service. Un réseau est en sécurité lorsqu'il est capable de fonctionner à une tension adéquate et transporter une quantité de charge prévue sans provoquer le surcharge des équipements, ou une perte de synchronisme advenant une perturbation locale ou avoisinante.

Le réseau doit être opéré dans certaines limites de transit appelées limites de sécurité. Les limites de sécurité dépendent de trois différents types de critères d'exploitation: la faisabilité et l'adéquation du régime permanent, la stabilité de tension et la stabilité transitoire [ 2 ]. Il est essentiel que les ingénieurs de planification et les opérateurs de réseaux procèdent à des analyses qui leur permettent d'arriver à une décision rentable et sécuritaire de l'échange d'énergie. En plus, ils doivent avoir des moyens de maximiser la souplesse du réseau et de contrôle des équipements du réseau. Ces faits signifient qu'on doit développer certaines stratégies particulières pour modéliser les réseaux interconnectés.

Jusqu'à date, de nombreuses recherches ont été effectuées afin de développer des méthodes de calcul efficaces afin de simuler correctement les comportements d'un réseau interconnecté. Il existe en principe deux façons de tenir compte de l'influence des réseaux éloignés dans ce grand réseau interconnecté ( réseau externe ) :

- représentation du réseau externe par des équivalents
- représentation originale du réseau externe par sa topologie et son état complets.

Les deux approches ont des difficultés à tenir compte des caractéristiques topologiques fondamentales du réseau réel, suite à des perturbations telles que

l'ouverture ou la fermeture des lignes, ou les variations des paramètres de ligne, etc. ... ce qui fait naître le besoin de concevoir une méthode aidant à détecter et à identifier les erreurs topologiques.

Cette thèse est composée de la manière suivante :

Le chapitre I passe en revue la théorie de l'estimateur d'état. Il rassemble les informations théoriques nécessaires pour la compréhension et l'évaluation des méthodes citées dans la thèse.

Le chapitre II décrit les techniques de modélisation des réseaux externes: leurs principes, leurs avantages et leurs lacunes. Il commence par les schémas équivalents les plus utilisés comme le modèle Ward, R.E.I ( Radial Équivalent et Indépendant ) et le modèle linéarisé et il termine par l'approche du modèle non réduit.

Le chapitre III parle de la détection et de l'identification d'erreurs de modélisation. Il met en évidence la nécessité de développer une méthode plus satisfaisante et présente l'étude de l'état de l'art.

Le chapitre IV expose le concept, les calculs et les algorithmes de la méthode proposée.

Le chapitre V est la mise en œuvre de la méthode sur un réseau de démonstration et sur un réseau de grande taille. Nous y reportons les résultats des tests, ainsi que quelques discussions sur les faits observés. La comparaison à la fin du chapitre est faite d'abord par une vue d'ensemble et ensuite d'une manière quantitative avec des valeurs numériques.

La conclusion cite les contributions majeures de la thèse, les difficultés prévisibles et propose de nouvelles pistes de recherche.

Suivent les annexes comprenant les fichiers de données utilisées dans les tests pour fin de vérification. Nous y retrouvons aussi quelques fichiers des résultats des calculs intermédiaires du réseau Hydro-Québec pour la compréhension des résultats finaux et un exemple de construction du réseau équivalent selon le modèle Ward .

# CHAPITRE I

## ESTIMATION DE L'ÉTAT D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Afin de prévenir les surcharges des lignes, les tensions hors limites et éventuellement prendre les actions nécessaires pour garder le réseau dans un état sécuritaire, nous devons connaître:

- les tensions à chaque barre ( grandeur et phase, soit l'état du réseau )
- les injections  $S_i = P_i + jQ_i$  à chaque barre
- les transits de ligne  $S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij}$

L'estimateur d'état est conçu pour répondre à ces besoins. C'est un outil mathématique qui permet de déterminer l'état en temps réel d'un réseau électrique à partir des données télé-mesurées.

### 1.1 Modèles mathématiques de l'estimateur d'état

#### 1.1.1 Estimateur d'état non-linéaire [ 3, 4 ]

L'estimateur d'état le plus utilisé est l'estimateur statique. Il s'agit d'une méthode basée sur les techniques mathématiques classiques tels que l'estimation, la détection, la probabilité, le statistique et le filtrage. L'estimateur d'état est statique parce qu'il néglige la dynamique du réseau et que les valeurs estimées sont déduites d'une seule observation du réseau ( sans histoire ). Les équations à résoudre s'écrivent sous la forme matricielle suivante:

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}_t) + \mathbf{e} \quad (1-1)$$

$\mathbf{z}$  = vecteur des mesures [  $m^*1$  ]

$\mathbf{h}$  = vecteur des fonctions de mesures [  $m^*1$  ]

$\mathbf{x}_t$  = vrai vecteur d'état  $[(2N_b - 1) * 1]$  ou  $[N * 1]$

$\mathbf{e}$  = vecteur d'erreur des mesures tel que

$$\mathbf{E}(e_j) = 0 \text{ et } \text{var}(e_j) = \sigma_j^2$$

Où:  $\sigma_j$  est l'écart type du bruit affectant la mesure  $z_j$

$m$  = nombre de mesures

$N_b$  = nombre de barres dans un réseau.

Cependant, les erreurs de communication, ainsi que les erreurs dues à la précision des instruments, au branchement de certains appareils et de la non-observabilité de certaines parties du réseau causent des incertitudes dans les mesures. La méthode de moindres carrés est utilisée pour trouver la solution de vecteur d'état qui s'accorde bien avec les mesures. Les valeurs estimées  $\hat{\mathbf{x}}$  sont celles qui minimisent la fonction objective:

$$f = \sum_{j=1}^m \frac{e_j^2}{\sigma_j^2} = \frac{(z_1 - h_1(x_1, x_2, \dots, x_n))^2}{\sigma_1^2} + \frac{(z_2 - h_2(x_1, x_2, \dots, x_n))^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{(z_m - h_m(x_1, x_2, \dots, x_n))^2}{\sigma_m^2} \quad (1-2)$$

Une condition nécessaire pour l'obtention du minimum est l'annulation des dérivées partielles de  $f$ , ce qui conduit à l'équation suivante:

$$\left[ \begin{array}{ccc} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial h_m}{\partial x_1} & \frac{\partial h_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_m}{\partial x_n} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} \frac{1}{\sigma_1^2} \\ \frac{1}{\sigma_2^2} \\ \dots \\ \frac{1}{\sigma_m^2} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} z_1 - h_1(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \\ z_2 - h_2(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \\ \dots \\ z_m - h_m(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{array} \right] \quad (1-3)$$

$\mathbf{R}^{-1}$

$\mathbf{R}$  est la matrice diagonale des coefficients de pondération.

Si nous définissons la matrice Jacobienne des mesures:

$$\mathbf{H}_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_m}{\partial x_1} & \frac{\partial h_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}.$$

alors nous pouvons écrire ( 1-3 ) sous une forme plus compacte:

$$\mathbf{H}'_x \mathbf{R}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \\ z_2 - h_2(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \\ \dots \\ z_m - h_m(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad ( 1-4 )$$

Pour un réseau de courant alternatif les équations de mesures ne sont pas linéaires, et nous devons d'abord les linéariser par la formule de Taylor.

Par exemple, la linéarisation de la première équation de mesure autour du point initial  $(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$  donne:

$$h_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = h_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} |^0 + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial h_1}{\partial x_2} |^0 + \dots + \Delta x_n^{(0)} \frac{\partial h_1}{\partial x_n} |^0 \quad ( 1-5 )$$

où:  $\Delta x_i^{(0)} = x_i^{(1)} - x_i^{(0)}$  représente la correction des variables d'état  
 $x_i^{(1)}$  est la première valeur calculée de  $x_i$ .

Après avoir linéarisé toutes les fonctions de mesures, nous réarrangeons les termes de (1-4) et nous obtenons:

$$\mathbf{H}_x^{(0)t} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}_x^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \dots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Ce qui conduit à une solution itérative de la forme suivante:

$$\mathbf{x}^{(k+1)} - \mathbf{x}^{(k)} = (\mathbf{H}_x' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}_x)^{-1} \mathbf{H}_x' \mathbf{R}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \\ z_2 - h_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \\ \dots \\ z_m - h_m(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \end{bmatrix} \quad (1-6)$$

À la convergence,  $\mathbf{x}^{(k+1)}$  devient égal aux valeurs estimées des variables d'état  $\hat{\mathbf{x}}$ .

Le vecteur résiduel est la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées:

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} z_1 - h_1(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \\ z_2 - h_2(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \\ \dots \\ z_m - h_m(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

Nous pouvons avoir des problèmes de divergence dans l'estimateur d'état. Alors, d'autres méthodes permettant de résoudre efficacement les problèmes mal-conditionnés, sont aussi utilisées comme:

- l'équation normale avec contraintes [ 5 ]
- la méthode de Peters et Wilkinson [ 6 ]
- la transformation orthogonale [ 5 ]
- la méthode hybride [ 5 ] .

### 1.1.2 Estimateur d'état linéaire découplé [ 3, 4 ]

Soit la représentation d'un réseau faite avec le " DC load flow ", c'est-à-dire qu'en formulant le Jacobien de la répartition de puissance on pose:

- les résistances des lignes sont nulles
- les susceptances des lignes sont nulles
- les écarts angulaires sont petits
- les tensions sont 1 pu.

Le système d'équations:

$$\mathbf{z} = \mathbf{Hx} + \mathbf{e} \quad (1-8)$$

avec  $\mathbf{H} = \frac{\partial h(x)}{\partial x}$ , implique une matrice Jacobienne découplée, c'est-à-dire:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{p\theta} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{H}_{QV} \end{bmatrix}$$

Le système peut être représenté par deux équations découplées. On suppose aussi que les matrices  $\mathbf{H}_{p\theta}$  et  $\mathbf{H}_{QV}$  sont constantes:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_p &= \mathbf{H}_{p\theta} \theta + \mathbf{e}_\theta \\ \mathbf{z}_{QV} &= \mathbf{H}_{QV} V + \mathbf{e}_{QV} \end{aligned} \quad (1-9)$$

Dans ces équations, nous avons:

$$\mathbf{H}_{p\theta} = \frac{\partial \mathbf{P}_i}{\partial \theta_j} \quad (1-10)$$

$$\mathbf{H}_{QV} = \frac{\partial \mathbf{Q}_i}{\partial V_j} \quad \text{ou} \quad \mathbf{H}_{QV} = \frac{\partial \mathbf{V}_i}{\partial V_j} \quad i \neq j \text{ ou } i = j \quad (1-11)$$

$V_j$  est le module de tension à la barre  $j$

$Q_i$  est la puissance injectée à la barre  $i$

$\theta$  est la matrice des angles de tension

$\mathbf{z}_p$  est le vecteur des mesures des puissances réelles

$\mathbf{z}_{QV}$  est le vecteur des mesures des puissances réactives ou des modules de tension

$\mathbf{e}_\theta$ ,  $\mathbf{e}_{QV}$  sont les vecteurs des bruits de mesures correspondant à  $\mathbf{z}_p$  et  $\mathbf{z}_{QV}$ .

Utilisant le principe de la méthode de moindres carrés, nous arrivons à l'équation (1-12):

$$\mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{r} = \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{z} - \mathbf{H} \hat{\mathbf{x}}) = \mathbf{0} \quad (1-12)$$

Résolvons (1-12), nous obtenons:

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{z} \quad (1-13)$$

Si nous définissons  $\mathbf{G} = \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}$ , connue sous le nom matrice de gain  $\mathbf{G}$ , la formule du vecteur résiduel devient:

$$\mathbf{r} = \mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}} = \mathbf{e} - \mathbf{H} \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{e} = [\mathbf{I} - \mathbf{H} \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1}] \mathbf{e} \quad (1-14)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{W} \mathbf{e} \quad (1-15)$$

où  $\mathbf{W} = \mathbf{I} - \mathbf{H} \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1}$  appelé matrice de sensibilité résiduelle.

Dans les formules ci-dessus, les matrices de gain sont:

$$\mathbf{G}_p = \mathbf{H}'_{p\theta} \mathbf{R}_p^{-1} \mathbf{H}_{p\theta}$$

$$\mathbf{G}_v = \mathbf{H}'_{QV} \mathbf{R}_Q^{-1} \mathbf{H}_{QV}$$

avec:

$\mathbf{R}_p^{-1}$  contient les coefficients de pondération correspondant aux mesures  $\mathbf{z}_p$

$\mathbf{R}_Q^{-1}$  contient les coefficients de pondération correspondant aux mesures

$\mathbf{z}_{QV}$ .

---


$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{z} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{Hx} + \mathbf{e}) = \mathbf{x} + \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{e}$$

$$^1 \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{e}$$

$$\mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}} = \mathbf{e} - \mathbf{H}(\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}) = \mathbf{H} \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{e}$$

## 1.2 Notion d'observabilité:

Si l'ensemble des mesures est suffisant pour que la matrice de gain soit non singulière, le réseau est observable. La condition d'observabilité exige que le nombre de mesures doit être au moins égal au nombre de variables d'état, dans cette condition la matrice  $H$  est carrée. Mais l'observabilité ne dépend pas seulement de nombre de mesures mais aussi de leur emplacement.

On définit:

*Mesure critique:*

Une mesure critique rend le réseau non-observable quand elle est éliminée.

*Paire critique de mesure:*

C'est une paire de mesures qui, une fois absente, rend le réseau non observable. Si l'une des mesures de la paire est non disponible, l'autre mesure de la paire devient critique.

*Branche critique:*

Une branche critique rend le réseau non-observable quand elle est éliminée.

*Paire critique de branche:*

C'est une paire de branche qui, une fois absente rend le réseau non observable. Si l'une des branches de la paire est éliminée, l'autre branche de la paire devient critique.

### 1.3 Analyse des résidus

#### 1.3.1 Détection et identification des erreurs de mesures

L'estimateur d'état peut signaler les erreurs de topologie et les mauvaises données. Afin de détecter, les résidus de l'estimateur d'état sont utilisés dans un test de statistique. La procédure comprend 2 étapes dont les détails sont [ 3 ]:

a- Détection:

- exécuter l'estimateur d'état avec des mesures brutes
- calculer les résidus  $r$

- évaluer l'indice:  $\hat{f} = \sum_{j=1}^m r_j^2 / \sigma_j^2$  (1-16)

- vérifier pour un degré de liberté  $k = m - n$ , si la valeur de  $\hat{f}$  est plus petite que la valeur critique  $\chi_{k,\alpha}^2$

$$\hat{f} < \chi_{k,\alpha}^2 \quad (1-17)$$

$\chi_k^2$  : distribution khi-deux à  $k$  degrés de liberté

$\chi_{k,\alpha}^2$  : le  $(1 - \alpha)$  ième percentile d'une variable  $\chi_k^2$  c'est à dire:

$$\Pr(\hat{f} < \chi_{k,\alpha}^2) = (1 - \alpha) \quad (1-18)$$

Si l'hypothèse n'est pas satisfaite, il y a au moins une mauvaise mesure ou une erreur de topologie.

b- Suppression:

- Si on suppose qu'il n'y a pas d'erreur de topologie, on peut éliminer la mesure qui correspond au plus grand résidu normalisé

$$r_{N_j} = \frac{(z_j - \hat{z}_j)}{\sqrt{R_{jj}}} \quad (1-19)$$

$\sqrt{R_{jj}}$  est l'écart type du résidu  $r_j$ :  $R_{jj} = \mathbb{E}(r_j^2) = \mathbb{E}[(z_j - \hat{z}_j)^2]$ . (1-20)

- On reprend l'estimation d'état et on analyse de nouveau les résidus.

Si le test  $\chi^2_{k,a}$  passe, alors la mesure enlevée est vraiment la mauvaise donnée, sinon il faut reprendre le processus.

### 1.3.2 Faiblesses du test

Nous regardons maintenant les faiblesses de l'approche ci-haut

a- La capacité de détecter et d'identifier les erreurs par l'estimateur d'état dépend du degré de redondance des mesures ( plus d'équation à résoudre que de variables d'état).

La redondance globale des mesures est définie comme suit :

Redondance = nombre de mesures / nombre de variables d'état

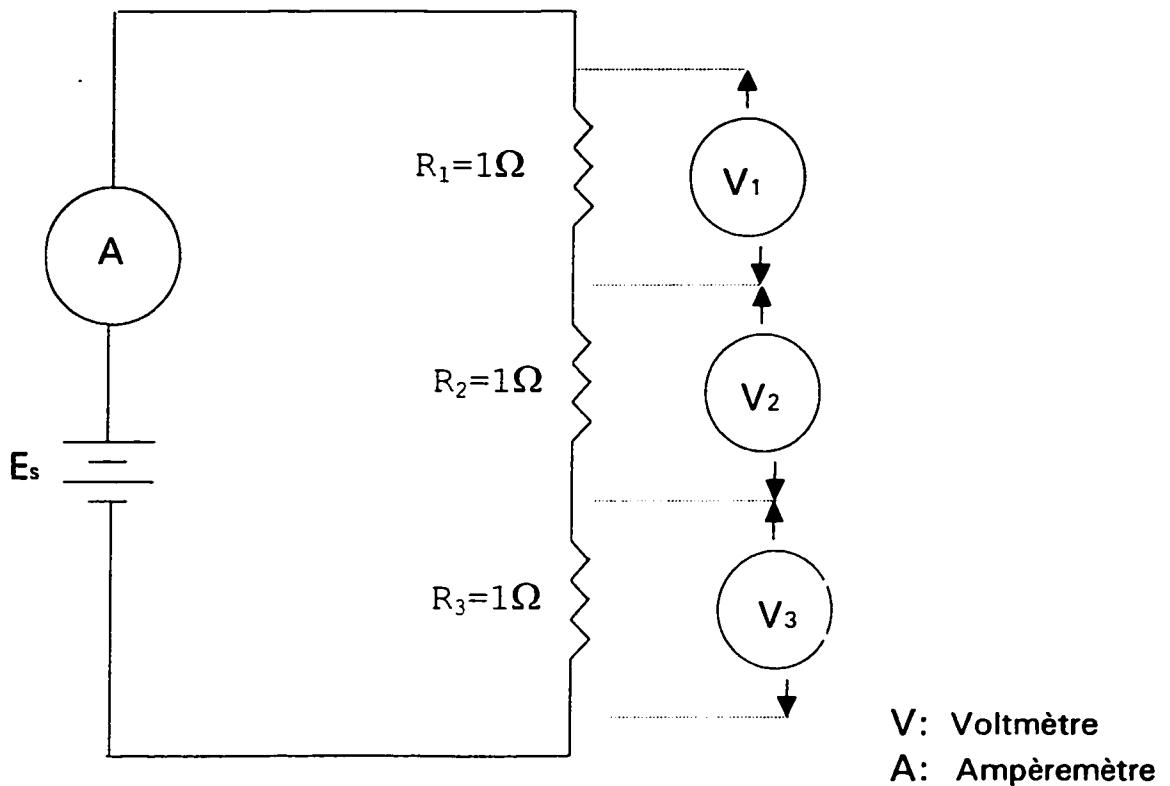
Typiquement, on a:

$$1.3 < \text{Redondance} < 2.0$$

b- Les résidus ne donnent pas toujours de bons indices, car une mauvaise donnée peut correspondre à un grand ou à un petit résidu, selon la disposition des capteurs.

Le fait est prouvé dans l'exemple suivant [ 7 ].

Supposons que nous voulons estimer la tension  $x$  de la source de tension dans le circuit de la figure 1.1.



**Figure 1.1 : Circuit pour estimer la source de tension  $E_s$**

La vraie valeur de l'inconnue  $x$  est 30.

L'erreur actuelle des mesures est :

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} 0.2 \\ -0.2 \\ 3.0 \\ 5.0 \end{bmatrix}$$

Donc, les lectures sur les voltmètres sont:

$$z_1 = \text{lecture sur le premier voltmètre} = x/3 + .2$$

$$z_2 = \text{lecture sur le deuxième voltmètre} = x/3 + (-0.2)$$

$$z_3 = \text{lecture sur le troisième voltmètre} = x/3 + 3.0$$

$$z_4 = \text{lecture sur l'ampèremètre} = x/3 + 5.0$$

Sous forme matricielle, nous avons:

$$\mathbf{z} = \mathbf{Hx} + \mathbf{e}$$

avec

$$\mathbf{H} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Par l'équation de moindres carrés, nous obtenons la valeur estimée  $\hat{x} = 36$ .

Le vecteur résiduel est donc:

$$\mathbf{r} = \mathbf{z} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -1.8 \\ -2.2 \\ 1.0 \\ 3.0 \end{bmatrix}$$

Il n'est pas évident d'identifier les mesures faussées: les mauvaises données  $z_3$  et  $z_4$  correspondent au plus grand et au plus petit résidu.

c- Une mesure erronée engendre les erreurs dans toutes les valeurs estimées.

En effet, reprenons la formule du résidu:

$$\mathbf{r} = \mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}} = [ \mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1} ] \mathbf{e} = \mathbf{We}$$

Puisqu'il s'agit de la multiplication de deux matrices, un seul élément non nul de  $\mathbf{e}$  peut influencer un certain nombre ou toutes les différences entre les vraies valeurs de  $\mathbf{z}$  et leurs estimées  $\hat{\mathbf{z}}$ . Cette propriété facilite la détection d'erreur mais rend l'identification d'erreur plus difficile.

d- De multiples fausses mesures corrélées peuvent engendrer des résidus nuls:

Soit par exemple, le cas suivant du réseau IEEE 14 barres avec l'ensemble des mesures suivant [ 4 ]:

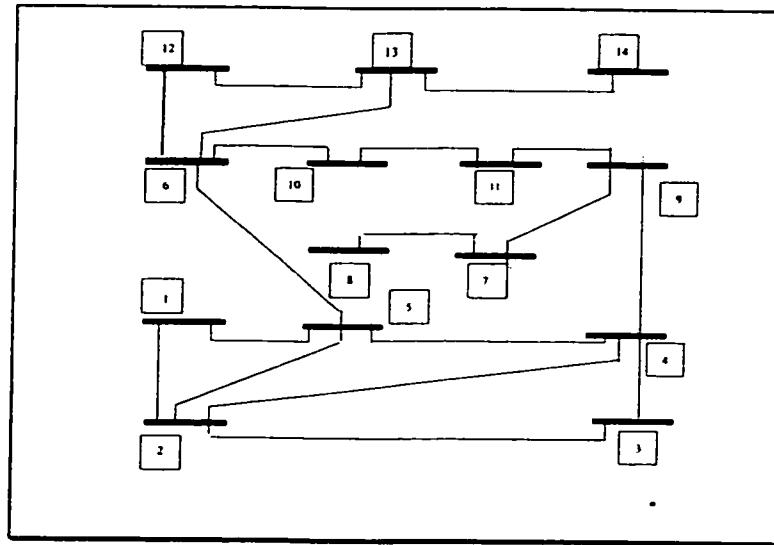
-0.2222	<b>940.1797</b>	-0.0027	0.1030	0.028	0.0865	0.0641
0.2723	0.5479	0.2980	0.1674	0.0610	<b>228.2935</b>	-0.937
-0.1031						

Le tableau 1.1 définit les mesures et donne les résidus correspondants.

Les mesures 2 et 13 sont fortement en erreur. Or, l'ampleur des erreurs de mesures ne se manifestent pas dans les résidus.

**Tableau 1.1 : Résidus obtenus**

Mesure	Transits	Résidu	Résidu normalisé
1	(3,4)	0.0000	0.0000
2	(4,5)	-0.0147	-8.7871
3	(7,8)	0.0000	0.0000
4	(9,14)	-0.000	-0.0000
5	(10,11)	-0.000	-0.0000
6	(6,10)	0.0000	0.0000
7	(13,14)	-0.0000	-0.0000
8	(7,9)	-0.0002	-0.1370
9	(2,4)	-0.0617	-8.7871
10	(4,7)	-0.0005	-0.1370
11	(4,9)	0.0013	0.1370
12	(9,11)	0.0000	0.0000
13	(2,5)	0.0608	8.7871
14	3	-0.0000	-0.0000
15	6	-0.0000	-0.0000



**Figure 1.2 : Réseau IEEE 14 barres**

e- Dans une mesure critique, les erreurs grossières ne peuvent pas être détectées car son résidu d'estimation est toujours nul.

-Les erreurs grossières dans un ensemble critique peuvent être détectées mais elles ne peuvent pas être identifiées ( retracées ) car les résidus normalisés d'un ensemble critique ont la même grandeur.

Les propriétés ci-dessous peuvent être illustrées par des exemples numériques similaires à d.

## CHAPITRE II

### MODÉLISATION DU RÉSEAU EXTERNE

#### 2.1 Généralité

##### 2.1.1 Motivation

L'extension des systèmes interconnectés crée des besoins accrus pour l'étude de la sécurité du réseau. On évalue les situations à examiner, en se basant sur différents phénomènes physiques tels que la perte de stabilité, la chute de tension, la chute de fréquence et la surcharge dans les lignes. Deux classes de stabilité ont été définies dans la littérature: stabilité de petits signaux en régime permanent et stabilité dynamique en régime transitoire. L'évaluation de la stabilité requiert l'exécution de nombreuses simulations temporelles. En planification, on effectue des études prévisionnelles qui analysent un grand nombre de situations de réseau vis-à-vis d'un ensemble considérable de cas de défaut. Dans l'exploitation en temps réel, on fait la vérification systématique, la détection et la correction d'une situation dangereuse non prévue (analyse de sécurité).

Dans tous les cas, les qualités recherchées des méthodes d'évaluation de la sécurité sont la rapidité, la crédibilité (capacité à détecter toutes les situations dangereuses) et la simplicité d'interprétation des résultats. Or la croissance des réseaux interconnectés rend les calculs de sécurité sur un réseau détaillé plus ardu et complexe, et voire impossible en temps réel. Il est nécessaire d'apporter des simplifications sur le réseau pour alléger les études de contingences. On a constaté que la plupart des opérations de manœuvres et de perturbations entraînent des changements considérables seulement dans une région limitée du réseau: la partie fortement liée au point de perturbation. Cette caractéristique peut être utilisée pour gérer un réseau interconnecté.

Un réseau interconnecté est contrôlé par des centres de contrôle appartenant à des entreprises membres. Traditionnellement un centre de contrôle divise le réseau interconnecté en deux parties: le réseau interne et le réseau externe. Le réseau interne désigne la partie gérée par l'entreprise et le réseau externe indique le reste du réseau interconnecté. Les barres dans la région interne liées avec au moins une barre de la région externe sont appelées des barres frontières. On peut illustrer le schéma simplifié d'un réseau interconnecté comme à la figure 2.1 où le réseau interne correspond à la partie observable du réseau et le réseau externe à la partie non observable.

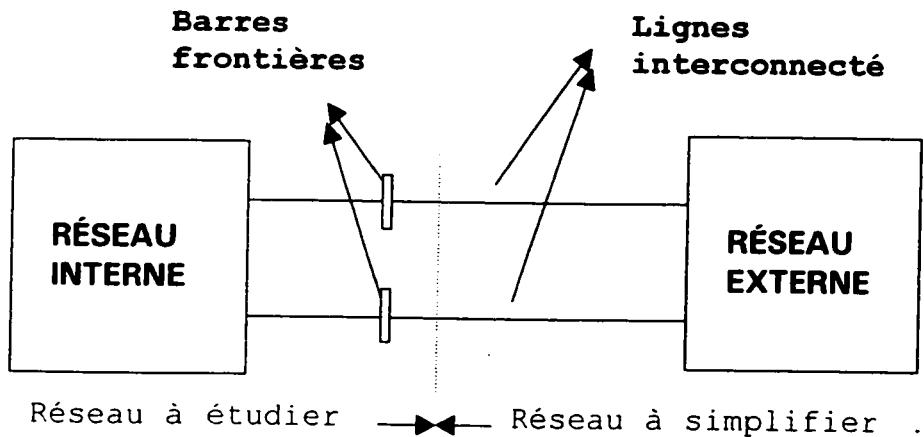


Figure 2.1 : Réseau interconnecté

Le centre de contrôle doit réaliser des analyses de contingences tel que la mise hors service d'un générateur ou d'une ligne, les court-circuits, etc... La sévérité des cas peut être étudiée avec des logiciels ayant comme entrée la solution de l'estimateur d'état. Dans un réseau interconnecté, une perturbation dans le réseau interne peut changer de façon significative les conditions d'opération du réseau voisin qui, à son tour, influence le réseau interne. Alors, l'étude doit aussi inclure le modèle du réseau externe afin de représenter correctement sa réaction aux contingences dans le réseau interne.

Il faut si possible modéliser le réseau au complet, mais ce n'est pas toujours faisable pour au moins les raisons suivantes:

- le manque de données précises sur le réseau externe (ou non observable): configuration, données nodales ou transits de puissance
- le temps élevé pour réaliser des calculs.

### **2.1.2 Critères exigés du modèle externe**

Pour une modélisation efficace du réseau externe, il est nécessaire d'établir la liste des qualités requises. Le modèle doit:

- être suffisamment précis, surtout pour certaines variables sélectionnées telles que tensions, transits de puissance, positions angulaires, etc...
- exiger peu de calcul et de mémoire pour les simulations
- fonctionner avec des données faciles à relever
- reproduire assez exactement le comportement du réseau
- être établi par une procédure automatique
- être compatible avec les modèles et les programmes de simulations usuels.

### **2.1.3 Modélisation du réseau externe**

Même si transfert de données entre les centres de contrôle est considéré comme la solution idéale pour modéliser le réseau externe, il existait peu de normes sur le format et la gestion des données échangées. Les données proviennent des différents centres de contrôles et sont susceptibles à des manques de coordination. On peut citer dans ce genre de problème la difficulté de synchroniser le temps. Ceci devient presque impossible, quand il faut collecter les données de plusieurs centres de contrôles. Par ailleurs, un autre problème à résoudre est le choix des types de mesures à échanger.

Comme chaque centre de contrôle possède son centre d'intérêt, on se retrouve avec une diversité de bases de données et les données échangées doivent être

transformées sous d'autres formats et aussi d'autres contenus. Récemment, il y a beaucoup de travail de normalisation, via les protocoles CIM / XML cependant, cela ne règle pas tous les problèmes et les industries doivent recourir à d'autres solutions pour traiter les informations sur le réseau externe qui ne sont pas forcément complètes et précises.

Les méthodes actuelles pour modéliser le réseau externe ( ou non observable ) peuvent être classées selon deux approches décrites ci-dessous:

- modèle équivalent.
- modèle non-réduit.

Après cette présentation une discussion de l'impact des erreurs de modélisation suivra.

## 2.2 Réseau équivalent

Dans la première approche, on réduit la dimension du réseau externe ( ou réseau non observable ) et on ramène le nouveau réseau aux barres frontières du réseau interne. C'est-à-dire que le réseau réduit est un réseau équivalent en régime stationnaire calculé en supposant les niveaux moyens de charge et les positions normales des disjoncteurs dans le réseau externe. Il s'ensuit qu'une continue mise à jour de ce modèle est nécessaire car le modèle de base ne reflète pas les changements dans le réseau externe.

La procédure à suivre comprend trois étapes:

- étape 1: construire l'équivalent de dimension réduite du réseau externe en régime stationnaire en se basant sur un fonctionnement normal des appareils et pour un niveau de charge moyen.
- étape 2: attacher le réseau équivalent aux barres frontières du réseau interne et ensuite calculer le bilan de puissance.
- étape 3: utiliser les informations en temps réel pour faire la mise à jour du modèle externe et au besoin la détection d'erreurs topologiques.

Actuellement, les compagnies utilisent essentiellement les équivalents de type Ward et dans quelques cas, la méthode de linéarisation ou la méthode R.E.I ( Radial Équivalent Indépendant ) est retenue.

### 2.2.1 Description des modèles

#### 2.2.1.1 Équivalent externe de type Ward

L'équivalent externe le plus utilisé est celui de Ward. Il existe cependant quelques variantes de Ward dont les principales sont:

- a- modèle Ward simple [ 9-11 ].
- b- modèle Ward PV [ 10, 12 ].

### c- modèle Ward étendu [ 9-11 ]

#### a- Modèle Ward simple

C'est la version la plus simple du modèle de Ward. Son principe est de réduire le réseau externe au complet en des branches d'admittances connectées aux barres frontières. Initialement, le réseau total interconnecté est divisé en des barres externes, internes et des barres frontières. Ainsi, l'application de la loi de Kirchoff au réseau total nous donne une équation matricielle de la forme:

$$\begin{bmatrix} Y_{ee} & Y_{eb} & & \\ Y_{be} & Y_{bb^e} + Y_{bb^i} & Y_{bi} & \\ & Y_{ib} & Y_{ii} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_e \\ E_b \\ E_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_e \\ I_b \\ I_i \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

Note:

**i:** barre dans le réseau interne

**b:** barre frontière

**e:** barre dans le réseau externe

**$Y_{bb^i}$ :** sous matrice dont les éléments diagonaux comprennent les admittances des branches qui relient soit deux barres frontière - frontière, soit deux barres frontière - interne.

**$Y_{bb^e}$ :** sous matrice dont les éléments diagonaux comprennent les admittances des branches qui relient soit deux barres frontière - frontière, soit deux barres frontière - externe.

Ensuite, on élimine toutes les barres externes par la procédure de Gauss. Le nouveau réseau va être de dimension réduite et la nouvelle matrice prendra la forme:

$$\begin{bmatrix} Y_{eq} + Y_{bb^i} & Y_{bi} \\ Y_{ib} & Y_{ii} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_b \\ E_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_b + I_{eq} \\ I_i \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

où:

$$\begin{aligned} Y_{eq} &= Y_{bb^*} - Y_{be} Y_{ee^{-1}} Y_{eb} \\ I_{eq} &= -Y_{be} Y_{ee^{-1}} I_e \end{aligned} \quad (2-3)$$

Le courant  $I_{eq}$  est converti sous forme de puissance équivalente  $S_{eq}$  représentant l'injection des barres externes dans les barres frontières. Ainsi, la puissance totale injectée à une barre frontière est la sommation de la puissance initiale et de celle qui vient du réseau externe calculé au cas de base. À moins qu'une mise à jour ne soit faite, il est clair que le réseau équivalent de Ward est indépendant de l'état réel du réseau extérieur.

Avant toutes les opérations, on peut traiter les barres de charges dans le réseau externe comme des injections de courant, alors le circuit externe peut être considéré comme un circuit série. Dans ce cas, le rapport X/R du réseau équivalent peut être maintenu à des valeurs supérieures à 1/3. Cette caractéristique facilite la convergence des algorithmes [ 11 ]. Cette variante connue sous le nom de Ward injection est différente de celle de Ward classique, aussi appelée Ward admittance.<sup>2</sup> On représente alors les barres de charges externes sous formes d'admittances incluses dans Yee, et aussi on annule les courant  $I_e$  [ 9, 11 ]. Cette opération a tendance à amplifier les shunts connectés aux barres frontières, créant ainsi un faux comportement en tension et en puissance réactive [ 11 ].

Dans les études de contingences, Ward simple donne de bon résultat en puissance active mais de gros écart en puissance réactive. Ce qui est prévisible, car le modèle ne peut pas suivre les évolutions dans le temps des barres PV.

### b- Modèle Ward PV

Pour améliorer la précision du calcul de la puissance réactive, la version simplifiée doit être modifiée légèrement. Cette fois, la méthode de Gauss sert à éliminer seulement les barres de charges externes. Le réseau réduit possède encore des barres PV externes, donc il peut tenir compte des changements dans les puissances réactives à la

---

<sup>2</sup> Voir l'annexe IX

suite d'une contingence. Les résultats obtenus avec cette méthode sont jugés bons et suffisants.

Pourtant, si le réseau externe a un nombre élevé des barres PV, la méthode nécessite un temps de calcul important. En pratique, on peut garder simplement un certain nombre de générateurs qui sont capables de fournir une grande quantité de puissance réactive [ 12 ].

### c- Modèle Ward étendu

Monticelli et ses collaborateurs ont établi un modèle qui combine la simplicité du modèle Ward simple avec la précision du modèle Ward PV. Dans une première étape, le réseau interconnecté est transformé en réseau équivalent du type Ward simple, par la suite on ajoute des générateurs fictifs aux barres frontières du réseau simplifié. Ces générateurs n'affectent pas la solution de base du réseau et ne produisent pas des puissances actives. Ils sont considérés comme des supports additionnels de puissances réactives qui reproduisent la même réponse que celle du modèle Ward PV. La figure 2.2 illustre deux configurations possibles de la partie extension du réseau ( des branches fictives de susceptances  $\hat{B}_i$  , connectées entre une barre frontière et une barre fictive PV ) et la référence [ 10 ] donne le calcul détaillé de  $\hat{B}_i$  .

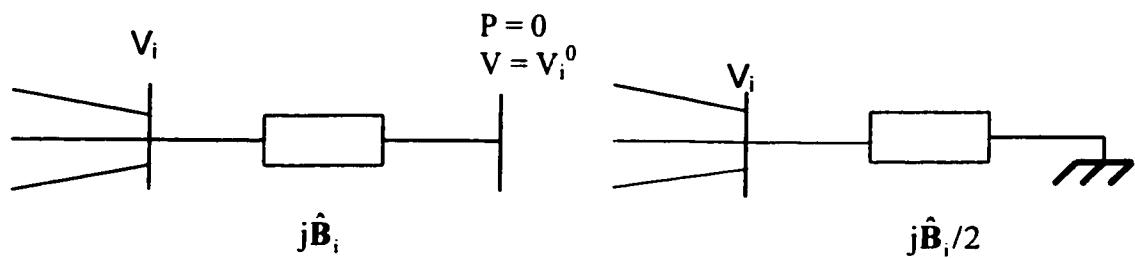


Figure 2.2 : Implémentation du modèle Ward étendu.

### 2.2.1.2 Équivalent externe de type Dimo-R.E.I

Dimo a inventé la méthode R.E.I qui construit le réseau équivalent à partir de la répartition de puissance du réseau externe [ 9-12 ]. L'idée principale est de retirer toutes les injections des noeuds extérieurs et de les regrouper à un noeud fictif R.E.I. On peut regrouper les barres selon leur types ( PQ ou PV ), leurs distances géographiques ou électriques, la densité de la matrice, etc. ... de sorte qu'on peut avoir plusieurs noeuds fictifs R.E.I connectés aux barres frontières. Ces injections regroupées sont redistribuées aux barres frontières par un réseau radial appelé réseau R.E.I, à travers un nœud  $g$ . Au cas de base, la tension de  $g$  est nulle ( figure 2.3 ). Les admittances  $y_k$  et  $y_r$  du réseau radial sont calculées pour que les injections du réseau R.E.I dans les noeuds  $k$  soient les mêmes que les injections originales dans le cas de base. Elles devront avoir les valeurs suivantes:

$$y_k = -S_k^* / V_k^2 \quad (2-4)$$

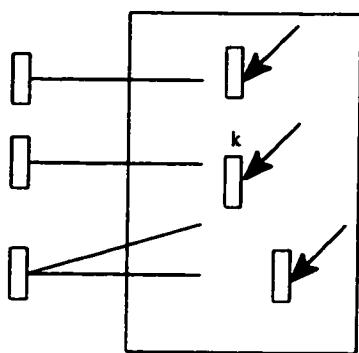
$$y_r = S_r^* / V_r^2 \quad (2-5)$$

avec:  $S_r = \sum_k S_k \quad (2-6)$

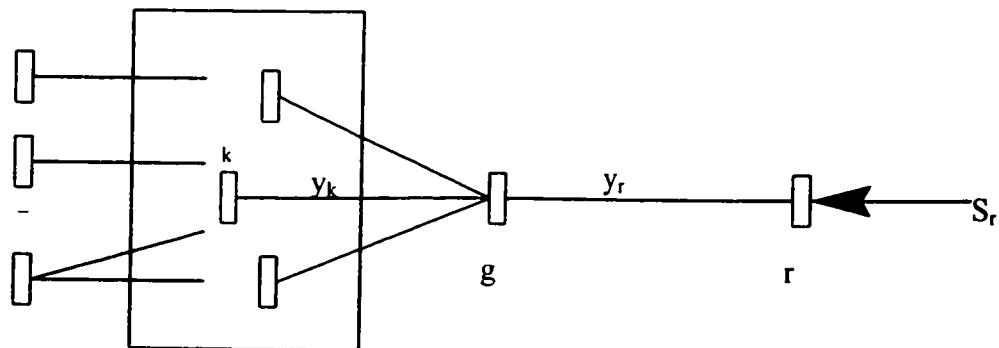
Comme d'habitude on élimine les barres  $k$  et les noeuds  $g$  par la méthode de Gauss. Alors, le réseau final contient seulement des noeuds  $r$  qui remplacent les barres éliminées.

À partir de cette description, on peut remarquer que le point d'opération du réseau externe est intégré dans les branches admittances  $y_k$  du réseau R.E.I. Il s'ensuit que l'ajustement du réseau externe pour le modèle R.E.I est une tâche difficile, surtout dans les études de contingence. De plus, un tel regroupement peut faire apparaître de très faibles tensions ( 0.8 pu et 0.66 pu dans [ 12 ] ) sur les nouvelles barres R.E.I causant de sérieux problèmes de convergence. Pour remédier à ce problème, diverses possibilités de regrouper les noeuds ont été proposées comme de mettre ensemble des barres PV avec des barres PV, des barres PQ avec des barres PQ. Aussi, on peut partir

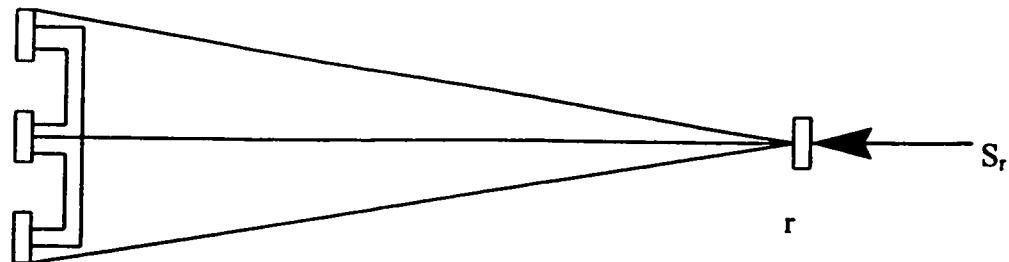
avec les mêmes tensions pour toutes les barres, traiter les barres PV comme des barres PQ lorsque ses limites de puissances réactives sont atteintes. À mesure qu'on s'éloigne de la solution de base, l'erreur due à la redistribution de la puissance à travers le réseau R.E.I devient significative. En effet, la pratique montre que la proportion de la distribution dans les branches «kg» ne demeure pas invariante pour toutes les situations telles que supposées dans la méthode.



a- Réseau initial



b- Structure du réseau R.E.I



c- Équivalent R.E.I après l'élimination des barres de zéros injections

Figure 2.3 : Équivalent R.E.I

### 2.2.1.3 Méthode de linéarisation [ 9,11 ]

Dans cette méthode, l'écoulement de la puissance active et réactive du réseau externe dans les barres frontières est linéarisé selon la formule:

$$\mathbf{F} - \mathbf{F}^0 = - \mathbf{J}' * (\mathbf{X}_b - \mathbf{X}_b^0) \quad (2-7)$$

où:

$$\mathbf{X}_b - \mathbf{X}_b^0 = [\Delta\theta, \Delta V]'$$

$$\mathbf{F} - \mathbf{F}^0 = [\Delta P, \Delta Q]'$$

$\Delta$  signifie une déviation par rapport au cas de base.

Au début, on forme le Jacobien  $J$  pour des barres aux frontières et des barres externes. Après, on élimine les barres externes pour obtenir le Jacobien  $J'$  du réseau équivalent ramené aux barres frontières.

Pour utiliser ce réseau équivalent dans l'écoulement de puissance de Newton, on ajoute  $J'$  aux éléments frontières de la matrice Jacobienne du réseau interne. Dans une répartition de puissance avec algorithme découpé<sup>3</sup>, on additionne aux matrices  $B'$  et  $B''$  du réseau interne les termes découpés de la matrice symétrique  $J'$ . Il est clair qu'une erreur de topologie va introduire les erreurs dans le Jacobien  $J'$  et par conséquent, fausser les impédances du réseau équivalent.

Rappel:

$B'$  matrice de dimension  $N_b - 1$

$B''$  matrice de dimension  $N_{PQ}$

avec  $N_b$  est le nombre total de barre dans un réseau et  $N_{PQ}$  est le nombre total des barres de charge dans le réseau .

---


$$\Delta P / V = B' \cdot \Delta \theta$$

$$^3 \Delta Q / V = B'' \cdot \Delta V$$

On obtient  $\mathbf{B}'$  et  $\mathbf{B}''$  à partir de la matrice  $\mathbf{Y}_{\text{bus}} = \mathbf{G} + \mathbf{jB}$  en prenant les parties imaginaires des colonnes correspondantes.

L'avantage de la linéarisation est de réduire le temps de calcul et d'éviter le mauvais-conditionnement. Si l'écoulement du réseau externe est disponible, ce qui suppose un réseau observable, on peut construire un Jacobien exact, par conséquent la méthode donne de bons résultats. Cependant, cette méthode ne peut être appliquée qu'au moyen d'un programme de répartition spécialement modifié.

### 2.2.2 Ajustement du modèle de l'estimateur d'état

Après la solution du réseau interne faite par l'estimateur d'état, on ajoute le réseau équivalent externe aux barres frontières. Le réseau externe a été conçu par une des méthodes citées. Idéalement, un tel ajout ne doit pas modifier l'état actuel du réseau interne. Surtout, sur le plan d'écoulement de puissance, il doit avoir concordance entre les puissances injectées dans les barres frontières par le réseau équivalent avec des transits de puissances sur les lignes d'interconnexion. Cependant, due à l'incertitude sur la modélisation ou sur les données, ou à des changements de situations, le bilan de puissance aux barres frontières ne s'annule pas automatiquement et il est nécessaire d'effectuer des ajustements afin de maintenir le réseau interne intact. Pour ce faire, on place aux barres frontières, des injections supplémentaires fictives qui représentent la différence entre l'état réel et l'état modélisé du réseau externe. Au lieu de cette approche séquentielle, on peut aussi avoir une solution simultanée du réseau interne et externe.

### 2.2.3 Mise à jour de l'équivalence

Pour les centres de contrôles qui ont choisi d'utiliser des équivalents, souvent la mise à jour est égale à une correction de bilan de puissances aux barres frontières, tandis

que la configuration du réseau équivalent reste invariante. C'est-à-dire le même réseau est toujours utilisé. On peut donc s'attendre à des erreurs non négligeables dans les études de contingences. Par ailleurs, pour une situation réelle, le réseau externe va sûrement changer avec le temps et il est raisonnable que son équivalent change aussi. Cela signifie qu'une mise à jour complète doit combiner une modification des paramètres du réseau et un ajustement de bilan de puissance.

Jusqu'à présent, les recherches n'ont pas réussi à mettre au point des algorithmes efficaces afin d'identifier et de corriger les paramètres erronés. La conclusion est qu'il est pratiquement impossible de calibrer un réseau de type Ward. Quant au type R.E.I, on peut simplifier le processus de mise à jour par l'introduction du concept du réseau de calibration. Ce dernier a un noeud de calibration qui est relié avec les noeuds frontières à travers un réseau aussi de type R.E.I comme illustré à la figure 2.4. Un exemple typique qui fait l'usage de ce concept est le modèle X-R.E.I [ 10,13 ] dans laquelle on garde les noeuds essentiels du réseau externe et les autres noeuds sont regroupés en des noeuds équivalents. Les noeuds essentiels peuvent être déterminés par l'étude de sensibilité et doivent contenir au moins des barres frontières. Les noeuds non-essentiels avec des injections nulles sont éliminés et on attache un réseau de calibration aux noeuds frontières pour ajuster précisément le bilan de puissance. Les noeuds et les branches essentiels aident à incorporer les changements en temps réels du réseau externe dans l'équivalent.

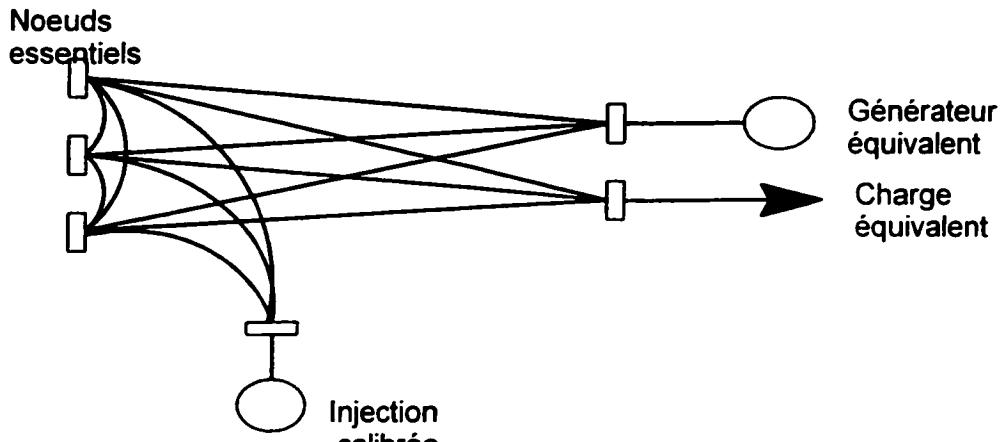


Figure 2.4 : Modèle X-R.E.I

American Electric Power ( A.E.P ) a essayé une autre procédure en deux étapes pour calibrer le réseau équivalent de type R.E.I [ 14 ]. À priori, on utilise la répartition de puissance en redondance pour déterminer les tensions des barres R.E.I qui minimisent le bilan de puissance. Au point de vue mathématique, c'est un problème d'optimisation dont la solution ( les tensions dans ce cas ) sont obtenues en résolvant un système d'équations linéaires. Les nouvelles tensions servent à déduire le courant correspondant au bilan de puissance aux barres frontières afin de rendre nul le bilan de puissance. La comparaison des résultats obtenus des méthodes équivalentes usuelles indique qu'on obtient de meilleurs résultats dans tous les cas d'essais.

Tout en ne cherchant pas la cause d'une valeur non nulle du bilan de puissance, les techniques ci-dessus masquent le problème sans le corriger. On présume qu'une modification des paramètres du réseau équivalent devra corriger toutes les sources d'erreurs provenant soit de la charge, soit de la génération ou soit de la topologie, etc... Or, il n'est pas sûr que l'élimination de bilan de puissance réussit à rectifier tous ces cas. Surtout, pour une erreur dans la topologie, ce traitement est insuffisamment précis. L'étude menée par Ajan Bose [ 15 ] prouve que les erreurs topologiques provoquent des effets plus importants que celles de type analogique. On peut trouver la même constatation sans démonstration dans les travaux antérieurs [ 9,11 ]. Dans certains cas,

ce type d'erreur produit des niveaux inacceptables de bilan de puissance aux barres frontières. Toutefois, on peut se baser sur la valeur élevée des bilan de puissance aux barres frontières pour affirmer qu'un changement important dans le réseau externe s'est produit. Par la suite, les opérateurs du réseau procèdent à des vérifications téléphoniques pour effectuer les vraies corrections.

#### **2.2.4 Évaluation préliminaire**

D'après les essais dans les compagnies, il semble que tous les différents modèles qui peuvent fournir un support de puissance réactive donnent des résultats satisfaisants. En particulier, le modèle de type Ward avec des zones de tampon est facile à implanter. Par ailleurs, l'avantage du type Ward ( sauf Ward admittance ) est la séparation de ses deux parties passive et active. En effet, la structure du réseau équivalent ( partie active ) est déterminée par la topologie du réseau externe, tandis que l'injection aux barres frontières ( partie passive ) reflète le point d'opération du réseau externe. S'il n'y a pas d'erreur de topologie, un simple ajustement de bilan de puissance aux barres frontières peut être suffisant pour mettre à jour le réseau équivalent.

On peut dire que les méthodes R.E.I et Ward admittance ne sont pas vraiment conçues pour modéliser la réponse en temps réel du réseau externe mais plutôt pour remplacer ce dernier par un réseau réduit qui est exact seulement au point d'opération initial du système. Néanmoins, pour les fluctuations de charge et de génération dans le réseau externe, la procédure de mise à jour suggérée par A.E.P donne de bon résultats. C'est pour cette raison que l'article [ 16 ] recommande l'utilisation du modèle R.E.I dans les centres de contrôles, contrairement à la tendance générale qui favorise le modèle Ward. Quant au modèle de Ward, la conclusion tirée de ces essais est qu'il fonctionne bien en temps différé mais devient non satisfaisant dans les applications en temps réels.

Malgré certains aspects intéressants, l'utilisation de la méthode de linéarisation est encore très limitée, car peut être, elle nécessite les adaptations importantes des applications. Par ailleurs, une compagnie qui utilise cette méthode dans une application en temps réel, obtient de médiocres résultats par rapport aux mesures réelles [ 17 ].

## 2.3 Réseau non réduit

Dans la deuxième approche, on représente le réseau externe ( non observable ) au complet et en détail. On le solutionne en temps réel, soit par la répartition de puissance soit par l'estimateur d'état.

Afin de contourner la non-observabilité, les données en temps réel du réseau externe sont obtenues par l'extrapolation des mesures internes, par des facteurs de distribution de la charge et la répartition économique. La quantité de données en temps réel à calculer dépend évidemment de la dimension du modèle externe.

La procédure à suivre comprend trois étapes:

- étape 1: estimer à partir de données en temps réel la topologie, la génération et la charge du réseau externe.

- étape 2: résoudre le réseau externe au complet soit par répartition de puissance, soit par l'estimateur d'état en fixant les tensions aux barres de frontières aux valeurs calculées par l'estimateur interne, soit par une solution simultanée des réseaux internes et externes.

- étape 3: vérifier le bilan de puissance et effectuer les corrections manuelles si nécessaire.

### 2.3.1 Calcul de l'état du réseau externe

L'estimateur d'état décrit au chapitre I peut être appliqué sur le réseau complet afin de déterminer l'état de ce réseau. Il est aussi possible d'effectuer la répartition de puissance dans le réseau externe, y compris les barres frontières, tout en fixant les tensions et les angles des barres internes aux valeurs données par l'estimateur d'état du réseau interne. C'est à dire les barres frontières doivent être traitées comme des barres équilibrées pour le réseau externe. De cette manière, théoriquement à la convergence le

bilan de puissance aux barres frontières doit être nul. Néanmoins, s'il y a l'erreur dans les paramètres du réseau ou dans les données, on peut s'attendre à des bilans de puissance élevés aux barres frontières. Dans ce cas la mise à jour des données et les vérifications de la topologie du réseau aident à réduire les bilans de puissance. Il s'ensuit que les bilans de puissance aux barres frontières est une indication d'erreur de topologie dans le réseau externe. Mais la possibilité de localiser l'erreur avec cette méthode est très limitée car les erreurs vont tous se rassembler aux barres frontières quelque soit leurs types et leurs lieux. L'expérience montre que les bilans de puissance peuvent avoir des valeurs intolérables dans certaines situation.

### 2.3.2 Ajustement du bilan de puissance

D'après les essais, le modèle non réduit donne un meilleur bilan de puissance aux barres frontières que celle de l'équivalent externe. C'est tout à fait logique puisque la présentation en détail du réseau externe permet de vérifier et de corriger plus facilement les sources d'erreurs. On peut aussi observer que le bilan de puissance est plus gros dans la répartition de puissance qu'il l'est dans l'estimateur d'état. En effet, l'utilisation de l'estimateur d'état séquentiel réduit de façon significative le bilan de puissance aux barres frontières. En réalité, dans l'estimateur d'état, les erreurs sont dispersées dans la portion éloignée du réseau externe. En principe, les gros bilans de puissance peuvent être corrigés en analysant les circuits voisins et en se basant sur les données réelles disponibles. C'est moins évident dans une répartition de puissance car les erreurs vont être concentrées aux barres frontières où un nombre élevé de sources peuvent être la cause. Rappelons-nous que dans la répartition de puissance, les injections aux barres frontières sont illimitées et ces changements sont nécessaires afin de supporter les demandes du réseau externe.

D'une façon similaire à la modélisation par réseau équivalent, on peut dire qu'un bilan élevé de puissance indique la présence d'erreurs dans le modèle non réduit. Un grand bilan de puissance est souvent engendré par une hypothèse erronée soit dans la

topologie, soit dans le niveau d'échange entre les compagnies. L'erreur d'échange est plus faible que l'erreur sur le statut de lignes et de générateurs, car une erreur de type analogique influence peu les solutions incrémentales dans les études de contingences.

Quoique la mise à jour du modèle dans cette approche est plus facile grâce à sa présentation en détail, on retrouve ici la même lacune que dans l'approche du réseau équivalent. En fait, aucune procédure automatique, fiable a été suggérée pour l'identification d'erreur.

Dans la solution de l'estimateur d'état, la différence entre la valeur estimée et la valeur planifiée de la puissance injectée à une barre aide à déceler les données analogiques erronées. Par la technique de répartition de puissance, la barre ayant le bilan de puissance le plus élevé détermine la direction géographique de l'erreur. Il en découle que la possibilité de localiser et de détecter l'erreur est encore très restreinte à cause d'un grand nombre de barres du réseau externe à modéliser comparé à quelques barres frontières.

### 2.3.3 Évaluation préliminaire

On vient de décrire deux approches pour modéliser un réseau externe non-réduit. En résumé, l'utilisation de la répartition de puissance a deux principales lacunes:

- l'absorption totale des erreurs par les barres frontières
- la difficulté d'insérer des puissances transitées télé-mesurées dans le programme.

La méthode basée sur l'estimateur d'état permet d'insérer les données télé-mesurées pour raffiner le modèle et une flexibilité de disperser les erreurs tel que désiré. Toutefois, on remarque une diminution de la stabilité numérique quand les données se composent d'un grand nombre de puissances injectées et la possibilité de masquage des erreurs multiples.

## 2.4 Estimateur d'état généralisé

On peut répéter ici les principales étapes pour déterminer l'état d'un réseau interconnecté:

- i- appliquer l'estimateur d'état pour trouver l'état actuel du réseau interne.
- ii- modéliser le réseau externe.
- iii- lier le modèle externe au réseau interne pour l'analyse de contingence.

A. Monticelli a proposé une méthode qui combine l'étape i et ii dans une seule phase par l'application d'un estimateur d'état modifié qui couvre en même temps le réseau interne et le réseau externe [ 18 ]. Dans ce cas, des précautions sont nécessaires pour éviter les effets des mauvaises données du réseau externe sur le réseau interne. N. Lu a résolu l'étape ii en appliquant à la fois la répartition de puissance et l'estimateur d'état au réseau externe [ 19 ]. La répartition de puissance permet de résoudre la partie non observable du réseau externe. On peut ainsi, améliorer la stabilité numérique et les calculs deviennent plus efficaces.

## CHAPITRE III

### DÉTECTION D'ERREURS DE MODÉLISATION D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE

#### 3.1 Motivation de la détection d'erreur

Nous avons exposé deux approches pour modéliser un réseau interconnecté. Toutes deux possèdent des avantages et des inconvénients.

Modélisation le réseau externe non essentiel en détail offre un double avantage, à savoir: faciliter l'identification et la correction d'erreurs, de permettre l'insertion des données disponibles en vue d'améliorer la précision du calcul. Néanmoins, en pratique, il n'est pas économique et souvent difficile de réaliser des analyses sur un réseau modélisé par cette approche car elle requiert:

- des dépenses élevées dans les coûts des équipements de mesure
- un bon rassemblement des informations télécommandées ( pas d'erreur de synchronisation )
- la fiabilité des données recueillies
- l'acquisition des ordinateurs sophistiqués
- un long temps de calcul.

Ces deux derniers problèmes sont mineurs de nos jours.

L'alternative est un réseau équivalent pour les parties non essentielles du réseau. L'idée fondamentale est la réduction de la dimension du réseau non essentiel afin de pallier aux inconvénients de l'autre approche. Cependant, dans certains cas les admittances des branches équivalentes ont des valeurs non-typiques [ 10-11 ], ce qui détériore la performance numérique.

Quelle que soit l'approche de modélisation retenue, il faut être en mesure de détecter les erreurs de topologie. C'est une difficulté majeure car il n'y a pas de procédures efficaces et automatisées pour détecter ces erreurs. Il faut d'abord traiter les problèmes suivants:

- 1- erreurs de topologie
- 2- erreurs de type analogique
- 3- erreurs de paramètre
- 4- mauvais bilan de puissance aux barres frontières
- 5- erreur de modélisation des réseaux équivalents.

Les deux dernières difficultés étant expliquées aux chapitre II, passons en revues, les trois premières.

#### 1- Erreurs topologiques causées par l'incertitude dans les statuts des lignes

L'état des disjoncteurs est souvent une entrée manuelle par l'opérateur du réseau, alors des erreurs de topologie sont inévitables surtout dans les réseaux de répartition .

#### 2- Erreurs analogiques causées par:

- les niveaux de production ou de charge qui ne suivent pas les profils prévus dans la partie non observable, y compris le réseau externe
- échelles de lecture incorrectes des appareils de mesure
- appareils mal branchés
- déséquilibre l'écoulement de puissance dans les trois phases
- erreurs de communications des données télé-mesurées.

#### 3- Erreurs des paramètres:

- impédance des transformateurs qui varie suite aux changements de position des prises de transformateurs
- impédance de ligne qui est incertaine particulièrement pour des constructions anciennes.

Aux cours des années, on a souvent ajouté des nouveaux dispositifs dans réseau

qui n'ont pas été incorporés dans la banque de données des applications.

Tel que mentionné au chapitre II, un simple ajustement de bilan de puissance aux barres frontières peut être suffisant pour régler le problème de type analogique mais insuffisant pour le type topologique. Ainsi, le travail dans cette thèse consiste à proposer une solution efficace pour détecter l'erreur de type 1, c'est-à-dire l'erreur topologique, afin de contribuer au succès de l'estimateur d'état. La solution proposée fonctionne aussi pour le réseau interne où le problème de détection d'erreur topologique est le même. Cette technique pourrait servir aussi bien à la détection d'erreur topologique sur le réseau principal et sur les réseaux de répartition.

### 3.2 Problématique

La topologie d'un réseau électrique change régulièrement à cause de la fluctuation de la charge. Plusieurs dispositifs sont ouverts ou fermés durant les opérations journalières, mais pour des raisons économiques, les interrupteurs logiques ne sont pas tous télé-mesurés. Dues à des priorités plus importantes, la mise à jour manuelle de leur statut est négligée par le personnel.

La fonction de pré-traitement qui effectue l'analyse topologique au niveau du poste est normalement limitée à une simple «configuration du réseau» basée sur l'information logique d'un statut. À cause d'une faible redondance et de l'absence de la chute de tension dans une branche, une validation minutieuse des statuts logiques ne peut être faite, sauf dans le cas où l'interrupteur est associé directement à la mesure du transit aux deux extrémités de cette branche. Des algorithmes sont aussi appliqués pour détecter des mesures contenant systématiquement des erreurs grossières. Les mesures douteuses sont exclues de l'estimateur d'état. Par contre, d'autres erreurs de topologie et des mauvaises données sont plus difficiles à éliminer.

Comme exemple, nous citons le cas de "Pacific Gas & Electric Company" ( PG & E ) [ 20 ] dont le problème est relié à des interrupteurs de contournement des disjoncteurs ( figure 3.1 ).

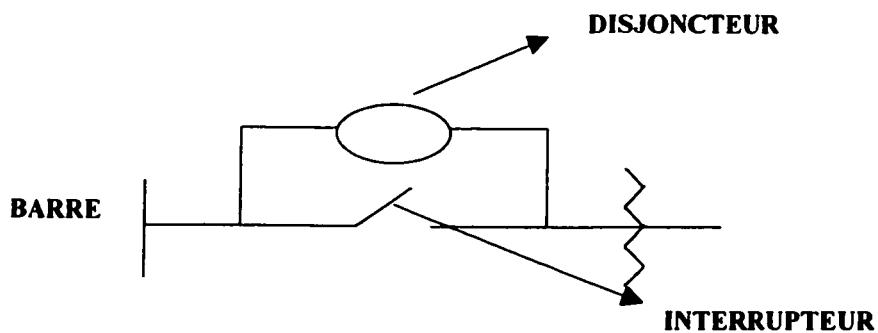


Figure 3.1 : Arrangement typique d'un disjoncteur

La personne d'entretien a débranché le disjoncteur et a fermé l'interrupteur pour maintenir les équipements en service. L'ouverture du disjoncteur est enregistrée car les disjoncteurs sont télé-mesurés. Tandis que l'interrupteur de contournement est encore montré ouvert dans la topologie car il n'est pas mesuré. La localisation de l'erreur est un travail ardu en raison de la taille du réseau. De telles erreurs numériques de statut peuvent soit causer la divergence de l'estimateur d'état, soit engendrer un grand nombre de mauvaises données quelque part dans le réseau, comme illustré à la figure 3.2.

La ligne 230 kV White Rock - Orangevale 230 kV est incorrectement débranchée dans le modèle. La sortie de l'estimateur d'état identifie une mauvaise donnée associée à la génération White Rock et y estime une génération négative de 122 W. En plus, l'estimateur d'état a trouvé une charge négative de 50 W à la station Union Valley qui se situe à deux barres de la ligne erronée.

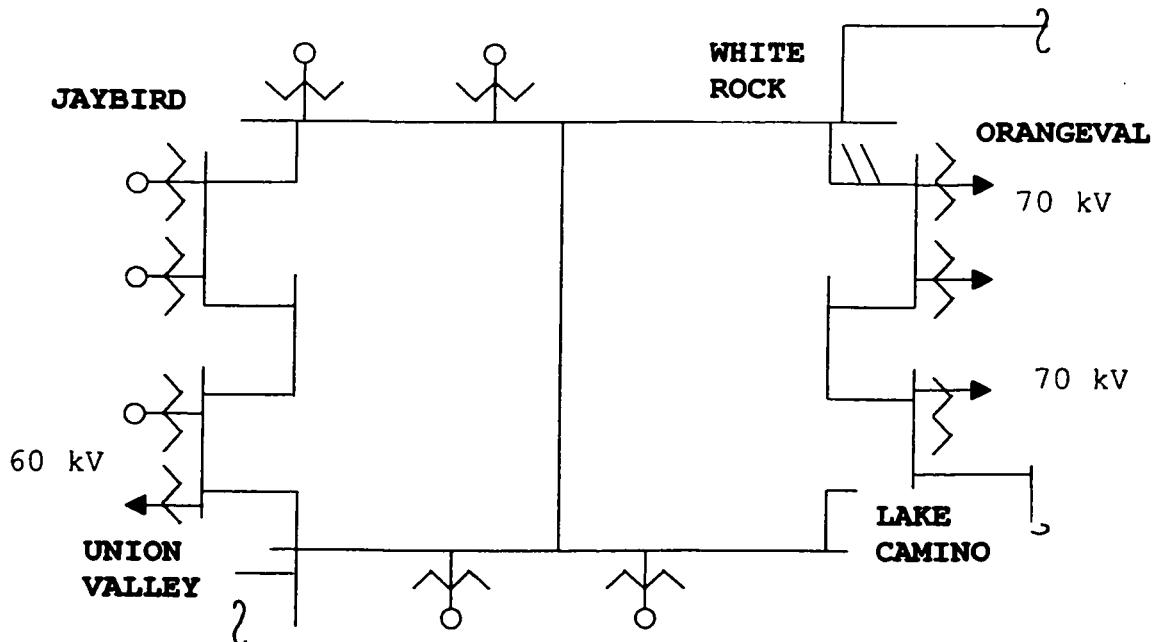


Figure 3.2 : Une portion du réseau PG&E

Afin d'apporter des solutions innovatrices, nous devons examiner les solutions existantes pour en dégager leurs difficultés et leurs limites.

### 3.3 Étude de l'état de l'art

Nous présentons d'abord quelques travaux qui se basent sur la réconciliation des données. Cette dernière exploite les informations redondantes et les lois de conservation afin d'extraire des informations précises et fiables à partir des mesures. La différence principale entre les techniques de réconciliation des données et les autres techniques de filtrage est que la réconciliation utilise explicitement les contraintes du modèle afin d'ajuster les mesures brutes. Dans notre cas, les contraintes reflètent la topologie du réseau.

La réconciliation des données et la détection des erreurs grossières sont des techniques qui vont de pair et qui expliquent des mesures redondantes.

Tel que mentionné au chapitre I, l'estimateur d'état peut signaler des erreurs de topologie et de mauvaises données. Un certain nombre de travaux plus avancés, effectuent l'identification en analysant la sortie de l'estimateur d'état. Ceux-ci feront partie aussi de notre étude de l'état de l'art.

#### 3.3.1 Bonanomi

Bonanomi dans [ 21 ] offre un exemple de stratégie de réconciliation des données. À partir d'une barre quelconque, dont la tension est mesurée, les analyses comprennent des séquences de calcul des tensions des barres adjacentes en utilisant les mesures où les transits dérivés et les paramètres de lignes connus. Les mesures redondantes servent à effectuer les tests de cohérence impliquant des tolérances. Trois tests sont effectués lorsque c'est possible:

- si tous les transits dérivés d'une barre sont connus, vérifier le bilan de puissance ( test de KCL, "Kirchoff Current Law" );
- si les chutes de tension des lignes d'une boucle sont calculables, vérifier la loi de Kirchoff pour les tensions ( test de KVL, "Kirchoff Voltage Law" );

- si la mesure de la tension d'une barre est disponible, comparer avec la valeur calculée.

Lorsqu'un test échoue, tous les éléments impliqués se voient attribués de mauvaises notes:

- pour une ligne, les mauvaises notes sont assignées aux mesures des transits réels et réactifs,  $P_{ij}$  et  $Q_{ij}$ , et à sa chute de tension;
- pour une barre, c'est la puissance injectée  $P_i$  et  $Q_i$  et l'amplitude de la tension qui reçoivent la note.

À la fin des tests, on classe les éléments du réseau selon le total des mauvaises notes.

La mesure ayant la note totale plus élevée est enlevée et on répète l'algorithme avec l'ensemble réduit des mesures. Le même processus est répété jusqu'au succès des tests de cohérence.

À partir de cette description, les faiblesses de la méthode sont apparentes. Pour couvrir le réseau entier, le nombre de mesures doit être plus élevé que celui de l'estimateur d'état. Un réseau qui n'est pas observable par la méthode de Bonanomi, peut être observable par l'estimateur d'état. Aussi, les mesures disponibles doivent comprendre une bonne proportion des transits car les amplitudes des tensions ( $V_i$ ) sont données par la solution de l'équation quadratique suivante:

$$\begin{aligned}
 & (RP + XQ)^2 + (XP - RQ)^2 \\
 & - [V_i^2 + 2 [ (RP + XQ)(1 - XB/2) + (XP - RQ)RB/2 ] ] V_j^2 \\
 & + [ (1 - XB/2)^2 + (RB/2)^2 ] V_j^4 = 0. \quad (3-1)
 \end{aligned}$$

Où  $P = P_{ji}$

$Q = Q_{ji}$ .

Même exigence pour calculer sur une ligne, la chute de tension complexe  $\bar{E}_{ij}$  dont la formule est:

$$\bar{E}_{ij} = Z [ (P_{ij} - jQ_{ij}) / \bar{V}_i - \bar{V}_i Y/2 ] \quad (3-2)$$

Où  $Z = R + jX$  : impédance de ligne

$Y = jB$  : admittance de ligne.

$\bar{V}_i = V_i \angle \theta_i$  : tension à la barre i.

$\bar{V}_j = V_j \angle \theta_j$  : tension à la barre j.

On trouve la formule ( 3-1 ) à partir des relations bien connues suivantes:

$$P_{ij} = Y^*/2 V_i^2 + V_i^2 / Z^* - V_i V_j / Z^* \cos(\theta_{ij}) \quad (3-3)$$

$$Q_{ij} = Y^*/2 V_i^2 + V_i^2 / Z^* - V_i V_j / Z^* \sin(\theta_{ij}) \quad (3-4)$$

$$\cos^2 \theta_{ij} + \sin^2 \theta_{ij} = 1$$

Le signe \* marque un conjugué.

De même ( 3-2 ) est déduite à partir de la formule du transit  $S_{ij}$  :

$$S_{ij} = \bar{V}_i (\bar{V}_i^* - \bar{V}_j^*) / Z^* \quad (3-5)$$

La méthode permet surtout de détecter les mauvaises mesures et n'identifie pas les causes. Seuls quelques cas simples peuvent être diagnostiqués. Par exemple, quand le bilan de puissance à une barre n'est pas nul, il est possible que cela soit dû à une susceptance shunt.

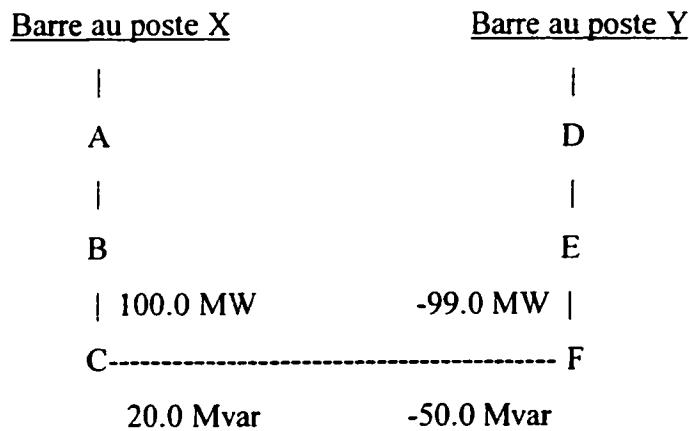
Ajoutons d'autres difficultés avec cette procédure:

- pour réussir à enlever toutes les mesures faussées, beaucoup d'essais successifs sont requis
- pour avoir des valeurs plus précises des tensions complexes, l'estimateur d'état est parfois utilisé
- pour déterminer les parcours à balayer dans le calcul des tensions des barres, il faut employer la théorie des graphes.

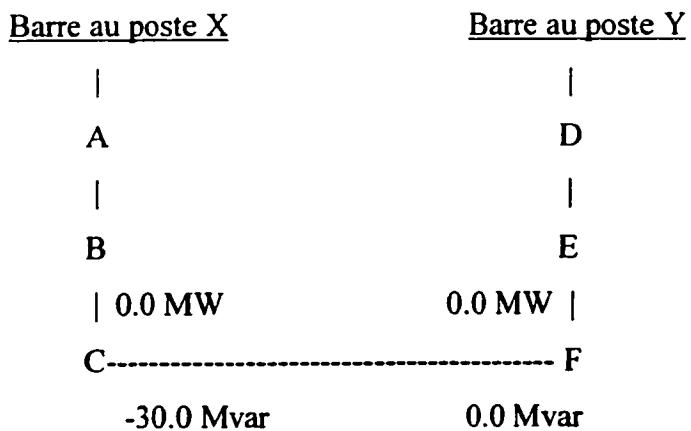
Passons maintenant aux travaux qui analysent les résidus de l'estimateur d'état pour chercher les erreurs de topologie et des mauvaises données.

### 3.3.2 N. Singh et H. Glavitsch [ 22 ]

N. Singh et Glavitsch ont présenté une méthode d'identification des erreurs topologiques en analysant la compatibilité des données disponibles. Nous présentons leur logique dans le petit exemple suivant.



**Figure 3.3 : Conditions avant la commutation**



**Figure 3.4 : Conditions après la commutation**

Dans les figures 3.3 et 3.4, A et D sont des sectionneurs qui relient les disjoncteurs B et E respectivement à une barre de X et à une barre de Y. C et F sont des sectionneurs qui raccordent B et E à la ligne reliant les postes X et Y.

Si le SCADA rapporte le changement de statut de "ON" à "OFF" du disjoncteur E, les mesures suivantes sont vérifiées:

- la puissance active au début de la ligne doit être zéro
- la puissance active à la fin de la ligne doit être zéro
- la puissance réactive au début de la ligne doit être égale à la puissance réactive associée à la susceptance de la ligne
- la puissance réactive à la fin de la ligne doit être zéro.

En comparant les figures 3-3 et 3-4, on voit que:

- le transit réel au début de la ligne a changé de 100 MW à 0 MW
- le transit réel à la fin de la ligne a changé de -99.0 MW à 0.0 MW
- le transit réactive au début de la ligne a changé de 20 Mvar à -30 Mvar
- le transit réactive à la fin de la ligne a changé de -50 Mvar à 0 Mvar.

Si la majorité des tests sont en faveur de la position reportée, elle est considérée correcte. Il est requis de disposer d'un bon nombre de mesures pour chaque ligne à vérifier. Mais surtout, il manque une procédure systématique afin de localiser les lignes dont les statuts sont incertains. L'application de cette logique dans le contexte des réseaux interconnectés peut rencontrer des limites au niveau du nombre élevé des mesures nécessaires et de l'expertise demandée pour interpréter les résultats.

### 3.3.3 Lugtu [ 23 ]

L'auteur a proposé une solution basée sur les observations suivantes:

- l'estimateur d'état n'est pas affecté par l'erreur topologique si la ligne en question n'est pas mesurée ou si ses mesures sont supprimées.
- l'effet principal d'une erreur de statut est de produire une mauvaise estimation des puissances injectées aux deux bouts de la ligne.

La première observation est expliquée par l'absence du modèle de la ligne dans l'équation des moindres carrés. La deuxième est vraie s'il y a suffisamment de mesures redondantes. Dans ce cas, on peut dire que les amplitudes, les angles des tensions et les transits sur les lignes sont moins affectés par l'erreur que les puissances injectées.

Voici les étapes appliquées à une ligne dont le statut est douteux:

- supprimer les mesures correspondantes de l'estimateur d'état
- changer le statut de la ligne
- passer de nouveau l'estimateur d'état pour avoir les nouvelles valeurs de puissances injectées
- refaire le test de résidu.

Si le test de résidu est réussi, alors le nouveau statut de la ligne est correct et la mise à jour du réseau est effectuée.

Les faiblesses de la méthode sont les suivantes:

- l'application est restreinte à quelques lignes visées
- il n'est pas possible de certifier le statut de la ligne sans avoir les puissances injectées aux deux bouts de la ligne
- les erreurs ne doivent pas être proches, on ne peut pas isoler leurs effets sur les puissances injectées de la ligne corrigée
- si les mesures à supprimer sont des mesures critiques, l'estimateur d'état ne peut pas converger.

### 3.3.4 Felix Wu [ 24-25 ]

Supposons un estimateur d'état de type linéaire, découplé, ayant la forme suivante:

$$z = Hx + e. \quad (3-6)$$

Dans le cas de la puissance réelle,  $z$  est l'ensemble des mesures de puissance réelle  $P$ ,  $x$  est l'ensemble des angles des tensions des barres.  $H$  est une matrice jacobienne caractérisant le réseau et ses mesures.

Le vecteur résiduel  $r$  est la différence entre la quantité mesurée et la valeur calculée à partir de l'estimateur d'état:

$$r = z - H \hat{x} . \quad (3-7)$$

On a:

$$\hat{x} = (H^t W H)^{-1} H^t W z \quad (3-8)$$

$$r = (I - M) e \quad (3-9)$$

avec

$$M = H (H^t W H)^{-1} H^t W .$$

Sans erreurs, l'espérance mathématique et la covariance du résidu sont:

$$E(r) = 0 \quad (3-10)$$

$$\text{Cov}(r) = (I - M) W^{-1} \quad (3-11)$$

$W$  est la matrice diagonale de pondération.

Les effets des erreurs topologiques sont reflétées dans la matrice  $H$  car ses termes sont calculés à partir des admittances de ligne. Si  $H_t$  est la vraie matrice (la matrice sans erreurs) et  $H$  la matrice avec l'erreur de topologie, on peut écrire:

$$H_t = H + \tilde{B} \quad (3-12)$$

où  $\tilde{B}$  modélise les erreurs dans la matrice.

On trouve que:

$$\hat{x} = (H^t W H)^{-1} H^t W z \quad (3-13)$$

$$r = (I - M) (\tilde{B} x + e) \quad (3-14)$$

Donc:

$$E(r) = (I - M) \tilde{B} x \quad (3-15)$$

$$\text{Cov}(r) = (I - M) W^{-1} . \quad (3-16)$$

En se basant sur le test de résidu normalisé, l'hypothèse "pas d'erreurs" est acceptée si:

$$\max |r_i^N| < \gamma \quad (3-17)$$

où  $\gamma$  est le seuil fixé dans la détection.

S'il n'y a pas d'erreurs grossières, cette condition est équivalente à avoir la moyenne des résidus nulle.

Il en résulte que:

" Une erreur de topologie est détectable si et seulement si  $(\mathbf{I} - \mathbf{M}) \tilde{\mathbf{B}} \mathbf{x} \neq 0$ , c-à-d  $\mathbf{E}(\mathbf{r}) \neq 0$ . Si  $(\mathbf{I} - \mathbf{M}) \tilde{\mathbf{B}} \mathbf{x} = 0, \mathbf{E}(\mathbf{r}) = 0$  l'erreur est non détectable."

Ce résultat montre que l'erreur topologique dans une ligne non mesurée n'est jamais détectable. En effet,  $\tilde{\mathbf{B}}$  est la matrice dont les rangées correspondent aux branches mesurées. Si les erreurs se situent ailleurs qu'aux endroits mesurés,  $\tilde{\mathbf{B}}$  reste nul et  $(\mathbf{I} - \mathbf{M}) \tilde{\mathbf{B}} \mathbf{x} = 0$ .

Le travail précédent a été généralisé afin de l'appliquer au problème d'estimation des erreurs de paramètres. De manière analogue, on obtient:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x} + (\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} (\xi + \mathbf{e}) \quad (3-18)$$

$$\mathbf{r} = (\mathbf{I} - \mathbf{M}) \xi + (\mathbf{I} - \mathbf{M}) \mathbf{e} \quad (3-19)$$

où  $\xi = \tilde{\mathbf{B}} \mathbf{x}$  est défini comme le vecteur biaisé.

Cette relation prouve que les erreurs de paramètres, ainsi que les mauvaises données génèrent un terme de distorsion dans le vecteur résiduel. La différence entre ces deux vecteurs de distorsion est dans leurs structures mathématiques qu'on peut déterminer seulement à travers une séquence des résultats de l'estimateur d'état. Il est possible de distinguer les mauvaises données et les erreurs de paramètres en appliquant une série de tests hypothèses [ 26 ] [ 27 ]. Une fois les mauvaises données éliminées, la phase suivante consiste à détecter la présence des erreurs de paramètres qui est souvent indiquée par la persistance du terme de distorsion dans certains résidus. La dernière phase est l'estimation de ces paramètres en utilisant les vecteurs résiduels concernés. Comme l'effet des erreurs de paramètres sur les résidus va de pair avec l'état du système, une méthode à deux étapes est suggérée. Premièrement, estimer le vecteur  $\xi = \tilde{\mathbf{B}} \mathbf{x}$  qui combine les effets des erreurs de paramètres et l'état actuel du système basé sur le vecteur de résidu  $\mathbf{r}$ . Deuxièmement, séparer les erreurs de paramètres de l'état du système, c-à-d. estimer  $\tilde{\mathbf{B}}$  à partir de  $\xi$ .

La conclusion de l'article [ 25 ] mentionne sans explication que seulement les erreurs de susceptance peuvent être évaluées, l'extension de la méthode à toutes les erreurs des paramètres de ligne ne semble pas aisée. La raison est probablement dans la structure de la matrice  $\mathbf{B}$ . Si l'erreur de paramètre est dans un élément shunt au nœud  $i$ ,  $\tilde{\mathbf{B}}$  a un seul élément non nul qui correspond à la mesure de la puissance injectée au nœud  $i$ . Par contre, l'erreur d'un paramètre de ligne quelconque engendre un bon nombre d'éléments non nuls de  $\tilde{\mathbf{B}}$ , donc des structures plus complexes dans les matrices intermédiaires de la procédure de calcul.

### 3.3.5 Clément:

Nous terminons avec le travail de **Cléments** [ 28 ] qui analyse les vecteurs résiduels générés par des erreurs de topologie par un processus similaire à celui pour la détection et l'identification des erreurs de mesures. Comme dans la dernière méthode, l'analyse est basée aussi sur l'estimateur d'état linéaire découplé, donc la formule de résidu est ( 1-15 ):

$$\mathbf{r} = \mathbf{We}$$

où :  $\mathbf{W}$  est la matrice de sensibilité résiduelle.

En présence d'une seule mesure, la formule ci-dessus montre clairement que le vecteur résiduel doit être colinéaire avec la colonne de  $\mathbf{W}$  correspondant à la mesure erronée. Dans la détection des mauvaises mesures, cette observation suggère que la recherche classique du plus grand résidu normalisé peut être remplacée par la recherche de la colonne de  $\mathbf{W}$  qui est presque colinéaire avec le vecteur résiduel  $\mathbf{r}$ . Cette idée intuitive est vérifiée, pour ensuite être adoptée dans le contexte des erreurs topologiques.

Soit  $\mathbf{A}$  la matrice d'incidence des mesures de branches et  $\mathbf{f}(\mathbf{x})$  le vecteur des transits sur les lignes du réseau. Alors:

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{A} \mathbf{f}(\mathbf{x}) \quad ( 3-20 )$$

Une erreur de topologie dans une ligne va causer une erreur de transit  $\Delta f(x)$  sur cette branche, dont la relation avec le vecteur résiduel est:

$$\mathbf{r} = \mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}} = \mathbf{W}\mathbf{A}\Delta f(x) \quad (3-21)$$

Donc, une seule erreur de topologie doit produire un vecteur résiduel qui est colinéaire avec une colonne de  $\mathbf{WA}$ ; et la colonne de  $\mathbf{WA}$  à laquelle le résidu est colinéaire correspond à la branche avec l'erreur d'admittance.

Ainsi, les conditions de détectabilité et d'identifiabilité deviennent:

« Une erreur de topologie dans une branche correspondant à une colonne zéro de  $\mathbf{WA}$  n'est pas détectable, et une topologie erronée dans une des deux branches ou plus possédant des colonnes colinéaires dans  $\mathbf{WA}$  n'est pas identifiable.»

Pour éviter les longs calculs de la matrice  $\mathbf{W}$ , on peut regarder la linéarité des colonnes en basant sur une matrice plus simple.

En effet, si le réseau est observable, le nombre d'équations  $m$  est au moins égal au nombre de variable d'état  $N$  et nous pouvons écrire:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_2 \end{bmatrix} \quad (3-22)$$

avec  $\mathbf{H}_1$  est une matrice carré de rang maximum [  $m$  ].

Si nous définissons:

$$\mathbf{F} = \mathbf{H}_2 \mathbf{H}_1^{-1} \quad (3-23)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} -\mathbf{F} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (3-24)$$

alors, nous pouvons écrire:

$$\mathbf{W} = (\mathbf{R} \mathbf{G}') (\mathbf{G} \mathbf{R} \mathbf{G}')^{-1} \mathbf{G} \quad (3-25)$$

$\mathbf{I}$ : la matrice d'identité et

$$\text{Dim } \mathbf{F} = [m - N, N]$$

$$\text{Dim } \mathbf{I} = [m - N, m - N]$$

Les deux premiers facteurs de la matrice  $\mathbf{W}$  sont de rang maximum, et l'analyse des colonnes linéaires de  $\mathbf{WA}$  est équivalente à celle de la matrice  $\mathbf{GA}$ .

### Faiblesse de la méthode:

Cette méthode ne fonctionne pas tout le temps car l'hypothèse de base: " Une erreur de topologie sur une branche engendre une erreur de transit seulement à cette branche " n'est pas toujours vraie. Sa validation dépend du système de mesures et des caractéristiques du réseau. Elle est plus juste dans le cas d'un réseau radial et si le système de mesure ne prend pas les transits des lignes proches de la ligne en erreur.

### **3.4 Bilan de l'état de l'art**

On termine ce chapitre par un court bilan de l'état de l'art.

Bien que les méthodes mentionnées sont basées sur différentes approches, elles ont les mêmes lacunes. On peut dire que leurs résultats ne sont pas fiables et leurs procédures ne sont pas systématiques, donc difficiles à automatiser, le nombre de mesures et d'essais nécessaire sont élevés. Aussi, toutes les approches qui analysent la sortie de l'estimateur d'état souffrent des déficiences décrites dans le chapitre I.

## CHAPITRE IV

### SOLUTION PROPOSÉE POUR L'ÉLIMINATION DES ERREURS TOPOLOGIQUES

#### 4.1 Concept général

La mise hors service d'une ligne peut provoquer des variations considérables des transits dans les lignes voisines, alors que l'impact sur les lignes éloignées est faible. Bien entendu cette panne modifie sensiblement les puissances injectées des nœuds proches. L'ampleur de cette perturbation sur un réseau dépend des caractéristiques du réseau et de la ligne, ainsi que du point d'exploitation. Les lignes appartenant à une même boucle, sont assez proches et peuvent interagir. Par exemple, le changement de statut d'une ligne va causer une redistribution des transits sur les autres lignes de la même boucle. De là, nous voyons que l'effet d'une erreur topologique dans la modélisation d'un réseau est de fausser les valeurs des transits solutionnés. Il s'ensuit qu'un écart hors de la tolérance des transits mesurés et ceux calculés indique qu'une erreur est possible dans la boucle.

Ces observations ont permis d'élaborer une approche dans laquelle il faut découper le réseau en boucles afin de les examiner séquentiellement. Ceci permet de traiter un ensemble de boucles indépendantes. Les lignes appartenant à une même boucle peuvent être surveillées par une seule mesure. De préférence, cette mesure de transit doit être prise à la ligne qui subit de plus fortes variations suite à une mise hors service ( ou en service ) des autres lignes dans la boucle. Cette ligne est appelée la ligne la plus sensible ou la ligne critique d'une boucle. À la ligne critique<sup>4</sup>, la différence entre

---

<sup>4</sup> La " ligne critique " n'a pas le même sens qu'à la section 1.1.2

le transit mesuré et celui calculé, soit par une répartition de puissance ou un estimateur d'état, sert à indiquer la présence d'erreurs dans la boucle.

La détection de l'erreur n'est pas suffisante, nous devons identifier son origine.

Il serait, bien sûr, plus intéressant de détecter et d'identifier l'erreur par une même mesure.

En général, l'effet d'une ligne sur une autre varie en fonction de leurs positions relatives et leurs capacités. Ce qui se traduit par des variations de transit différentes. Nous pouvons nous baser sur cette différence pour reconnaître la source d'erreur. Ceci permet d'intégrer dans la méthode des indicateurs capables de déterminer les positions critiques des boucles. Ceci revient à identifier une ligne et un nœud ayant subi des changements importants à la suite d'une modification de topologie.

Comme les calculs complets de sensibilité prennent du temps, il faut recourir à d'autres techniques plus efficaces. Il faut aussi de la flexibilité et de la précision. L'utilisation des facteurs de distribution est choisie à la fois dans le choix de la position critique et dans l'identification des lignes. En effet, la sensibilité des transits et celle de la tension en cas de contingences peuvent être calculées par des facteurs de distribution. Il existe divers types de facteurs de distribution à choisir selon les exigences.

## 4.2 Méthodologie

### 4.2.1 Énumération des boucles

L'objectif est de découper le réseau en boucles disjointes. Une boucle est une chaîne de branches fermées que nous pouvons créer en nous référant à la théorie des graphes. Dans cette approche, la recherche des boucles fondamentales est liée d'abord à la détermination de l'arbre complet d'un graphe [ 29 ]. Un arbre est un chemin qui relie un ensemble des barres du réseau sans former une boucle. Un arbre complet du graphe est un chemin comprenant toutes les barres du réseau et un sous ensemble des branches non fermées.

Un co-arbre est un ensemble des branches qui ne sont pas dans l'arbre. Nous créons une boucle en fermant un lien du co-arbre.

Soit  $A$  la matrice d'incidence décrivant le réseau, ses éléments sont:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si ligne } i \text{ commence au noeud } j \\ -1 & \text{si ligne } i \text{ fini au noeud } j \\ 0 & \text{si ligne } i \text{ n'est pas connecté au } j \end{cases}$$

$A$  peut être subdivisée en deux:

$$[ A ] = [ A_T | A_L ]$$

où  $A_T$  = matrices des liens de l'arbre

$A_L$  = matrice des liens du co-arbre

| marque la matrice augmentée.

Alors, la matrice des boucles fondamentales est calculée par:

$$[ \text{Loop} ] = [ - (A_T^{-1} A_L)' | I ] \quad (4-1)$$

Comme les boucles ne sont pas toutes disjointes, alors une ligne peut être attribuée à plus d'une boucle. Cette redondance bien qu'utile pour la détection d'erreurs de topologie, n'est pas vraiment nécessaire. Il n'est pas non plus utile de balayer toutes les branches du réseau. Les branches dont les statuts peuvent être déduits de la fonction

"configuration du réseau" <sup>5</sup> sont exclues car il est avantageux de réduire la quantité d'informations à traiter dans les applications en temps réel. Par conséquent, un algorithme qui vise à construire des boucles disjointes est décrit dans la section "algorithme" de la thèse.

#### 4.2.2 Calculs de sensibilité

L'ouverture de la ligne lm ( entre les barres l et m ) cause une redistribution du transit sur la ligne jk ( entre les barres j et k) évaluée selon la formule approximative suivante [ 30 ]:

$$S_{jk}^B \approx S_{jk}^A + \tau_{jk,lm} S_{lm}^A \quad ( 4-2 )$$

On a:

$$\Delta S_{jk} \approx \tau_{jk,lm} S_{lm}^A \quad ( 4-3 )$$

Où : - l'indice A désigne le cas de base, c'est à dire le cas avant l'ouverture de la ligne lm

- l'indice B désigne la situation après l'ouverture de la ligne lm.
- $\tau_{jk,lm}$  est le facteur de distribution de transit sur la ligne jk dû à la mise hors service de la ligne lm. Sa valeur est donnée par:

$$\tau_{jk,lm} = ( \rho_{lm,k} - \rho_{lm,j} ) Z_{lm}^* / [ ( \rho_{lm,l} - \rho_{lm,m} - 1 ) Z_{jk}^* ] \quad ( 4-4 )$$

Dans ( 4-4 ), on a:

- $Z_{lm}$  est l'impédance de la ligne qui relie entre les barres l et m.
- $\rho_{lm,k}$  est le facteur reliant le transit sur la ligne lm à l'injection à la barre k:

$$\rho_{lm,k} = \partial S_{lm} / \partial S_k \approx \Delta S_{lm} / \Delta S_k \quad ( 4-5 )$$

c'est à dire:

$$S_{lm}^B \approx S_{lm}^A + \rho_{lm,k} ( S_k^B - S_k^A ) \quad ( 4-6 )$$

---

<sup>5</sup> Cette fonction du système de conduite déduit la topologie du réseau en fonction de l'état des appareils de coupure

Ces valeurs sont obtenues à partir de la matrice  $Z_{bus}$ , selon la formule:

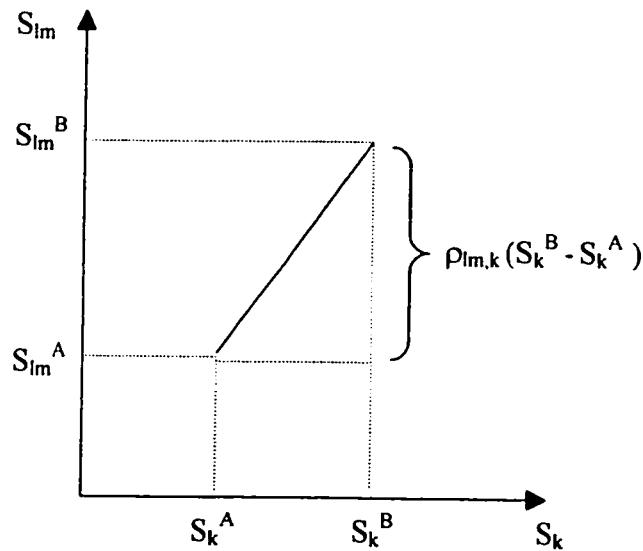
$$\rho_{lm,k} = [ ((Z_{bus})_{lk} - (Z_{bus})_{mk}) / Z_{lm} ] \quad (4-7)$$

où  $Z_{lm}$  est l'impédance de la ligne qui relie entre les barres l et m  
 $(Z_{bus})_{lk}$  est l'élément correspondant de la matrice  $Z_{bus}$

La formule (4-4) est déduite d'une technique de compensation. L'effet de l'ouverture de la ligne lm sur la ligne jk est simulé en deux étapes:

- introduire une injection  $S_m$  à la barre m pour réduire le transit  $S_{lm}$  à zéro
- enlever ensuite l'injection fictive  $S_m$ .

L'équation (4-6) peut être interprétée par le graphique suivant:



**Figure 4.1 : L'approximation linéaire dans les calculs de puissance**

On voit que l'approximation linéaire est faite. Donc, au moins théoriquement, l'ouverture simultanée de plusieurs lignes peut être analysée par le principe de superposition:

$$S_{jk}^B = S_{jk}^A + \sum_{lm} \tau_{jk,lm} S_{lm}^A \quad (4-8)$$

Cette équation s'écrit encore:

$$\Delta S_{jk} |_{tot} = \Delta S_{jk} |_{hors \, lm1} + \Delta S_{jk} |_{hors \, lm2} + \Delta S_{jk} |_{hors \, lm3} + \dots \quad (4-9)$$

On profite cette propriété pour traiter les cas des erreurs multiples par superposition.

Les facteurs de distributions sont utilisés dans l'étape a de notre procédure.

### Étape a: ( hors ligne )

#### i- Déterminer la branche critique dans la boucle:

- Pour chaque ligne, calculer toutes les variations des transits correspondant à l'ouverture successive des autres lignes de la boucle ( une ligne à la fois ).
- Faire la moyenne de toutes ses variations de transits.
- Dresser une liste par ordre décroissant des moyennes de  $\Delta S_{jk}$  pour toutes les lignes. La ligne ayant la moyenne la plus élevée est la ligne la plus sensible et doit être mesurée.

S'il y a une incertitude dans le choix, par exemple, une ligne peut subir une variation faible ou élevée selon la contingence, d'autres facteurs peuvent être analysés dans la décision finale. En effet, certaines lignes dans le réseau sont considérées comme des lignes en surveillance, donc en priorité la sensibilité des autres éléments dans la boucle doit être classée selon cette panne. Sinon, l'utilisation de l'écart type  $\sigma$ , avec les moyennes de  $\Delta S_{jk}$  et de  $\Delta S_i$  sont pertinentes pour sélectionner l'élément le plus sensible par rapport à l'ensemble des contingences. En principe, il faut favoriser la ligne qui correspond à un écart type faible car son comportement varie moins d'une contingence ( une ouverture de ligne ) à une autre.

Soit  $jk$  la branche critique d'une boucle comprenant  $n$  lignes. Les valeurs associées à cette branche sont:

$$\Delta S_{jk} |_{hors \, 1} \quad \Delta S_{jk} |_{hors \, 2} \quad \dots \quad \Delta S_{jk} |_{hors \, n}$$

avec  $\Delta S_{jk} |_{hors \, 1}$  est la variation de transit sur la branche  $jk$  due à la mise hors-service de la première branche de la boucle.

L'écart type  $\sigma$  associé à la ligne  $jk$  sera:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^n (\Delta S_{jk}|_a - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (4-10)$$

où  $\bar{X}$  est la moyenne des  $\Delta S_{jk}$ .

ii- Construire le tableau caractéristique:

Les variations des transits sur les branches critiques de chaque boucle suite au retrait de chaque ligne de la boucle sont reportées dans un tableau appelé tableau caractéristique. Ce sont les valeurs théoriques déterminées dans la sous-étape i. Elles servent à identifier la ligne de mauvais statut. Pour ce faire, nous choisissons dans le tableau caractéristique, la topologie qui donne le même écart de transit que l'écart mesuré. Il s'agit là de l'erreur de modélisation.

### 4.2.3 Réconciliation des données ( en temps réel )

La procédure est divisée en deux phases:

Phase I: Déetecter les erreurs.

Phase II: Identifier les erreurs.

Cette section décrit les étapes de chaque phase.

Phase I: Déetecter les erreurs

Dans chaque boucle, on répète les opérations suivantes:

- a- Faire une analyse de contingence afin de localiser la ligne la plus sensible. Il s'agit là de l'élément critique dans la boucle.
- b- Mesurer le transit  $S_{jk}$  sur la ligne critique et les puissances injectées  $S_i$  dans les nœuds de la boucle. Les mesures de  $S_i$  sont facultatives et elles servent parfois pour valider les hypothèses retenues. À noter que dans un réseau, certaines mesures de  $S_i$  et d'autres mesures de transits sont déjà disponibles pour l'estimateur d'état. Nous pouvons les utiliser au besoin.

- c- Évaluer les écarts  $\Delta S_{jk}$  et  $\Delta S_i$  comme suit:

$$\Delta S_{jk} = S_{jk}^{\text{mes}} - S_{jk}^{\text{modél}} \quad (4-11)$$

$$\Delta S_i = S_i^{\text{mes}} - S_i^{\text{modél}} \quad (4-12)$$

$S_{jk}^{\text{modél}}$  et  $S_i^{\text{modél}}$  sont des valeurs calculées par l'estimateur d'état avant le changement de topologie.

#### Remarque:

Les variations de transits  $\Delta S_{jk}$  obtenues par la formule ( 4-11 ) vont être considérées comme des valeurs mesurées, alors que les  $\Delta S_{jk}$  obtenues par la formule ( 4-3 ) sont appelées valeurs théoriques ou valeurs calculées.

Si la différence  $\Delta S_{jk}$  ( mesurée ) dépasse la limite prescrite, il y a peut être une erreur dans cette boucle et nous la mettons sur la liste des candidats à examiner plus en profondeur dans la phase II.

### Phase II: Identifier les erreurs

Nous comparons  $\Delta S_{jk}$  de chaque boucle douteuse avec des variations de transits pré-calculées par la formule ( 4-3 ). C'est-à-dire, nous cherchons dans les valeurs pré-calculées l'ouverture de la ligne qui a produit la même variation de transits que celle mesurée. Il peut arriver que plus d'une hypothèse soit retenue. Nous devons recourir soit à la mesure additionnelle  $S_i$  ou soit à l'écoulement de puissance. Voici quelques explications supplémentaires de ces deux alternatives.

#### a- L'étude de bilan de puissance:

Supposons que la barre  $i$  est reliée aux barres  $k$ ,  $l$  et  $m$  tel qu'indiqué à la figure 4.2.

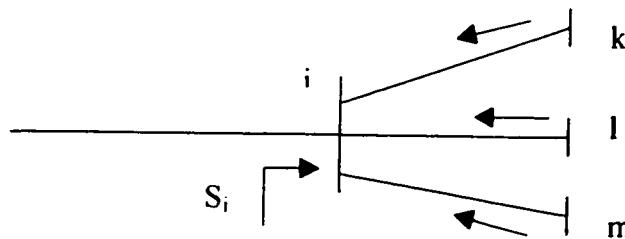


Figure 4.2 : Bilan de puissance à la barre  $i$

Soit  $M_i$  le bilan de puissance à la barre  $i$ , nous avons:

$$M_i = S_i + S_{ki} + S_{li} + S_{mi} \quad (4-13)$$

Dans ( 4-12 ), on a:

- les transits  $S_{ki}$ ,  $S_{li}$  et  $S_{mi}$  sont calculées par:

$$S_{ki}^B \approx S_{ki}^A + \tau_{ki,gh} S_{gh}^A \quad (4-14)$$

où  $gh$  est la ligne douteuse dans l'hypothèse

-  $S_i$  est la mesure disponible.

La bonne hypothèse est celle qui annule le bilan de puissance  $M_i$ .

b- L'analyse des résultats de l'écoulement de puissance:

Il faut d'abord corriger le modèle du réseau selon l'hypothèse et faire un écoulement de puissance. Le cas qui donne des transits sur les branches critiques les plus proches des transits mesurés va être retenu. Évidemment, la correction du réseau d'après une mauvaise hypothèse agrave l'écart entre le transit mesuré et celui calculé, car une erreur de plus est introduite dans la modélisation.

## 4.3 Algorithme

### 4.3.1 Algorithme de recherche des boucles:

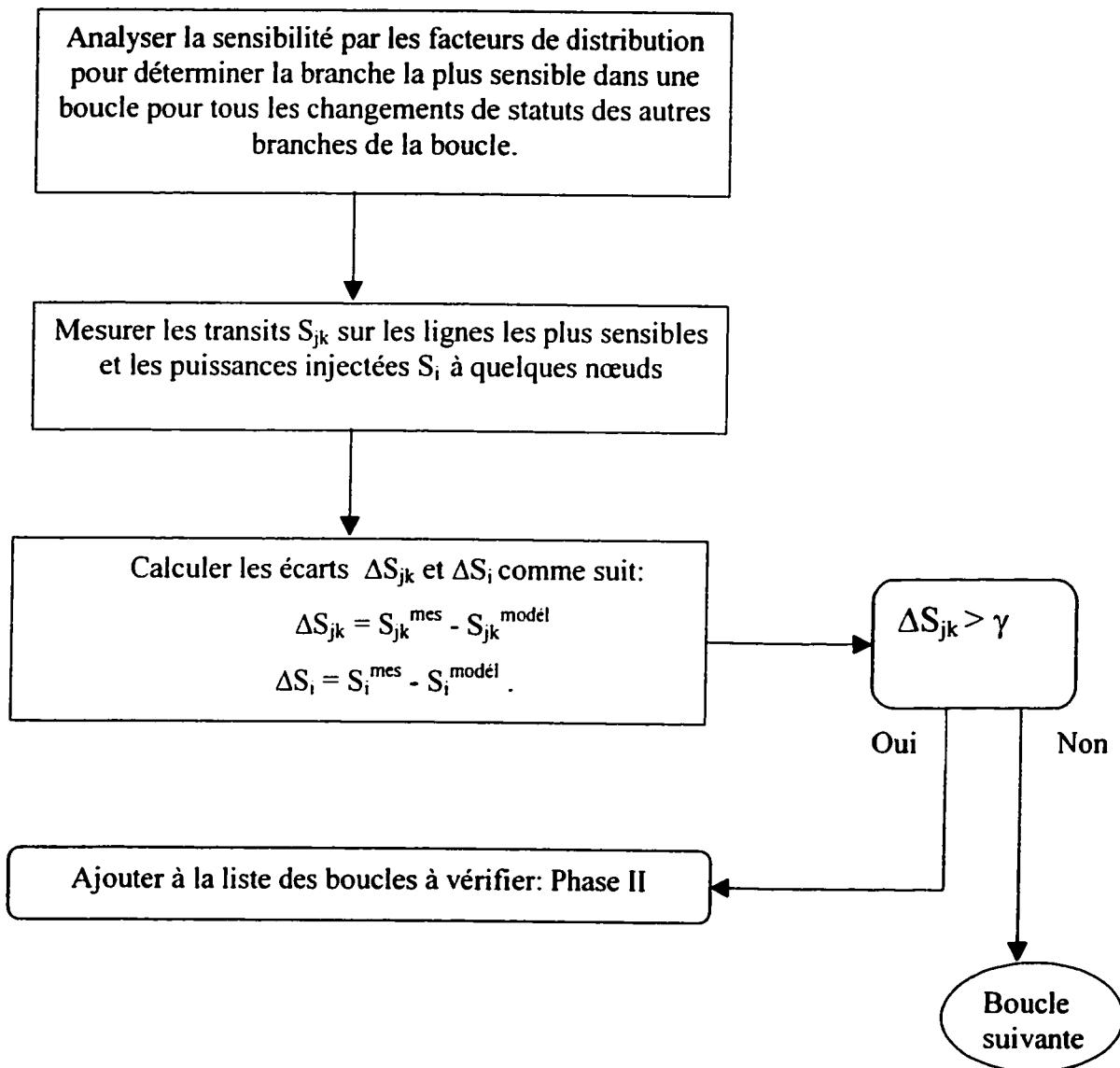
Répéter jusqu'à ce que toutes les barres du réseau soient balayées:

- Supprimer les branches dont les statuts sont certains ou les branches déjà assignées à une boucle, sauf celles que l'élimination fait apparaître des sections radiales.
- Effacer les barres isolées.
- Déterminer l'arbre complet du graphe, c'est à dire le chemin comportant toutes les barres et un sous-ensemble des branches.
- Choisir une boucle fondamentale en fermant un lien du co-arbre.
- Terminer le processus.

Remarque:

- Lorsque les branches ne peuvent pas éliminées, certaines boucles sont dépendantes.

### 4.3.2 Algorithme de la phase I



### 4.3.3 Algorithme de la phase II

Pour toutes les boucles sur la liste:

- Comparer les écarts mesurés  $\Delta S_{jk}$  sur les branches critiques avec les valeurs dans le tableau caractéristique de la boucle correspondante.
- Si (  $\Delta S_{jk} = \text{valeur dans le tableau caractéristique}$  )
  - | Mettre la topologie correspondante sur la liste des hypothèses à retenir.
  - | Sinon
  - | Aller à l'autre boucle.

Terminer

Pour chacune des hypothèses retenues:

1<sup>ère</sup> alternative:

- Évaluer les nouveaux transits des lignes touchant le nœud  $i$  par la formule ( 4-14 ).
- Vérifier le bilan de puissance  $M_i$  par la formule ( 4-13 ).
- Si  $M_i \approx 0$ 
  - | Hypothèse acceptée: la topologie en test est la bonne.
  - | Arrêter le programme.
- | Sinon
- | Tester l'hypothèse suivante.

Terminer

2<sup>ième</sup> alternative:

- Corriger le statut de la ligne selon l'hypothèse retenue.
- Refaire l'écoulement de puissance pour avoir les nouvelles valeurs de  $S_{jk}^{\text{modél.}}$ .

Pour toutes les boucles

Calculer les nouveaux écarts des transits des branches critiques  
par la formule ( 4-11 )

Si ( tous les  $\Delta S_{jk} < \gamma$  )

Hypothèse acceptée: la topologie en test est la bonne.

Arrêter le programme.

Sinon

| Tester l'hypothèse suivante.

Terminer

Terminer

Terminer

Terminer

## 4.4 Génération de la méthode

### 4.4.1 Cas de deux erreurs

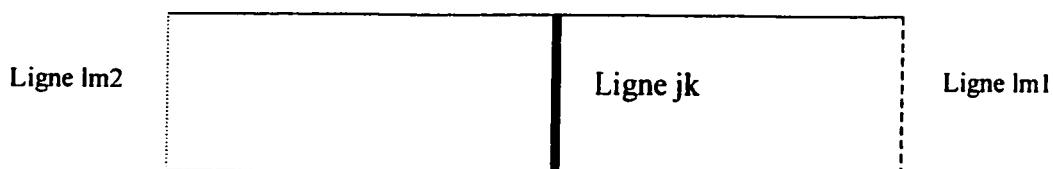
#### 4.4.1.1 Erreurs de topologie sur 2 lignes d'une même boucle

Comme 2 lignes d'une même boucle sont surveillées par le même capteur de mesure, il s'ensuit que la variation mesurée sur le capteur sera:

$$\Delta S_{jk} |_{tot} = \Delta S_{jk} |_{hors \, lm1} + \Delta S_{jk} |_{hors \, lm2} \quad (4-15)$$

Autrement dit, nous allons trouver dans le tableau caractéristique, une combinaison de 2 lignes qui cause une totale de variation de transit égale à celle aperçue par le capteur de cette boucle.

#### 4.4.1.2 Erreurs de topologie sur 2 lignes appartenant à 2 boucles différentes mais surveillées par le même capteur



**Figure 4.3 : Deux boucles ayant le même capteur de mesure (jk)**

Même argument que dans cas précédent.

#### **4.4.1.3 Erreurs de topologie sur 2 lignes appartenant à 2 boucles différentes qui ne sont pas surveillées par le même capteur**

Si les 2 boucles sont assez loin pour que l'ouverture de la branche dans la première boucle n'ait pas d'effet sur la deuxième et vice-versa, nous pouvons les traiter comme 2 erreurs simples dans 2 boucles indépendantes. Cela signifie qu'il y a 2 capteurs dont les variations de transit correspondent à l'ouverture d'une ligne de sa boucle.

Si les 2 boucles sont proches, telles que l'ouverture d'une ligne de la première boucle va modifier le transit sur le capteur de l'autre boucle, l'identification de l'erreur est plus difficile car le tableau caractéristique donne seulement la variation de transits sur le capteur en fonction des lignes de sa boucle et non des lignes hors de la boucle. Mais, si nous réussissons à identifier la première ligne en cause et corriger le modèle, le problème est ramené à celui d'une seule erreur. Cela signifie que la deuxième ligne erronée est facile à identifier. Pour localiser la première ligne erronée, il nous faut probablement plus d'essais car la comparaison avec le tableau caractéristique ne sera pas évidente.

#### **4.4.2 Cas de plus de 2 erreurs:**

En principe, nous pouvons appliquer la superposition lorsqu'il y a plusieurs erreurs. Cependant, la formule ( 4-8 ) est une approximation qui devient moins précise après plusieurs sommations ou si  $S_{lm}^A$  est grand. C'est le cas de l'ouverture de plusieurs lignes en même temps.

Donc, s'il s'agit des erreurs sur un grand nombre de lignes, nous pouvons toujours les détecter mais l'identification devient moins évidente. En pratique, nous rencontrons rarement le cas où plusieurs lignes sont ouvertes en même temps, dont la limite citée n'est pas un impact majeur sur son application aux réseaux réels.

### 4.4.3 Détection, identification et estimation des erreurs de paramètres

#### 4.4.3.1 Détection

L'erreur de topologie peut être vue comme un cas spécial d'erreurs de paramètres ou plus précisément une erreur maximum de paramètres. Par exemple, une ligne considérée fermée, alors qu'elle est ouverte, est une ligne dont l'impédance présumée est  $Z$ , plutôt qu'infinie. Cela veut dire que pour traiter les erreurs de paramètre, nous devrons élargir la théorie de détection de l'erreur topologique. Comme cette dernière, des valeurs incorrectes des paramètres de ligne causent aussi un  $\Delta S_{jk}$  non nul sur la branche critique de la boucle. Pour cette raison, s'il ne s'agit pas d'une erreur de topologie, nous pouvons affirmer que c'est une erreur de paramètre. Rappelons que le but de cette thèse est de traiter les erreurs topologiques, donc nous excluons les cas des erreurs analogiques. Nous empruntons la même procédure décrite avant pour localiser les boucles anormales. Une fois l'erreur signalée, nous tentons de retracer la ligne en question.

#### 4.4.3.2 Identification

Soit une grande erreur de paramètre, c'est le cas où l'impédance  $Z$  est trop grande par rapport à sa vraie valeur. La variation de transit dans ce cas s'approche de la valeur causée par une erreur de topologie. Donc, l'identification est faite en sélectionnant dans le tableau caractéristique la plus proche topologie qui s'accorde avec le  $\Delta S_{jk}$  mesuré.

La localisation d'une petite erreur de paramètre est moins évidente car les variations de transit sont plus éloignées de celles du tableau caractéristique. Cependant, l'effet d'une petite erreur de paramètres doit être limité dans une petite région et ne peut pas donner une variation de transit plus grande que dans le cas d'une erreur de topologie. Par conséquent, nous pouvons dès le début éliminer un grand nombre de

boucles. Ensuite, dans la boucle soupçonnée, nous retenons seulement les branches dont l'ouverture donne une variation de transit plus faibles que les écarts mesurés. Ainsi, nous n'aurons qu'un petit nombre d'hypothèses à vérifier. Pour chacune des hypothèses, nous essayons d'estimer les vraies valeurs des paramètres. Après, la correction, nous refaisons l'écoulement de puissance afin d'avoir les nouveaux transits sur les branches critiques. La bonne hypothèse est celle qui donne les plus petits  $\Delta S_{jk}$  dans toutes les boucles.

#### 4.4.3.3 Estimation

Nous adoptons le modèle en pi pour modéliser la ligne.

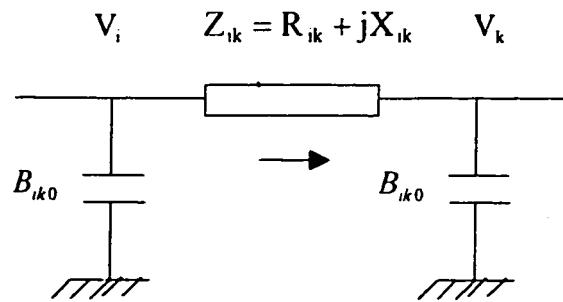


Figure 4.4 : Modèle pi d'une ligne

Nous posons:

$Z_{ik}$ : impédance série de la ligne ik:

$$Z_{ik} = R_{ik} + jX_{ik}$$

$Y_{ik}$ : admittance série de la ligne ik:

$$Y_{ik} = G_{ik} - jB_{ik}$$

Où:  $G_{ik} = \frac{R_{ik}}{(R_{ik}^2 + X_{ik}^2)}$  et  $B_{ik} = \frac{X_{ik}}{(R_{ik}^2 + X_{ik}^2)}$  (4-16)

Le transit dans la ligne ik est:

$$S_{ik} = Y_{ik}^* (V_i^* - V_k^*) V_i \quad (4-17)$$

Supposons que la barre i est reliée aux barres k, l, et m, l'équation du bilan de puissance à la barre i (figure 4.2) s'écrit:

$$V_i [(V_k - V_i) Y_{ki} + (V_l - V_i) Y_{li} + (V_m - V_i) Y_{mi}] + S_i = 0 \quad (4-18)$$

En réalité, les puissances réactives des deux condensateurs ne peuvent pas être mesurées séparément car ces condensateurs sont distribués le long de la ligne, alors nous avons:

$$\begin{aligned} S_{ik}^{\text{ligne}} &= P_{ik} + jQ_{ik} \\ &= S_{ik} + V_i V_i^* jB_{ik0} \end{aligned} \quad (4-19)$$

La puissance réelle transittée dans la ligne ik est:

$$P_{ik} = -|V_i|^2 G_{ik} + |V_i V_k Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (4-20)$$

Note:

$\delta_k$ : l'angle de la tension à la barre k

$\delta_i$ : l'angle de la tension à la barre i

$\theta_{ik}$ : l'angle de  $Y_{ik}$

Pour simplifier les calculs, nous faisons les approximations du "DC load flow".

Ainsi  $P_{ik}$  devient:

$$P_{ik} = Y_{ik} (\delta_k - \delta_i) \quad (4-21)$$

Ces équations sont utiles pour rechercher les bonnes valeurs des paramètres, selon une des deux alternatives suivantes:

a- Si la puissance injectée  $S_i$  est mesurée et la redondance des mesures est suffisante, même si la valeur de  $Y_{ik}$  est erronée, nous pourrons déduire la valeur de  $S_{ik}$  à partir de l'équation de bilan de puissance (4-18) car nous connaissons les vraies impédances des autres lignes, et par la suite:

$$Y_{ik}^* = \frac{S_{ik}}{(V_i^* - V_k^*) V_k} \quad (4-22)$$

b- Si  $S_{ik}^{\text{ligne}}$  est mesurée, c'est à dire  $P_{ik}$  est connue, nous procérons itérativement:

- à partir de la solution  $\mathbf{x}$  du problème  $\mathbf{Hx} = \mathbf{z}$ , où  $\mathbf{H}$  est calculé aux valeurs nominales des paramètres, calculer le nouvel estimé pour  $\mathbf{z}$ , appelé  $\mathbf{z}_e$  ( $\mathbf{z}_e = P_{ik}^e$ )
- estimer l'admittance par:  $B_{ik} = -\frac{P_{ik}}{(\delta_i - \delta_k)}$  ( 4-23 )
- reformuler la matrice  $\mathbf{H}$ , reprendre l'estimation jusqu'à convergence ( $P_{ik} = P_{ik}^e$ )

## 4.5 Évaluation préliminaire

Avant de tester la méthode sur des réseaux, il est important de justifier son application par une évaluation préliminaire. La fiabilité, le coût et la réponse en temps réel sont sans doutes les facteurs les plus importants qui conditionnent l'utilisation d'une méthode. Nous démontrons maintenant que la solution peut remplir ces trois critères.

► Fiabilité:

Les calculs de sensibilité ont pour but de l'assurer que l'ouverture d'une branche va être aperçue par au moins un capteur de mesure. Nous lisons dans le tableau caractéristique un écart  $\Delta S_{jk}$  différent de zéro à l'ouverture de n'importe quelle branche de la boucle. De plus, il est évident qu'un écart  $\Delta S_{jk}$  nul à la position critique correspond à une situation sans erreur dans la boucle. Ainsi, théoriquement, l'erreur topologique est toujours détectable.

Est-il toujours possible d'identifier par la suite, la branche en cause? Si la comparaison avec le tableau caractéristique ne permet pas de discriminer les hypothèses, l'écoulement de puissance sert dans la sélection de la bonne topologie. En effet une erreur de topologie dans la modélisation donne sûrement un transit  $S_{jk}^{\text{modél.}}$  différent du transit mesuré  $S_{jk}^{\text{mes.}}$ .

► Coût:

Les lignes appartenant à une même boucle sont surveillées par une seule mesure, et la plupart du temps nous pouvons utiliser les capteurs de l'estimateur d'état qui sont déjà sur le réseau. Il n'y aura pas ou très peu de coût additionnel dans l'application de la méthode aux réseaux réels.

► L'application en temps réel:

Les calculs sont simples car nous n'avons qu'à effectuer des soustractions afin d'avoir les écarts  $\Delta S_{jk}$ . La méthode est bien adaptée à des évaluations continues en temps réel.

## CHAPITRE V

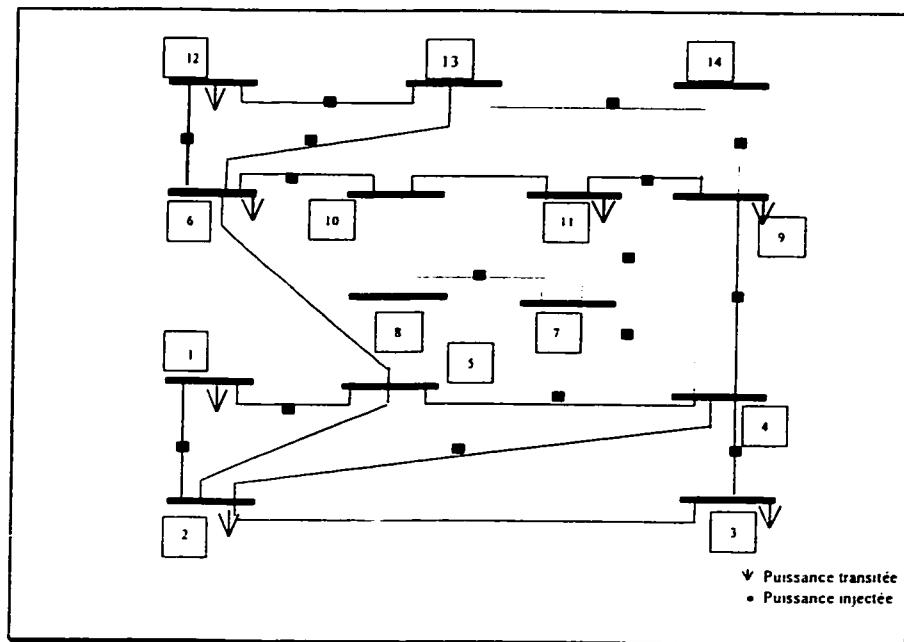
### MISE EN ŒUVRE DE LA MÉTHODE

#### 5.1 Tests sur les réseaux

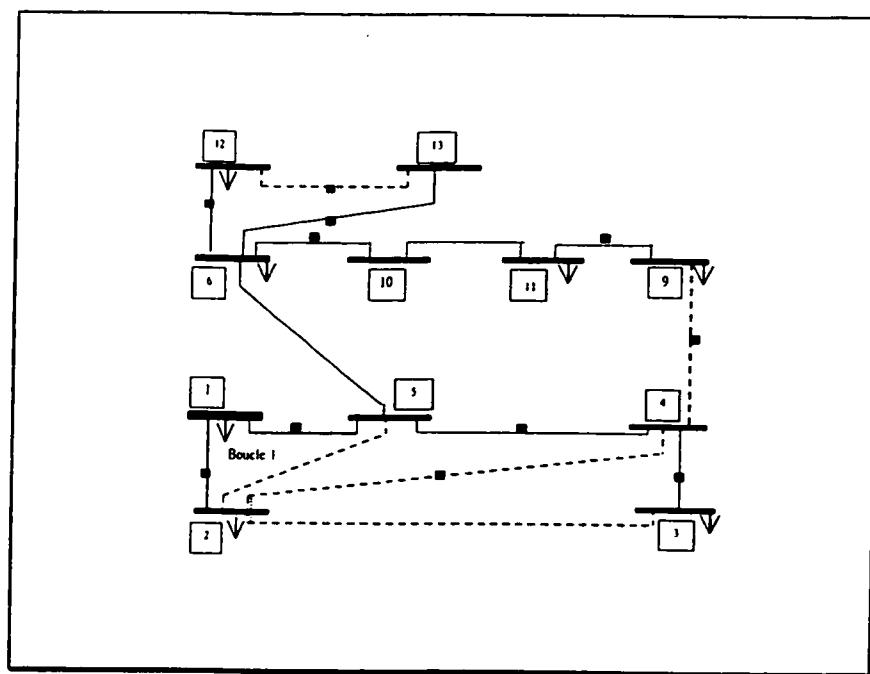
##### 5.1.1 Réseau illustratif: Réseau standard IEEE 14 barres

###### 5.1.1.1 Cas d'une seule erreur

Nous illustrons brièvement l'approche décrite à l'aide d'un exemple simple, un réseau de petite taille, le réseau IEEE 14 barres dont le schéma unifilaire est donné à la figure 5.1 [ 28 ]. La branche 2-3 est modélisée fermée alors qu'en réalité elle est ouverte. Les mesures disponibles sont indiquées sur la même figure. Elles comprennent des tensions, des puissances injectées et des transits de ligne. Nous sommes sûrs de l'exactitude des statuts des lignes entre 4 et 7, entre 7 et 9, entre 7 et 8, entre 9 et 14 et entre 13 et 14. Par contre, les données des autres lignes du réseau sont incertaines.



**Figure 5.1 : Réseau IEEE 14 barres et les mesures disponibles**



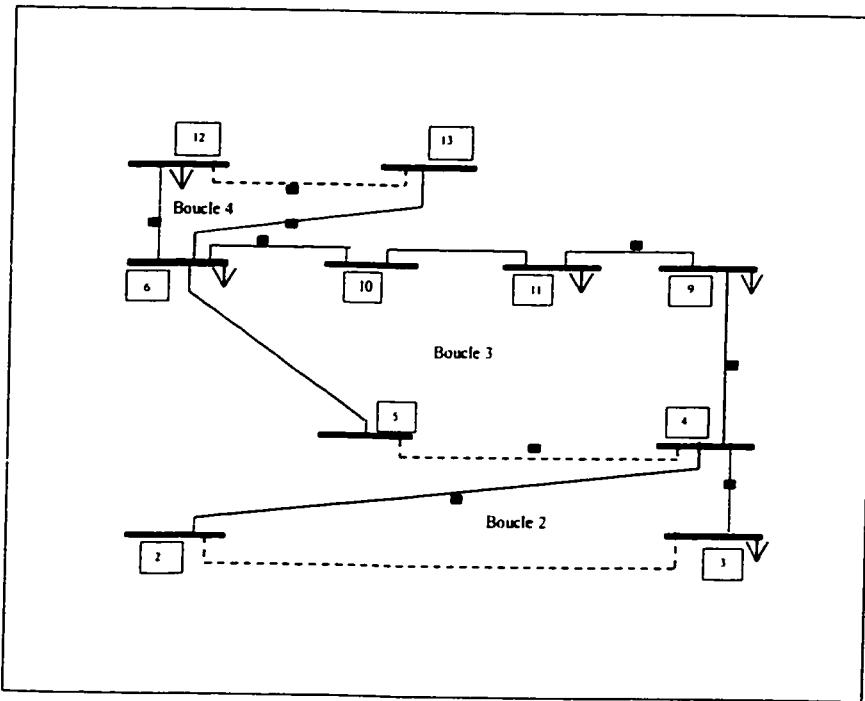
**Figure 5.2 : Arbre et boucles du réseau IEEE 14 barres à l'étape D**

Il faut d'abord construire des boucles:

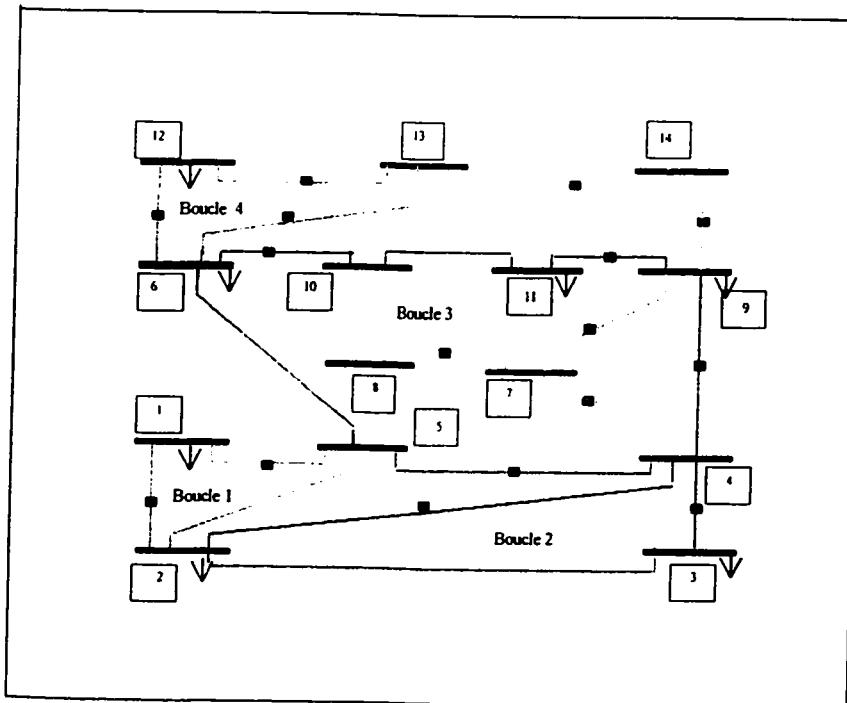
Marche à suivre:

- A- Enlever les branches dont les statuts sont connus
- B- Supprimer les barres isolées du réseau
- C- Déterminer l'arbre complet du graphe
- D- Fermer une branche du co-arbre pour former une boucle. Ainsi, les lignes 1-2, 1-5 et le co-arbre 2-5 définissent la première boucle ( figure 5.2 ).
- E- Supprimer les branches 1-2, 1-5 de l'arbre et la branche 2-5 du co-arbre.  
Effacer le noeud 1 car il devient noeud isolé.
- F- Reprendre en C et D avec le nouveau réseau. Nous construisons la boucle 2 composée des branches 2-4, 3-4 de l'arbre et la branche 2-3 du co-arbre.

La procédure est répétée pour balayer complètement le réseau. La figure 5.3 montre trois nouvelles boucles, donc au total nous en avons quatre. Toutes les branches de statuts incertains appartiennent à une de ces quatre boucles tel qu'indiqué au tableau 5.1.



**Figure 5.3 : Formation des boucles 2, 3 et 4 du réseau IEEE 14 barres**



**Figure 5.4 : Répartition des boucles du réseau IEEE 14 barres**

**Tableau 5.1 : Répartition des boucles du réseau IEEE 14 barres**

Boucle	Branches					
1	<b>1-5</b>	1-2	2-5			
2	2-4	2-3	<b>3-4</b>			
3	<b>4-5</b>	6-5	<b>4-9</b>	6-10	9-11	10-11
4	6-12	<b>6-13</b>	12-13			

Dans ce qui suit, nous analysons les résultats de chaque étape permettant la détection d'erreur.

► étape a : ( hors ligne )

L'étude de sensibilité est faite dans la boucle 1 en mettant successivement hors service les branches 1-5, 1-2, 2-5. Le tableau 5.2 donne les coefficients de sensibilité calculés. Ainsi, pour les contingences utilisées, on voit que la moyenne des changements de puissances transitées sur la branche 1-5 est la plus élevée. La branche 1-5 est déclarée branche critique pour la boucle 1. S'il n'y a pas de mesure sur cette branche, la prochaine branche critique doit être sélectionnée. Les variations de transits sur la branche 1-5 ont des valeurs relativement différentes d'une contingence à une autre, il est possible d'identifier avec exactitude la ligne de statut erroné en comparant l'écart  $\Delta S_{1.5}$  calculé théoriquement avec celui mesuré en temps réel.

**Tableau 5.2 : Valeurs théoriques  $\Delta S_{kj}$  des lignes dans la boucle n° 1**

Position du capteur	Branche hors-service			Moyenne
	1-5	1-2	2-5	
1-5	0.7563	1.6002	0.1490	0.835
1-2	0.7601	1.582	0.1482	0.829
2-5	0.3633	0.7610	0.406	0.51

Les calculs de sensibilité sont faits aussi pour les boucles 2, 3 et 4. Après l'examen des résultats, nous déduisons la ligne la plus sensible qui donne la branche critique dans chaque boucle. Ceci permet de construire le tableau 5.3 appelé le tableau caractéristique. Ce tableau fournit comme première information l'emplacement des capteurs dans chaque boucle ( colonne "branche critique" ) et comme deuxième information, les variations de transits correspondant à chaque contingence ( colonne "caractéristique" ).

**Tableau 5.3 : Tableau caractéristique des branches critiques du réseau IEEE 14 barres.**

Branche hors-service	Boucle	Branche critique	Caractéristique
1-5	1	1-5	0.7563
1-2	1	1-5	1.6002
2-5	1	1-5	0.1490
2-4	2	3-4	0.1570
2-3	2	3-4	0.7139
3-4	2	3-4	0.2431
4-5	3	4-5	0.6362
4-9	3	4-5	0.0488
5-6	3	4-5	0.4109
6-10	3	4-5	0.0441
9-11	3	4-5	0.0373
10-11	3	4-5	0.0224
6-12	4	6-13	0.0699
6-13	4	6-13	0.1913
12-13	4	6-13	0.0153

► étape b:

Il faut acquérir des mesures en temps réel de la puissance transittée sur la ligne sélectionnée à l'étape a. Faute de mesures réelles, elles sont simulées avec présence de bruit à partir de la solution d'écoulement de puissance obtenue avec le logiciel RP600. Cette solution est faite sur le même réseau mais avec la **branche 2-3 ouverte**. Les transits obtenus après ajout de bruit sont considérés comme les mesures  $S_{jk}^{mes}$ . Quant à

l'annexe II, elle donne les transits **avant l'ouverture de la branche 2-3**, donc les valeurs modélisées  $S_{jk}^{\text{modél}}$ .

► étape c:

En nous servant des valeurs de l'annexe II, on construit le tableau 5.4. Les données dans ce tableau sont les différences entre la puissance transitée mesurée et de la valeur modélisée de la branche critique dans chaque boucle.

► étape d:

Il faut comparer les deux tableaux 5.3 et 5.4 afin de trouver les anomalies. Trois cas douteux sont listés au tableau 5.5. Pour déduire la vraie erreur, il s'agit de vérifier le statut de la branche 2-3 en refaisant l'écoulement de puissance du même réseau avec cette branche hors service. Puisque l'erreur de modélisation est corrigée, les nouveaux résultats correspondent bien aux transits mesurés. Si le statut de la branche 12-13 ou de la branche 6-5 change, le résultat s'éloigne plus des mesures. Le tableau 5.6 résume ce raisonnement. Une alternative est de se servir des mesures d'injections nодales  $S_i$  ( ou  $\Delta S_i$  ). Les bilans de  $S_i$  sont meilleurs à tous les noeuds avec la branche 2-3 hors service.

**Tableau 5.4 :** *Déférence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits sur les banches critiques*

Boucle	Branche	$\Delta S$ p.u.
1	1-5	0.2012
2	3-4	0.7737
3	4-5	0.4067
4	6-13	0.012

**Tableau 5.5 :** *Hypothèses retenues après la première identification*

Boucle	Transit	$\Delta S_{jk}$ mesurée	Valeur proche du tableau caractéristique	Hypothèse de branche hors-service	Erreur de $\Delta S_{jk}$
2	3-4	0.7737	0.7139	2-3	0.0598
3	4-5	0.4067	0.4109	5-6	0.0042
4	6-13	0.012	0.0153	12-13	0.0033

**Tableau 5.6 :** *Résultats selon différentes corrections*

Boucle	Branche Critique	$\Delta S_{jk} = S_{jk}^{mes} - S_{jk}^{modél}$		
		Hypothèse 1: 2-3 ouvert	Hypothèse 2: 5-6 ouvert	Hypothèse 3: 12-13 ouvert
1	1-5	0.0	0.2218	0.2011
2	3-4	0.0	0.8	0.7737
3	5-4	0.0	0.092	0.406
4	6-13	0.0	0.148	0.0042

### 5.1.1.2 Cas de deux erreurs

La solution est aussi satisfaisante dans le cas des erreurs doubles. Pour ce faire, **la branche 2-3 et la branche 2-4** du réseau IEEE 14 barres sont retirées. L'état réel du réseau est ensuite simulé par le logiciel RP600, pour obtenir des mesures bruitées. Les changements par rapport au cas de base des transits sont indiqués au tableau 5.7. Après analyse de la dernière colonne ( Erreur de  $\Delta S_{jk}$  ), il y a trois cas probables. Ceux-ci peuvent être analysées soit par l'écoulement de puissance, soit par le bilan de puissance.

**Tableau 5.7 : Hypothèses retenues après la première identification**  
( Cas deux erreurs )

Boucle	Transit	$\Delta S_{ik}$ mesurée	Valeur proche du tableau caractéristique	Hypothèse de branche hors-service	Erreur de $\Delta S_{jk}$
1	1-5	0.7025	0.7563	1-5	0.0538
2	3-4	0.7880	0.7139	2-3	0.0741
3	4-5	1.2952	non retenue	non retenue	non retenue
4	6-13	0.0323	0.0153	12-13	0.01730

**Légende:**

\* Erreur de  $\Delta S_{jk}$  : la différence entre les valeurs de la troisième et quatrième colonne.

En adoptant la première alternative, il faut refaire l'écoulement de puissance sur le réseau de base mais avec la branche 2-3 hors service. Les écarts avec les transits mesurés sont indiqués au tableau 5.8. Les écarts ont diminué remarquablement, surtout celui de la branche 3-4, dans la boucle visée  $\Delta S_{3-4} = 0.0885$

**Tableau 5.8 : Hypothèses retenues après la correction du statut de la branche 2-3. (Cas deux erreurs).**

Boucle	Transit	$\Delta S_{jk}$ mesurée	Valeur proche du tableau caractéristique	Hypothèse de branche hors-service	$\Delta S_{jk}$ erreur
1	1-5	0.5106	0.7563	1-5	0.2394
2	3-4	0.0885	0.1570	2-4	0.0685
3	4-5	0.889	0.6362	4-5	0.2590
4	6-13	0.0206	0.0153	12-13	0.0106

La recherche d'erreur se poursuit, par simple comparaison avec le tableau 5.3, ce qui signale la valeur 0.1571 qui est le cas de l'ouverture de la branche 2-4. En simulant cette contingence dans le réseau, les nouveaux transits obtenus de l'écoulement de puissance ramènent les  $\Delta S_{jk}$  aux branches critiques à  $10^{-4}$  dans toutes les boucles.

Cette fois-ci, le problème est résolu, les deux contingences sont détectées.

### 5.1.2 Réseau Hydro-Québec

Pour mettre en évidence l'aspect pratique de la méthode, un troisième test est fait sur le réseau Hydro-Québec. Le réseau comporte plusieurs sous-réseaux de tensions différentes ( 120, 230, 315, 735 kV ). Le réseau initial contient 631 barres et 841 lignes. Toutefois, pour fins d'illustration, les erreurs de modélisation recherchées se situent seulement au niveau des lignes 735 kV, ainsi un modèle réduit est utilisé. Ce modèle ignore tous les éléments qui ne sont pas à 735 kV. Une fois le réseau ainsi réduit, la zone restante comprenant 154 barres et 225 lignes. Afin de faciliter le travail, ces lignes sont re-numérotées selon l'annexe IV. Pour couvrir cette zone, 42 boucles sont formées mais seules 38 boucles sont retenues dans l'étude, car les boucles ne sont pas toutes disjointes. Ceci est prévisible car la répartition des boucles dans ce cas est fait selon la formule ( 4-1 ) sans intégrer l'algorithme décrit à la page 66. Le nombre de lignes dans chaque boucle varie de 2 à 18 lignes. Les boucles 38 à 42 sont éliminées dans l'analyse car une majorité de leurs lignes est déjà incluse dans les autres boucles. En plus, les dimensions élevées de ces boucles ( de 10 à 18 lignes par boucle ) peuvent affecter la précision de la réponse. L'ensemble des lignes appartenant à chacune des boucles est énuméré dans l'annexe V. La ligne la plus sensible dans chaque boucle est en caractère gras, son transit doit être mesuré et ensuite soustrait avec la valeur modélisée comme pour le cas du réseau IEEE 14 barres. Après quelques simulations, il s'avère plus facile de travailler avec  $\Delta P_{jk}$  à la place de  $\Delta S_{jk}$  car la comparaison devient plus évidente. Par conséquent, on doit calculer:

$$\Delta P_{jk} = P_{jk}^{\text{mes}} - P_{jk}^{\text{modél}}$$

Les facteurs de distribution permettent d'élaborer le tableau caractéristique du réseau Hydro-Québec ( annexe VI ).

Pour ce même réseau, deux cas sont à tester. Le premier est pour vérifier l'aptitude de la méthode pour une contingence simple. Le deuxième test est la détection d'une combinaison d'erreurs de paramètre.

### 5.1.2.1 Cas d'une seule erreur

Nous reproduisons le tableau 5.9 dont les valeurs sont les différences de transits tirés des deux fichiers présentés à l'annexe III et l'annexe VII.

**Tableau 5.9 : Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits sur les banches critiques**

Boucle	Les mesures sont prises à la ligne	$\Delta P$	$\Delta Q$
6	8	5.140	20.910
5	17	-15.980	1.480
4	18	-15.920	1.480
1	26	11.020	-22.680
2, 3	36	0.060	13.580
8, 9, 16, 17	47	-212.460	-97.960
10, 11, 30	63	-544.340	30.130
7, 19	68	-130.700	24.510
12	74	-172.750	30.480
13	76	-24.240	-17.940
14, 15, 18	87	-22.140	2.010
22	151	1.520	13.730
23	152	3.620	13.760
24	156	-4.940	11.450
25	157	-0.020	-5.540

**Tableau 5.9 : Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits sur les banches critiques ( suite )**

26	159	-0.020	-5.810
27	161	-2.900	12.040
28	164	0.020	6.270
29	165	0.020	6.270
20, 21	174	3.460	11.270
31	190	3.690	13.880
32	198	45.020	33.640
33	200	55.020	33.640
34	202	39.730	30.180
35	208	-44.640	23.850
36	210	-44.520	23.780
37	217	-146.590	70.140
38	219	-143.060	68.530

Les valeurs du tableau 5.9, permettent d'éliminer un bon nombre de boucles où les écarts sont évidemment faibles. Il est impossible d'obtenir des écarts nuls à cause de la présence du bruit. D'autres boucles dont les écarts paraissent élevés sont aussi rejetées car il est impossible de les identifier parmi l'ensemble des résultats de l'annexe VI. Ils sont trop éloignés de ces valeurs. L'écart mesuré à la ligne 63 est la position stratégique afin de mesurer des changements significatifs dans les boucles 10, 11 et 30. En comparant le transit réel mesuré -544.34 avec les chiffres dans les tableaux caractéristiques des boucles 10, 11 et 30, nous obtenons:

**Boucle 10:**

Ligne 61 retirée       $\Delta P_{63} = -587.1$

**Boucle 11:**

Ligne 62 retirée       $\Delta P_{63} = -587.1$

-544.34 est proche de -587.1 avec une erreur relative

$$\Delta X/X = (587.1 - 544.34) / 587.1 * 100 \% = 7.3 \%.$$

Selon le tableau à l'annexe IV, la ligne 61 et la ligne 62 sont deux lignes parallèles branchées entre la barre 717 et la barre 731. Donc, une de ces deux lignes parallèles a été mal modélisée, son statut est erroné. Ce qui était l'erreur introduite.

**5.1.2.2 Cas des erreurs doubles**

Le même réseau sert pour le deuxième test qui est la détection des erreurs multiples. L'objectif est d'abord de localiser les lignes erronées et ensuite de trouver les vraies valeurs des paramètres tout en ayant la même définition de boucles et de position des capteurs. En se basant sur les nouvelles mesures à l'annexe VIII, nous reconstruisons le tableau 5.9 et nous avons le tableau 5.10.

En examinant le tableau 5.10, l'écart mesuré à la ligne 87 paraît douteux car l'ordre de grandeur est proche de l'ordre de grandeur de la puissance transittée au cas de base:  $\Delta P_{87} = 524.8$ . L'anomalie est peut être sur la ligne 87. Il s'agit alors d'analyser les boucles 14, 15 et 18 du tableau caractéristique. Aucune valeur ne paraît proche de 524.8. Or, il faut s'attendre à la possibilité d'une double contingence, par conséquence d'une combinaison de ces valeurs.

Boucle 14:Ligne 85 retirée  $\Delta P_{87} = 221.67$ Boucle 15:Ligne 86 retirée  $\Delta P_{87} = 231.70$ On a donc bien:  $221.67 + 231.70 = 453.37$ 

453.37 est proche de 524.8 avec une erreur relative:

$$\Delta X/X = (524.8 - 453.37) / 524.8 * 100 \% = 13.6 \%.$$

À noter que cette combinaison est trouvé intuitivement, sans l'aide d'un programme car il est assez évident à les déceler parmi les autres valeurs.

Les deux lignes parallèles entre les barres 703 et 707 sont donc, modélisées incorrectement. Ainsi, à partir des mesures, l'estimation est assumée par la formule (4-21):

$$Y_{ij} = S_{ij} / (V_i - V_j) V_j$$

Nous avons

$$\text{circuit 1: } S_{703 \rightarrow 707} = 740.83 - 109.03j.$$

$$\text{circuit 2: } S_{703 \rightarrow 707} = 724.83 - 181.48j.$$

$$V_i = V_{703} = 1.005 \angle 5.6^\circ$$

$$V_j = V_{707} = 1.011 \angle 0^\circ$$

Nous vérifions aisément que :

$$Z_1 = 0.0005 + 0.0133i$$

$$Z_2 = 0.0018 + 0.0133i$$

**Tableau 5.10 : Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits  
sur les banches critiques (Cas deux erreurs )**

Boucle	Les mesures sont prises à la ligne	$\Delta P$	$\Delta Q$
6	8	0.390	6.390
5	17	4.820	-2.650
4	18	4.810	-2.640
1	26	8.540	12.120
2,3	36	-79.680	4.090
8, 9, 16, 17	47	-246.710	81.260
10, 11, 30	63	-65.390	-16.600
7, 19	68	-31.360	-3.050
12	74	-135.330	-8.440
13	76	59.630	-2.760
14, 15, 18	87	524.800	15.920
22	151	0.620	2.660
23	152	0.620	2.660
24	156	-0.530	1.830
25	157	-0.030	-0.920
26	159	-0.030	-0.970
27	161	-0.250	1.930
28	164	0.030	1.040
29	165	0.030	1.040
20,21	174	0.480	2.190

**Tableau 5.10 : Différence entre les valeurs planifiées et les mesures de transits sur les banches critiques (Cas deux erreurs) (suite ..)**

31	190	0.620	2.680
32	198	6.860	7.940
33	200	6.860	7.940
34	202	6.030	7.100
35	208	-6.170	2.210
36	210	-6.160	2.210
37	217	-21.710	3.650
38	219	-21.200	3.570

En réalité, ces lignes ont les mêmes paramètres R, X dont les valeurs correctes sont:

$$R = 0.0005 \text{ et } X = 0.0133i.$$

Le résultat imprécis 0.0018 de la deuxième ligne est due à la présence du bruit.

Il reste à déterminer la susceptance B de la ligne. Cette valeur est reliée avec l'impédance X par la vitesse v de la lumière selon l'expression:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5-1)$$

Nous en déduisons:

$$B = \omega C = \frac{\omega^2}{L \omega v^2} = \frac{\omega^2}{X v^2}$$

$$B = 1.1873 * 10^{-10}$$

## 5.2 Discussion

La validation sur le réseau IEEE 14 barres et sur le réseau Hydro-Québec a mis en évidence certain aspects de la méthode proposée. Nous allons maintenant résumer ces points.

➤ Dans l'exemple du réseau IEEE 14 barres, plus d'une hypothèse est retenue au début de la phase II qui est la phase d'identification. Alors, il n'est pas évident d'affirmer du premier coup la ligne de statut erroné. Nous avons dû effectuer l'écoulement de puissance pour chacune des hypothèses, afin de trouver la bonne solution. Théoriquement, il y a risque de divergence dans les calculs de l'écoulement de puissance, cependant cela ne s'est pas produit durant nos tests. Par ailleurs, si l'effet du bruit est minime, la divergence indique dans la plupart des cas que l'hypothèse en question doit être rejetée et par conséquent l'erreur topologique se situe ailleurs. Une alternative est de recourir à une mesure additionnelle de la puissance injectée à une barre pour choisir la vraie hypothèse parmi celles retenues.

➤ Dans l'exemple du réseau Hydro-Québec, il est plus facile de distinguer la bonne hypothèse parmi les autres. Il est facile de cerner la boucle problématique car les  $\Delta S_{jk}$  des autres boucles sont petits. Quelques boucles ont des écarts relativement élevés mais loin des valeurs dans le tableau caractéristique, elles sont éliminées aussi.

Ces observations peuvent être expliquées par les différentes tailles des réseaux et par leurs structures. Le réseau Hydro-Québec est grand et radial, ainsi un bon nombre de boucles ne sont pas affectées. Le réseau IEEE 14 barres est petit, les lignes sont proches, donc elles sont plus sensibles au changement de statut des lignes.

➤ L'utilisation de la variation de la puissance réelle  $\Delta P_{jk}$  comme indice d'anomalie à la place de  $\Delta S_{jk}$  rend la comparaison avec le tableau caractéristique plus facile, car les valeurs théoriques et mesurées dans le cas identifié sont très voisines.

L'explication n'est pas difficile. La formule ( 4-2 ) donne seulement la variation de transit dans l'impédance série du modèle pi et ne tient pas compte la contribution des deux condensateurs. Donc, il est normal que les variations de puissance réactive calculées soient moins précises que celles des puissances réelles. Ainsi  $\Delta P_{jk}$  est plus approprié pour traiter le réseau Hydro-Québec plutôt que  $\Delta S_{jk}$  comme dans le réseau illustratif IEEE 14 barres.

➤ Le seuil de la tolérance  $\gamma$  peut être fixé selon le cas. Il doit être plus petit que les valeurs du tableau caractéristique et plus élevé que le niveau du bruit pour détecter tous les cas possibles.

Dans le réseau IEEE 14 barres:

la valeur minimale du tableau caractéristique 0.0154 et il n'y a pas de bruit  
 $\Rightarrow \gamma$  suggérée = 0.005

Ainsi, pour des réseaux dont les lignes ont des capacités assez différentes, il faut fixer différents seuils pour chaque boucle. En pratique, il n'est pas vraiment nécessaire de fixer les seuils. Nous n'avons qu'à porter attention au cas où l'ordre de variation est semblable de celui de la puissance transitée au cas de base.

Prenons les boucles 6 et 8 du réseau Hydro-Québec. Nous trouvons dans le tableau caractéristique:

Boucle 6:

$\Delta P_{jk}$  minimale = 1546.3

Boucle 8:

$\Delta P_{jk}$  minimale = 5.7

➤ Dans la phase II, il est plus juste de se baser sur l'erreur relative et non sur l'erreur absolue lors de la comparaison de  $\Delta S_{jk}$  du tableau caractéristique et  $\Delta S_{jk}$  mesurée.

Soient  $C_1$  et  $C_2$  deux chiffres à comparer, nous avons:

$$\text{erreur relative} = \frac{|C_1 - C_2|}{C_{\text{moy}}} * 100\% \quad (5-2)$$

$$\text{où} \quad C_{\text{moy}} = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

Reprendons le tableau 5.5, la comparaison établie avec les erreurs relatives, nous donne un nouveau tableau:

**Tableau 5.11 : Hypothèses retenues après la première identification basant sur les erreurs relatives.**

Boucle	Transit	$\Delta S_{jk}$ mesurée	Valeur proche du tab. caract.	Hypothèse branche hors-service	Erreurs relatives %
1	1-5	0.2012	0.1490	2-5	29.8
2	3-4	0.7737	0.7139	2-3	8.04
3	4-5	0.4067	0.4109	5-6	1.03
4	6-13	0.012	0.0153	12-13	24.17

Ce tableau indique clairement que les erreurs soupçonnées sont à la branches 2-3 et à la branche 5-6.

➤ Afin d'effectuer l'écoulement de puissance et la détection d'erreur sur un réseau de  $N_b$  barres; nous avons besoin en principe  $N_t$  mesures:

$$N_t = (2N_b - 1) + \text{Nombre de boucles} \quad (5-3)$$

Cependant, le nombre de capteurs nécessaire est souvent plus petit que celui calculé par la formule (5-3) pour les raisons suivantes:

- les boucles ayant la même position critique peuvent avoir un capteur commun
- la mesure peut être aussi utilisée pour la détection et l'identification d'erreur.

- Dans le cas du réseau Hydro-Québec il a fallu 28 mesures en temps réel. En effet, les écarts des transits sont tels que la localisation de l'erreur est facilitée et nous pouvons retenir une seule hypothèse. Il n'a pas été nécessaire de faire l'écoulement de puissance pour vérifier les cas douteux comme prévu dans la phase II. Ainsi, la non observabilité en temps réel du réseau n'empêche pas d'obtenir la bonne solution. Avec les données du cas de base, c'est à dire le cas avant le changement de statut et une mesure en temps réel par boucle, il est possible d'identifier l'erreur.
- Dans l'étude du réseau Hydro-Québec, le bruit simulé est de l'ordre de 1% à 5% pour les tensions 735 kV et de 5% pour les autres tensions. À ce niveau de bruit, la méthode peut donner sans ambiguïté une bonne réponse.
- Pour détecter une situation inverse: une ligne est considérée hors-service, alors qu'en réalité elle est en service, nous suivons la même procédure, mais le facteur de distribution correspond au cas de la fermeture d'une ligne:

$$\rho_{lm,n}^{addij} = \rho_{lm,n} - \frac{(\rho_{im,i} - \rho_{in,j})( (Z_{bus})_{ni} - (Z_{bus})_{nj} )}{((Z_{bus})_{ii} - 2(Z_{bus})_{ij} + (Z_{bus})_{jj} + Z_{ij})}$$

### 5.3 Comparaison

Il est nécessaire de comparer les différentes approches sur les mêmes réseaux pour convaincre les utilisateurs de l'intérêt de la méthode dans cette thèse. La comparaison va être faite selon deux aspects:

- global
- numérique.

À la fin, nous reportons les travaux de Lugtu et de Felix Wu sur le réseau IEEE 30 barres avec une brève discussion.

### 5.3.1 Comparaison globale

**Tableau 5.12 : Comparaison des méthodes développées**

	Contraintes à respecter
P. Bonanomi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le réseau doit être observable en temps réel.</li> <li>- exige une redondance des mesures.</li> <li>- nécessite une importante proportion de mesures de puissance transitée sur les lignes par rapport aux puissances injectées dans les barres.</li> <li>- vise à identifier les mauvaises données et non leur causes.</li> </ul>
Lugtu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le réseau doit être observable en temps réel.</li> <li>- exige une redondance des mesures.</li> <li>- les puissances injectées à chaque extrémité de la ligne visée doivent être connues.</li> <li>- les erreurs ne doivent pas être proches.</li> <li>- le test est limité à une ligne.</li> </ul>
Felix Wu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le réseau doit être observable en temps réel.</li> <li>- exige une redondance des mesures.</li> <li>- <u>cas non détectable</u>: <ul style="list-style-type: none"> <li>* la mesure de cette branche n'est pas disponible.</li> <li>* l'élimination de cette branche va rendre le réseau non observable.</li> </ul> </li> </ul>
Clements	<ul style="list-style-type: none"> <li>-le réseau doit être observable en temps réel.</li> <li>- exige une redondance des mesures.</li> <li>- <u>cas non détectable</u>: <ul style="list-style-type: none"> <li>* la branche est une branche critique.</li> <li>* la branche est attachée seulement à des mesures critiques.</li> </ul> </li> </ul>
Thèse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le réseau doit être observable en temps réel.</li> <li>- en général, une mesure de transit par boucle.</li> </ul>

### 5.3.2 Comparaison numérique

Les paramètres considérés dans la comparaison sont: le nombre de cas non détectables, le nombre de mesures, le temps de calcul, la simplicité.

#### 5.3.2.1 Réseau IEEE 14 barres

##### a- Bonanomi

► Nombre de mesures utilisées:

5 amplitudes de tensions  
+ 8 puissances injectées ( complexes )  
+ 16 transits ( complexes )

---

Total : 29 mesures dont 13 pour l'observabilité et 16 mesures redondantes.

► Étapes:

- calculer les tensions

- effectuer les tests de cohérence pour valider les données

nombre de cas inconsistants: 5

nombre maximal d'inconsistance pour un élément: 2

- ranger les éléments douteux

les plus mauvaises notes: barre 6, branches 5-6 et 1-5

- enlever la tension à la barre 6 et le transit de la branche 5-6

- répéter le processus pour l'ensemble réduit.

► Résultats:

Deux valeurs erronées sont identifiées:

- tension mesurée à la barre 6 dont l'écart avec la vraie valeur est de 0.015 p.u.

- puissance active de la branche 5-6 ayant un écart 0.3 p.u. par rapport la vraie valeur.

► Conclusion:

16 mesures redondantes pour identifier 2 mesures erronées.

**b- Cléments**

► Nombre de mesures ( complexes ) utilisées:

9 puissances injectées ( complexes )

+ 8 transits ( complexes )

---

Total: 17 mesures complexes dont 13 pour l'observabilité et 4 redondantes.

► Étapes:

- former la jacobienne  $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_2 \end{bmatrix}$

- calculer  $\mathbf{F} = \mathbf{H}_2 \mathbf{H}_1^{-1}$

$$\mathbf{G} = [-\mathbf{F} \ \mathbf{I}]$$

$$\mathbf{GM}$$

où  $\mathbf{M}$  est la matrice des mesures de branche

- analyser les colonnes de  $\mathbf{GM}$ .

. si la colonne est zéro, l'erreur topologique sur la branche correspondante n'est pas détectable.

. si les colonnes sont colinéaires, l'erreur topologique dans une de ces branches correspondantes ne sont pas identifiables.

## ► Résultats:

$(\mathbf{GM})^t =$	0.0	-2.5	1.5	1.0	1
	0.0	2.5	-1.5	1.0	2
	0.0	1.0	0.0	-1.0	3
	0.0	1.0	-1.0	0.0	4
	0.0	0.5	-0.5	0.0	5
	0.0	0.5	-0.5	0.0	6
	0.0	1.5	-1.5	0.0	7
	0.0	0.0	-1.0	0.0	8
	0.0	0.0	1.0	0.0	9
	0.0	0.0	0.0	0.0	10
	0.0	0.0	0.0	0.0	11
	0.0	0.0	0.0	0.0	12
	0.0	0.0	0.0	0.0	13
	0.0	0.0	-1.0	0.0	14
	0.0	0.0	0.0	0.0	15
	0.0	0.0	0.0	0.0	16
	0.0	0.0	0.0	0.0	17
	0.0	0.0	0.0	0.0	18
	0.0	0.0	0.0	0.0	19
	0.0	0.0	0.0	0.0	20

## ► Conclusion:

- erreurs simples non identifiaables: branches 10 à 13; branches 15 à 20.
- erreurs simples non détectables : branches 1 et 2.

### c- Thèse

- ▶ Nombre de mesure utilisées:
  - 13 mesures ( complexes ) pour l'observabilité
  - + 4 mesures redondantes ( 1 mesure par boucle \* 4 boucles ).
- ▶ Étapes:
  - diviser le réseau en boucles
  - déterminer les lignes critiques dans chaque boucle
  - construire le tableau caractéristique
  - mesurer les transits  $S_{jk}^{mes}$  sur les lignes critiques et déduire les variations de transits aux lignes critiques  $\Delta S_{jk}$
  - trier les boucles dont  $\Delta S_{jk} > \gamma$
  - identifier les erreurs.
- ▶ Conclusions:
  - toutes les erreurs simples topologiques simples sont détectables et identifiables
  - les cas de 2 erreurs sont aussi détectables et identifiables.

### 5.3.2.2 Réseau Hydro-Québec:

Dimension du réseau: 154 barres et 225 lignes

Nombre de barres  $N_b = 154$

Nombre de lignes  $N_l = 225$

La détection d'erreur demande:

#### a- Thèse

► Nombre de mesures utilisées:

Pour écoulement de puissance:  $2N_b - 1 = 307$

Pour détecter et identifier les erreurs: 38 boucles mais seulement 28 mesures

Total = 335 mesures

► Étapes:

Comme dans l'exemple 1 du réseau IEEE 14 barres.

► Résultats:

- Erreur simple: détecter l'ouverture de l'une des 2 lignes parallèles entre la barre 717 et la barre 731.

- Erreurs multiples: détecter les erreurs des paramètres des deux lignes parallèles entre les barres 703 et 707.

**b- Estimateur d'état**

- Nombre de mesures  $N_m$  utilisées:

\* cas typique:

$$1.5 * (N_b - 1) < N_m < 614$$

\* cas extrême:

$$3 * N_b + 4 * N_l = 1362 \text{ mesures.}$$

- Étapes:

- exécuter l'estimateur d'état

- analyser les résidus.

- Résultats:

Pas de garantie

### 5.3.2.3 Réseau IEEE 30 barres

#### a- Felix Wu

Cet exemple nous permet de comprendre la limite du test de résidu. Deux cas sont présentés dans l'article pour le réseau illustré à la figure 5.5.

##### Cas 1: Déetectable

L'erreur topologique réside dans l'ouverture des branches 10-20, 10-21. Le résidu normalisé le plus élevé est sur la mesure 34 ( transit sur la ligne 15-18 ) et est égale à 3.14. On note la présence de l'erreur mais il est impossible de l'identifier car le résidu normalisé le plus élevé ne correspond pas à la mesure erronée.

##### Cas 2: Non détectable

L'erreur topologique est dans l'ouverture de la branche 27-30

Dans ce cas, tous les résidus normalisés sont petits. Le plus grand vaut seulement 0.1 correspond à l'injection mesurée à la barre 3.

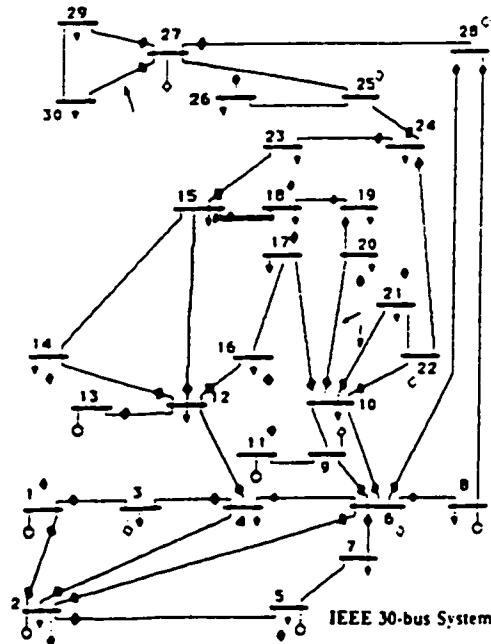


Figure 5.5 : Réseau IEEE 30 barres

## b- Lugtu

Pour son test, une ligne est ajoutée entre les barres CLAYTOR et ROANOKE.

Les erreurs topologiques sont les suivantes:

- une des deux lignes parallèles entre les barres 2 et 5 est incluse dans le modèle, alors qu'elle est hors service dans l'état réel
- la ligne entre les barres 12 et 15 est débranchée dans le modèle, tandis qu'en réalité, elle est connectée
- la ligne entre la barre 6 et 28 est ouverte à la barre 28 dans le modèle.

Ces trois erreurs sont détectées par le programme, mais en total 118 mesures sont fournies à l'entrée de l'estimateur d'état pour un réseau de 30 barres et 37 lignes. De plus, tel que l'exige la méthode, les injections aux deux bouts de trois lignes citées doivent être connues. Ces valeurs sont:

Barre	MW	MVar
2	17.80	41.16
5	-95.45	12.05
12	-11.28	-7.27
15	-8.22	-2.46
6	0.0	0.0
28	0.0	0.0

## CONCLUSION

### 1 Contributions majeures

La performance de la nouvelle méthode prouve que l'objectif de la thèse a été atteint. Nous cherchions une solution évitant les lacunes des autres méthodes, tout en donnant des résultats plus précis. Les améliorations couvrent divers aspects résumés ci-dessous:

#### ➤ Fiabilité:

- Les erreurs simples ou multiples sont toujours détectables même si:
  - . la ligne n'est pas mesurée
  - . la ligne est une ligne critique ou les mesures associées à cette ligne sont des mesures critiques.

Note: la définition critique ici se réfère à celle de l'estimateur d'état.

- Les erreurs sont toujours identifiables même si l'erreur topologique est sur une branche qui appartient à une paire critique de branches.

#### ➤ Précision

La méthode proposée permet d'éviter les incertitudes des autres méthodes telles que:

- Les résidus normalisés ou les mesures non-cohérentes indiquent la présence probable de l'erreur, mais il était impossible de savoir quelle mesure est en défaut. Par conséquent, une mesure enlevée n'était pas toujours une mesure erronée.
- Les erreurs pouvaient passer inaperçues à cause du phénomène de masquage en ce sens que leurs effets peuvent s'annuler mutuellement dans les résidus.

Pour la méthode proposée, le cas à craindre est l'ouverture et la fermeture

simultanées des lignes identiques. Ces opérations inverses peuvent annuler les variations de transits sur les branches critiques et par conséquent masquer les erreurs. Mais il s'agit d'un cas extrême.

#### **➤ Limite fonctionnelle**

- L'analyse des résidus demande en premier lieu l'exécution avec succès de l'estimateur. Comme ce dernier est très sensible aux mauvaises données, une erreur de topologie peut causer la divergence de l'estimateur d'état, ce qui rend impossible les étapes ultérieures. Il est toujours possible avec la nouvelle méthode d'arriver jusqu'à la fin du processus.

- Fondamentalement, toutes les méthodes mentionnées demandent un nombre minimum de mesures qui assurent l'observabilité du réseau. Avec la nouvelle méthode, le réseau doit être observable seulement si on doit effectuer l'écoulement de puissance pour sélectionner l'hypothèse retenue. Mais dans un bon nombre de cas, la non observabilité en temps réel du réseau n'empêche pas d'obtenir la bonne solution. Comme le cas du réseau Hydro-Québec, les erreurs ont été vite identifiées à partir des données du cas de base et une mesure en temps réel par boucle.

#### **➤ Positions relatives des erreurs**

Il n'y a pas de restriction dans la nouvelle méthode, contrairement aux autres. Les erreurs peuvent se situer dans une même boucle, dans les boucles voisines ou dans les boucles éloignées. Cependant, l'étape d'identification va demander plus de temps quand les lignes sont dans les deux boucles voisines qui ne sont pas surveillées par le même capteur.

#### **➤ Coût**

Évidemment, le coût est principalement relié au nombre de capteurs de mesure à installer sur le réseau. Les méthodes basées sur les résidus ou sur les tests de consistance sont plus exigeantes en nombre de mesure car l'analyse s'appuie sur la redondance des

mesures. En plus, le choix des emplacements de capteurs est plus flexible, et n'exige pas de capteurs en plus de ceux qui sont déjà disponibles sur le réseau pour les besoins de l'estimateur d'état.

#### **➤ Aspect pratique**

La méthode est applicable en temps réel car la détection est basée sur l'écart des transits. Ainsi les calculs à effectuer sont simples et rapides, sans itération à faire. L'algorithme est conçu pour couvrir le réseau entier et non seulement quelques lignes. La sélection commence d'abord au niveau des boucles, ensuite au niveau des lignes dans les boucles à risque. La procédure est systématique, facile à automatiser, ne demande pas beaucoup d'expertise.

#### **➤ Erreurs de paramètres**

La méthode offre une façon simple et systématique pour localiser la ligne dont les valeurs de paramètre sont fausses. Ceci a une importante particulière dans n'importe quelle approche car souvent, il faut connaître la ligne erronée afin d'apporter des corrections nécessaires.

## 2 Difficultés envisagés

Durant les tests, nous n'avons pas rencontré de difficulté. Cependant, certaines sont à prévoir:

### **➤ L'effet du bruit**

Nous trouvons aisément les résultats pour un niveau représentation de bruit de 5%. Mais, lorsque le niveau de bruit devient significatif, il faut tenir compte de la marge d'erreur due au bruit. Ainsi les calculs seront plus compliqués. Dans les cas des erreurs grossières, il est préférable d'utiliser l'estimateur d'état pour les filtrer d'abord, avant d'utiliser la méthode proposée.

### **➤ Généralisation**

La méthode permet de surveiller un nombre important des lignes sur le réseau, cependant, les cas particuliers suivants sont encore exclus:

- les lignes dont les transits sont nuls ( les tensions aux deux extrémités sont égales )
- les lignes qui ne font partie d'aucune boucle.

### **➤ Changement de positions critiques**

Après une mise à jour du modèle, une nouvelle topologie du réseau est définie et par conséquent les branches critiques dans les boucles peuvent être changées. Nous devrons reconstruire le tableau caractéristique et déterminer les nouvelles branches critiques. Toutefois, si les nouvelles mesures ne sont pas disponibles sur les réseaux, il est possible de prendre d'autres mesures déjà disponibles sur les réseaux pourvu qu'elles soient capables d'apercevoir clairement les changements de statut des autres lignes dans leurs boucles.

### 3 Perspective

La méthode est bien adaptée à un réseau même de grande taille. Initialement, elle est mise au point pour améliorer la procédure de mise à jour des réseaux externes ou de répartition mais elle est applicable au réseau principal. Ses possibilités d'application seront importantes et pourront s'étendre de la planification à l'exploitation, du niveau de transport à celui de répartition.

Des travaux restent à faire pour compléter l'étude:

- Une stratégie qui intègre la méthode à la modélisation des réseaux régionaux en vue d'obtenir une fiabilité accrue dans les études de stabilité long terme ou transitoires.
- Une stratégie pour estimer les paramètres de lignes même si les mesures de ces lignes ne sont pas disponibles.

#### **4 Retombées scientifiques**

Deux articles de IEEE sont tirés de cette thèse et présentés en annexes.

## RÉFÉRENCES

1. Jacques Percebois. » La dérégulation de l'industrie électrique en Europe et aux Etats-Unis: Un processus de décomposition-recomposition », Revue de l'Énergie, No. 490, pp. 223-542.
2. Juan Manuel Pineda. » Sécurité Dynamique des Réseaux Électrique », École Polytechnique de Montréal, Janvier 1996.
3. J. Grainger, D. Stevenson. » Power System Analysis », McGraw-Hill, 1994.
4. Serge Lefebvre. » Note de cours ele6411 » École Polytechnique de Montréal.
5. Lars Holten, Anders Gjelsvik, Sverre Aam, Felix F. Wu, Wen-Hsiung E. Liu, » Comparison of different Methods for State Estimation », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 3, No. 4, Nov. 1988, pp. 1798-1806. ( A12 )
6. J. W. Gu, K. A. Clements, G. R. Krumpholz, P.W. Davis, » The Solution of III-Conditioned Power System State Estimation Problems Via The Method of Peters and Wilkinson ». PICA Conference Proceedings, May 1983, Houston, pp. 239-246.
7. H. M. Merrill, F. C. Scheppe, » Bad data Suppression in Power system Static State Estimation », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, 1971, pp. 2718-2725.
8. F. Rahimi, K. Kato, S.H. Ansari, V. Brandwajn, G. Cauley, D. J. Sobajic. » On External Network Model Development », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 2, May 1996, pp. 905-910.
9. S. Deckmann, A. Pizzolante, A. Monticelli, B. Stott, O. Alsaç, » Studies on Power System Load Flow Equivalencing », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 6, Nov/Dec 1980, pp. 2301-2310.

10. F. F. Wu, A. Monticelli, » Critical Review of External Network Modelling for Online Security Analysis », Electrical Power & Energy Systems, Vol. 5, No. 4, October 1983, pp. 222-235.
11. S. Deckmann, A. Pizzolante, A. Monticelli, B. Stott, O. Alsaç, » Numerical Testing of Power System Load Flow Equivalents », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 6, Nov/Dec 1980, pp. 2292-2300.
12. E. C. Housos, G. Irisarri, R. M. Porter, A. M. Sasson, » Steady State Network Equivalents for Power System Planning Applications », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 6, Nov/Dec 1980, pp 2113-2120.
13. T. E. Dy Liacco, S. C. Savulescu, K. A. Ramarao, » An On-Line Topological Equivalent of a Power System », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 5, Sept/Oct 1978, pp. 1550-1562.
14. G. Irisarri, » Real-Time External System Equivalent for On-Line Contingency Analysis », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 6, Nov./Dec. 1979, pp. 2153-2171.
15. Ajan Bose, » The Effects of External Modeling Errors on On-Line Security Analysis », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-1, N. 1, February 1986, pp. 227-232.
16. Efthymios Housos, Guillermo irisarri, » Real time Results with On-line Network Equivalent for Control Center Applications », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 12, Dec 1981, pp. 4830-4837.
17. A.J. Germond *et al.* » Équivalent Extérieurs Statiques et Dynamiques. Rapport de synthèse. Première partie », ELECTRA No. 134, Fév. 1989, pp. 92-115.

18. Monticelli, Felix F. Wu, » A Method that Combines Internal State Estimation and External Network Modeling », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 1, January 1985, pp. 91-99. ( A13 )
19. C. N. Lu, K. C. Liu, S. Vemuri, » An External Network Modeling Approach for On-Line Security Analysis », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 5, No. 2, May 1990, pp 565-573.
20. M. Assadian, R. J. Goddard, H. W. Hong, D. French, » Field Operational Experiences with on line State Estimator », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1993.
21. P. Bonanomi, G. Gramberg, » Power System Data Validation and State Calcultion by Network Search Techniques », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 1, January 1983, pp. 238-249.
22. N. Singh, H. Glavitsch, » Detection and Identification of Topological Errors in Online Power System Analysis », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 1, February 1991, pp. 324-330.
23. R. L. Lugtu *et al.* » Power System State Estimation: Detection of Topological Errors » IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 6, Nov./Dec. 1980, pp. 2406-2411.
24. Felix F. Wu, Wen-Hsiung E. Liu, » Detection of Topology Errors by State Estimation », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.. 4, No. 1, February 1989, pp. 176-183.
25. Felix F. Wu *et al.* » Estimation of Parameter Errors from Measurement Residuals in State Estimation », IEEE Transactions on Power Systems, Vol.. 7, No. 1, February 1992, pp. 81- 89.

26. Felix F. Wu, Wen-Hsiung E. Liu, » On Detection and Identification of Topology Errors in Power Networks », prepared for the IEEE Transactions on Circuit and Systems.
27. Wen-Hsiung E. Liu, » Real-Time Network Estimation and Analysis for Power System Operation », *Ph. D. Dissertation*, University of California, Berkeley, 19987.
28. K. A. Clements, P. W. Davis, » Detection and Identification of Topology Errors in Electric Power Systems », IEEE Transactions on Power Systems, Vol.. 3, No. 4, November 1988, pp. 1748 - 1753.
29. Alt, Fuchs, Kriegel, » On the number of simple cycles in Planar Graphs », 23<sup>rd</sup> International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, Berlin, Germany, 18-20 June 1997.
30. G. T. Heydt, » Computer Analysis Methods for Power Systems »
31. Kenneth I. Geisler, Anjan Bose, » State Estimation Based External Network Solution for On-Line Security Analysis », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 8, August 1983.
32. Fred C. Schweppe, J. Wildes, » Power System Static State Estimation », Parts I, II, III, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, pp. 120-135, Jan. 1970.
33. Kenneth I. Geisler, Nand K. Tripathi, » State Estimation based External Network Solutions: field Testing », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 8, Aug. 1985, pp. 2126-2132.
34. Monticelli, Felix F. Wu, » A Method that Combines Internal State Estimation and External Network Modeling », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 1, January 1985, pp. 91-99. ( A13 )

35. J. M. Undril, A. E. Turner, » Construction of Power System Electromechanical Equivalents by Modal Analysis », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, Sept/Oct. 1971, pp. 2049-2059.
36. J. M. Undril, J. A. Casazza, E. M. Gulachenski, L. K. Kirchmayer, » Electromechanical Equivalents for Use in Power System Stability Studies », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, Sept./Oct. 1971, pp. 2060-2071.
37. Fabio. Saccamanno, » Dynamic Modelling of Multimachine Electric Power Systems », 2nd FORMATOR Symp. on » Mathematical methods for analysis of large systems », Prague, June 1974.
38. Fabio Saccamanno, » Development and Evaluation of Simplified Dynamical Models for Multimachine Electric Power Systems », PSCC 1972, Grenoble.
39. Robin Podmore, » Identification of Coherent Generator for Dynamic Equivalent », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 4, July/Aug 1978, pp.1344-1354.
40. Thomas L. Baldwin, Lamine Mili, Arun G. Phadke, » Dynamic Ward Equivalent for Transient Stability Analysis », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994.
41. S. Geeves, » A Modal-Coherency Technique for Deriving Dynamic Equivalents », IEEE\_PES Winter Meeting, 1987.
42. R.O. Burnett *et al.* » Synchronized phasor measurements of a power system event », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1643-1650.

43. R. O. Burnett, Marc M. Butts, Patrick S. Sterlina, » Power System Applications for Phasor Measurement Units », IEEE Computer Applications in Power, January 1994, pp. 8-13.
44. G. Phadke, J. S. Thorp, K. J. Karimi, » State Estimation with Phasor Measurements », IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-1, No. 1, February 1986, pp. 233-238.
45. Michael Zeiler, » Integration of GIS & GPS for Mapping and Analysis of Electric Distribution Circuits », Conference Paper No. 92 D2..
46. E. Handschin *et al.* » Bad Data Analysis for Power System State Estimation » , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No. 2, March/April 1975, pp. 329-337.
47. Hyde M. Merrill, Fred C. Schweppe, » Bad Data Suppression in Power System Static State Estimation », IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, No. 6, Nov./Dec. 1971, pp. 2718-2725.
48. K. A. Clements *et al* . » Power System State Estimation Residual Analysis », IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 4, April 1981, pp. 1779-1787.

**Annexe I: Réseau IEEE 14 barres****Résultats de l'écoulement de puissance: Cas de base**

GENERATION			TENSIONS			CHARGES			SHUNTS		
NOM MVAR	ZN	KVOLT	DEGRE	MW	MVAR	MW	MVAR	MW			
			(P.U.)								
----- TRXFO -----											
1Bus -16.89	1	1	1.06	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	232.39		
LI	EQU			1.060							
->	2Bus	2	1	#1	86.142	156.83	-20.39	PTE= 4.29/	7.26		
->	5Bus	5	1	#1	41.195	75.55	3.50	PTE= 2.76/	6.08		
2Bus 42.40	2	1	1.04	-5.0	21.70	12.70	0.0	0.0	40.00		
GEN			1.045								
->	1Bus	1	1	#1M	85.650	-152.54	27.66	PTE= 4.29/	7.26		
->	3Bus	3	1	#1	40.484	73.19	3.57	PTE= 2.32/	5.15		
->	4Bus	4	1	#1	31.041	56.14	-2.29	PTE= 1.68/	1.11		
->	5Bus	5	1	#1	22.939	41.51	0.76	PTE= 0.90/	-0.87		
3Bus 23.39	3	1	1.01	-12.7	94.20	19.00	0.0	0.0	0.00		
GEN			1.010								
->	2Bus	2	1	#1M	40.521	-70.87	1.58	PTE= 2.32/	5.15		
->	4Bus	4	1	#1	13.434	-23.33	2.81	PTE= 0.37/	-2.61		
4Bus 0.00	4	1	1.02	-10.3	47.80	-3.90	0.0	0.0	0.00		
			1.019								
->	2Bus	2	1	#1M	30.928	-54.46	3.39	PTE= 1.68/	1.11		
->	3Bus	3	1	#1M	13.782	23.70	-5.42	PTE= 0.37/	-2.61		
->	5Bus	5	1	#1	35.817	-61.22	15.67	PTE= 0.52/	0.30		
->	7Bus	7	1	#1	TFX 16.791	28.09	-9.42	PTE= 0.00/	1.69		
0.978											
->	9Bus	9	1	#1	TFX 9.121	16.09	-0.32	PTE= 0.00/	1.30		
0.969											
5Bus 0.00	5	1	1.02	-8.8	7.60	1.60	0.0	0.0	0.00		

						1.020		
->	1Bus	1	1	#1M	41.216	-72.79	2.58	PTE= 2.76/ 6.08
->	2Bus	2	1	#1M	22.999	-40.61	-1.63	PTE= 0.90/ -0.87
->	4Bus	4	1	#1M	36.002	61.74	-15.37	PTE= 0.52/ 0.30
->	6Bus	6	1	#1	TFX 25.969	44.06	12.82	PTE= 0.00/ 4.43
0.932								
6Bus	6	1			1.07 -14.2	11.20	7.50	0.0 0.0 0.00
12.24	GEN							
					1.070			
->	5Bus	5	1	#1M	TFX 24.203	-44.06	-8.39	PTE= 0.00/ 4.43
0.932								
->	11Bus	11	1	#1	4.382	7.34	3.47	PTE= 0.05/ 0.11
->	12Bus	12	1	#1	4.409	7.78	2.49	PTE= 0.07/ 0.15
->	13Bus	13	1	#1	10.325	17.74	7.17	PTE= 0.21/ 0.42
7Bus	7	1			1.06 -13.4	0.00	0.00	0.0 0.0 0.00
0.00								
					1.062			
->	4Bus	4	1	#1M	TFX 16.422	-28.09	11.11	PTE= 0.00/ 1.69
0.978								
->	8Bus	8	1	#1	9.193	0.00	-16.91	PTE= 0.00/ 0.45
->	9Bus	9	1	#1	15.592	28.09	5.80	PTE= 0.00/ 0.80
8Bus	8	1			1.09 -13.4	0.00	0.00	0.0 0.0 0.00
17.36	GEN							
					1.090			
->	7Bus	7	1	#1M	9.193	0.00	17.36	PTE= 0.00/ 0.45
9Bus	9	1			1.06 -14.9	29.50	16.60	0.0 21.2 0.00
0.00								
					1.056			
->	4Bus	4	1	#1M	TFX 8.839	-16.09	1.62	PTE= 0.00/ 1.30
0.969								
->	7Bus	7	1	#1M	15.592	-28.09	-4.99	PTE= 0.00/ 0.80
->	10Bus	10	1	#1	3.706	5.24	4.31	PTE= 0.01/ 0.03
->	14Bus	14	1	#1	5.534	9.44	3.67	PTE= 0.12/ 0.25
10Bus	10	1			1.05 -15.1	9.00	5.80	0.0 0.0 0.00
0.00								
					1.051			
->	9Bus	9	1	#1M	3.706	-5.23	-4.27	PTE= 0.01/ 0.03

-> 11Bus 11 1 #1 2.236 -3.77 -1.53 PTE= 0.01/ 0.03  
11Bus 11 1 1.06 -14.8 3.50 1.80 0.0 0.0 0.00  
0.00 1.057  
-> 6Bus 6 1 #1M 4.382 -7.29 -3.36 PTE= 0.05/ 0.11  
-> 10Bus 10 1 #1M 2.236 3.79 1.56 PTE= 0.01/ 0.03  
12Bus 12 1 1.06 -15.1 6.10 1.60 0.0 0.0 0.00  
0.00 1.055  
-> 6Bus 6 1 #1M 4.409 -7.71 -2.34 PTE= 0.07/ 0.15  
-> 13Bus 13 1 #1 0.970 1.61 0.74 PTE= 0.01/ 0.01  
13Bus 13 1 1.05 -15.2 13.50 5.80 0.0 0.0 0.00  
0.00 1.050  
-> 6Bus 6 1 #1M 10.325 -17.53 -6.75 PTE= 0.21/ 0.42  
-> 12Bus 12 1 #1M 0.970 -1.60 -0.74 PTE= 0.01/ 0.01  
-> 14Bus 14 1 #1 3.232 5.63 1.69 PTE= 0.05/ 0.11  
14Bus 14 1 1.04 -16.0 14.90 5.00 0.0 0.0 0.00  
0.00 1.036  
-> 9Bus 9 1 #1M 5.534 -9.32 -3.42 PTE= 0.12/ 0.25  
-> 13Bus 13 1 #1M 3.232 -5.58 -1.58 PTE= 0.05/ 0.11

**Annexe II: Réseau IEEE 14 barres**

**Résultats de l'écoulement de puissance: Branche 2-3 est hors-service**

----- TENSIONS -----			CHARGES -----			SHUNTS -----		
GENERATION-----			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	
NOM MVAR	ZN	KVOLT	DEGRE					
(P.U.)								
----- TRXFO								
1Bus 1 1			1.06	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0 243.29
-9.91LI EQU			1.060					
-> 2Bus 2 1 #1			81.358	148.24	-18.36	PTE= 3.83/	5.85	
-> 5Bus 5 1 #1			51.975	95.05	8.46	PTE= 4.40/	12.93	
2Bus 2 1			1.04	-4.7	21.70	12.70	0.0	0.0 40.00
40.09 GEN			1.045					
-> 1Bus 1 1 #1M			80.897	-144.41	24.21	PTE= 3.83/	5.85	
-> 4Bus 4 1 #1			51.723	93.61	0.95	PTE= 4.67/	10.25	
-> 5Bus 5 1 #1			38.193	69.09	2.24	PTE= 2.50/	4.05	
3Bus 3 1			0.96	-24.3	94.20	19.00	0.0	0.0 0.00
40.00 GEN			0.958					
-> 4Bus 4 1 #1			58.193	-94.20	21.00	PTE= 6.86/	14.19	
4Bus 4 1			1.00	-13.7	47.80	-3.90	0.0	0.0 0.00
0.00			1.000					
-> 2Bus 2 1 #1M			51.624	-88.95	9.30	PTE= 4.67/	10.25	
-> 3Bus 3 1 #1M			58.468	101.06	-6.81	PTE= 6.86/	14.19	
-> 5Bus 5 1 #1			59.206	-100.99	17.90	PTE= 1.41/	3.15	
-> 7Bus 7 1 #1 TFX			17.194	26.15	-14.26	PTE= 0.00/	1.77	
0.978								
-> 9Bus 9 1 #1 TFX			8.713	14.93	-2.23	PTE= 0.00/	1.19	
0.969								
5Bus 5 1			1.01	-11.1	7.60	1.60	0.0	0.0 0.00
0.00			1.007					

-> 1Bus 1 1 #1M 52.040 -90.64 4.47 PTE= 4.40/ 12.93  
 -> 2Bus 2 1 #1M 38.200 -66.59 1.81 PTE= 2.50/ 4.05  
 -> 4Bus 4 1 #1M 59.323 102.40 -14.75 PTE= 1.41/ 3.15  
 -> 6Bus 6 1 #1 TFX 27.372 47.24 6.87 PTE= 0.00/ 4.92  
 0.932

6Bus 6 1 1.07 -17.0 11.20 7.50 0.0 0.0 0.00  
 20.74 GEN  
 1.070

-> 5Bus 5 1 #1M TFX 25.510 -47.24 -1.95 PTE= 0.00/ 4.92  
 0.932

-> 11Bus 11 1 #1 5.595 9.23 4.73 PTE= 0.09/ 0.19  
 -> 12Bus 12 1 #1 4.576 8.07 2.62 PTE= 0.08/ 0.16  
 -> 13Bus 13 1 #1 10.962 18.74 7.84 PTE= 0.24/ 0.47

7Bus 7 1 1.05 -16.6 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.053

-> 4Bus 4 1 #1M TFX 16.815 -26.15 16.03 PTE= 0.00/ 1.77  
 0.978

-> 8Bus 8 1 #1 12.064 0.00 -22.01 PTE= 0.00/ 0.77  
 -> 9Bus 9 1 #1 14.706 26.15 5.98 PTE= 0.00/ 0.71  
 8Bus 8 1 1.09 -16.6 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 22.78 GEN  
 1.090

-> 7Bus 7 1 #1M 12.064 0.00 22.78 PTE= 0.00/ 0.77

9Bus 9 1 1.05 -18.1 29.50 16.60 0.0 20.8 0.00  
 0.00  
 1.047

-> 4Bus 4 1 #1M TFX 8.443 -14.93 3.42 PTE= 0.00/ 1.19  
 0.969

-> 7Bus 7 1 #1M 14.706 -26.15 -5.26 PTE= 0.00/ 0.71  
 -> 10Bus 10 1 #1 2.551 3.39 3.15 PTE= 0.01/ 0.02  
 -> 14Bus 14 1 #1 4.794 8.19 2.93 PTE= 0.09/ 0.19

10Bus 10 1 1.04 -18.2 9.00 5.80 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.044

-> 9Bus 9 1 #1M 2.551 -3.39 -3.13 PTE= 0.01/ 0.02  
 -> 11Bus 11 1 #1 3.438 -5.61 -2.67 PTE= 0.03/ 0.07

11Bus	11	1	1.05	-17.7	3.50	1.80	0.0	0.0	0.00
0.00	1.053								
->	6Bus	6	1	#1M	5.595	-9.14	-4.54	PTE= 0.09/	0.19
->	10Bus	10	1	#1M	3.438	5.64	2.74	PTE= 0.03/	0.07
12Bus	12	1	1.05	-17.9	6.10	1.60	0.0	0.0	0.00
0.00	1.055								
->	6Bus	6	1	#1M	4.576	-7.99	-2.46	PTE= 0.08/	0.16
->	13Bus	13	1	#1	1.135	1.89	0.86	PTE= 0.01/	0.01
13Bus	13	1	1.05	-18.0	13.50	5.80	0.0	0.0	0.00
0.00	1.049								
->	6Bus	6	1	#1M	10.962	-18.50	-7.37	PTE= 0.24/	0.47
->	12Bus	12	1	#1M	1.135	-1.88	-0.85	PTE= 0.01/	0.01
->	14Bus	14	1	#1	4.016	6.88	2.42	PTE= 0.08/	0.17
14Bus	14	1	1.03	-19.1	14.90	5.00	0.0	0.0	0.00
0.00	1.030								
->	9Bus	9	1	#1M	4.794	-8.10	-2.75	PTE= 0.09/	0.19
->	13Bus	13	1	#1M	4.016	-6.80	-2.25	PTE= 0.08/	0.17

### **Annexe III: Réseau Hydro-Québec**

#### **Résultats de l'écoulement de puissance: Niveau 735 kV**

GENERATION-----			TENSIONS-----		CHARGES-----		SHUNTS-----	
NOM MVAR	ZN	KVOLT	DEGRE	MW	MVAR	MW	MVAR	MW
(P.U.)								
----- TRXFO								
760CHU73552 0.00		729.34	35.7	0.00	0.00	0.0	-487.4	0.00
			0.992					
->1359CHU23052 11%MVA 1.055	#1M TFX	0.107	132.03	26.02	PTE= 0.03/	4.02		
->2359CHU23052 67%MVA 1.055	#1M TFX	0.633	-799.95	14.96	PTE= 0.91/	60.98		
->3359CHU23052 31%MVA 1.055	#1M TFX	0.300	-377.64	-33.75	PTE= 0.20/	15.27		
->4359CHU23052 59%MVA 1.055	#1M TFX	0.559	-704.57	48.46	PTE= 0.71/	47.94		
->5359CHU23052 35%MVA 1.055	#1M TFX	0.334	-420.14	37.71	PTE= 0.27/	18.88		
->6359CHU23052 72%MVA 1.055	#1M TFX	0.685	-861.57	73.49	PTE= 1.14/	71.81		
->9110MTG<A>53 53%AMP	#1M	1.232	1521.52	-326.10	PTE=15.28/-306.87			
->9310MTG<C>53 53%AMP	#1M	1.223	1510.32	-328.19	PTE=15.52/-309.08			
705MAN73553 0.00		738.94	19.7	0.00	0.00	0.0	-1000.6	0.00
			1.005					
-> 305MAN31553 28%MVA 0.953	#1M TFX	0.140	-153.54	91.25	PTE= 0.16/	12.71		
-> 305MAN31553 24%MVA 0.953	#2M TFX	0.125	-139.12	80.15	PTE= 0.10/	8.51		
-> 305MAN31553 26%MVA 0.953	#3M TFX	0.131	-144.34	84.38	PTE= 0.13/	9.97		
-> 311MAN31553 30%MVA 0.953	#1M TFX	0.148	-150.00	116.61	PTE= 0.19/	13.38		
-> 706MIC73553 8%AMP	#1	0.391	-485.42	-122.77	PTE= 0.31/-150.20			
->1056MAN73C53 18%MVA 1.000	#1 TFX	0.044	0.04	55.98	PTE= 0.00/	0.20		

->9221BER<B>55 #1M 1.113 1357.55 -432.93 PTE= 5.47/-208.82  
58%AMP

->9321BER<C>53 #1M 1.141 1386.79 -456.11 PTE= 7.31/-209.90  
60%AMP

->9809ARN<E>53 #1M 0.674 -837.37 -208.48 PTE= 3.26/-383.73  
30%AMP

->9909ARN<F>53 #1M 0.672 -834.59 -208.73 PTE= 3.24/-383.77  
30%AMP

706MIC73553 740.73 20.7 0.00 0.00 0.0 -837.9 0.00  
0.00

1.008

-> 9MICOUA53 #1M TFX 0.262 -334.94 -24.05 PTE= 0.46/ 35.01  
52%MVA 0.952

-> 306MICOUA53 #1M TFX 0.285 -359.83 65.91 PTE= 0.11/ 15.15  
18%MVA 0.952

-> 306MICOUA53 #2M TFX 0.285 -359.83 65.91 PTE= 0.11/ 15.15  
18%MVA 0.952

-> 306MICOUA53 #3M TFX 0.116 -144.96 31.24 PTE= 0.08/ 6.93  
21%MVA 0.953

-> 307MICOUA53 #1M TFX 0.214 -274.25 0.43 PTE= 0.22/ 23.28  
44%MVA 0.953

-> 309MICOUA53 #1M TFX 0.260 -333.27 -6.49 PTE= 0.44/ 35.93  
48%MVA 0.952

-> 705MAN73553 #1M 0.379 485.73 -27.43 PTE= 0.31/-150.20  
8%AMP

->9218SAG<B>54 #1 0.501 592.02 -249.38 PTE= 2.50/-611.03  
26%AMP

->9225PERI 53 #1 0.999 1189.91 -477.19 PTE= 8.83/-428.60  
52%AMP

->9709ARN<D>53 #1M 0.397 -460.58 -216.86 PTE= 1.05/-469.92  
18%AMP

709ARN73553 749.57 22.5 798.38 -52.76 0.0-1544.5 0.00  
0.00

1.020

->9109ARN<A>53 #1 0.786 -984.10 -270.84 PTE= 0.00/ -50.09  
35%AMP

->9209ARN<B>53 #1 0.781 -977.18 -269.41 PTE= 0.00/ -49.40  
35%AMP

->9309ARN<C>53 #1 0.781 -977.18 -269.41 PTE= 0.00/ -49.40  
35%AMP

->9709ARN<D>53 #1 0.410 461.63 -265.60 PTE= 0.00/ -12.55  
18%AMP

->9809ARN<E>53 #1 0.667 840.63 -208.42 PTE= 0.00/ -33.18  
30%AMP

->9909ARN<F>53 #1 0.665 837.83 -208.01 PTE= 0.00/ -32.96  
 30%AMP

710MTG73553 743.54 27.2 0.00 0.00 0.0-1013.2 0.00  
 0.00 1.012

-> 310MTG31553 #1M TFX 0.027 23.09 -25.27 PTE= 0.00/ 1.46  
 4%MVA 1.000

-> 310MTG31553 #2M TFX 0.026 22.45 -25.00 PTE= 0.00/ 0.95  
 4%MVA 1.000

->9109ARN<A>53 #1M 0.793 989.76 -250.70 PTE= 5.66/-471.46  
 36%AMP

->9110MTG<A>53 #1 1.172-1506.24 -105.53 PTE= 0.00/-124.76  
 50%AMP

->9209ARN<B>53 #1M 0.788 982.86 -251.45 PTE= 5.68/-471.47  
 35%AMP

->9309ARN<C>53 #1M 0.788 982.86 -251.45 PTE= 5.68/-471.47  
 35%AMP

->9310MTG<C>53 #1 1.163-1494.80 -103.75 PTE= 0.00/-122.86  
 50%AMP

1056MAN73C53 736.65 19.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00 1.002

-> 705MAN73553 #1M TFX 0.044 -0.03 -55.77 PTE= 0.00/ 0.20  
 18%MVA 1.000

->5295MAN-CS75 #1 TFX 0.044 0.03 55.77 PTE= 0.03/ 1.79  
 18%MVA 1.000

9109ARN<A>53 740.66 19.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00 1.008

-> 709ARN73553 #1M 0.786 984.10 220.75 PTE= 0.00/ -50.09  
 35%AMP

-> 710MTG73553 #1 0.786 -984.10 -220.75 PTE= 5.66/-471.46  
 35%AMP

9110MTG<A>53 741.79 22.5 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00 1.009

-> 710MTG73553 #1M 1.172 1506.24 -19.23 PTE= 0.00/-124.76  
 50%AMP

-> 760CHU73552 #1 1.172-1506.24 19.23 PTE=15.28/-306.87  
 50%AMP

9209ARN<B>53	740.70	19.7	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00			1.008				
-> 709ARN73553 #1M 0.781 977.18 220.01 PTE= 0.00/ -49.40							
35%AMP							
-> 710MTG73553 #1 0.781 -977.18 -220.01 PTE= 5.68/-471.47							
35%AMP							
9225PERI	53	762.68	11.5	0.00	0.00	0.0	0.00
0.00			1.038				
-> 706MIC73553 #1M 0.895-1181.08 48.59 PTE= 8.83/-428.60							
47%AMP							
-> 9825PERI 53 #1M 0.895 1181.08 -48.59 PTE= 1.30/ -54.50							
47%AMP							
9309ARN<C>53	740.70	19.7	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00			1.008				
-> 709ARN73553 #1M 0.781 977.18 220.01 PTE= 0.00/ -49.40							
35%AMP							
-> 710MTG73553 #1 0.781 -977.18 -220.01 PTE= 5.68/-471.47							
35%AMP							
9310MTG<C>53	741.82	22.5	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00			1.009				
-> 710MTG73553 #1M 1.163 1494.80 -19.11 PTE= 0.00/-122.86							
50%AMP							
-> 760CHU73552 #1 1.163-1494.80 19.11 PTE=15.52/-309.08							
50%AMP							
9321BER<C>53	756.95	13.1	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00			1.030				
-> 705MAN73553 #1 1.069-1379.48 246.21 PTE= 7.31/-209.90							
56%AMP							
-> 9921BER<F>55 #1M 1.069 1379.48 -246.21 PTE= 0.00/ -72.20							
64%AMP							
9709ARN<D>53	740.92	23.6	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							

1.008

-> 706MIC73553 #1 0.410 461.63 -253.05 PTE= 1.05/-469.92  
18%AMP

-> 709ARN73553 #1M 0.410 -461.63 253.05 PTE= 0.00/ -12.55  
18%AMP

9809ARN<E>53 743.18 24.6 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

1.011

-> 705MAN73553 #1 0.667 840.63 -175.25 PTE= 3.26/-383.73  
30%AMP

-> 709ARN73553 #1M 0.667 -840.63 175.25 PTE= 0.00/ -33.18  
30%AMP

9825PERI 53 761.21 14.2 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

1.036

-> 704LTD73554 #1M 0.895 1179.78 5.91 PTE= 7.92/-356.35  
29%AMP

-> 9225PERI 53 #1 0.895-1179.78 -5.91 PTE= 1.30/ -54.50  
47%AMP

9909ARN<F>53 743.19 24.6 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

1.011

-> 705MAN73553 #1 0.665 837.83 -175.05 PTE= 3.24/-383.77  
30%AMP

-> 709ARN73553 #1M 0.665 -837.83 175.05 PTE= 0.00/ -32.96  
30%AMP

704LTD73554 740.64 6.8 0.00 0.00 0.0 -335.1 0.00  
0.00

1.008

-> 304LTD315 9 #1M TFX 0.080 101.85 -7.30 PTE= 0.01/ 2.29  
8%MVA 1.006

-> 304LTD315 9 #2M TFX 0.080 101.85 -7.30 PTE= 0.01/ 2.29  
8%MVA 1.006

-> 703LEV73555 #1 1.752 2238.76 -190.83 PTE= 2.98/ 13.72  
39%AMP

-> 717JCA73554 #1M 0.996-1270.60 138.20 PTE= 1.62/ -61.64  
23%AMP

-> 804LTDSTQ75 #1 TFX 0.074 0.00 94.41 PTE= 0.00/ 0.77  
17%MVA 1.000

->9825PERI 53 #1 0.956-1171.86 -362.27 PTE= 7.92/-356.35  
 31%AMP

715CHE73554 742.39 1.8 0.00 0.00 0.0 -336.7 0.00  
 0.00  
 1.010

-> 315CHE315 7 #1M TFX 0.338 433.93 -33.11 PTE= 0.24/ 21.78  
 23%MVA 1.016

-> 315CHE315 7 #2M TFX 0.338 433.93 -33.11 PTE= 0.24/ 21.78  
 23%MVA 1.016

-> 315CHE315 7 #3M TFX 0.335 430.15 -32.78 PTE= 0.24/ 21.58  
 22%MVA 1.016

-> 702DUV73556 #1 0.587 744.60 123.25 PTE= 0.52/-101.67  
 12%AMP

-> 714LVDRYE57 #1 1.225-1574.95 -35.93 PTE= 13.96/-328.10  
 25%AMP

-> 719CHA73555 #1M 0.838 1034.30 -303.13 PTE= 2.05/-207.79  
 14%AMP

-> 770BRU73554 #1 1.168-1501.97 -21.86 PTE= 3.77/-111.40  
 39%AMP

717JCA73554 738.75 8.5 0.00 0.00 0.0 -1166.8 0.00  
 0.00  
 1.005

-> 317JCA315 9 #1M TFX 0.493 630.10 -10.93 PTE= 0.51/ 47.31  
 32%MVA 1.000

-> 702DUV73556 #1M 0.783 959.89 -286.39 PTE= 5.84/-488.47  
 26%AMP

-> 704LTD73554 #1 1.006 1272.23 -199.84 PTE= 1.62/ -61.64  
 23%AMP

-> 718SAG73554 #1 0.958-1215.98 -153.43 PTE= 8.41/-355.21  
 22%AMP

-> 730CAR73555 #1M 0.988 1246.57 -212.12 PTE= 7.23/-306.64  
 33%AMP

-> 731CHOUAN57 #1 1.137-1446.40 -152.06 PTE= 11.63/-392.93  
 22%AMP

-> 731CHOUAN57 #2 1.137-1446.40 -152.06 PTE= 11.63/-392.93  
 22%AMP

718SAG73554 741.78 16.9 0.00 0.00 0.0 -504.2 0.00  
 0.00  
 1.009

-> 717JCA73554 #1M 0.966 1224.39 -201.78 PTE= 8.41/-355.21  
 23%AMP

-> 731CHOUAN57 #1M 0.828-1062.56 -51.25 PTE= 3.03/-258.78  
 16%AMP  
 ->1618SAG16141 #1M TCV 0.174 213.84 64.96 PTE= 0.17/ 12.79  
 26%MVA 1.014  
 ->1618SAG16141 #2M TCV 0.174 213.84 64.90 PTE= 0.17/ 12.66  
 26%MVA 1.014  
 ->9218SAG<B>54 #1 0.546 -589.51 -381.00 PTE= 0.00/ -19.35  
 28%AMP

770BRU73554 743.10 5.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.011

-> 81BRU12012 #1M TCV 0.046 58.29 10.36 PTE= 0.03/ 1.94  
 11%MVA 1.024  
 -> 714LVDRYE57 #1 1.262-1622.31 67.85 PTE=10.44/-209.21  
 42%AMP  
 -> 715CHE73554 #1M 1.172 1505.74 -89.54 PTE= 3.77/-111.40  
 40%AMP  
 ->1170BRU12012 #1M TCV 0.046 58.28 11.33 PTE= 0.03/ 1.92  
 11%MVA 1.024

9218SAG<B>54 730.88 15.6 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.994

-> 706MIC73553 #1M 0.546 -589.51 -361.65 PTE= 2.50/-611.03  
 28%AMP  
 -> 718SAG73554 #1M 0.546 589.51 361.65 PTE= 0.00/ -19.35  
 28%AMP

68CAR73555 743.37 -2.4 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.011

->2030CAR23018 #1M TFX 0.000 0.00 0.00 PTE= 0.00/ 1.34  
 0%MVA 1.000

701BCV73555 741.78 -0.7 2.08 2.00 0.0 -336.1 0.00  
 0.00  
 1.009

-> 301BCV315 1 #1M TFX 0.277 353.26 -43.80 PTE= 0.17/ 13.49  
 30%MVA 1.013  
 -> 301BCV315 1 #2M TFX 0.277 353.26 -43.24 PTE= 0.17/ 14.62  
 27%MVA 1.013  
 -> 301BCV315 1 #3M TFX 0.282 360.16 -42.35 PTE= 0.18/ 18.60  
 27%MVA 1.013

-> 702DUV73556 #1 1.128-1418.73 292.92 PTE= 1.67/ -36.01  
 29%AMP  
 -> 707NIC73555 #1 0.391 -450.62 -220.89 PTE= 0.45/-276.47  
 13%AMP  
 -> 708HER73555 #1 0.658 727.22 -431.41 PTE= 0.47/ -55.30  
 11%AMP  
 -> 730CAR73555 #1 0.642 -820.69 81.74 PTE= 0.75/-121.69  
 21%AMP  
 ->2001BCV230 5 #1M TFX 0.252 322.94 24.04 PTE= 0.14/ 17.05  
 24%MVA 1.000  
 ->2001BCV230 5 #2M TFX 0.230 294.06 22.77 PTE= 0.10/ 16.14  
 22%MVA 1.000  
 ->2001BCV230 5 #3M TFX 0.216 277.05 22.11 PTE= 0.11/ 14.52  
 21%MVA 1.000

703LEV73555 742.14 4.7 0.00 0.00 0.0-1354.9 0.00  
 0.00  
 1.010

-> 75LEV315 9 #1M TCV 0.001 0.00 0.79 PTE= 0.00/ 0.79  
 0%MVA 0.948  
 -> 76LEV23019 #1M TCV 0.006 0.00 7.17 PTE= 0.00/ 7.17  
 1%MVA 1.076  
 -> 303LEV315 9 #1M TCV 0.621 782.40 -160.57 PTE= 0.94/ 61.69  
 66%MVA 0.973  
 -> 303LEV315 9 #2M TCV 0.608 767.35 -148.30 PTE= 0.78/ 60.11  
 59%MVA 0.973  
 -> 704LTD73554 #1M 1.747-2235.79 204.55 PTE= 2.98/ 13.72  
 39%AMP  
 -> 707NIC73555 #1 0.773 965.38 -233.52 PTE= 2.21/-230.77  
 26%AMP  
 -> 707NIC73555 #2 0.795 994.25 -235.61 PTE= 2.25/-228.74  
 18%AMP  
 -> 790APA73555 #1M 0.688 842.24 -268.24 PTE= 1.01/-169.26  
 15%AMP  
 ->2003LEV23019 #1M TCV 0.196 251.22 -16.77 PTE= 0.10/ 10.40  
 19%MVA 1.025  
 ->2003LEV23019 #2M TCV 0.178 227.94 -14.94 PTE= 0.07/ 8.62  
 17%MVA 1.025  
 ->2003LEV23019 #3M TCV 0.099 115.12 -53.54 PTE= 0.12/ 6.39  
 25%MVA 1.011  
 ->9821BER<E>55 #1M 1.059-1342.83 -225.38 PTE= 9.24/-380.40  
 34%AMP  
 ->9921BER<F>55 #1M 1.076-1367.30 -210.59 PTE=12.19/-384.60  
 35%AMP

707NIC73555 746.42 0.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.0 0.00  
 0.00

1.016

-> 701BCV73555 #1M 0.352 451.07 -55.58 PTE= 0.45/-276.47  
 11%AMP  
 -> 703LEV73555 #1M 0.745 -963.17 2.75 PTE= 2.21/-230.77  
 25%AMP  
 -> 703LEV73555 #2M 0.767 -992.01 6.87 PTE= 2.25/-228.74  
 18%AMP  
 -> 708HER73555 #1M 0.402 489.19 -176.15 PTE= 0.65/-339.18  
 13%AMP  
 -> 755CAN73555 #1M 0.108 113.99 -81.65 PTE= 0.02/-200.10  
 1%AMP  
 -> 2007NIC23018 #1M TCV 0.241 295.81 99.49 PTE= 0.16/ 14.65  
 24%MVA 1.023  
 -> 2007NIC23018 #2M TCV 0.241 295.81 99.49 PTE= 0.16/ 14.65  
 24%MVA 1.023  
 -> 2007NIC23018 #3M TCV 0.253 309.30 104.77 PTE= 0.15/ 16.19  
 25%MVA 1.023

708HER73555 745.81 -1.3 0.00 0.00 0.0 -169.9 0.00  
 0.00

1.015

-> 308HER315 1 #1M TFX 0.164 209.20 -29.05 PTE= 0.12/ 8.99  
 11%MVA 1.000  
 -> 308HER315 1 #2M TFX 0.413 528.28 -73.18 PTE= 0.25/ 19.43  
 27%MVA 1.000  
 -> 308HER315 1 #3M TFX 0.397 508.21 -68.96 PTE= 0.20/ 19.41  
 26%MVA 1.000  
 -> 701BCV73555 #1M 0.633 -726.75 376.11 PTE= 0.47/ -55.30  
 11%AMP  
 -> 707NIC73555 #1 0.399 -488.54 -163.03 PTE= 0.65/-339.18  
 13%AMP  
 -> 719CHA73555 #1M 0.166 -30.41 -211.78 PTE= 0.02/-133.90  
 2%AMP

719CHA73555 748.63 -1.3 0.00 0.00 0.0 -171.2 0.00  
 0.00

1.019

-> 319CHA315 1 #1M TFX 0.345 423.60 -145.48 PTE= 0.17/ 13.87  
 23%MVA 1.000  
 -> 319CHA315 1 #2M TFX 0.126 153.96 -53.61 PTE= 0.08/ 5.01  
 23%MVA 1.000  
 -> 319CHA315 1 #3M TFX 0.346 424.27 -145.31 PTE= 0.17/ 14.72  
 23%MVA 1.000  
 -> 708HER73555 #1 0.064 30.43 77.89 PTE= 0.02/-133.90  
 1%AMP

-> 715CHE73554 #1 0.799-1032.26 95.34 PTE= 2.05/-207.79  
 14%AMP

730CAR73555 739.18 0.8 0.00 0.00 0.0 -333.8 0.00  
 0.00 1.006

-> 701BCV73555 #1M 0.661 821.45 -203.43 PTE= 0.75/-121.69  
 22%AMP

-> 717JCA73554 #1 0.971-1239.34 -94.52 PTE= 7.23/-306.64  
 32%AMP

->2030CAR23018 #1M TFX 0.328 417.89 -35.82 PTE= 0.28/ 25.58  
 31%MVA 1.000

755CAN73555 745.71 0.7 0.00 0.00 0.0 -339.7 0.00  
 0.00 1.015

-> 707NIC73555 #1 0.127 -113.97 -118.44 PTE= 0.02/-200.10  
 2%AMP

-> 790APA73555 #1 0.494 -624.67 -130.09 PTE= 0.80/-247.77  
 8%AMP

->2055CAN23020 #1M TCV 0.203 260.67 -22.77 PTE= 0.09/ 6.72  
 20%MVA 1.008

->2055CAN23020 #2M TCV 0.203 260.67 -22.77 PTE= 0.09/ 6.72  
 20%MVA 1.008

->2055CAN23020 #3M TCV 0.172 217.29 -45.62 PTE= 0.07/ 6.03  
 17%MVA 1.005

790APA73555 746.93 2.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00 1.016

-> 703LEV73555 #1 0.655 -841.23 98.98 PTE= 1.01/-169.26  
 15%AMP

-> 755CAN73555 #1M 0.492 625.47 -117.68 PTE= 0.80/-247.77  
 8%AMP

->2090APA23019 #1M TFX 0.084 107.88 9.35 PTE= 0.02/ 4.77  
 8%MVA 1.000

->2090APA23019 #2M TFX 0.084 107.88 9.35 PTE= 0.02/ 4.77  
 8%MVA 1.000

9221BER<B>55 756.79 13.1 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00 1.030

-> 705MAN73553 #1 1.046-1352.08 224.11 PTE= 5.47/-208.82  
 55%AMP

->9821BER<E>55 #1M 1.046 1352.08 -224.11 PTE= 0.00/ -69.10  
 63%AMP

9821BER<E>55	751.49	16.0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
			1.022				

-> 703LEV73555 #1 1.046 1352.08 -155.01 PTE= 9.24/-380.40  
 34%AMP

->9221BER<B>55 #1 1.046-1352.08 155.01 PTE= 0.00/ -69.10  
 63%AMP

9921BER<F>55	751.08	16.0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
			1.022				

-> 703LEV73555 #1 1.069 1379.48 -174.00 PTE=12.19/-384.60  
 35%AMP

->9321BER<C>53 #1 1.069-1379.48 174.00 PTE= 0.00/ -72.20  
 64%AMP

702DUV73556	738.66	0.7	0.00	0.00	0.0	-666.6	0.00
			1.005				

-> 302DUV315 1 #1M TFX 0.495 631.97 38.41 PTE= 0.44/ 42.27  
 32%MVA 1.013

-> 302DUV315 1 #2M TFX 0.495 631.97 38.41 PTE= 0.44/ 42.27  
 32%MVA 1.013

-> 302DUV315 1 #3M TFX 0.495 631.97 38.43 PTE= 0.44/ 42.30  
 33%MVA 1.013

-> 700EQUILI90 #1M 0.021 25.49 10.17 PTE= 0.00/ 0.37

-> 701BCV73555 #1M 1.140 1420.39 -328.93 PTE= 1.67/ -36.01  
 29%AMP

-> 714LVDRYE57 #1 1.285-1643.67 -36.09 PTE=16.68/-277.03  
 42%AMP

-> 715CHE73554 #1M 0.608 -744.08 -224.92 PTE= 0.52/-101.67  
 12%AMP

-> 717JCA73554 #1 0.762 -954.05 -202.08 PTE= 5.84/-488.47  
 25%AMP

107LG373557	757.59	46.7	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
			1.031				

-> 722CHISSI57 #1M 0.361 472.08 -33.04 PTE= 0.04/ 0.42  
 11%AMP

->8441LG3A5 59 #1M TFX 0.121 -158.76 2.04 PTE= 0.11/ 9.11  
 30%MVA 1.000

->8528LG3\*\*259 #1M TFX 0.240 -313.32 31.00 PTE= 0.44/ 37.20  
 60%MVA 1.000

112LG373557 757.60 46.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.031

-> 722CHISSI57 #1M 0.483 632.85 -40.36 PTE= 0.08/ 0.76  
 15%AMP

->8529LG3\*\*259 #1M TFX 0.245 -321.41 16.00 PTE= 0.45/ 37.42  
 61%MVA 1.000

->8530LG3\*\*259 #1M TFX 0.238 -311.44 24.36 PTE= 0.42/ 36.86  
 59%MVA 1.000

113LG473557 755.22 48.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.028

-> 724TILLY 57 #1 0.375 486.88 56.69 PTE= 0.05/ 0.46  
 9%AMP

->8454LG4A4 59 #1M TFX 0.187 -244.95 -12.06 PTE= 0.26/ 15.10  
 31%MVA 1.000

->8455LG4A5 59 #1M TFX 0.188 -241.92 -44.63 PTE= 0.26/ 16.49  
 31%MVA 1.000

114LG473557 755.18 49.0 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 1.027

-> 724TILLY 57 #1 0.567 741.52 4.19 PTE= 0.10/ 1.04  
 14%AMP

->8456LG4A6 59 #1M TFX 0.192 -251.32 -14.19 PTE= 0.23/ 15.97  
 32%MVA 1.000

->8582LG4\*\*259 #1M TFX 0.375 -490.20 10.00 PTE= 0.89/ 61.84  
 63%MVA 1.000

713ABI73557 735.41 26.2 0.00 0.00 0.0-1321.5 0.00  
 0.00  
 1.001

-> 313ABI31541 #1M TFX 0.128 162.44 -3.83 PTE= 0.09/ 6.76  
 22%MVA 1.000

-> 313ABI31541 #2M TFX 0.082 104.91 -2.96 PTE= 0.07/ 4.08  
 17%MVA 1.000

-> 783CHI73557 #1 0.303 -331.17 -197.80 PTE= 0.16/-189.96  
 5%AMP

->1046ABI73C57 #1 TFX 0.036 0.03 45.55 PTE= 0.00/ 0.15  
 17%MVA 1.000  
 ->1047ABI73C57 #1 TFX 0.030 0.02 38.25 PTE= 0.00/ 0.11  
 14%MVA 1.000  
 ->9113ABI<A>57 #1 1.347-1688.85 -302.90 PTE= 0.00/-135.27  
 58%AMP  
 ->9115LVD<A>57 #1M 1.240 1576.36 -97.67 PTE=16.77/-343.94  
 47%AMP  
 ->9213ABI<B>57 #1 1.347-1688.85 -302.90 PTE= 0.00/-135.27  
 58%AMP  
 ->9215LVD<B>57 #1M 1.320 1679.81 -67.61 PTE=17.26/-272.01  
 50%AMP  
 ->9313ABI<C>57 #1 1.207-1494.49 -361.99 PTE= 0.00/-108.65  
 52%AMP  
 ->9315LVD<C>57 #1M 1.320 1679.81 -67.61 PTE=17.26/-272.01  
 50%AMP

714LVDRYE57 733.68 16.0 0.00 0.00 0.0-1972.9 0.00  
 0.00  
 0.998

-> 702DUV73556 #1M 1.320 1660.35 -240.95 PTE=16.68/-277.03  
 44%AMP  
 -> 715CHE73554 #1M 1.271 1588.90 -292.17 PTE=13.96/-328.10  
 26%AMP  
 -> 770BRU73554 #1M 1.303 1632.74 -277.06 PTE=10.44/-209.21  
 43%AMP  
 ->5814LVDSTQ75 #1 TFX 0.053 0.00 67.93 PTE= 0.00/ 0.45  
 5%MVA 1.000  
 ->9105VER73C57 #1 TFX 0.003 2.70 2.26 PTE= 0.00/ 0.00  
 0%MVA 1.000  
 ->9114LVD<A>57 #1 1.272-1559.59 -424.57 PTE= 0.00/ -89.15  
 48%AMP  
 ->9214LVD<B>57 #1 1.346-1662.55 -404.18 PTE= 0.00/ -99.89  
 51%AMP  
 ->9314LVD<C>57 #1 1.346-1662.55 -404.18 PTE= 0.00/ -99.89  
 51%AMP

720RAD73557 752.33 48.5 0.00 0.00 0.0 -345.7 0.00  
 0.00  
 1.024

-> 320RAD31558 #1M TFX 0.448 -563.16 153.68 PTE= 0.26/ 23.82  
 29%MVA 1.000  
 -> 320RAD31558 #2M TFX 0.469 -588.72 161.96 PTE= 0.32/ 24.80  
 30%MVA 1.000  
 -> 749LG273557 #1M 0.841-1067.73 -245.37 PTE= 0.34/ -33.68  
 14%AMP

-> 749LG273557 #2M 0.868-1103.13 -250.86 PTE= 0.36/ -31.92  
 14%AMP  
 ->9180NEM<A>57 #1M 1.277 1661.37 -82.58 PTE=15.84/-329.22  
 58%AMP  
 ->9280NEM<B>57 #1M 1.277 1661.37 -82.58 PTE=15.84/-329.22  
 58%AMP

722CHISSI57 757.57 46.7 0.00 0.00 0.0 -175.3 0.00  
 0.00  
 1.031

-> 107LG373557 #1 0.361 -472.04 33.46 PTE= 0.04/ 0.42  
 11%AMP  
 -> 112LG373557 #1 0.483 -632.77 41.12 PTE= 0.08/ 0.76  
 15%AMP  
 -> 723LMOYNE57 #1 0.271 341.86 -98.38 PTE= 0.26/-298.05  
 4%AMP  
 -> 749LG273557 #1 0.365 -456.15 -147.38 PTE= 0.66/-428.79  
 6%AMP  
 -> 750LG373557 #1 0.237 -310.65 13.95 PTE= 0.02/ 0.18  
 7%AMP  
 ->9182ALB<A>57 #1M 1.166 1529.75 -18.05 PTE=12.30/-353.61  
 53%AMP

723LMOYNE57 754.73 45.5 0.00 0.00 0.0 -695.9 0.00  
 0.00  
 1.027

-> 722CHISSI57 #1M 0.303 -341.60 -199.67 PTE= 0.26/-298.05  
 5%AMP  
 -> 724TILLY 57 #1 0.657 -849.80 -127.40 PTE= 1.79/-303.36  
 21%AMP  
 -> 724TILLY 57 #2 0.657 -849.80 -127.40 PTE= 1.79/-303.36  
 21%AMP  
 -> 724TILLY 57 #3 0.682 -884.24 -114.03 PTE= 1.86/-278.60  
 22%AMP  
 -> 782ALBNEL57 #2M 0.990 1287.90 -130.25 PTE= 8.07/-444.97  
 19%AMP  
 ->9382ALB<C>57 #1M 1.253 1637.54 2.86 PTE=13.27/-296.71  
 48%AMP

724TILLY 57 755.07 48.9 0.00 0.00 0.0 -522.4 0.00  
 0.00  
 1.027

-> 113LG473557 #1M 0.375 -486.83 -56.23 PTE= 0.05/ 0.46  
 9%AMP

-> 114LG473557 #1M 0.567 -741.41 -3.15 PTE= 0.10/ 1.04  
 14%AMP  
 -> 324TILLY 58 #1M TFX 0.243 -316.58 26.48 PTE= 0.10/ 7.61  
 16%MVA 0.961  
 -> 324TILLY 58 #2M TFX 0.243 -316.58 26.48 PTE= 0.10/ 7.61  
 16%MVA 0.961  
 -> 723LMOYNE57 #1M 0.665 851.59 -175.95 PTE= 1.79/-303.36  
 22%AMP  
 -> 723LMOYNE57 #2M 0.665 851.59 -175.95 PTE= 1.79/-303.36  
 22%AMP  
 -> 723LMOYNE57 #3M 0.689 886.10 -164.57 PTE= 1.86/-278.60  
 23%AMP  
 -> 764LG473557 #1M 0.557 -727.88 0.49 PTE= 0.10/ 1.00  
 14%AMP

731CHOUAN57 739.58 21.4 0.00 0.00 0.0-1169.4 0.00  
 0.00  
 1.006

-> 717JCA73554 #1M 1.154 1458.03 -240.87 PTE=11.63/-392.93  
 22%AMP  
 -> 717JCA73554 #2M 1.154 1458.03 -240.87 PTE=11.63/-392.93  
 22%AMP  
 -> 718SAG73554 #1 0.847 1065.59 -207.53 PTE= 3.03/-258.78  
 16%AMP  
 -> 831CHMSTQ75 #1 TFX 0.140 0.00 178.72 PTE= 0.00/ 3.06  
 15%MVA 1.000  
 ->5831CHMSTQ75 #1 TFX 0.135 0.00 172.51 PTE= 0.00/ 2.85  
 14%MVA 1.000  
 ->9131CHM<A>57 #1 1.029-1287.31 -286.35 PTE= 0.00/ -79.01  
 57%AMP  
 ->9231CHM<B>57 #1 1.085-1363.50 -269.14 PTE= 0.00/ -87.75  
 60%AMP  
 ->9331CHM<C>57 #1 1.061-1330.84 -275.91 PTE= 0.00/ -83.92  
 58%AMP

749LG273557 754.10 49.0 0.00 0.00 0.0 -521.1 0.00  
 0.00  
 1.026

-> 209LG213.59 #1M TFX 0.001 0.00 1.12 PTE= 0.00/ 1.12  
 0%MVA 1.000  
 -> 720RAD73557 #1 0.834 1068.07 211.69 PTE= 0.34/ -33.68  
 14%AMP  
 -> 720RAD73557 #2 0.861 1103.49 218.94 PTE= 0.36/ -31.92  
 14%AMP  
 -> 722CHISSI57 #1M 0.411 456.82 -281.40 PTE= 0.66/-428.79  
 6%AMP

->8421LG2A1 59 #1M TFX 0.221 -286.04 -36.12 PTE= 0.47/ 35.93  
 53%MVA 1.000  
 ->8422LG2A2 59 #1M TFX 0.220 -284.04 -41.98 PTE= 0.47/ 33.18  
 53%MVA 1.000  
 ->8423LG2A3 59 #1M TFX 0.214 -276.94 -40.18 PTE= 0.57/ 33.77  
 52%MVA 1.000  
 ->8424LG2A4 59 #1M TFX 0.219 -283.92 -35.57 PTE= 0.59/ 33.50  
 53%MVA 1.000  
 ->8425LG2A5 59 #1M TFX 0.222 -286.93 -37.72 PTE= 0.58/ 34.59  
 54%MVA 1.000  
 ->8426LG2A6 59 #1M TFX 0.220 -284.95 -32.80 PTE= 0.57/ 32.33  
 53%MVA 1.000  
 ->8427LG2A7 59 #1M TFX 0.225 -290.93 -42.38 PTE= 0.54/ 36.82  
 55%MVA 1.000  
 ->8428LG2A8 59 #1M TFX 0.221 -287.00 -34.93 PTE= 0.52/ 33.25  
 54%MVA 1.000  
 ->8430LG2A1059 #1M TFX 0.216 -280.03 -31.85 PTE= 0.46/ 32.22  
 52%MVA 1.000  
 ->8431LG2A1159 #1M TFX 0.217 -279.03 -50.06 PTE= 0.47/ 33.96  
 53%MVA 1.000  
 ->8432LG2A1259 #1M TFX 0.220 -285.03 -41.14 PTE= 0.48/ 33.84  
 53%MVA 1.000  
 ->8433LG2A1359 #1M TFX 0.216 -279.93 -38.20 PTE= 0.58/ 33.81  
 52%MVA 1.000  
 ->8434LG2A1459 #1M TFX 0.220 -285.92 -34.15 PTE= 0.60/ 33.89  
 53%MVA 1.000  
 ->8435LG2A1559 #1M TFX 0.221 -285.84 -39.04 PTE= 0.67/ 35.07  
 54%MVA 1.000  
 ->8436LG2A1659 #1M TFX 0.222 -287.83 -37.50 PTE= 0.68/ 34.52  
 54%MVA 1.000  
 ->9380NEM<C>57 #1 1.255 1635.98 -97.78 PTE=16.42/-381.99  
 57%AMP

750LG373557 757.59 46.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00

1.031

-> 722CHISSI57 #1M 0.237 310.67 -13.76 PTE= 0.02/ 0.18  
 7%AMP  
 ->8437LG3A1 59 #1M TFX 0.121 -158.83 4.97 PTE= 0.11/ 9.10  
 30%MVA 1.000  
 ->8439LG3A3 59 #1M TFX 0.116 -151.84 8.80 PTE= 0.10/ 9.90  
 29%MVA 1.000

764LG473557 755.17 49.0 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00

1.027

-> 724TILLY 57 #1	0.557	727.98	0.51	PTE= 0.10/	1.00
14%AMP					
->8453LG4A3 59 #1M TFX	0.185	-241.16	10.75	PTE= 0.22/	15.63
31%MVA 1.000					
->8581LG4**259 #1M TFX	0.372	-486.81	-11.26	PTE= 0.88/	59.46
63%MVA 1.000					
780NEM73557 740.72 35.8 0.00	0.00	0.00	0.0	0.0-1005.5	0.00
	1.008				
-> 782ALBNEL57 #1M	0.016	-5.00	-19.61	PTE= 0.00/	-89.05
0%AMP					
-> 880NEMSTQ75 #1 TFX	0.081	0.00	103.80	PTE= 0.00/	1.03
8%MVA 1.000					
->5880NEMSTQ75 #1 TFX	0.108	0.00	139.13	PTE= 0.00/	1.85
11%MVA 1.000					
->9113ABI<A>57 #1	1.329	1704.11	-50.49	PTE=15.26/-218.12	
57%AMP					
->9180NEM<A>57 #1	1.308-1645.53	-329.84		PTE= 0.00/	-83.20
59%AMP					
->9213ABI<B>57 #1	1.329	1704.11	-50.49	PTE=15.26/-218.12	
57%AMP					
->9280NEM<B>57 #1	1.308-1645.53	-329.84		PTE= 0.00/	-83.20
59%AMP					
->9313ABI<C>57 #1	1.178	1507.41	-102.49	PTE=12.91/-355.84	
51%AMP					
->9380NEM<C>57 #1	1.294-1619.55	-365.64		PTE= 0.00/	-81.43
58%AMP					
782ALBNEL57 740.38 35.8 0.00	0.00	0.00	0.0	0.0-1339.4	0.00
	1.007				
-> 723LMOYNE57 #2	1.028-1279.83	-314.72		PTE= 8.07/-444.97	
20%AMP					
-> 780NEM73557 #1	0.054	5.00	-69.44	PTE= 0.00/	-89.05
1%AMP					
-> 882ALBSTQ75 #1 TFX	0.103	0.00	132.10	PTE= 0.00/	1.67
11%MVA 1.000					
->5882ALBSTQ75 #1 TFX	0.105	0.00	134.22	PTE= 0.00/	1.72
11%MVA 1.000					
->9182ALB<A>57 #1	1.225-1517.45	-408.57		PTE= 0.00/	-73.01
55%AMP					
->9183CHI<A>57 #1	1.064	1354.65	-164.35	PTE=10.54/-427.65	
56%AMP					
->9283CHI<B>57 #1	1.200	1533.24	-133.00	PTE=12.53/-347.85	
63%AMP					

->9382ALB<C>57 #1 1.301-1624.27 -381.88 PTE= 0.00/ -82.31  
 50%AMP  
 ->9383CHI<C>57 #1 1.197 1528.67 -133.76 PTE=12.46/-350.33  
 62%AMP

783CHI73557 738.59 26.9 0.00 0.00 0.0-1332.9 0.00  
 0.00  
 1.005

-> 713ABI73557 #1M 0.259 331.33 7.84 PTE= 0.16/-189.96  
 4%AMP  
 -> 883CHISTQ75 #1 TFX 0.023 0.00 28.87 PTE= 0.00/ 0.08  
 2%MVA 1.000  
 ->1683CHI16141 #1M TCV 0.020 22.96 10.24 PTE= 0.01/ 0.73  
 8%MVA 0.990  
 ->1683CHI16141 #2M TCV 0.020 22.63 -11.80 PTE= 0.01/ 0.75  
 8%MVA 0.978  
 ->5883CHISTQ75 #1 TFX 0.025 0.00 31.97 PTE= 0.00/ 0.10  
 2%MVA 1.000  
 ->9131CHM<A>57 #1M 1.018 1294.53 -138.36 PTE= 7.22/-345.70  
 56%AMP  
 ->9183CHI<A>57 #1 1.086-1344.11 -351.21 PTE= 0.00/ -87.92  
 55%AMP  
 ->9231CHM<B>57 #1M 1.076 1371.21 -127.21 PTE= 7.71/-308.59  
 59%AMP  
 ->9283CHI<B>57 #1 1.216-1520.71 -325.00 PTE= 0.00/-110.16  
 62%AMP  
 ->9331CHM<C>57 #1M 1.051 1338.37 -132.11 PTE= 7.53/-324.10  
 58%AMP  
 ->9383CHI<C>57 #1 1.212-1516.21 -326.14 PTE= 0.00/-109.57  
 62%AMP

1046ABI73C57 733.54 26.2 0.00 0.00 0.0 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.998

-> 713ABI73557 #1M TFX 0.036 -0.02 -45.41 PTE= 0.00/ 0.15  
 17%MVA 1.000  
 ->5293ABI-CS75 #1 TFX 0.036 0.02 45.41 PTE= 0.02/ 1.31  
 17%MVA 1.029

1047ABI73C57 733.84 26.2 0.00 0.00 0.0 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.998

-> 293ABI-CS75 #1 TFX 0.030 0.02 38.14 PTE= 0.02/ 0.99  
 14%MVA 1.029

-> 713ABI73557 #1M TFX 0.030 -0.02 -38.14 PTE= 0.00/ 0.11  
14%MVA 1.000

9105VER73C57 733.52 15.9 2.70 2.26 0.0 0.0 0.00  
0.00  
0.998

-> 714LVDRYE57 #1M TFX 0.003 -2.70 -2.26 PTE= 0.00/ 0.00  
0%MVA 1.000

9113ABI<A>57 727.42 21.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00  
0.990

-> 713ABI73557 #1M 1.347 1688.85 167.63 PTE= 0.00/-135.27  
58%AMP

-> 780NEM73557 #1M 1.347-1688.85 -167.63 PTE=15.26/-218.12  
58%AMP

9114LVD<A>57 724.11 12.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00  
0.985

-> 714LVDRYE57 #1M 1.272 1559.59 335.42 PTE= 0.00/ -89.15  
48%AMP

->9115LVD<A>57 #1M 1.272-1559.59 -335.42 PTE= 0.00/ -89.15  
48%AMP

9115LVD<A>57 716.69 9.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00  
0.975

-> 713ABI73557 #1 1.272-1559.59 -246.27 PTE=16.77/-343.94  
48%AMP

->9114LVD<A>57 #1 1.272 1559.59 246.27 PTE= 0.00/ -89.15  
48%AMP

9131CHM<A>57 731.24 18.0 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00  
0.995

-> 731CHOUAN57 #1M 1.029 1287.31 207.34 PTE= 0.00/ -79.01  
57%AMP

-> 783CHI73557 #1 1.029-1287.31 -207.34 PTE= 7.22/-345.70  
57%AMP

9180NEM<A>57	734.39	33.0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							
		0.999					
-> 720RAD73557 #1				1.308-1645.53	-246.64	PTE=15.84/-329.22	
59%AMP							
-> 780NEM73557 #1M				1.308 1645.53	246.64	PTE= 0.00/ -83.20	
59%AMP							
9182ALB<A>57	732.19	33.2	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							
		0.996					
-> 722CHISSI57 #1				1.225-1517.45	-335.55	PTE=12.30/-353.61	
55%AMP							
-> 782ALBNEL57 #1M				1.225 1517.45	335.55	PTE= 0.00/ -73.01	
55%AMP							
9183CHI<A>57	728.18	23.3	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							
		0.991					
-> 782ALBNEL57 #1M				1.086-1344.11	-263.29	PTE=10.54/-427.65	
57%AMP							
-> 783CHI73557 #1M				1.086 1344.11	263.29	PTE= 0.00/ -87.92	
55%AMP							
9213ABI<B>57	727.42	21.7	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							
		0.990					
-> 713ABI73557 #1M				1.347 1688.85	167.63	PTE= 0.00/-135.27	
58%AMP							
-> 780NEM73557 #1M				1.347-1688.85	-167.63	PTE=15.26/-218.12	
58%AMP							
9214LVD<B>57	724.76	12.7	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							
		0.986					
-> 714LVDRYE57 #1M				1.346 1662.55	304.29	PTE= 0.00/ -99.89	
51%AMP							
->9215LVD<B>57 #1M				1.346-1662.55	-304.29	PTE= 0.00/ -99.89	
51%AMP							
9215LVD<B>57	718.28	9.3	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00
0.00							

0.977

-> 713ABI73557 #1 1.346-1662.55 -204.40 PTE=17.26/-272.01  
51%AMP

->9214LVD<B>57 #1 1.346 1662.55 204.40 PTE= 0.00/ -99.89  
51%AMP

9231CHM<B>57 731.97 17.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

0.996

-> 731CHOUAN57 #1M 1.085 1363.50 181.38 PTE= 0.00/ -87.75  
60%AMP

-> 783CHI73557 #1 1.085-1363.50 -181.38 PTE= 7.71/-308.59  
60%AMP

9280NEM<B>57 734.39 33.0 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

0.999

-> 720RAD73557 #1 1.308-1645.53 -246.64 PTE=15.84/-329.22  
59%AMP

-> 780NEM73557 #1M 1.308 1645.53 246.64 PTE= 0.00/ -83.20  
59%AMP

9283CHI<B>57 729.45 22.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

0.992

-> 782ALBNEL57 #1M 1.216-1520.71 -214.85 PTE=12.53/-347.85  
63%AMP

-> 783CHI73557 #1M 1.216 1520.71 214.85 PTE= 0.00/-110.16  
62%AMP

9313ABI<C>57 724.94 22.2 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

0.986

-> 713ABI73557 #1M 1.207 1494.49 253.35 PTE= 0.00/-108.65  
52%AMP

-> 780NEM73557 #1M 1.207-1494.49 -253.35 PTE=12.91/-355.84  
52%AMP

9314LVD<C>57 724.76 12.7 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
0.00

0.986

-> 714LVDRYE57 #1M 1.346 1662.55 304.29 PTE= 0.00/ -99.89  
 51%AMP  
 ->9315LVD<C>57 #1M 1.346-1662.55 -304.29 PTE= 0.00/ -99.89  
 51%AMP

9315LVD<C>57 718.28 9.3 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.977

-> 713ABI73557 #1 1.346-1662.55 -204.40 PTE=17.26/-272.01  
 51%AMP  
 ->9314LVD<C>57 #1 1.346 1662.55 204.40 PTE= 0.00/ -99.89  
 51%AMP

9331CHM<C>57 731.68 17.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.995

-> 731CHOUAN57 #1M 1.061 1330.84 191.99 PTE= 0.00/ -83.92  
 58%AMP  
 -> 783CHI73557 #1 1.061-1330.84 -191.99 PTE= 7.53/-324.10  
 58%AMP

9380NEM<C>57 733.58 33.1 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.998

-> 749LG273557 #1M 1.294-1619.55 -284.21 PTE=16.42/-381.99  
 58%AMP  
 -> 780NEM73557 #1M 1.294 1619.55 284.21 PTE= 0.00/ -81.43  
 58%AMP

9382ALB<C>57 732.88 33.1 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.997

-> 723LMOYNE57 #1 1.301-1624.27 -299.57 PTE=13.27/-296.71  
 50%AMP  
 -> 782ALBNEL57 #1M 1.301 1624.27 299.57 PTE= 0.00/ -82.31  
 50%AMP

9383CHI<C>57 729.40 22.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 0.00  
 0.992

-> 782ALBNEL57 #1M 1.212-1516.21 -216.57 PTE=12.46/-350.33  
 63%AMP

-> 783CHI73557 #1M 1.212 1516.21 216.57 PTE= 0.00/-109.57  
 62%AMP

804LTDSTQ75 734.58 6.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -93.64 GEN 0.999

-> 704LTD73554 #1M TFX 0.074 0.00 -93.64 PTE= 0.00/ 0.77  
 17%MVA 1.000

831CHMSTQ75 726.92 21.4 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -175.66 GEN 0.989

-> 731CHOUAN57 #1M TFX 0.140 0.00 -175.66 PTE= 0.00/ 3.06  
 14%MVA 1.000

880NEMSTQ75 733.38 35.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -102.77 GEN 0.998

-> 780NEM73557 #1M TFX 0.081 0.00 -102.77 PTE= 0.00/ 1.03  
 8%MVA 1.000

882ALBSTDQ75 731.03 35.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -130.43 GEN 0.995

-> 782ALBNEL57 #1M TFX 0.103 0.00 -130.43 PTE= 0.00/ 1.67  
 11%MVA 1.000

883CHISTQ75 736.54 26.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -28.79 GEN 1.002

-> 783CHI73557 #1M TFX 0.023 0.00 -28.79 PTE= 0.00/ 0.08  
 2%MVA 1.000

5814LVDSTQ75 728.83 16.0 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -67.49 GEN 0.992

-> 714LVDRYE57 #1M TFX 0.053 0.00 -67.49 PTE= 0.00/ 0.45  
 5%MVA 1.000

5831CHMSTQ75 727.36 21.4 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
 -169.66 GEN

0.990

-> 731CHOUAN57 #1M TFX 0.135 0.00 -169.66 PTE= 0.00/ 2.85  
14%MVA 1.000

5880NEMSTQ75 730.88 35.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
-137.28 GEN

0.994

-> 780NEM73557 #1M TFX 0.108 0.00 -137.28 PTE= 0.00/ 1.85  
11%MVA 1.000

5882ALBSTQ75 730.88 35.8 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
-132.50 GEN

0.994

-> 782ALBNEL57 #1M TFX 0.105 0.00 -132.50 PTE= 0.00/ 1.72  
11%MVA 1.000

5883CHISTQ75 736.32 26.9 0.00 0.00 0.0 0.0 0.00  
-31.87 GEN

1.002

-> 783CHI73557 #1M TFX 0.025 0.00 -31.87 PTE= 0.00/ 0.10  
2%MVA 1.000

700EQUILI90 735.00 0.0 0.00 0.00 0.0 0.0 -25.49  
-9.79 EQU

1.000

-> 702DUV73556 #1 0.021 -25.49 -9.79 PTE= 0.00/ 0.37

## ***Annexe IV: Réseau Hydro-Québec***

### **Description des lignes**

Ligne	Extrémités	
1	760	1359
2	760	2359
3	760	3359
4	760	4359
5	760	5359
6	760	6359
7	760	9110
8	760	9310
9	705	305
10	705	305
11	705	305
12	705	311
13	705	706
14	705	1056
15	705	9221
16	705	9321
17	705	9809
18	705	9909
19	706	9
20	706	306
21	706	306
22	706	306
23	706	307
24	706	309
25	706	9218

26	706	9225
27	706	9709
28	709	9109
29	709	9209
30	709	9309
31	709	9709
32	709	9809
33	709	9909
34	710	310
35	710	310
36	710	9109
37	710	9110
38	710	9209
39	710	9309
40	710	9310
41	1056	5295
42	9225	9825
43	9321	9921
44	9825	704
45	704	304
46	704	304
47	704	703
48	704	717
49	704	804
50	715	315
51	715	315
52	715	315

53	715	702
54	715	714
55	715	719
56	715	770
57	717	317
58	717	702
59	717	718
60	717	730
61	717	731
62	717	731
63	718	731
64	718	1618
65	718	1618
66	718	9218
67	770	81
68	770	714
69	770	1170
70	68	2030
71	701	301
72	701	301
73	701	301
74	701	702
75	701	707
76	701	708
77	701	730
78	701	2001
79	701	2001

80	701	2001
81	703	75
82	703	76
83	703	303
84	703	303
85	703	707
86	703	707
87	703	790
88	703	2003
89	703	2003
90	703	2003
91	703	9821
92	703	9921
93	707	703
94	707	708
95	707	755
96	707	2007
97	707	2007
98	707	2007
99	708	308
100	708	308
101	708	308
102	708	719
103	719	319
104	719	319
105	719	319
106	730	2030

107	755	790
108	755	2055
109	755	2055
110	755	2055
111	790	2090
112	790	2090
113	9221	9821
114	702	302
115	702	302
116	702	302
117	702	700
118	702	714
119	107	722
120	107	8441
121	107	8528
122	112	722
123	112	8529
124	112	8530
125	113	724
126	113	8454
127	113	8455
128	114	724
129	114	8456
130	114	8582
131	713	313
132	713	313
133	713	783

134	713	1046
135	713	1047
136	713	9113
137	713	9115
138	713	9213
139	713	9215
140	713	9313
141	713	9315
142	714	5814
143	714	9105
144	714	9114
145	714	9214
146	714	9314
147	720	320
148	720	320
149	720	749
150	720	749
151	720	9180
152	720	9280
153	722	723
154	722	749
155	722	750
156	722	9182
157	723	724
158	723	724
159	723	724
160	723	782

161	723	9382
162	724	324
163	724	324
164	724	723
165	724	723
166	724	764
167	731	717
168	731	831
169	731	5831
170	731	9131
171	731	9231
172	731	9331
173	749	209
174	749	720
175	749	8421
176	749	8422
177	749	8423
178	749	8424
179	749	8425
180	749	8426
181	749	8427
182	749	8428
183	749	8430
184	749	8431
185	749	8432
186	749	8433
187	749	8434

188	749	8435
189	749	8436
190	749	9380
191	750	8437
192	750	8439
193	764	8453
194	764	8581
195	780	782
196	780	880
197	780	5880
198	780	9113
199	780	9180
200	780	9213
201	780	9280
202	780	9313
203	780	9380
204	782	882
205	782	5882
206	782	9182
207	782	9183
208	782	9283
209	782	9382
210	782	9383
211	783	883
212	783	1683
213	783	1683
214	783	5883

215	783	9131
216	783	9183
217	783	9231
218	783	9283
219	783	9331
220	783	9383
221	1046	5293
222	1047	293
223	9114	9115
224	9214	9215
225	9314	9315

## **Annexe V: Réseau Hydro-Québec**

### **Description des boucles**

Boucle	Ligne								
1	<b>26</b>	42	44	48	59	66	25		
2	28	<b>36</b>	38	29					
3	28	<b>36</b>	39	30					
4	13	<b>18</b>	27	33	31				
5	<b>17</b>	18	33	32					
6	7	<b>8</b>	37	40					
7	56	<b>68</b>	54						
8	<b>47</b>	48	53	55	87	94	95	102	107
9	<b>47</b>	48	76	77	87	94	95	107	60
10	59	<b>63</b>	61						
11	59	<b>63</b>	62						
12	53	55	76	102	<b>74</b>				
13	<b>76</b>	94	75						
14	<b>87</b>	95	107	85					
15	<b>87</b>	95	107	86					
16	13	15	26	42	44	<b>47</b>	113	91	
17	13	16	26	42	43	44	<b>47</b>	92	
18	<b>87</b>	95	107	93					
19	53	56	<b>68</b>	118					
20	<b>174</b>	149							
21	<b>174</b>	150							
22	153	154	160	174	195	199	<b>151</b>		
23	153	154	160	174	195	201	<b>152</b>		

24	153	160	206	<b>156</b>							
25	<b>157</b>	158									
26	157	<b>159</b>									
27	160	209	<b>161</b>								
28	157	<b>164</b>									
29	157	<b>165</b>									
30	59	<b>63</b>	167								
31	153	154	160	195	203	<b>190</b>					
32	136	140	202	<b>198</b>							
33	138	140	202	<b>200</b>							
34	133	140	195	<b>202</b>	216	207					
35	133	140	195	202	218	<b>208</b>					
36	133	140	195	202	220	<b>210</b>					
37	170	171	215	<b>217</b>							
38	170	172	215	<b>219</b>							

**Annexe VI: Réseau Hydro-Québec****Tableau caractéristique**

## Boucle 1:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
26	-1.1899 + 0.4772i
42	-1.2578 + 0.0478i
44	-1.3093 - 0.0146i
48	0.1776 - 0.0216i
59	0.1870 + 0.0202i
66	0.2574 + 0.1666i
25	0.2389 - 0.1016i

## Boucle 2:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
28	0.9841 + 0.2708i
36	0.9752 - 0.2471i
38	-0.5016 + 0.1269i
29	-0.5258 - 0.1484i

## Boucle 3:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
28	-1.0384 - 0.2891i
36	-0.9898 + 0.2507i
39	0.5089 - 0.1288i
30	0.5333 + 0.1503i

## Boucle 4:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
13	-1.6394 - 0.4026i
18	8.3459 + 2.0873i
27	-2.3796 - 1.1280i
33	8.5950 - 2.1234i
31	-2.3896 + 1.3692i

## Boucle 5:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
17	8.3737 + 2.0848i
18	-5.3510 - 1.3122i
33	-5.3964 + 1.3686i

32	8.6235 – 2.1276i
----	------------------

## Boucle 6:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
7	1.5463 – 0.3296i
8	-1.5103 + 0.3282i
37	1.6687 + 0.1276i
40	-1.6289 - 0.1214i

## Boucle 7:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0 e+03
56	1.5827 + 0.0263i
68	1.6223 – 0.0678i
54	-0.6788 - 0.0206i

## Boucle 8:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
47	-2.2388 + 0.1908i
48	-0.8638 + 0.0876i
53	0.0057 + 0.0011i
55	0.0992 - 0.0269i

87	$-0.1388 + 0.0446i$
94	$-0.1654 + 0.0591i$
95	$0.0245 - 0.0176i$
102	$0.0025 + 0.0203i$
107	$-0.1261 - 0.0254i$
58	$0.3517 - 0.1010i$

Boucle 9:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	$1.0e+03 *$
47	$-2.2388 + 0.1908i$
48	$-0.8638 + 0.0876i$
76	$0.0545 - 0.0313i$
77	$0.2531 - 0.0189i$
87	$-0.1388 + 0.0446i$
94	$-0.1654 + 0.0591i$
95	$0.0245 - 0.0176i$
107	$-0.1261 - 0.0254i$
60	$0.5136 - 0.0815i$

## Boucle 10:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
59	0.7642 + 0.1028i
63	1.0626 + 0.0512i
61	-0.5871 - 0.0642i

## Boucle 11:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
59	0.7642 + 0.1028i
63	1.0626 + 0.0512i
62	-0.5871 - 0.0642i

## Boucle 12:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
53	0.3463 + 0.0566i
55	-0.7269 + 0.2055i
76	0.2706 - 0.1615i
102	-0.0204 - 0.1516i
74	1.4187 - 0.2929i

## Boucle 13:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
76	-7.2722 + 4.3141i
94	3.7397 - 1.3359i
75	-2.1168 - 1.0551i

## Boucle 14:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
87	-8.4224 + 2.6824i
95	1.1484 - 0.8150i
107	-6.1405 - 1.3009i.
85	2.2167 - 0.5216i

## Boucle 15:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
87	-8.4224 + 2.6824i
95	1.1484 - 0.8150i
107	-6.1405 - 1.3009i
86	2.3170 - 0.5331i

## Boucle 16:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
13	0.1189 + 0.0328i
15	0.7239 - 0.2271i
26	-0.7123 + 0.2777i
42	-0.7021 + 0.0225i
44	-0.6922 - 0.0097i
47	-2.2388 + 0.1908i
113	0.7035 - 0.1140i
91	0.6614 + 0.1121i

## Boucle 17:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
13	0.1189 + 0.0328i
16	0.7445 - 0.2442i
26	-0.7123 + 0.2777i
42	-0.7021 + 0.0225i
43	0.7234 - 0.1297i
44	-0.6922 - 0.0097i
47	-2.2388 + 0.1908i
92	0.6803 + 0.1023i

## Boucle 18:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
87	-8.4224 + 2.6824i
95	1.1484 - 0.8150i
107	-6.1405 - 1.3009i
93	-0.7874 + 0.2827i

Boucle 19:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
53	0.1086 + 0.0187i
56	1.5827 + 0.0263i
68	1.6223 - 0.0678i
118	-0.5999 - 0.0181i

Boucle 20:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
174	-0.4568 + 0.2814i
149	1.0048 + 0.2316i

## Boucle 21:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
174	-0.4568 + 0.2814i
150	1.0067 + 0.2307i

## Boucle 22:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
153	0.0546 - 0.0154i
154	0.1577 + 0.0513i
160	0.0951 - 0.0085i
174	-0.0071 + 0.0045i
195	0.0005 + 0.0022i
199	-1.7906 - 0.3653i
151	-1.6614 + 0.0826i

## Boucle 23:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
153	0.0546 - 0.0154i
154	0.1577 + 0.0513i
160	0.0951 - 0.0085i
174	-0.0071 + 0.0045i

195	$0.0005 + 0.0022i$
201	$-1.7906 - 0.3653i$
152	$-1.6614 + 0.0826i$

## Boucle 24:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	$1.0e+03 *$
153	$0.1971 - 0.0567i$
160	$0.3397 - 0.0322i$
206	$-1.6448 - 0.4485i$
156	$-1.5297 + 0.0181i$

## Boucle 25:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	$1.0e+02 *$
157	$8.4980 + 1.2740i$
158	$-4.2696 - 0.6409i$

## Boucle 26:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
157	-4.1844 - 0.6281i
159	8.8424 + 1.1403i

## Boucle 27:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
160	0.7522 - 0.0770i
209	-1.7369 - 0.4134i
161	-1.6375 - 0.0029i

## Boucle 28:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+02 *
157	4.1844 + 0.6281i
164	7.2788 - 0.0049i

## Boucle 29:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
157	0.4184 + 0.0628i
165	-1.4580 + 0.2409i

## Boucle 30:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
59	0.7642 + 0.1028i
63	1.0626 + 0.0512i
167	-0.3793 + 0.0776i

## Boucle 31:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
153	0.0548 - 0.0155i
154	0.1585 + 0.0514i
160	0.0955 - 0.0086i
195	0.0006 + 0.0022i
203	-1.7799 - 0.4091i
190	-1.6360 + 0.0978i

## Boucle 32:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
136	-1.7837 - 0.3241i
140	0.5248 + 0.1283i
202	0.5030 - 0.0342i
198	-1.7041 + 0.0505i

## Boucle 33:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
138	-1.7837 - 0.3241i
140	0.5248 + 0.1283i
202	0.5030 - 0.0342i
200	-1.7041 + 0.0505i

## Boucle 34:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
133	0.0738 + 0.0443i
140	-1.5960 - 0.3911i
195	-0.0011 - 0.0043i
202	-1.5074 + 0.1025i
216	0.1889 + 0.0528i

207	0.1781 - 0.0191i
-----	------------------

**Boucle 35:**

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
133	-0.0852 - 0.0510i
140	0.2304 + 0.0595i
195	0.0012 + 0.0048i
202	0.2170 - 0.0122i
218	-1.6162 - 0.3497i
208	-1.5332 + 0.1330i

**Boucle 36**

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
133	-0.0850 - 0.0508i
140	0.2297 + 0.0593i
195	0.0012 + 0.0048i
202	0.2164 - 0.0121i
220	-1.6117 - 0.3509i
210	-1.5287 + 0.1338i

## Boucle 37

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
170	0.6040 + 0.1360i
171	-1.4120 - 0.2808i
215	0.5934 - 0.0623i
217	-1.3712 + 0.1272i

## Boucle 38:

Ligne en panne	Variation de la puissance mesurée
	1.0e+03 *
170	0.5895 + 0.1328i
172	-1.3795 - 0.2881i
215	0.5792 - 0.0608i
219	-1.3384 + 0.1321i

## **Annexe VII: Réseau Hydro-Québec**

### **Mesures bruitées utilisées pour le premier test**



L7028	->9809ARN<E>53	#1M	0.689	-853.35	-207.00	PTE=		
3.42/-375.97	31%AMP							
L7029	->9909ARN<F>53	#1M	0.687	-850.51	-207.25	PTE=		
3.40/-376.04	31%AMP							
706MIC73553	738.09	20.3	0.00	0.00	0.0	-827.4		
0.00	0.00							
1.001								
T8	31 ->	9MICOUA53	#1M	TFX	0.264	-334.94	-33.41	PTE=
0.46/ 35.61	52%MVA	0.952						
T1	31 ->	306MICOUA53	#1M	TFX	0.286	-359.79	61.79	PTE=
0.11/ 15.27	18%MVA	0.952						
T2	31 ->	306MICOUA53	#2M	TFX	0.286	-359.79	61.79	PTE=
0.11/ 15.27	18%MVA	0.952						
T3	31 ->	306MICOUA53	#3M	TFX	0.116	-144.95	29.53	PTE=
0.08/ 6.96	21%MVA	0.953						
T4	31 ->	307MICOUA53	#1M	TFX	0.215	-290.26	-8.11	PTE=
0.23/ 23.54	44%MVA	0.953						
T9	31 ->	309MICOUA53	#1M	TFX	0.262	-333.27	-19.76	PTE=
0.44/ 36.45	48%MVA	0.952						
L7011	->	705MAN73553	#1M		0.448	567.89	-66.12	PTE=
0.42/-145.15	10%AMP							
L7019	->9218SAG<B>54	#1	0.346	402.67	-178.82	PTE=		
1.32/-620.99	18%AMP							
L7004-B	->9225PERI	53 #1			1.050	1200.93	-499.87	
PTE=10.01/-392.27	55%AMP							
L7027	->9709ARN<D>53	#1M	0.386	-428.44	-241.43	PTE=		
0.92/-468.14	17%AMP							
709ARN73553	747.10	21.9	798.38	-52.76	0.0	-1530.2		
0.00	0.00							
1.015								
CXC41	->9109ARN<A>53	#1	0.791	-984.12	-278.76	PTE=		
0.00/ -50.76	35%AMP							
CXC42	->9209ARN<B>53	#1	0.786	-977.21	-277.26	PTE=		
0.00/ -50.07	35%AMP							
CXC43	->9309ARN<C>53	#1	0.786	-977.21	-277.26	PTE=		
0.00/ -50.07	35%AMP							
CXC47	->9709ARN<D>53	#1	0.380	429.35	-237.47	PTE=		
0.00/ -10.75	17%AMP							
CXC48	->9809ARN<E>53	#1	0.681	856.77	-203.60	PTE=		
0.00/ -34.62	30%AMP							
CXC49	->9909ARN<F>53	#1	0.679	853.91	-203.19	PTE=		
0.00/ -34.39	30%AMP							
710MTG73553	739.84	26.7	0.00	0.00	0.0	-1005.8		
0.00	0.00							
1.008								
T2	31 ->	310MTG31553	#1M	TFX	0.027	23.10	-25.28	PTE=
0.00/ 1.45	4%MVA	1.000						

T3	31	->	310MTG31553	#2M	TFX	0.026	22.45	-25.01	PTE=	
0.00/	0.95		4%MVA	1.000						
L7031		->	9109ARN<A>53	#1M		0.793	989.82	-237.12	PTE=	
5.71/-465.08			36%AMP							
CXC53		->	9110MTG<A>53	#1		1.178	-1506.31	-122.20	PTE=	
0.00/-125.89			51%AMP							
L7032		->	9209ARN<B>53	#1M		0.788	982.93	-237.95	PTE=	
5.73/-465.12			35%AMP							
L7033		->	9309ARN<C>53	#1M		0.788	980.39	-235.89	PTE=	
5.73/-465.12			35%AMP							
CXC51		->	9310MTG<C>53	#1		1.169	-1494.90	-120.30	PTE=	
0.00/-123.98			50%AMP							
			1056MAN73C53	737.18	19.1	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00									
				1.002						
T24C	73	->	705MAN73553	#1M	TFX	0.016	-0.01	19.92	PTE=	
0.00/	0.05		6%MVA	1.000						
T24	73	->	5295MAN-CS75	#1	TFX	0.016	0.01	-19.92	PTE=	
0.00/	0.44		6%MVA	1.000						
			9109ARN<A>53	737.87	19.2	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00									
				1.003						
CXC41		->	709ARN73553	#1M		0.791	984.12	227.99	PTE=	
0.00/	-50.76		35%AMP							
L7031		->	710MTG73553	#1		0.791	-984.11	-227.97	PTE=	
5.71/-465.08			35%AMP							
			9110MTG<A>53	738.41	21.9	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00									
				1.005						
CXC53		->	710MTG73553	#1M		1.178	1506.31	-3.69	PTE=	
0.00/-125.89			51%AMP							
L7053		->	760CHU73552	#1			1.178	-1506.28	3.71	
PTE=15.34/-301.34			51%AMP							
			9209ARN<B>53	739.91	19.2	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00									
				1.003						
CXC42		->	709ARN73553	#1M		0.786	977.21	227.19	PTE=	
0.00/	-50.07		35%AMP							
L7032		->	710MTG73553	#1		0.786	-978.30	-226.17	PTE=	
5.73/-465.12			35%AMP							
			9225PERI	53	755.53	10.4	0.00	0.00	0.0	
0.00	0.00									
				1.028						
L7004-B		->	706MIC73553	#1M			0.960	-1254.93	44.60	
PTE=10.01/-392.27			50%AMP							
CXC1		->	9825PERI	53	#1M		0.960	1254.94	-44.56	PTE=
1.49/	-62.68		50%AMP							

0.00	9309ARN<C>53	734.91	19.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.003				
CXC43	-> 709ARN73553 #1M			0.786	977.21	227.19	PTE=
0.00/-50.07	35%AMP						
L7033	-> 710MTG73553 #1			0.786	-977.20	-227.17	PTE=
5.73/-465.12	35%AMP						
0.00	9310MTG<C>53	739.45	22.0	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.005				
CXC51	-> 710MTG73553 #1M			1.169	1494.90	-3.68	PTE=
0.00/-123.98	50%AMP						
L7051	-> 760CHU73552 #1				1.169-1494.87		3.71
PTE=15.58/-303.58	50%AMP						
0.00	9321BER<C>53	750.67	12.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.023				
L7023-B	-> 705MAN73553 #1			1.112-1430.14		227.74	PTE=
7.85/-193.05	58%AMP						
CXC4	-> 9921BER<F>55 #1M			1.112	1430.16	-227.72	PTE=
0.00/-78.20	67%AMP						
0.00	9709ARN<D>53	739.33	23.1	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.005				
L7027	-> 706MIC73553 #1			0.380	429.35	-226.71	PTE=
0.92/-468.14	17%AMP						
CXC47	-> 709ARN73553 #1M			0.380	-429.35	226.73	PTE=
0.00/-10.75	17%AMP						
0.00	9809ARN<E>53	740.87	24.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.007				
L7028	-> 705MAN73553 #1			0.681	856.77	-168.97	PTE=
3.42/-375.97	30%AMP						
CXC48	-> 709ARN73553 #1M			0.681	-856.77	168.98	PTE=
0.00/-34.62	30%AMP						
0.00	9825PERI 53	753.24	13.3	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.026				
L7004-A	-> 704LTD73554 #1M			0.960	1254.46	18.44	PTE=
9.07/-324.07	31%AMP						
CXC1	-> 9225PERI 53 #1			0.960-1253.55		-19.12	PTE=
1.49/-62.68	50%AMP						
0.00	9909ARN<F>53	738.88	24.1	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			1.007				
L7029	-> 705MAN73553 #1			0.679	853.91	-168.79	PTE=
3.40/-376.04	30%AMP						

CXC49	->	709ARN73553	#1M	0.679	-853.91	168.80	PTE=
0.00/	-34.39	30%AMP					
	704LTD73554	734.49	5.3	0.00	0.00	0.0	-328.6
0.00	0.00						
		0.998					
T1	31	-> 304LTD315	9 #1M TFX	0.078	99.11	-9.73	PTE=
0.01/	2.23	8%MVA 1.006					
T2	31	-> 304LTD315	9 #2M TFX	0.078	99.11	-9.73	PTE=
0.01/	2.23	8%MVA 1.006					
L7010		-> 703LEV73555	#1	1.611	2026.30	-288.79	PTE=
2.51/	1.69	36%AMP					
L7020		-> 717JCA73554	#1M	0.816	-980.16	338.56	PTE=
1.12/	-70.87	18%AMP					
T32	73	-> 804LTDSTQ75	#1 TFX	0.013	0.00	-16.74	PTE=
0.00/	0.02	3%MVA 1.000					
L7004-A		-> 9825PERI	53 #1	1.016	-1244.39	-342.20	PTE=
9.07/-324.07	33%AMP						
	715CHE73554	735.96	1.2	0.00	0.00	0.0	-330.0
0.00	0.00						
		1.000					
T4	31	-> 315CHE315	7 #1M TFX	0.350	443.03	-41.55	PTE=
0.26/	23.17	23%MVA 1.016					
T5	31	-> 315CHE315	7 #2M TFX	0.350	443.03	-41.55	PTE=
0.26/	23.17	23%MVA 1.016					
T6	31	-> 315CHE315	7 #3M TFX	0.347	439.17	-41.14	PTE=
0.25/	22.97	23%MVA 1.016					
L7046		-> 702DUV73556	#1	0.706	896.02	74.79	PTE=
0.74/	-93.24	14%AMP					
L7044		-> 714LVDRYE57	#1		1.339	-1704.20	15.33
PTE=	16.74/-234.72	27%AMP					
L7042		-> 719CHA73555	#1M	0.912	1114.74	-324.75	PTE=
2.43/-192.17	16%AMP						
L7047		-> 770BRU73554	#1	1.282	-1631.84	29.00	PTE=
4.56/	-85.02	43%AMP					
	717JCA73554	726.91	6.6	0.00	0.00	0.0	-1132.8
0.00	0.00						
		0.990					
T2	31	-> 317JCA315	9 #1M TFX	0.460	578.28	-47.09	PTE=
0.45/	41.38	30%MVA 1.000					
L7017		-> 702DUV73556	#1M	0.696	823.40	-328.18	PTE=
4.32/-507.75	23%AMP						
L7020		-> 704LTD73554	#1	0.843	981.27	-419.43	PTE=
1.12/	-70.87	19%AMP					
L7018		-> 718SAG73554	#1		1.228	-1566.48	-96.24
PTE=	14.09/-218.91	29%AMP					
L7002		-> 730CAR73555	#1M	0.909	1205.75	-294.29	PTE=
5.97/-324.63	30%AMP						

L7025	->	731CHOUAN57	#1	0.770	-965.05	-9.81
PTE=10.90/ -43.19 15%AMP						
L7024	->	731CHOUAN57	#2	0.770	-975.05	-3.72
PTE=10.90/ -43.01 15%AMP						
718SAG73554 730.59 17.7				0.00	0.00	0.0 -490.4
0.00	0.00	0.995				
L7018	->	717JCA73554	#1M	1.237	1560.57	-142.66
PTE=14.09/-218.91 29%AMP						
L7026	->	731CHOUAN57	#1M	1.252	-1606.90	-21.12
PTE=6.92/-142.85 24%AMP						
T1	16	->1618SAG16141	#1M TCV	0.176	213.88	69.29
0.18/	13.11	26%MVA	1.0 ( 7/17)			
T2	16	->1618SAG16141	#2M TCV	0.176	203.88	65.23
0.18/	12.98	26%MVA	1.0 ( 7/17)			
CXC15	->9218SAG<B>54	#1		0.480	-401.36	-457.14
0.00/	-14.94	25%AMP				
770BRU73554 735.53 5.6				0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00	0.999				
T3	12	->81BRU12012	#1M TCV	0.047	58.31	10.40
0.03/	1.97	11%MVA	1.0 (16/33)			
L7045	->	714LVDRYE57	#1	1.380	-1753.01	92.36
PTE=12.45/-141.77 46%AMP						
L7047	->	715CHE73554	#1M	1.289	1636.40	-114.02
4.56/	-85.02	44%AMP				
T2	12	->1170BRU12012	#1M TCV	0.047	58.30	11.36
0.03/	1.95	11%MVA	1.0 (16/33)			
9218SAG<B>54 715.19 16.8				0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00	0.977				
L7019	->	706MIC73553	#1M	0.480	-401.35	-442.17
PTE=1.32/-620.99 25%AMP						
CXC15	->	718SAG73554	#1M	0.480	401.36	442.20
0.00/	-14.94	25%AMP				
68CAR73555 738.19 -3.6				0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00	1.003				
T3	23	->2030CAR23018	#1M TFX	0.000	0.00	0.00
0.00/	1.32	0%MVA	1.000			
701BCV73555 737.58 -1.7				2.08	2.00	0.0 -330.5
0.00	0.00	1.001				
T2	31	->301BCV315	1 #1M TFX	0.279	351.71	-55.80
0.18/	13.59	30%MVA	1.013			
T3	31	->301BCV315	1 #2M TFX	0.279	350.71	-54.25
0.18/	14.71	27%MVA	1.013			

T4	31	->	301BCV315	1	#3M	TFX	0.284	357.56	-53.60	PTE=
0.18/	18.64	27%MVA	1.013							
L7009		->	702DUV73556	#1			1.269-1591.48		323.40	PTE=
2.11/	-25.19	33%AMP								
L7034		->	707NIC73555	#1			0.351	-387.37	-224.34	PTE=
0.34/-274.85		11%AMP								
L7036		->	708HER73555	#1			0.655	702.98	-449.35	PTE=
0.47/	-54.36	11%AMP								
L7014		->	730CAR73555	#1			0.553	-696.88	100.97	PTE=
0.57/-124.51		18%AMP								
T5	23	->2001BCV230	5	#1M	TFX	0.256	325.70	24.24	PTE=	
0.15/	17.60	24%MVA	1.000							
T7	23	->2001BCV230	5	#2M	TFX	0.233	296.58	22.96	PTE=	
0.11/	16.64	22%MVA	1.000							
T8	23	->2001BCV230	5	#3M	TFX	0.220	279.43	22.26	PTE=	
0.11/	14.99	21%MVA	1.000							
			703LEV73555							
				738.27		3.3	0.00	0.00	0.0-1333.6	
0.00	0.00									
					1.002					
T12	31	->	75LEV315	9	#1M	TCV	0.001	0.00	0.79	PTE=
0.00/	0.77	0%MVA	1.0 ( 5/17)							
T3	23	->	76LEV23019	#1M	TCV	0.006	0.00	7.06	PTE=	
0.00/	7.06	1%MVA	1.1 ( 8/15)							
T13	31	->	303LEV315	9	#1M	TCV	0.628	783.10	-168.37	PTE=
0.96/	63.01	66%MVA	1.0 ( 6/17)							
T14	31	->	303LEV315	9	#2M	TCV	0.615	768.05	-156.06	PTE=
0.80/	61.39	60%MVA	1.0 ( 6/17)							
L7010		->	704LTD73554	#1M			1.603-2043.79		290.47	PTE=
2.51/	1.69	36%AMP								
L7005		->	707NIC73555	#1			0.743	919.35	-247.74	PTE=
2.04/-231.05		25%AMP								
L7035		->	707NIC73555	#2			0.764	946.85	-229.75	PTE=
2.07/-229.17		18%AMP								
L7097		->	790APA73555	#1M			0.676	820.10	-266.23	PTE=
0.98/-167.19		15%AMP								
T1	23	->2003LEV23019	#1M	TCV	0.201	251.43	-51.30	PTE=		
0.11/	10.88	19%MVA	1.0 ( 8/17)							
T2	23	->2003LEV23019	#2M	TCV	0.183	228.22	-46.26	PTE=		
0.07/	9.07	18%MVA	1.0 ( 8/17)							
T4	23	->2003LEV23019	#3M	TCV	0.105	125.02	-68.84	PTE=		
0.14/	7.03	26%MVA	1.0 ( 7/15)							
L7008-A		->9821BER<E>55	#1M				1.104-1391.42		-256.42	
PTE=10.08/-346.87		36%AMP								
L7023-A		->9921BER<F>55	#1M				1.122-1416.89		-200.90	
PTE=13.30/-350.38		36%AMP								
			707NIC73555							
0.00	0.00									
					1.007					

L7034	->	701BCV73555	#1M	0.305	387.72	-50.51	PTE=
0.34/-274.85	10%AMP						
L7005	->	703LEV73555	#1M	0.715	-917.32	-3.31	PTE=
2.04/-231.05	24%AMP						
L7035	->	703LEV73555	#2M	0.737	-944.78	0.58	PTE=
2.07/-229.17	17%AMP						
L7006	->	708HER73555	#1M	0.366	435.06	-175.19	PTE=
0.52/-337.19	12%AMP						
L7096	->	755CAN73555	#1M	0.126	136.09	-86.68	PTE=
0.03/-196.66	2%AMP						
T2	23	->2007NIC23018	#1M TCV	0.245	296.59	102.83	PTE=
0.16/ 15.03	24%MVA 1.0 (10/17)						
T3	23	->2007NIC23018	#2M TCV	0.245	286.59	104.83	PTE=
0.16/ 15.03	24%MVA 1.0 (10/17)						
T4	23	->2007NIC23018	#3M TCV	0.256	310.07	109.57	PTE=
0.16/ 16.61	25%MVA 1.0 (10/17)						
		708HER73555	737.86 -2.3	0.00	0.00	0.0	-167.2
0.00	0.00						
			1.007				
T2	31	-> 308HER315 1	#1M TFX	0.166	209.59	-36.24	PTE=
0.13/ 9.17	11%MVA 1.000						
T3	31	-> 308HER315 1	#2M TFX	0.419	529.33	-91.29	PTE=
0.26/ 19.93	27%MVA 1.000						
T4	31	-> 308HER315 1	#3M TFX	0.403	519.26	-96.38	PTE=
0.21/ 19.89	26%MVA 1.000						
L7036	->	701BCV73555	#1M	0.629	-702.51	394.99	PTE=
0.47/ -54.36	11%AMP						
L7006	->	707NIC73555	#1	0.362	-434.54	-162.01	PTE=
0.52/-337.19	12%AMP						
L7038	->	719CHA73555	#1M	0.169	-111.13	-186.24	PTE=
0.03/-131.55	2%AMP						
		719CHA73555	741.29 -2.2	0.00	0.00	0.0	-168.3
0.00	0.00						
			1.010				
T1	31	-> 319CHA315 1	#1M TFX	0.349	423.31	-150.19	PTE=
0.18/ 14.12	23%MVA 1.000						
T2	31	-> 319CHA315 1	#2M TFX	0.127	153.84	-55.33	PTE=
0.08/ 5.11	23%MVA 1.000						
T3	31	-> 319CHA315 1	#3M TFX	0.350	423.98	-150.03	PTE=
0.18/ 14.96	23%MVA 1.000						
L7038	->	708HER73555	#1	0.096	111.15	54.69	PTE=
0.03/-131.55	1%AMP						
L7042	->	715CHE73554	#1	0.871-1112.30	132.59	PTE=	
2.43/-192.17	15%AMP						
		730CAR73555	733.38 -0.4	0.00	0.00	0.0	-327.6
0.00	0.00						
			0.996				

L7014	->	701BCV73555	#1M	0.578	697.44	-225.48	PTE=
0.57/-124.51	19%AMP						
L7002	->	717JCA73554	#1	0.876	-1119.78	-63.34	PTE=
5.97/-324.63	29%AMP						
T2	23	->2030CAR23018	#1M TFX	0.327	412.36	-41.82	PTE=
0.28/	25.42	31%MVA 1.000					
		755CAN73555	736.83	-0.6	0.00	0.00	0.0 -334.4
0.00	0.00						
			1.007				
L7096	->	707NIC73555	#1	0.137	-136.06	-109.99	PTE=
0.03/-196.66	2%AMP						
L7095	->	790APA73555	#1	0.481	-602.71	-129.94	PTE=
0.75/-244.74	8%AMP						
T2	23	->2055CAN23020	#1M TCV	0.204	250.72	-28.03	PTE=
0.09/	6.79	20%MVA 1.0 (10/17)					
T3	23	->2055CAN23020	#2M TCV	0.204	255.72	-25.03	PTE=
0.09/	6.79	20%MVA 1.0 (10/17)					
T4	23	->2055CAN23020	#3M TCV	0.173	217.34	-46.32	PTE=
0.07/	6.09	17%MVA 1.0 (10/17)					
		790APA73555	743.08	1.3	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00						
			1.008				
L7097	->	703LEV73555	#1	0.643	-819.12	99.04	PTE=
0.98/-167.19	14%AMP						
L7095	->	755CAN73555	#1M	0.479	603.46	-114.80	PTE=
0.75/-244.74	8%AMP						
T2	23	->2090APA23019	#1M TFX	0.084	107.83	7.89	PTE=
0.02/	4.72	8%MVA 1.000					
T3	23	->2090APA23019	#2M TFX	0.084	107.83	7.89	PTE=
0.02/	4.72	8%MVA 1.000					
		919CHA73555	770.04	-9.9	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00						
			1.052				
L7040	->	818MAS73599	#1	0.742	981.84	-66.04	PTE=
1.79/	45.56	9%AMP					
T13	12	->1119CHANY155	#1M TCV	0.001	0.00	1.08	PTE=
0.00/	1.08	0%MVA 1.0 (8/17)					
T11	12	->1219CHANY255	#1M TCV	0.250	-334.44	22.66	PTE=
0.27/	24.41	31%MVA 1.0 (8/17)					
T12	12	->1219CHANY255	#2M TCV	0.246	-328.21	21.61	PTE=
0.28/	24.26	34%MVA 1.0 (8/17)					
T14	12	->1219CHANY255	#3M TCV	0.246	-329.18	21.69	PTE=
0.29/	24.33	34%MVA 1.0 (8/17)					
		9221BER<B>55	750.50	12.2	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00						
			1.022				
L7008-B	->	705MAN73553	#1	1.088	-1401.46	205.35	PTE=
5.88/-192.37	57%AMP						

CXC2	->9821BER<E>55	#1M	1.088	1401.48	-205.33	PTE=
0.00/	-74.85	66%AMP				
	9821BER<E>55	747.78	15.3	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00		1.016			
L7008-A	-> 703LEV73555	#1	1.088	1401.51	-130.45	
PTE=10.08/-346.87	35%AMP					
CXC2	->9221BER<B>55	#1	1.088-1401.48	130.48	PTE=	
0.00/	-74.85	66%AMP				
	9921BER<F>55	745.36	15.3	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00		1.015			
L7023-A	-> 703LEV73555	#1	1.112	1430.18	-149.48	
PTE=13.30/-350.38	36%AMP					
CXC4	->9321BER<C>53	#1	1.112-1430.16	149.51	PTE=	
0.00/	-78.20	67%AMP				
	702DUV73556	731.08	-0.1	0.00	0.00	0.0 -654.8
0.00	0.00		0.996			
T2	31 -> 302DUV315	1 #1M TFX	0.504	639.05	9.06	PTE=
0.45/	43.82	32%MVA 1.013				
T3	31 -> 302DUV315	1 #2M TFX	0.504	639.05	9.06	PTE=
0.45/	43.82	32%MVA 1.013				
T5	31 -> 302DUV315	1 #3M TFX	0.504	639.05	9.07	PTE=
0.45/	43.85	33%MVA 1.013				
	-> 700EQUILI90	#1M	0.007	-3.68	-7.91	PTE=
0.00/	0.04					
L7009	-> 701BCV73555	#1M	1.281	1583.59	-358.58	PTE=
2.11/	-25.19	33%AMP				
L7016	-> 714LVDRYE57	#1	1.414-1792.75	32.22		
PTE=20.35/-166.03	47%AMP					
L7046	-> 715CHE73554	#1M	0.718	-895.28	-168.03	PTE=
0.74/	-93.24	15%AMP				
L7017	-> 717JCA73554	#1	0.654	-809.08	-179.58	PTE=
4.32/-507.75	21%AMP					
	107LG373557	755.89	49.2	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00		1.030			
L7067	-> 722CHISSI57	#1M	0.361	472.09	-27.99	PTE=
0.04/	0.42	11%AMP				
T2-S	13 ->8441LG3A5	59 #1M TFX	0.121	-158.76	-0.49	PTE=
0.11/	9.13	30%MVA 1.000				
T2-T	13 ->8528LG3**259	#1M TFX	0.240	-313.33	28.47	PTE=
0.44/	37.22	60%MVA 1.000				
	112LG373557	755.90	49.2	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00		1.030			

L7068	->	722CHI	SSI57	#1M	0.483	632.86	-35.33	PTE=	
0.08/	0.76	15%AMP							
T3-S	13	->8529LG3**259	#1M	TFX	0.245	-323.42	13.49	PTE=	
0.45/	37.46	61%MVA	1.000						
T3-T	13	->8530LG3**259	#1M	TFX	0.238	-311.44	22.84	PTE=	
0.42/	36.89	59%MVA	1.000						
		113LG473557	753.68	51.4	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00								
				1.027					
L7072	->	724TILLY	57	#1	0.376	486.88	62.31	PTE=	
0.05/	0.46	9%AMP							
T2-S	13	->8454LG4A4	59	#1M	TFX	0.188	-243.96	-14.98	PTE=
0.26/	15.14	31%MVA	1.000						
T2-T	13	->8455LG4A5	59	#1M	TFX	0.189	-241.92	-47.43	PTE=
0.26/	16.58	31%MVA	1.000						
		114LG473557	755.64	51.4	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00								
				1.027					
L7073	->	724TILLY	57	#1	0.567	741.53	9.80	PTE=	
0.10/	1.04	15%AMP							
T3-S	13	->8456LG4A6	59	#1M	TFX	0.193	-251.32	-17.00	PTE=
0.23/	16.01	32%MVA	1.000						
T3-T	13	->8582LG4**259	#1M	TFX	0.375	-490.21	7.20	PTE=	
0.89/	61.91	63%MVA	1.000						
		713ABI73557	730.47	28.2	0.00	0.00	0.0	-1307.4	
0.00	0.00								
				0.995					
T1	31	->313ABI31541	#1M	TFX	0.128	162.51	-5.03	PTE=	
0.09/	6.81	22%MVA	1.000						
T2	31	->313ABI31541	#2M	TFX	0.083	104.96	-3.74	PTE=	
0.07/	4.11	17%MVA	1.000						
L7090	->	783CHI	73557	#1	0.520	-631.87	-185.81	PTE=	
0.53/-176.91	8%AMP								
T62C	73	->1046ABI73C57	#1	TFX	0.030	-0.02	-38.57	PTE=	
0.00/	0.11	14%MVA	1.000						
T61C	73	->1047ABI73C57	#1	TFX	0.036	-0.01	-45.66	PTE=	
0.00/	0.15	17%MVA	1.000						
CXC82	->9113ABI<A>57	#1			1.390-1733.04	-312.96	PTE=		
0.00/-144.04	60%AMP								
L7094	->9115LVD<A>57	#1M			1.352	1713.03	-33.68		
PTE=20.17/-239.99	52%AMP								
CXC81	->9213ABI<B>57	#1			1.390-1733.04	-312.96	PTE=		
0.00/-144.04	60%AMP								
L7093	->9215LVD<B>57	#1M			1.441	1825.43	0.56		
PTE=20.76/-160.15	55%AMP								
CXC80	->9313ABI<C>57	#1			1.245-1533.53	-370.03	PTE=		
0.00/-115.58	54%AMP								

L7092	->9315LVD<C>57	#1M	1.441	1825.43	0.56	
PTE=20.76/-160.15	55%AMP					
714LVDRYE57	727.16	16.9	0.00	0.00	0.0-1932.7	
0.00	0.00					
	0.988					
L7016	-> 702DUV73556	#1M	1.450	1813.10	-198.25	
PTE=20.35/-166.03	48%AMP					
L7044	-> 715CHE73554	#1M	1.383	1720.94	-250.06	
PTE=16.74/-234.72	28%AMP					
L7045	-> 770BRU73554	#1M	1.416	1765.46	-234.13	
PTE=12.45/-141.77	47%AMP					
T62 73	->5814LVDSTQ75	#1 TFX	0.029	0.00	-36.95	PTE=
0.00/ 0.14	3%MVA 1.000					
T61 73	->9105VER73C57	#1 TFX	0.003	2.70	2.26	PTE=
0.00/ 0.00	0%MVA 1.000					
CXC14	->9114LVD<A>57	#1	1.386-1692.83	-418.20	PTE=	
0.00/-105.91	53%AMP					
CXC13	->9214LVD<B>57	#1	1.469-1804.65	-398.72	PTE=	
0.00/-118.98	56%AMP					
CXC12	->9314LVD<C>57	#1	1.469-1804.65	-398.72	PTE=	
0.00/-118.98	56%AMP					
720RAD73557	753.51	50.9	0.00	0.00	0.0 -345.0	
0.00	0.00					
	1.022					
T2 31	-> 320RAD31558	#1M TFX	0.448	-563.18	151.59	PTE=
0.26/ 23.82	29%MVA 1.000					
T3 31	-> 320RAD31558	#2M TFX	0.469	-588.75	159.77	PTE=
0.32/ 24.81	30%MVA 1.000					
L7089	-> 749LG273557	#1M	0.846-1071.18	-256.41	PTE=	
0.35/ -33.45	14%AMP					
L7088	-> 749LG273557	#2M	0.874-1106.71	-262.27	PTE=	
0.37/ -31.69	14%AMP					
L7063	->9180NEM<A>57	#1M	1.280	1662.89	-68.85	
PTE=15.98/-321.90	58%AMP					
L7062	->9280NEM<B>57	#1M	1.280	1664.99	-68.82	
PTE=15.98/-321.90	58%AMP					
722CHISSI57	758.87	49.1	0.00	0.00	0.0 -175.0	
0.00	0.00					
	1.030					
L7067	-> 107LG373557	#1	0.361	-472.05	28.41	PTE=
0.04/ 0.42	11%AMP					
L7068	-> 112LG373557	#1	0.483	-632.79	36.09	PTE=
0.08/ 0.76	15%AMP					
L7057	-> 723LMOYNE57	#1	0.267	336.39	-94.57	PTE=
0.25/-297.60	4%AMP					
L7060	-> 749LG273557	#1	0.358	-445.65	-147.14	PTE=
0.64/-428.73	6%AMP					

L7066	-> 750LG373557 #1	0.237	-310.65	8.87	PTE=
0.02/	0.18 7%AMP				
L7059	->9182ALB<A>57 #1M	1.163	1524.81	-6.60	
PTE=12.28/-351.45	52%AMP				
	723LMOYNE57 750.88 48.0	0.00	0.00	0.0	-694.3
0.00	0.00				
	1.026				
L7057	-> 722CHISSI57 #1M	0.301	-336.14	-203.04	PTE=
0.25/-297.60	5%AMP				
L7055	-> 724TILLY 57 #1	0.659	-849.82	-132.94	PTE=
1.79/-302.62	22%AMP				
L7056	-> 724TILLY 57 #2	0.659	-849.82	-132.94	PTE=
1.79/-302.62	22%AMP				
L7054	-> 724TILLY 57 #3	0.683	-884.26	-119.84	PTE=
1.86/-277.91	22%AMP				
L7070	-> 782ALBNEL57 #2M	0.989	1285.52	-120.44	PTE=
8.08/-442.46	19%AMP				
L7069	->9382ALB<C>57 #1M	1.252	1634.64	14.90	
PTE=13.29/-293.62	48%AMP				
	724TILLY 57 756.52 51.3	0.00	0.00	0.0	-521.6
0.00	0.00				
	1.027				
L7072	-> 113LG473557 #1M	0.376	-486.83	-61.85	PTE=
0.05/	0.46 9%AMP				
L7073	-> 114LG473557 #1M	0.567	-741.42	-8.75	PTE=
0.10/	1.04 15%AMP				
T2 31	-> 324TILLY 58 #1M TFX	0.243	-316.58	25.76	PTE=
0.10/	7.62 16%MVA 0.961				
T3 31	-> 324TILLY 58 #2M TFX	0.243	-316.58	25.76	PTE=
0.10/	7.62 16%MVA 0.961				
L7055	-> 723LMOYNE57 #1M	0.664	851.61	-169.68	PTE=
1.79/-302.62	22%AMP				
L7056	-> 723LMOYNE57 #2M	0.664	851.61	-169.68	PTE=
1.79/-302.62	22%AMP				
L7054	-> 723LMOYNE57 #3M	0.689	886.12	-158.07	PTE=
1.86/-277.91	23%AMP				
L7071	-> 764LG473557 #1M	0.557	-727.89	-5.14	PTE=
0.10/	1.01 14%AMP				
	731CHOUAN57 730.99 24.6	0.00	0.00	0.0	-1145.6
0.00	0.00				
	0.996				
L7025	-> 717JCA73554 #1M	0.775	981.96	-39.37	
PTE=10.90/	-43.19 15%AMP				
L7024	-> 717JCA73554 #2M	0.775	981.96	-39.28	
PTE=10.90/	-43.01 15%AMP				
L7026	-> 718SAG73554 #1	1.261	1593.82	-121.73	PTE=
6.92/-142.85	24%AMP				

T11	73	->	831CHMSTQ75	#1	TFX	0.056	0.00	70.79	PTE=	
0.00/	0.49	5%MVA	1.000							
T12	73	->	5831CHMSTQ75	#1	TFX	0.051	0.00	64.65	PTE=	
0.00/	0.41	5%MVA	1.000							
CXC86		->	9131CHM<A>57	#1		0.952-1150.20		-366.52	PTE=	
0.00/	-67.59	52%AMP								
CXC85		->	9231CHM<B>57	#1		1.001-1218.28		-354.83	PTE=	
0.00/	-74.68	55%AMP								
CXC84		->	9331CHM<C>57	#1		0.980-1189.11		-359.27	PTE=	
0.00/	-71.57	54%AMP								
			749LG273557		750.36	51.4	0.00	0.00	0.0 -520.0	
0.00	0.00									
					1.025					
T5-S	13	->	209LG213.59	#1M	TFX	0.001	0.00	1.11	PTE=	
0.00/	1.11	0%MVA	1.000							
L7089		->	720RAD73557	#1		0.839	1071.53	222.96	PTE=	
0.35/	-33.45	14%AMP								
L7088		->	720RAD73557	#2		0.867	1137.08	230.57	PTE=	
0.37/	-31.69	14%AMP								
L7060		->	722CHISSI57	#1M		0.404	446.29	-281.59	PTE=	
0.64/-428.73	6%AMP									
T1-S	13	->	8421LG2A1	59	#1M	TFX	0.221	-286.04	-38.50	PTE=
0.48/	36.07	54%MVA	1.000							
T1-T	13	->	8422LG2A2	59	#1M	TFX	0.220	-284.04	-44.36	PTE=
0.47/	33.33	53%MVA	1.000							
T2-S	13	->	8423LG2A3	59	#1M	TFX	0.215	-276.95	-44.52	PTE=
0.57/	33.92	52%MVA	1.000							
T2-T	13	->	8424LG2A4	59	#1M	TFX	0.220	-283.92	-37.92	PTE=
0.59/	33.64	53%MVA	1.000							
T3-S	13	->	8425LG2A5	59	#1M	TFX	0.222	-287.93	-40.16	PTE=
0.58/	34.73	54%MVA	1.000							
T3-T	13	->	8426LG2A6	59	#1M	TFX	0.220	-284.95	-35.25	PTE=
0.57/	32.46	53%MVA	1.000							
T4-S	13	->	8427LG2A7	59	#1M	TFX	0.226	-290.93	-44.79	PTE=
0.55/	36.97	55%MVA	1.000							
T4-T	13	->	8428LG2A8	59	#1M	TFX	0.222	-287.00	-37.34	PTE=
0.53/	33.38	54%MVA	1.000							
T5-T	13	->	8430LG2A1059	#1M	TFX	0.216	-280.03	-34.22	PTE=	
0.46/	32.35	52%MVA	1.000							
T6-S	13	->	8431LG2A1159	#1M	TFX	0.218	-279.04	-52.40	PTE=	
0.47/	34.13	53%MVA	1.000							
T6-T	13	->	8432LG2A1259	#1M	TFX	0.221	-285.03	-43.48	PTE=	
0.48/	33.99	53%MVA	1.000							
T7-S	13	->	8433LG2A1359	#1M	TFX	0.217	-279.94	-40.55	PTE=	
0.58/	33.95	52%MVA	1.000							
T7-T	13	->	8434LG2A1459	#1M	TFX	0.221	-285.92	-36.50	PTE=	
0.60/	34.03	53%MVA	1.000							

T8-S 13 ->8435LG2A1559 #1M TFX	0.221	-285.84	-41.38	PTE=
0.68/ 35.21 54%MVA 1.000				
T8-T 13 ->8436LG2A1659 #1M TFX	0.223	-287.83	-39.83	PTE=
0.68/ 34.66 54%MVA 1.000				
L7061 ->9380NEM<C>57 #1		1.258	1639.67	-83.90
PTE=16.58/-374.36 57%AMP				
750LG373557 756.90 49.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 0.00				
	1.030			
L7066 -> 722CHISSI57 #1M	0.237	310.67	-8.69	PTE=
0.02/ 0.18 7%AMP				
T1-S 13 ->8437LG3A1 59 #1M TFX	0.121	-158.83	2.43	PTE=
0.11/ 9.11 30%MVA 1.000				
T1-T 13 ->8439LG3A3 59 #1M TFX	0.116	-151.84	6.26	PTE=
0.10/ 9.90 29%MVA 1.000				
764LG473557 753.64 51.4	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 0.00				
	1.027			
L7071 -> 724TILLY 57 #1	0.557	727.99	6.14	PTE=
0.10/ 1.01 14%AMP				
T1-T 13 ->8453LG4A3 59 #1M TFX	0.185	-241.17	7.91	PTE=
0.22/ 15.64 31%MVA 1.000				
T1-S 13 ->8581LG4**259 #1M TFX	0.373	-486.82	-14.05	PTE=
0.88/ 59.56 63%MVA 1.000				
780NEM73557 739.72 38.2	0.00	0.00	0.0	0.0-1000.1
0.00 0.00				
	1.005			
L7079 -> 782ALBNEL57 #1M	0.100	-123.61	-32.54	PTE=
0.01/ -88.32 2%AMP				
T11 73 -> 880NEMSTQ75 #1 TFX	0.059	0.00	75.33	PTE=
0.00/ 0.54 6%MVA 1.000				
T12 73 ->5880NEMSTQ75 #1 TFX	0.086	0.00	110.58	PTE=
0.00/ 1.17 9%MVA 1.000				
L7082 ->9113ABI<A>57 #1		1.367	1749.13	-16.85
PTE=16.23/-185.71 59%AMP				
CXC63 ->9180NEM<A>57 #1		1.316-1649.06	-338.25	PTE=
0.00/ -84.14 59%AMP				
L7081 ->9213ABI<B>57 #1		1.367	1759.13	-16.85
PTE=16.23/-185.71 59%AMP				
CXC62 ->9280NEM<B>57 #1		1.316-1649.06	-337.25	PTE=
0.00/ -84.14 59%AMP				
L7080 ->9313ABI<C>57 #1		1.210	1547.14	-72.31
PTE=13.74/-326.69 52%AMP				
CXC61 ->9380NEM<C>57 #1		1.302-1623.15	-372.86	PTE=
0.00/ -82.37 59%AMP				
782ALBNEL57 738.93 38.3	0.00	0.00	0.0	0.0-1333.1
0.00 0.00				
	1.005			

L7070	->	723LMOYNE57	#2		1.030-1277.44	-322.02	PTE=	
8.08/-442.46	20%AMP							
L7079	->	780NEM73557	#1	0.106	123.62	-55.78	PTE=	
0.01/-88.32	2%AMP							
T11	73	-> 882ALBSTQ75	#1	TFX	0.084	0.00	107.06	PTE=
0.00/ 1.10	9%MVA 1.000							
T12	73	-> 5882ALBSTQ75	#1	TFX	0.085	0.00	109.18	PTE=
0.00/ 1.14	9%MVA 1.000							
CXC59	-> 9182ALB<A>57	#1			1.227-1512.57	-418.03	PTE=	
0.00/ -73.16	55%AMP							
L7078	-> 9183CHI<A>57	#1			1.034	1315.15	-143.14	
PTE=10.04/-435.26	54%AMP							
L7077	-> 9283CHI<B>57	#1			1.167	1488.60	-109.15	
PTE=11.94/-358.05	61%AMP							
CXC69	-> 9382ALB<C>57	#1			1.304-1621.39	-391.18	PTE=	
0.00/ -82.64	50%AMP							
L7076	-> 9383CHI<C>57	#1			1.163	1484.15	-109.98	
PTE=11.87/-360.47	61%AMP							
	783CHI73557	737.80	29.6	0.00	0.00	0.0-1319.3		
0.00	0.00							
		1.000						
L7090	-> 713ABI73557	#1M		0.497	632.40	8.90	PTE=	
0.53/-176.91	8%AMP							
T11	73	-> 883CHISTQ75	#1	TFX	0.019	0.00	-24.37	PTE=
0.00/ 0.06	2%MVA 1.000							
T2	16	-> 1683CHI16141	#1M	TCV	0.020	22.96	10.12	PTE=
0.01/ 0.73	8%MVA 1.0 (8/17)							
T3	16	-> 1683CHI16141	#2M	TCV	0.020	22.63	-11.69	PTE=
0.01/ 0.75	8%MVA 1.0 (7/17)							
T12	73	-> 5883CHISTQ75	#1	TFX	0.017	0.00	-21.28	PTE=
0.00/ 0.04	1%MVA 1.000							
L7086	-> 9131CHM<A>57	#1M		0.910	1156.13	-72.05	PTE=	
5.92/-370.96	50%AMP							
CXC98	-> 9183CHI<A>57	#1			1.067-1305.12	-377.09	PTE=	
0.00/ -84.94	54%AMP							
L7085	-> 9231CHM<B>57	#1M		0.963	1224.62	-57.07	PTE=	
6.33/-337.21	53%AMP							
CXC97	-> 9283CHI<B>57	#1			1.193-1476.68	-355.10	PTE=	
0.00/-106.16	61%AMP							
L7084	-> 9331CHM<C>57	#1M		0.941	1195.31	-63.58	PTE=	
6.18/-351.27	52%AMP							
CXC96	-> 9383CHI<C>57	#1			1.190-1472.31	-356.12	PTE=	
0.00/-105.60	61%AMP							
	1046ABI73C57	731.07	28.2	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00							
		0.997						
T62C	73	-> 713ABI73557	#1M	TFX	0.030	0.02	38.69	PTE=
0.00/ 0.11	14%MVA 1.000							

T62	73	->5293ABI-CS75	#1	TFX	0.030	-0.02	-38.69	PTE=
0.02/	1.03	14%MVA	1.029					
		1047ABI73C57	733.37	28.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.998				
T61	73	-> 293ABI-CS75	#1	TFX	0.036	-0.02	-45.81	PTE=
0.02/	1.35	17%MVA	1.029					
T61C	73	-> 713ABI73557	#1M	TFX	0.036	0.02	45.81	PTE=
0.00/	0.15	17%MVA	1.000					
		9105VER73C57	727.00	16.9	2.70	2.26	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.988				
T61	73	-> 714LVDRYE57	#1M	TFX	0.003	-2.70	-2.26	PTE=
0.00/	0.00	0%MVA	1.000					
		9113ABI<A>57	723.24	23.5	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.984				
CXC82		-> 713ABI73557	#1M		1.390	1753.04	178.92	PTE=
0.00/-144.04	60%AMP							
L7082		-> 780NEM73557	#1M			1.390-1739.89	-108.86	
PTE=16.23/-185.71	60%AMP							
		9114LVD<A>57	718.87	13.5	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.975				
CXC14		-> 714LVDRYE57	#1M		1.386	1692.83	312.29	PTE=
0.00/-105.91	53%AMP							
CXC94		->9115LVD<A>57	#1M		1.386-1692.79	-312.31	PTE=	
0.00/-105.91	53%AMP							
		9115LVD<A>57	713.19	10.0	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.966				
L7094		-> 713ABI73557	#1			1.386-1692.86	-206.32	
PTE=20.17/-239.99	53%AMP							
CXC94		->9114LVD<A>57	#1		1.386	1692.79	206.40	PTE=
0.00/-105.91	53%AMP							
		9131CHM<A>57	720.60	21.5	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.980				
CXC86		-> 731CHOUAN57	#1M		0.952	1150.20	298.93	PTE=
0.00/	-67.59	52%AMP						
L7086		-> 783CHI73557	#1		0.952-1150.21	-298.91	PTE=	
5.92/-370.96	52%AMP							
		9180NEM<A>57	733.22	35.3	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00							
				0.996				
L7063		-> 720RAD73557	#1			1.315-1649.01	-253.08	
PTE=15.98/-321.90	59%AMP							

CXC63	->	780NEM73557	#1M	1.316	1649.06	253.11	PTE=
0.00/	-84.14	59%AMP					
	9182ALB<A>57	732.21	35.7	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.993				
L7059	->	722CHISSION57	#1		1.227-1512.53	-343.85	
PTE=12.28/-351.45	55%AMP						
CXC59	->	782ALBNEL57	#1M	1.227	1510.07	344.88	PTE=
0.00/	-73.16	55%AMP					
	9183CHI<A>57	721.40	26.1	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.984				
L7078	->	782ALBNEL57	#1M		1.067-1305.10	-292.12	
PTE=10.04/-435.26	56%AMP						
CXC98	->	783CHI73557	#1M	1.067	1305.12	292.15	PTE=
0.00/	-84.94	54%AMP					
	9213ABI<B>57	724.24	23.5	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.984				
CXC81	->	713ABI73557	#1M	1.390	1733.04	168.92	PTE=
0.00/-144.04	60%AMP						
L7081	->	780NEM73557	#1M		1.390-1732.89	-168.86	
PTE=16.23/-185.71	60%AMP						
	9214LVD<B>57	718.53	13.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.976				
CXC13	->	714LVDRE57	#1M	1.469	1804.65	279.74	PTE=
0.00/-118.98	56%AMP						
CXC93	->	9215LVD<B>57	#1M		1.469-1804.60	-279.76	PTE=
0.00/-118.97	56%AMP						
	9215LVD<B>57	712.87	9.5	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.969				
L7093	->	713ABI73557	#1		1.469-1804.68	-160.70	
PTE=20.76/-160.15	56%AMP						
CXC93	->	9214LVD<B>57	#1	1.469	1804.60	160.78	PTE=
0.00/-118.97	56%AMP						
	9231CHM<B>57	723.13	21.3	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.981				
CXC85	->	731CHOUAN57	#1M	1.001	1218.28	280.16	PTE=
0.00/	-74.68	55%AMP					
L7085	->	783CHI73557	#1		1.001-1218.30	-280.14	PTE=
6.33/-337.21	55%AMP						
	9280NEM<B>57	734.22	35.3	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00						
			0.996				

L7062 -> 720RAD73557 #1 1.315-1649.01 -253.08  
 PTE=15.98/-321.90 59%AMP  
 CXC62 -> 780NEM73557 #1M 1.316 1649.06 253.11 PTE=  
 0.00/ -84.14 59%AMP  
 9283CHI<B>57 724.92 25.6 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00 0.986  
 L7077 -> 782ALBNEL57 #1M 1.193-1476.66 -248.90  
 PTE=11.94/-358.05 62%AMP  
 CXC97 -> 783CHI73557 #1M 1.193 1476.68 248.93 PTE=  
 0.00/-106.16 61%AMP  
 9313ABI<C>57 721.79 24.0 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00 0.981  
 CXC80 -> 713ABI73557 #1M 1.245 1533.53 254.44 PTE=  
 0.00/-115.58 54%AMP  
 L7080 -> 780NEM73557 #1M 1.245-1533.40 -254.38  
 PTE=13.74/-326.69 54%AMP  
 9314LVD<C>57 716.53 13.2 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00 0.976  
 CXC12 -> 714LVDRYE57 #1M 1.469 1804.65 279.74 PTE=  
 0.00/-118.98 56%AMP  
 CXC92 -> 9315LVD<C>57 #1M 1.469-1804.60 -279.76 PTE=  
 0.00/-118.97 56%AMP  
 9315LVD<C>57 713.87 9.5 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00 0.969  
 L7092 -> 713ABI73557 #1 1.469-1804.68 -160.70  
 PTE=20.76/-160.15 56%AMP  
 CXC92 -> 9314LVD<C>57 #1 1.469 1804.60 160.78 PTE=  
 0.00/-118.97 56%AMP  
 9331CHM<C>57 721.92 21.4 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00 0.981  
 CXC84 -> 731CHOUAN57 #1M 0.980 1189.11 287.71 PTE=  
 0.00/ -71.57 54%AMP  
 L7084 -> 783CHI73557 #1 0.980-1189.13 -287.69 PTE=  
 6.18/-351.27 54%AMP  
 9380NEM<C>57 732.41 35.4 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00 0.995  
 L7061 -> 749LG273557 #1M 1.302-1623.09 -290.46  
 PTE=16.58/-374.36 59%AMP  
 CXC61 -> 780NEM73557 #1M 1.302 1623.15 290.49 PTE=  
 0.00/ -82.37 59%AMP  
 9382ALB<C>57 731.91 35.5 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00

			0.994					
L7069	->	723LMOYNE57	#1		1.304	1621.35	-308.52	
PTE=13.29/-293.62	50%AMP							
CXC69	->	782ALBNEL57	#1M		1.304	1621.39	308.54	PTE=
0.00/-82.64	50%AMP							
9383CHI<C>57	725.47	25.6		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00							
			0.986					
L7076	->	782ALBNEL57	#1M		1.190	1472.28	-250.49	
PTE=11.87/-360.47	62%AMP							
CXC96	->	783CHI73557	#1M		1.190	1472.31	250.52	PTE=
0.00/-105.60	61%AMP							
804LTDSTQ75	735.58	5.3		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	16.77	GEN						
			0.999					
T32	73	->	704LTD73554	#1M TFX	0.013	0.00	16.77	PTE=
0.00/ 0.02	3%MVA 1.000							
831CHMSTQ75	726.92	24.6		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	-70.30	GEN						
			0.989					
T11	73	->	731CHOUAN57	#1M TFX	0.056	0.00	-70.30	PTE=
0.00/ 0.49	5%MVA 1.000							
880NEMSTQ75	735.38	38.2		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	-74.79	GEN						
			0.998					
T11	73	->	780NEM73557	#1M TFX	0.059	0.00	-74.79	PTE=
0.00/ 0.54	6%MVA 1.000							
882ALBSTQ75	731.03	38.3		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	-105.96	GEN						
			0.995					
T11	73	->	782ALBNEL57	#1M TFX	0.084	0.00	-105.96	PTE=
0.00/ 1.10	8%MVA 1.000							
883CHISTQ75	739.54	29.6		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	24.42	GEN						
			1.002					
T11	73	->	783CHI73557	#1M TFX	0.019	0.00	24.42	PTE=
0.00/ 0.06	2%MVA 1.000							
5814LVDSTQ75	727.83	16.9		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	37.08	GEN						
			0.992					
T62	73	->	714LVDRYE57	#1M TFX	0.029	0.00	37.08	PTE=
0.00/ 0.14	3%MVA 1.000							
5831CHMSTQ75	727.36	24.6		0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	-64.24	GEN						
			0.990					
T12	73	->	731CHOUAN57	#1M TFX	0.051	0.00	-64.24	PTE=
0.00/ 0.41	5%MVA 1.000							

5880NEMSTQ75	731.88	38.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 -109.40	GEN					
		0.994				
T12 73 -> 780NEM73557	#1M	TFX	0.086	0.00	-109.40	PTE=
0.00/ 1.17	9%MVA	1.000				
5882ALBSTQ75	732.88	38.3	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 -108.03	GEN					
		0.994				
T12 73 -> 782ALBNEL57	#1M	TFX	0.085	0.00	-108.03	PTE=
0.00/ 1.14	9%MVA	1.000				
5883CHISTQ75	736.32	29.6	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 21.33	GEN					
		1.002				
T12 73 -> 783CHI73557	#1M	TFX	0.017	0.00	21.33	PTE=
0.00/ 0.04	1%MVA	1.000				
700EQUILI90	735.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3.68 7.95	EQU					
		1.000				
-> 702DUV73556	#1		0.007	3.68	7.95	PTE=
0.00/ 0.04						
818MAS73599	774.82	-12.5	990.05	-111.60	0.0	0.0
0.00 0.00						
		1.054				
L7040 -> 919CHA73555	#1M		0.742	-990.05	111.60	PTE=
1.79/ 45.56	9%AMP					

## **Annexe VIII: Réseau Hydro-Québec**

### **Mesures bruitées utilisées pour le deuxième test**

----- TENSIONS -----			CHARGES -----			SHUNTS -----			
GENERATION-----		NOM	ZN	KVOLT	DEGRE	MW	MVAR	MW	MVAR
MW	MVAR	(P.U.)							
----- TRXFO -----									
0.00	0.00	760CHU73552	730.94	36.5	0.00	0.00	0.0	-486.9	
0.992									
T76	23	->1359CHU23052	#1M TFX	0.107	152.05	26.02	PTE=		
0.03/	4.02	11%MVA	1.055						
T72	23	->2359CHU23052	#1M TFX	0.634	-800.04	12.13	PTE=		
0.91/	61.05	67%MVA	1.055						
T71	23	->3359CHU23052	#1M TFX	0.300	-377.69	-35.64	PTE=		
0.20/	15.29	31%MVA	1.055						
T73	23	->4359CHU23052	#1M TFX	0.559	-709.64	45.60	PTE=		
0.71/	47.97	59%MVA	1.055						
T74	23	->5359CHU23052	#1M TFX	0.334	-420.19	35.81	PTE=		
0.27/	18.88	35%MVA	1.055						
T75	23	->6359CHU23052	#1M TFX	0.685	-961.67	75.67	PTE=		
1.14/	71.87	72%MVA	1.055						
L7053		->9110MTG<A>53	#1M	1.232	1521.91	-319.67			
PTE=	15.31/-305.03	53%AMP							
L7051		->9310MTG<C>53	#1M	1.223	1510.71	-321.80			
PTE=	15.55/-307.25	53%AMP							
0.00	0.00	705MAN73553	739.77	20.5	0.00	0.00	0.0	-997.5	
1.004									
T1	31	-> 305MAN31553	#1M TFX	0.138	-152.51	88.14	PTE=		
0.16/	12.48	28%MVA	0.953						
T2	31	-> 305MAN31553	#2M TFX	0.124	-138.18	77.35	PTE=		
0.10/	8.31	24%MVA	0.953						
T3	31	-> 305MAN31553	#3M TFX	0.129	-143.37	81.47	PTE=		
0.13/	9.76	26%MVA	0.953						
T4	31	-> 311MAN31553	#1M TFX	0.148	-150.05	115.13	PTE=		
0.19/	13.31	30%MVA	0.953						
L7011		-> 706MIC73553	#1	0.372	-459.40	-121.78	PTE=		
0.27/-150.58	8%AMP								
T24C	73	->1056MAN73C53	#1 TFX	0.031	-0.06	40.17	PTE=		
0.00/	0.12	13%MVA	1.000						
L7008-B		->9221BER<B>55	#1M	1.097	1338.53	-416.43	PTE=		
5.32/-211.66	57%AMP								
L7023-B		->9321BER<C>53	#1M	1.124	1367.56	-439.03	PTE=		
7.11/-212.83	59%AMP								

L7028	->9809ARN<E>53 #1M	0.672	-832.55	-211.13	PTE=
3.23/-383.05	30%AMP				
L7029	->9909ARN<F>53 #1M	0.670	-829.78	-211.37	PTE=
3.21/-383.09	30%AMP				
	706MIC73553 754.50	21.5	0.00	0.00	0.0 -845.1
0.00	0.00				
	1.006				
T8	31 -> 9MICOUA53 #1M TFX	0.262	-325.02	-26.51	PTE=
0.46/ 35.18	52%MVA 0.952				
T1	31 -> 306MICOUA53 #1M TFX	0.286	-379.92	64.87	PTE=
0.11/ 15.19	18%MVA 0.952				
T2	31 -> 306MICOUA53 #2M TFX	0.286	-359.92	64.87	PTE=
0.11/ 15.19	18%MVA 0.952				
T3	31 -> 306MICOUA53 #3M TFX	0.116	-155.00	30.81	PTE=
0.08/ 6.94	21%MVA 0.953				
T4	31 -> 307MICOUA53 #1M TFX	0.214	-274.32	-1.82	PTE=
0.22/ 23.35	44%MVA 0.953				
T9	31 -> 309MICOUA53 #1M TFX	0.260	-323.35	-8.93	PTE=
0.44/ 36.08	48%MVA 0.952				
L7011	-> 705MAN73553 #1M	0.360	459.67	-28.80	PTE=
0.27/-150.58	8%AMP				
L7019	->9218SAG<B>54 #1	0.528	630.31	-245.93	PTE=
2.84/-601.49	27%AMP				
L7004-B	->9225PERI 53 #1	0.996	1198.45	-465.07	PTE=
8.81/-425.99	52%AMP				
L7027	->9709ARN<D>53 #1M	0.405	-470.85	-218.61	PTE=
1.10/-467.36	18%AMP				
	709ARN73553 748.52	23.3	798.38	-52.76	0.0-1530.1
0.00	0.00				
	1.018				
CXC41	->9109ARN<A>53 #1	0.788	-964.45	-273.16	PTE=
0.00/ -50.32	35%AMP				
CXC42	->9209ARN<B>53 #1	0.783	-977.53	-271.71	PTE=
0.00/ -49.63	35%AMP				
CXC43	->9309ARN<C>53 #1	0.783	-997.53	-271.71	PTE=
0.00/ -49.63	35%AMP				
CXC47	->9709ARN<D>53 #1	0.416	471.94	-261.67	PTE=
0.00/ -12.92	18%AMP				
CXC48	->9809ARN<E>53 #1	0.664	825.77	-204.76	PTE=
0.00/ -32.84	30%AMP				
CXC49	->9909ARN<F>53 #1	0.662	830.98	-204.35	PTE=
0.00/ -32.63	30%AMP				
	710MTG73553 740.72	28.0	0.00	0.00	0.0-1210.9
0.00	0.00				
	1.011				
T2	31 -> 310MTG31553 #1M TFX	0.027	23.10	-25.27	PTE=
0.00/ 1.46	4%MVA 1.000				

T3	31	->	310MTG31553	#2M	TFX	0.026	22.46	-25.00	PTE=
0.00/	0.95	4%MVA	1.000						
L7031		->	9109ARN<A>53	#1M		0.793	910.08	-246.61	PTE=
5.68/-469.44	36%AMP								
CXC53		->	9110MTG<A>53	#1		1.174-1506.71	-110.54		PTE=
0.00/-125.17	51%AMP								
L7032		->	9209ARN<B>53	#1M		0.788	985.18	-237.38	PTE=
5.70/-469.46	35%AMP								
L7033		->	9309ARN<C>53	#1M		0.788	973.18	-247.38	PTE=
5.70/-469.46	35%AMP								
CXC51		->	9310MTG<C>53	#1		1.165-1595.28	-108.72		PTE=
0.00/-123.27	50%AMP								
			1056MAN73C53		736.13	20.5	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00								
					1.002				
T24C	73	->	705MAN73553	#1M	TFX	0.031	0.07	-40.05	PTE=
0.00/	0.12	13%MVA	1.000						
T24	73	->	5295MAN-CS75	#1	TFX	0.031	-0.07	40.05	PTE=
0.02/	1.04	13%MVA	1.000						
			9109ARN<A>53		738.51	20.5	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00								
					1.006				
CXC41		->	709ARN73553	#1M		0.788	985.45	212.84	PTE=
0.00/	-50.32	35%AMP							
L7031		->	710MTG73553	#1		0.788	-974.40	-224.84	PTE=
5.68/-469.44	35%AMP								
			9110MTG<A>53		730.76	23.3	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00								
					1.008				
CXC53		->	710MTG73553	#1M		1.174	1516.71	-15.63	PTE=
0.00/-125.17	51%AMP								
L7053		->	760CHU73552	#1		1.174-1506.60		14.64	
PTE=15.31/-305.03	51%AMP								
			9209ARN<B>53		738.55	20.5	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00								
					1.006				
CXC42		->	709ARN73553	#1M		0.783	976.53	220.09	PTE=
0.00/	-49.63	35%AMP							
L7032		->	710MTG73553	#1		0.783	-997.48	-222.08	PTE=
5.70/-469.46	35%AMP								
			9225PERI 53		750.38	12.3	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00								
					1.035				
L7004-B		->	706MIC73553	#1M		0.896-1177.64		39.08	PTE=
8.81/-425.99	47%AMP								
CXC1		->	9825PERI 53	#1M		0.896	1179.58	-38.09	PTE=
1.30/	-54.66	47%AMP							

0.00	9309ARN<C>53	738.55	20.5	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00		1.006				
CXC43	-> 709ARN73553 #1M		0.783	987.53	232.09	PTE=	
0.00/ -49.63	35%AMP						
L7033	-> 710MTG73553 #1		0.783	-966.48	-221.08	PTE=	
5.70/-469.46	35%AMP						
9310MTG<C>53	740.80	23.3	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00		1.008				
CXC51	-> 710MTG73553 #1M		1.165	1495.28	-14.54	PTE=	
0.00/-123.27	50%AMP						
L7051	-> 760CHU73552 #1		1.165-1495.17		14.55		
PTE=15.55/-307.25	50%AMP						
9321BER<C>53	751.73	14.0	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00		1.027				
L7023-B	-> 705MAN73553 #1		1.055-1360.46	226.20	PTE=		
7.11/-212.83	55%AMP						
CXC4	->9921BER<F>55 #1M		1.055	1360.41	-226.21	PTE=	
0.00/ -70.35	64%AMP						
9709ARN<D>53	739.99	24.5	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00		1.007				
L7027	-> 706MIC73553 #1		0.416	471.95	-248.75	PTE=	
1.10/-467.36	18%AMP						
CXC47	-> 709ARN73553 #1M		0.416	-471.94	248.75	PTE=	
0.00/ -12.92	18%AMP						
9809ARN<E>53	744.24	25.4	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00		1.010				
L7028	-> 705MAN73553 #1		0.664	825.78	-161.91	PTE=	
3.23/-383.05	30%AMP						
CXC48	-> 709ARN73553 #1M		0.664	-815.77	171.91	PTE=	
0.00/ -32.84	30%AMP						
9825PERI 53	756.19	14.9	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00		1.033				
L7004-A	-> 704LTD73554 #1M		0.896	1178.33	15.56	PTE=	
7.97/-352.20	29%AMP						
CXC1	->9225PERI 53 #1		0.896-1178.28	-15.57	PTE=		
1.30/ -54.66	47%AMP						
9909ARN<F>53	748.25	25.4	0.00	0.00	0.0	0.0	
0.00	0.00		1.010				
L7029	-> 705MAN73553 #1		0.662	832.99	-171.72	PTE=	
3.21/-383.09	30%AMP						

CXC49	-> 709ARN73553	#1M	0.662	-832.98	171.72	PTE=	
0.00/	-32.63	30%AMP					
	704LTD73554	739.93	7.6	0.00	0.00	0.0 -332.6	
0.00	0.00						
			1.004				
T1	31	-> 304LTD315	9 #1M TFX	0.090	115.12	-9.46	PTE=
0.02/	2.77	9%MVA 1.006					
T2	31	-> 304LTD315	9 #2M TFX	0.090	115.12	-9.46	PTE=
0.02/	2.77	9%MVA 1.006					
L7010		-> 703LEV73555	#1	1.561	1992.05	-109.57	PTE=
2.37/	-3.16	35%AMP					
L7020		-> 717JCA73554	#1M	0.828	-1051.95	111.66	PTE=
1.12/	-72.37	19%AMP					
T32	73	-> 804LTDSTQ75	#1 TFX	0.041	0.00	51.95	PTE=
0.00/	0.24	9%MVA 1.000					
L7004-A	->9825PERI	53 #1		0.960	-1170.36	-367.77	PTE=
7.97/-352.20	31%AMP						
	715CHE73554	741.69	1.5	0.00	0.00	0.0 -334.2	
0.00	0.00						
			1.006				
T4	31	-> 315CHE315	7 #1M TFX	0.341	434.97	-35.42	PTE=
0.24/	22.04	23%MVA 1.016					
T5	31	-> 315CHE315	7 #2M TFX	0.341	434.97	-35.42	PTE=
0.24/	22.04	23%MVA 1.016					
T6	31	-> 315CHE315	7 #3M TFX	0.338	431.18	-35.08	PTE=
0.24/	21.85	23%MVA 1.016					
L7046		-> 702DUV73556	#1	0.592	748.19	122.68	PTE=
0.53/-100.59	12%AMP						
L7044		-> 714LVDRYE57	#1	1.246	-1596.07	-33.50	
PTE=14.42/-310.48	25%AMP						
L7042		-> 719CHA73555	#1M	0.867	1070.26	-298.01	PTE=
2.20/-201.56	15%AMP						
L7047		-> 770BRU73554	#1	1.189	-1523.28	-19.52	PTE=
3.91/-106.08	40%AMP						
	717JCA73554	738.23	8.9	0.00	0.00	0.0 -1158.9	
0.00	0.00						
			1.002				
T2	31	-> 317JCA315	9 #1M TFX	0.508	647.45	-7.62	PTE=
0.54/	50.23	33%MVA 1.000					
L7017		-> 702DUV73556	#1M	0.845	1041.40	-274.25	PTE=
6.92/-459.98	28%AMP						
L7020		-> 704LTD73554	#1	0.838	1053.08	-184.02	PTE=
1.12/	-72.37	19%AMP					
L7018		-> 718SAG73554	#1	0.965	-1219.19	-162.77	PTE=
8.50/-350.47	22%AMP						
L7002		-> 730CAR73555	#1M	1.064	1343.49	-193.08	PTE=
8.46/-274.48	35%AMP						

L7025 -> 731CHOUAN57 #1 1.131-1432.78 -168.58  
 PTE=11.45/-394.78 22%AMP  
 L7024 -> 731CHOUAN57 #2 1.131-1432.78 -168.58  
 PTE=11.45/-394.78 22%AMP  
 718SAG73554 742.35 17.4 0.00 0.00 0.0 -602.2  
 0.00 0.00  
 1.007  
 L7018 -> 717JCA73554 #1M 0.969 1237.70 -187.70 PTE=  
 8.50/-350.47 23%AMP  
 L7026 -> 731CHOUAN57 #1M 0.803-1127.95 -67.85 PTE=  
 2.84/-263.10 15%AMP  
 T1 16 ->1618SAG16141 #1M TCV 0.174 203.92 65.01 PTE=  
 0.17/ 12.84 26%MVA 1.0 ( 6/17)  
 T2 16 ->1618SAG16141 #2M TCV 0.174 215.92 64.95 PTE=  
 0.17/ 12.71 26%MVA 1.0 ( 6/17)  
 CXC15 ->9218SAG<B>54 #1 0.571 -627.43 -376.65 PTE=  
 0.00/ -21.11 30%AMP  
 770BRU73554 741.44 5.6 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 1.007  
 T3 12 -> 81BRU12012 #1M TCV 0.046 58.33 10.37 PTE=  
 0.03/ 1.95 11%MVA 1.0 (13/33)  
 L7045 -> 714LVDRYE57 #1 1.283-1653.67 64.80  
 PTE=10.77/-196.85 42%AMP  
 L7047 -> 715CHE73554 #1M 1.193 1527.19 -86.56 PTE=  
 3.91/-106.08 40%AMP  
 T2 12 ->1170BRU12012 #1M TCV 0.046 58.32 11.34 PTE=  
 0.03/ 1.93 11%MVA 1.0 (13/33)  
 9218SAG<B>54 733.59 16.0 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.993  
 L7019 -> 706MIC73553 #1M 0.571 -627.46 -355.55 PTE=  
 2.84/-601.49 30%AMP  
 CXC15 -> 718SAG73554 #1M 0.571 627.43 355.54 PTE=  
 0.00/ -21.11 30%AMP  
 68CAR73555 743.44 -2.7 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 1.007  
 T3 23 ->2030CAR23018 #1M TFX 0.000 0.00 0.00 PTE=  
 0.00/ 1.33 0%MVA 1.000  
 701BCV73555 739.89 -1.1 2.08 2.00 0.0 -333.5  
 0.00 0.00  
 1.005  
 T2 31 -> 301BCV315 1 #1M TFX 0.274 337.34 -46.23 PTE=  
 0.17/ 13.20 29%MVA 1.013  
 T3 31 -> 301BCV315 1 #2M TFX 0.274 345.34 -45.67 PTE=  
 0.17/ 14.33 26%MVA 1.013

T4	31	->	301BCV315	1	#3M	TFX	0.279	364.12	-44.84	PTE=
0.18/	18.28	27%MVA	1.013							
L7009		->	702DUV73556	#1			1.211-1554.06	284.48	PTE=	
1.92/	-29.94	31%AMP								
L7034		->	707NIC73555	#1			0.287	-293.69	-220.60	PTE=
0.20/-281.44		9%AMP								
L7036		->	708HER73555	#1			0.702	786.85	-434.17	PTE=
0.54/	-53.34	12%AMP								
L7014		->	730CAR73555	#1			0.715	-910.07	97.03	PTE=
0.93/-115.43		24%AMP								
T5	23	->2001BCV230	5	#1M	TFX	0.252	351.52	26.06	PTE=	
0.14/	17.04	24%MVA	1.000							
T7	23	->2001BCV230	5	#2M	TFX	0.230	292.77	24.61	PTE=	
0.10/	16.14	22%MVA	1.000							
T8	23	->2001BCV230	5	#3M	TFX	0.216	275.83	23.83	PTE=	
0.11/	14.51	21%MVA	1.000							
			703LEV73555							
			739.41				5.6	0.00	0.00	0.0-1341.4
0.00	0.00									
						1.005				
T12	31	->	75LEV315	9	#1M	TCV	0.001	0.00	0.78	PTE=
0.00/	0.78	0%MVA	0.9 ( 4/17)							
T3	23	->	76LEV23019	#1M	TCV	0.006	0.00	7.10	PTE=	
0.00/	7.10	1%MVA	1.1 ( 7/15)							
T13	31	->	303LEV315	9	#1M	TCV	0.626	783.14	-165.42	PTE=
0.95/	62.57	66%MVA	1.0 ( 6/17)							
T14	31	->	303LEV315	9	#2M	TCV	0.612	768.08	-153.13	PTE=
0.79/	60.95	60%MVA	1.0 ( 6/17)							
L7010		->	704LTD73554	#1M			1.558-1689.68	126.41	PTE=	
2.37/	-3.16	35%AMP								
L7005		->	707NIC73555	#1			0.570	740.83	-109.03	PTE=
2.48/	-74.54	19%AMP								
L7005		->	707NIC73555	#2			0.581	724.83	-181.48	PTE=
2.48/-220.37		19%AMP								
L7097		->	790APA73555	#1M			0.857	1367.04	-252.32	PTE=
1.61/-149.11		19%AMP								
T1	23	->2003LEV23019	#1M	TCV	0.201	254.65	-30.21	PTE=		
0.10/	10.83	19%MVA	1.0 ( 8/17)							
T2	23	->2003LEV23019	#2M	TCV	0.182	231.09	-28.93	PTE=		
0.07/	9.02	18%MVA	1.0 ( 8/17)							
T4	23	->2003LEV23019	#3M	TCV	0.103	116.63	-60.27	PTE=		
0.13/	6.78	26%MVA	1.0 ( 7/15)							
L7008-A		->9821BER<E>55	#1M				1.053-1324.14	-243.51	PTE=	
9.06/-380.96		34%AMP								
L7023-A		->9921BER<F>55	#1M				1.070-1348.50	-229.35		
PTE=11.95/-385.22		35%AMP								
			707NIC73555							
0.00	0.00									
						1.011				

L7034	->	701BCV73555	#1M	0.233	283.89	-60.84	PTE=
0.20/-281.44		7%AMP					
L7005	->	703LEV73555	#1M	0.559	-718.35	34.49	PTE=
2.48/-74.54		18%AMP					
L7005	->	703LEV73555	#2M	0.559	-750.35	-38.90	PTE=
2.48/-220.37		18%AMP					
L7006	->	708HER73555	#1M	0.324	376.31	-181.22	PTE=
0.39/-343.96		11%AMP					
L7096	->	755CAN73555	#1M	0.100	-120.72	-53.18	PTE=
0.02/-198.08		1%AMP					
T2	23	->2007NIC23018	#1M TCV	0.238	290.04	98.13	PTE=
0.16/ 14.24		24%MVA	1.0 ( 9/17)				
T3	23	->2007NIC23018	#2M TCV	0.238	290.04	98.13	PTE=
0.16/ 14.24		24%MVA	1.0 ( 9/17)				
T4	23	->2007NIC23018	#3M TCV	0.249	303.27	103.33	PTE=
0.15/ 15.75		25%MVA	1.0 ( 9/17)				
		708HER73555	745.95	-1.8	0.00	0.00	0.0 -168.6
0.00	0.00						
			1.011				
T2	31	->308HER315	1 #1M TFX	0.162	206.36	-29.55	PTE=
0.12/ 8.85		10%MVA	1.000				
T3	31	->308HER315	1 #2M TFX	0.409	521.11	-74.47	PTE=
0.24/ 19.09		26%MVA	1.000				
T4	31	->308HER315	1 #3M TFX	0.393	551.32	-70.22	PTE=
0.20/ 19.09		26%MVA	1.000				
L7036	->	701BCV73555	#1M	0.679	-786.31	380.84	PTE=
0.54/ -53.34		12%AMP					
L7006	->	707NIC73555	#1	0.318	-375.92	-162.75	PTE=
0.39/-343.96		10%AMP					
L7038	->	719CHA73555	#1M	0.173	-66.57	-212.45	PTE=
0.03/-132.77		3%AMP					
		719CHA73555	747.83	-1.7	0.00	0.00	0.0 -169.9
0.00	0.00						
			1.015				
T1	31	->319CHA315	1 #1M TFX	0.347	423.42	-146.17	PTE=
0.18/ 13.95		23%MVA	1.000				
T2	31	->319CHA315	1 #2M TFX	0.126	153.89	-53.86	PTE=
0.08/ 5.05		23%MVA	1.000				
T3	31	->319CHA315	1 #3M TFX	0.347	424.09	-146.00	PTE=
0.18/ 14.80		23%MVA	1.000				
L7038	->	708HER73555	#1	0.080	66.60	79.68	PTE=
0.03/-132.77		1%AMP					
L7042	->	715CHE73554	#1	0.830-1068.06	96.45	PTE=	
2.20/-201.56		14%AMP					
		730CAR73555	738.07	0.6	0.00	0.00	0.0 -331.0
0.00	0.00						
			1.001				

L7014	->	701BCV73555	#1M	0.734	941.00	-212.45	PTE=
0.93/-115.43	24%AMP						
L7002	->	717JCA73554	#1	1.049	-1375.03	-81.39	PTE=
8.46/-274.48	35%AMP						
T2	23	->2030CAR23018	#1M TFX	0.334	424.16	-37.12	PTE=
0.29/	26.48	32%MVA	1.000				
		755CAN73555	739.85	0.3	0.00	0.00	0.0 -336.2
0.00	0.00						
				1.009			
L7096	->	707NIC73555	#1	0.145	116.75	-144.90	PTE=
0.02/-198.08	2%AMP						
L7095	->	790APA73555	#1	0.671	-855.82	-104.27	PTE=
1.51/-225.17	11%AMP						
T2	23	->2055CAN23020	#1M TCV	0.204	260.84	-21.40	PTE=
0.09/	6.76	20%MVA	1.0 ( 9/17)				
T3	23	->2055CAN23020	#2M TCV	0.204	260.84	-21.40	PTE=
0.09/	6.76	20%MVA	1.0 ( 9/17)				
T4	23	->2055CAN23020	#3M TCV	0.173	217.43	-44.20	PTE=
0.07/	6.06	17%MVA	1.0 ( 9/17)				
		790APA73555	741.81	3.1	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00						
				1.011			
L7097	->	703LEV73555	#1	0.832	-1065.43	103.21	PTE=
1.61/-149.11	19%AMP						
L7095	->	755CAN73555	#1M	0.673	857.33	-120.90	PTE=
1.51/-225.17	11%AMP						
T2	23	->2090APA23019	#1M TFX	0.081	104.07	8.84	PTE=
0.01/	4.67	7%MVA	1.000				
T3	23	->2090APA23019	#2M TFX	0.081	104.07	8.84	PTE=
0.01/	4.67	7%MVA	1.000				
		919CHA73555	770.04	-9.9	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00						
				1.052			
L7040	->	818MAS73599	#1	0.742	991.84	-66.04	PTE=
1.79/	45.56	9%AMP					
T13	12	->1119CHANY155	#1M TCV	0.001	0.00	1.08	PTE=
0.00/	1.08	0%MVA	1.0 ( 8/17)				
T11	12	->1219CHANY255	#1M TCV	0.250	-334.44	21.66	PTE=
0.27/	24.41	31%MVA	1.0 ( 8/17)				
T12	12	->1219CHANY255	#2M TCV	0.246	-328.21	21.61	PTE=
0.28/	24.26	34%MVA	1.0 ( 8/17)				
T14	12	->1219CHANY255	#3M TCV	0.246	-329.18	21.69	PTE=
0.29/	24.33	34%MVA	1.0 ( 8/17)				
		9221BER<B>55	750.56	14.0	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00						
				1.027			
L7008-B	->	705MAN73553	#1	1.032	-1333.21	204.77	PTE=
5.32/-211.66	54%AMP						

CXC2	->9821BER<E>55	#1M	1.032	1333.17	-204.77	PTE=
0.00/	-67.32	62%AMP				
	9821BER<E>55	740.77	16.9	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00					
			1.020			
L7008-A	-> 703LEV73555	#1	1.032	1333.20	-137.45	PTE=
9.06/-380.96	33%AMP					
CXC2	->9221BER<B>55	#1	1.032	-1333.17	137.45	PTE=
0.00/	-67.32	62%AMP				
	9921BER<F>55	751.37	16.9	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00					
			1.020			
L7023-A	-> 703LEV73555	#1	1.055	1360.45	-155.86	
PTE=11.95/-385.22	34%AMP					
CXC4	->9321BER<C>53	#1	1.055	-1360.41	155.86	PTE=
0.00/	-70.35	64%AMP				
	702DUV73556	740.96	0.5	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00					
			1.001			
T2	31 -> 302DUV315	1 #1M TFX	0.499	655.21	30.55	PTE=
0.44/	42.94	32%MVA 1.013				
T3	31 -> 302DUV315	1 #2M TFX	0.499	636.21	31.55	PTE=
0.44/	42.94	32%MVA 1.013				
T5	31 -> 302DUV315	1 #3M TFX	0.499	625.21	30.56	PTE=
0.44/	42.97	33%MVA 1.013				
	-> 700EQUILI90	#1M	0.013	15.91	2.69	PTE=
0.00/	0.13					
L7009	-> 701BCV73555	#1M	1.222	1525.98	-314.42	PTE=
1.92/	-29.94	31%AMP				
L7016	-> 714LVDRYE57	#1	1.306	-1664.69	-32.70	
PTE=17.22/-258.22	43%AMP					
L7046	-> 715CHE73554	#1M	0.612	-747.67	-223.26	PTE=
0.53/-100.59	12%AMP					
L7017	-> 717JCA73554	#1	0.825	-1034.48	-185.73	PTE=
6.92/-459.98	27%AMP					
	107LG373557	750.47	47.0	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00					
			1.031			
L7067	-> 722CHISSI57	#1M	0.361	472.09	-32.17	PTE=
0.04/	0.42	11%AMP				
T2-S 13	->8441LG3A5 59	#1M TFX	0.121	-158.76	1.60	PTE=
0.11/	9.11	30%MVA 1.000				
T2-T 13	->8528LG3**259	#1M TFX	0.240	-313.33	30.57	PTE=
0.44/	37.21	60%MVA 1.000				
	112LG373557	757.48	47.0	0.00	0.00	0.0
0.00	0.00					
			1.031			

L7068	-> 722CHISSI57 #1M	0.483	632.87	-39.50	PTE=
0.08/	0.76 15%AMP				
T3-S 13	->8529LG3**259 #1M TFX	0.245	-321.42	15.57	PTE=
0.45/	37.43 61%MVA 1.000				
T3-T 13	->8530LG3**259 #1M TFX	0.238	-311.44	23.93	PTE=
0.42/	36.87 59%MVA 1.000				
	113LG473557 755.13 49.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00				
	1.027				
L7072	-> 724TILLY 57 #1	0.375	486.88	57.62	PTE=
0.05/	0.46 9%AMP				
T2-S 13	->8454LG4A4 59 #1M TFX	0.188	-244.96	-12.53	PTE=
0.26/	15.10 31%MVA 1.000				
T2-T 13	->8455LG4A5 59 #1M TFX	0.188	-241.92	-45.09	PTE=
0.26/	16.50 31%MVA 1.000				
	114LG473557 753.09 49.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00	0.00				
	1.027				
L7073	-> 724TILLY 57 #1	0.567	741.53	5.12	PTE=
0.10/	1.04 14%AMP				
T3-S 13	->8456LG4A6 59 #1M TFX	0.192	-251.32	-14.66	PTE=
0.23/	15.97 32%MVA 1.000				
T3-T 13	->8582LG4**259 #1M TFX	0.375	-490.21	9.53	PTE=
0.89/	61.85 63%MVA 1.000				
	713ABI73557 734.53 26.4	0.00	0.00	0.0	0.0-1318.3
0.00	0.00				
	0.999				
T1 31	-> 313ABI31541 #1M TFX	0.128	162.50	-4.08	PTE=
0.09/	6.77 22%MVA 1.000				
T2 31	-> 313ABI31541 #2M TFX	0.083	104.95	-3.13	PTE=
0.07/	4.09 17%MVA 1.000				
L7090	-> 783CHI73557 #1	0.339	-397.10	-209.64	PTE=
0.20/-188.26	5%AMP				
T62C 73	->1046ABI73C57 #1 TFX	0.028	-0.02	35.14	PTE=
0.00/	0.10 13%MVA 1.000				
T61C 73	->1047ABI73C57 #1 TFX	0.022	-0.02	27.92	PTE=
0.00/	0.07 10%MVA 1.000				
CXC82	->9113ABI<A>57 #1	1.355-1795.74	-386.78	PTE=	
0.00/-136.78	58%AMP				
L7094	->9115LVD<A>57 #1M	1.257	1597.46	-82.61	
PTE=17.30/-326.33	48%AMP				
CXC81	->9213ABI<B>57 #1	1.355-1695.74	-396.78	PTE=	
0.00/-136.78	58%AMP				
L7093	->9215LVD<B>57 #1M	1.339	1702.28	-51.59	
PTE=17.81/-253.20	51%AMP				
CXC80	->9313ABI<C>57 #1	1.214-1500.57	-395.22	PTE=	
0.00/-109.85	52%AMP				

L7092	->9315LVD<C>57 #1M	1.339	1702.28	-51.59	
PTE=17.81/-253.20	51%AMP				
714LVDRYE57	734.82	16.0	0.00	0.00	
0.00	0.00			0.0-1962.9	
	0.996				
L7016	-> 702DUV73556 #1M	1.339	1781.91	-225.52	
PTE=17.22/-258.22	44%AMP				
L7044	-> 715CHE73554 #1M	1.289	1610.50	-296.97	
PTE=14.42/-310.48	26%AMP				
L7045	-> 770BRU73554 #1M	1.321	1654.44	-261.65	
PTE=10.77/-196.85	44%AMP				
T62 73	->5814LVDSTQ75 #1 TFX	0.033	0.00	41.76	PTE=
0.00/ 0.17	3%MVA 1.000				
T61 73	->9105VER73C57 #1 TFX	0.003	2.70	2.26	PTE=
0.00/ 0.00	0%MVA 1.000				
CXC14	->9114LVD<A>57 #1	1.291-1580.15	-427.51	PTE=	
0.00/ -91.90	49%AMP				
CXC13	->9214LVD<B>57 #1	1.367-1684.47	-407.62	PTE=	
0.00/-103.01	52%AMP				
CXC12	->9314LVD<C>57 #1	1.367-1684.47	-407.62	PTE=	
0.00/-103.01	52%AMP				
	720RAD73557 750.17	48.7	0.00	0.00	0.0 -345.6
0.00	0.00				
	1.023				
T2 31	-> 320RAD31558 #1M TFX	0.448	-563.19	153.29	PTE=
0.26/ 23.82	29%MVA 1.000				
T3 31	-> 320RAD31558 #2M TFX	0.469	-588.75	161.55	PTE=
0.32/ 24.81	30%MVA 1.000				
L7089	-> 749LG273557 #1M	0.842-1068.21	-247.52	PTE=	
0.34/ -33.64	14%AMP				
L7088	-> 749LG273557 #2M	0.869-1103.63	-253.08	PTE=	
0.36/ -31.88	14%AMP				
L7063	->9180NEM<A>57 #1M	1.277	1661.99	-79.92	
PTE=15.86/-327.86	58%AMP				
L7062	->9280NEM<B>57 #1M	1.277	1661.99	-79.92	
PTE=15.86/-327.86	58%AMP				
	722CHISSI57 755.45	47.0	0.00	0.00	0.0 -175.2
0.00	0.00				
	1.031				
L7067	-> 107LG373557 #1	0.361	-472.05	32.59	PTE=
0.04/ 0.42	11%AMP				
L7068	-> 112LG373557 #1	0.483	-632.79	40.26	PTE=
0.08/ 0.76	15%AMP				
L7057	-> 723LMOYNE57 #1	0.271	341.17	-97.83	PTE=
0.26/-297.97	4%AMP				
L7060	-> 749LG273557 #1	0.364	-454.81	-147.11	PTE=
0.66/-428.73	6%AMP				

L7066	-> 750LG373557 #1	0.237	-310.65	13.08	PTE=
0.02/	0.18 7%AMP				
L7059	->9182ALB<A>57 #1M	1.166	1529.22	-16.22	
PTE=12.30/-353.13	53%AMP				
	723LMOYNE57 752.59	45.8	0.00	0.00	0.0 -695.7
0.00	0.00				
		1.027			
L7057	-> 722CHISSI57 #1M	0.302	-340.91	-200.14	PTE=
0.26/-297.97	5%AMP				
L7055	-> 724TILLY 57 #1	0.658	-849.83	-128.32	PTE=
1.79/-303.23	21%AMP				
L7056	-> 724TILLY 57 #2	0.658	-849.83	-128.32	PTE=
1.79/-303.23	21%AMP				
L7054	-> 724TILLY 57 #3	0.682	-884.27	-115.00	PTE=
1.86/-278.48	22%AMP				
L7070	-> 782ALBNEL57 #2M	0.990	1287.68	-128.67	PTE=
8.08/-444.51	19%AMP				
L7069	->9382ALB<C>57 #1M	1.253	1637.29	4.79	
PTE=13.28/-296.11	48%AMP				
	724TILLY 57 755.98	49.2	0.00	0.00	0.0 -522.3
0.00	0.00				
		1.027			
L7072	-> 113LG473557 #1M	0.375	-486.83	-57.17	PTE=
0.05/	0.46 9%AMP				
L7073	-> 114LG473557 #1M	0.567	-741.43	-4.08	PTE=
0.10/	1.04 14%AMP				
T2 31	-> 324TILLY 58 #1M TFX	0.243	-316.58	26.36	PTE=
0.10/	7.61 16%MVA 0.961				
T3 31	-> 324TILLY 58 #2M TFX	0.243	-316.58	26.36	PTE=
0.10/	7.61 16%MVA 0.961				
L7055	-> 723LMOYNE57 #1M	0.665	851.62	-174.91	PTE=
1.79/-303.23	22%AMP				
L7056	-> 723LMOYNE57 #2M	0.665	851.62	-174.91	PTE=
1.79/-303.23	22%AMP				
L7054	-> 723LMOYNE57 #3M	0.689	886.13	-163.49	PTE=
1.86/-278.48	23%AMP				
L7071	-> 764LG473557 #1M	0.557	-727.89	-0.44	PTE=
0.10/	1.00 14%AMP				
	731CHOUAN57 740.88	21.8	0.00	0.00	0.0 -1167.2
0.00	0.00				
		1.005			
L7025	-> 717JCA73554 #1M	1.142	1444.23	-216.20	
PTE=11.45/-394.78	22%AMP				
L7024	-> 717JCA73554 #2M	1.142	1464.23	-226.20	
PTE=11.45/-394.78	22%AMP				
L7026	-> 718SAG73554 #1	0.820	1030.79	-195.25	PTE=
2.84/-263.10	16%AMP				

T11	73	->	831CHMSTQ75	#1	TFX	0.132	0.00	168.68	PTE=	
0.00/	2.73	14%MVA	1.000							
T12	73	->	5831CHMSTQ75	#1	TFX	0.127	0.00	162.48	PTE=	
0.00/	2.53	13%MVA	1.000							
CXC86		->	9131CHM<A>57	#1		1.016-1267.04	-292.56		PTE=	
0.00/	-76.97	56%AMP								
CXC85		->	9231CHM<B>57	#1		1.071-1342.02	-275.80		PTE=	
0.00/	-85.44	59%AMP								
CXC84		->	9331CHM<C>57	#1		1.047-1309.88	-282.38		PTE=	
0.00/	-81.73	58%AMP								
			749LG273557			49.3	0.00	0.00	0.0 -520.9	
0.00	0.00									
					1.026					
T5-S	13	->	209LG213.59	#1M	TFX	0.001	0.00	1.12	PTE=	
0.00/	1.12	0%MVA	1.000							
L7089		->	720RAD73557	#1		0.834	1068.55	213.88	PTE=	
0.34/	-33.64	14%AMP								
L7088		->	720RAD73557	#2		0.862	1104.00	221.20	PTE=	
0.36/	-31.88	14%AMP								
L7060		->	722CHISSI57	#1M		0.410	455.47	-281.62	PTE=	
0.66/-428.73	6%AMP									
T1-S	13	->	8421LG2A1	59	#1M	TFX	0.221	-286.04	-36.57	PTE=
0.47/	35.95	54%MVA	1.000							
T1-T	13	->	8422LG2A2	59	#1M	TFX	0.220	-284.05	-42.43	PTE=
0.47/	33.21	53%MVA	1.000							
T2-S	13	->	8423LG2A3	59	#1M	TFX	0.214	-276.95	-40.62	PTE=
0.57/	33.80	52%MVA	1.000							
T2-T	13	->	8424LG2A4	59	#1M	TFX	0.219	-283.92	-36.02	PTE=
0.59/	33.53	53%MVA	1.000							
T3-S	13	->	8425LG2A5	59	#1M	TFX	0.222	-286.93	-38.18	PTE=
0.58/	34.61	54%MVA	1.000							
T3-T	13	->	8426LG2A6	59	#1M	TFX	0.220	-284.95	-33.26	PTE=
0.57/	32.36	53%MVA	1.000							
T4-S	13	->	8427LG2A7	59	#1M	TFX	0.225	-290.93	-42.84	PTE=
0.54/	36.85	55%MVA	1.000							
T4-T	13	->	8428LG2A8	59	#1M	TFX	0.221	-287.00	-35.38	PTE=
0.52/	33.27	54%MVA	1.000							
T5-T	13	->	8430LG2A1059	#1M	TFX	0.216	-280.04	-32.30	PTE=	
0.46/	32.25	52%MVA	1.000							
T6-S	13	->	8431LG2A1159	#1M	TFX	0.217	-279.04	-50.51	PTE=	
0.47/	33.99	53%MVA	1.000							
T6-T	13	->	8432LG2A1259	#1M	TFX	0.221	-285.03	-41.58	PTE=	
0.48/	33.87	53%MVA	1.000							
T7-S	13	->	8433LG2A1359	#1M	TFX	0.216	-279.94	-38.65	PTE=	
0.58/	33.84	52%MVA	1.000							
T7-T	13	->	8434LG2A1459	#1M	TFX	0.221	-285.93	-34.60	PTE=	
0.60/	33.92	53%MVA	1.000							

T8-S 13 ->8435LG2A1559 #1M TFX	0.221	-285.84	-39.48	PTE=
0.67/ 35.09 54%MVA 1.000				
T8-T 13 ->8436LG2A1659 #1M TFX	0.222	-287.83	-37.94	PTE=
0.68/ 34.55 54%MVA 1.000				
L7061 ->9380NEM<C>57 #1	1.255	1636.60	-95.10	
PTE=16.45/-380.58 57%AMP				
750LG373557 755.47 47.0	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 0.00				
	1.031			
L7066 -> 722CHISSI57 #1M	0.237	310.67	-12.89	PTE=
0.02/ 0.18 7%AMP				
T1-S 13 ->8437LG3A1 59 #1M TFX	0.121	-158.83	4.53	PTE=
0.11/ 9.10 30%MVA 1.000				
T1-T 13 ->8439LG3A3 59 #1M TFX	0.116	-151.84	8.36	PTE=
0.10/ 9.90 29%MVA 1.000				
764LG473557 754.08 49.2	0.00	0.00	0.0	0.0
0.00 0.00				
	1.027			
L7071 -> 724TILLY 57 #1	0.557	727.99	1.45	PTE=
0.10/ 1.00 14%AMP				
T1-T 13 ->8453LG4A3 59 #1M TFX	0.185	-241.17	10.28	PTE=
0.22/ 15.64 31%MVA 1.000				
T1-S 13 ->8581LG4**259 #1M TFX	0.372	-486.82	-11.72	PTE=
0.88/ 59.47 63%MVA 1.000				
780NEM73557 741.34 36.1	0.00	0.00	0.0	0.0-1004.4
0.00 0.00				
	1.007			
L7079 -> 782ALBNEL57 #1M	0.027	-22.09	-26.20	PTE=
0.00/ -88.97 0%AMP				
T11 73 -> 880NEMSTQ75 #1 TFX	0.077	0.00	98.31	PTE=
0.00/ 0.92 8%MVA 1.000				
T12 73 ->5880NEMSTQ75 #1 TFX	0.104	0.00	133.63	PTE=
0.00/ 1.71 11%MVA 1.000				
L7082 ->9113ABI<A>57 #1	1.335	1710.97	-42.55	
PTE=15.41/-212.56 58%AMP				
CXC63 ->9180NEM<A>57 #1	1.310-1646.20	-331.31	PTE=	
0.00/ -83.38 59%AMP				
L7081 ->9213ABI<B>57 #1	1.335	1710.97	-42.55	
PTE=15.41/-212.56 58%AMP				
CXC62 ->9280NEM<B>57 #1	1.310-1646.20	-331.31	PTE=	
0.00/ -83.38 59%AMP				
L7080 ->9313ABI<C>57 #1	1.183	1513.44	-95.39	
PTE=13.05/-350.77 51%AMP				
CXC61 ->9380NEM<C>57 #1	1.296-1620.23	-367.07	PTE=	
0.00/ -81.61 58%AMP				
782ALBNEL57 741.10 36.1	0.00	0.00	0.0	0.0-1338.4
0.00 0.00				
	1.007			

L7070	-> 723LMOYNE57 #2	1.028-1279.60	-315.83	PTE=	
8.08/-444.51	20%AMP				
L7079	-> 780NEM73557 #1	0.052	22.09	-62.77	PTE=
0.00/-88.97	1%AMP				
T11 73	-> 882ALBSTQ75 #1 TFX	0.100	0.00	128.04	PTE=
0.00/ 1.57	10%MVA 1.000				
T12 73	-> 5882ALBSTQ75 #1 TFX	0.102	0.00	130.16	PTE=
0.00/ 1.62	10%MVA 1.000				
CXC59	->9182ALB<A>57 #1	1.226-1516.98	-409.96	PTE=	
0.00/ -73.06	55%AMP				
L7078	->9183CHI<A>57 #1	1.060	1349.19	-162.38	
PTE=10.47/-428.79	55%AMP				
L7077	->9283CHI<B>57 #1	1.196	1527.07	-130.79	
PTE=12.45/-349.35	62%AMP				
CXC69	->9382ALB<C>57 #1	1.302-1624.07	-383.29	PTE=	
0.00/ -82.39	50%AMP				
L7076	->9383CHI<C>57 #1	1.192	1522.51	-131.55	
PTE=12.37/-351.83	62%AMP				
	783CHI73557 740.11	27.2	0.00	0.00	0.0-1331.2
0.00	0.00				
	1.004				
L7090	-> 713ABI73557 #1M	0.296	377.30	21.38	PTE=
0.20/-188.26	5%AMP				
T11 73	-> 883CHISTQ75 #1 TFX	0.017	0.00	22.07	PTE=
0.00/ 0.05	1%MVA 1.000				
T2 16	->1683CHI16141 #1M TCV	0.020	22.96	10.22	PTE=
0.01/ 0.73	8%MVA 1.0 ( 8/17)				
T3 16	->1683CHI16141 #2M TCV	0.020	22.63	-11.78	PTE=
0.01/ 0.75	8%MVA 1.0 ( 7/17)				
T12 73	->5883CHISTQ75 #1 TFX	0.020	0.00	25.17	PTE=
0.00/ 0.06	2%MVA 1.000				
L7086	->9131CHM<A>57 #1M	1.002	1274.03	-134.91	PTE=
7.01/-350.51	55%AMP				
CXC98	->9183CHI<A>57 #1	1.083-1338.76	-353.87	PTE=	
0.00/ -87.46	55%AMP				
L7085	->9231CHM<B>57 #1M	1.060	1349.50	-123.56	PTE=
7.48/-313.92	58%AMP				
CXC97	->9283CHI<B>57 #1	1.212-1514.67	-328.12	PTE=	
0.00/-109.56	62%AMP				
L7084	->9331CHM<C>57 #1M	1.035	1317.17	-128.54	PTE=
7.31/-329.20	57%AMP				
CXC96	->9383CHI<C>57 #1	1.209-1510.19	-329.24	PTE=	
0.00/-108.97	62%AMP				
	1046ABI73C57 739.08	26.4	0.00	0.00	0.0 0.0
0.00	0.00				
	0.997				
T62C 73	-> 713ABI73557 #1M TFX	0.028	0.02	-35.04	PTE=
0.00/ 0.10	13%MVA 1.000				

T62 73 ->5293ABI-CS75 #1 TFX 0.028 -0.02 35.04 PTE= 0.01/ 0.87 13%MVA 1.029  
 1047ABI73C57 739.38 26.4 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.998  
 T61 73 -> 293ABI-CS75 #1 TFX 0.022 -0.03 27.85 PTE= 0.01/ 0.63 10%MVA 1.029  
 T61C 73 -> 713ABI73557 #1M TFX 0.022 0.03 -27.85 PTE= 0.00/ 0.07 10%MVA 1.000  
 9105VER73C57 740.66 16.0 2.70 2.26 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.995  
 T61 73 -> 714LVDRYE57 #1M TFX 0.003 -2.70 -2.26 PTE= 0.00/ 0.00 0%MVA 1.000  
 9113ABI<A>57 736.42 21.9 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.988  
 CXC82 -> 713ABI73557 #1M 1.355 1695.74 170.00 PTE= 0.00/-136.78 58%AMP  
 L7082 -> 780NEM73557 #1M 1.354-1695.55 -170.01  
 PTE=15.41/-212.56 58%AMP  
 9114LVD<A>57 726.18 12.8 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.983  
 CXC14 -> 714LVDRYE57 #1M 1.291 1580.15 335.60 PTE= 0.00/ -91.90 49%AMP  
 CXC94 -> 9115LVD<A>57 #1M 1.291-1580.23 -335.60 PTE= 0.00/ -91.91 49%AMP  
 9115LVD<A>57 718.78 9.6 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.972  
 L7094 -> 713ABI73557 #1 1.291-1580.15 -243.72  
 PTE=17.30/-326.33 49%AMP  
 CXC94 -> 9114LVD<A>57 #1 1.291 1580.23 243.69 PTE= 0.00/ -91.91 49%AMP  
 9131CHM<A>57 731.29 18.5 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.994  
 CXC86 -> 731CHOUAN57 #1M 1.016 1267.04 215.59 PTE= 0.00/ -76.97 56%AMP  
 L7086 -> 783CHI73557 #1 1.016-1267.03 -215.60 PTE= 7.01/-350.51 56%AMP  
 9180NEM<A>57 737.97 33.3 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
 0.999  
 L7063 -> 720RAD73557 #1 1.309-1646.13 -247.94  
 PTE=15.86/-327.86 59%AMP

CXC63	-> 780NEM73557 #1M	1.310	1646.20	247.93	PTE=
0.00/ -83.38	59%AMP				
	9182ALB<A>57	733.87	33.5	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.996			
L7059	-> 722CHISSI57 #1	1.226	-1516.92	-336.91	
PTE=12.30/-353.13	55%AMP				
CXC59	-> 782ALBNEL57 #1M	1.226	1516.98	336.90	PTE=
0.00/ -73.06	55%AMP				
	9183CHI<A>57	730.59	23.6	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.990			
L7078	-> 782ALBNEL57 #1M	1.083	-1338.72	-266.41	
PTE=10.47/-428.79	57%AMP				
CXC98	-> 783CHI73557 #1M	1.083	1338.76	266.40	PTE=
0.00/ -87.46	55%AMP				
	9213ABI<B>57	729.42	21.9	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.988			
CXC81	-> 713ABI73557 #1M	1.355	1695.74	170.00	PTE=
0.00/-136.78	58%AMP				
L7081	-> 780NEM73557 #1M	1.354	-1695.55	-170.01	
PTE=15.41/-212.56	58%AMP				
	9214LVD<B>57	722.83	12.6	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.983			
CXC13	-> 714LVDRYE57 #1M	1.367	1684.47	304.61	PTE=
0.00/-103.01	52%AMP				
CXC93	-> 9215LVD<B>57 #1M	1.367	-1684.55	-304.61	PTE=
0.00/-103.02	52%AMP				
	9215LVD<B>57	720.37	9.2	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.975			
L7093	-> 713ABI73557 #1	1.367	-1684.47	-201.61	
PTE=17.81/-253.20	52%AMP				
CXC93	-> 9214LVD<B>57 #1	1.367	1684.55	201.58	PTE=
0.00/-103.02	52%AMP				
	9231CHM<B>57	731.00	18.3	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.995			
CXC85	-> 731CHOUAN57 #1M	1.071	1342.02	190.35	PTE=
0.00/ -85.44	59%AMP				
L7085	-> 783CHI73557 #1	1.071	-1342.01	-190.36	PTE=
7.48/-313.92	59%AMP				
	9280NEM<B>57	736.97	33.3	0.00	0.00
0.00	0.00			0.0	0.0
		0.999			

L7062 -> 720RAD73557 #1 1.309-1646.13 -247.94  
 PTE=15.86/-327.86 59%AMP  
 CXC62 -> 780NEM73557 #1M 1.310 1646.20 247.93 PTE=  
 0.00/ -83.38 59%AMP  
     9283CHI<B>57 728.85 23.2 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
     0.992  
 L7077 -> 782ALBNEL57 #1M 1.212-1514.63 -218.57  
 PTE=12.45/-349.35 63%AMP  
 CXC97 -> 783CHI73557 #1M 1.212 1514.67 218.56 PTE=  
 0.00/-109.56 62%AMP  
     9313ABI<C>57 723.96 22.4 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
     0.985  
 CXC80 -> 713ABI73557 #1M 1.214 1500.57 255.36 PTE=  
 0.00/-109.85 52%AMP  
 L7080 -> 780NEM73557 #1M 1.214-1500.40 -255.38  
 PTE=13.05/-350.77 52%AMP  
     9314LVD<C>57 722.83 12.6 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
     0.983  
 CXC12 -> 714LVDRYE57 #1M 1.367 1684.47 304.61 PTE=  
 0.00/-103.01 52%AMP  
 CXC92 -> 9315LVD<C>57 #1M 1.367-1684.55 -304.61 PTE=  
 0.00/-103.02 52%AMP  
     9315LVD<C>57 726.37 9.2 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
     0.975  
 L7092 -> 713ABI73557 #1 1.367-1684.47 -201.61  
 PTE=17.81/-253.20 52%AMP  
 CXC92 -> 9314LVD<C>57 #1 1.367 1684.55 201.58 PTE=  
 0.00/-103.02 52%AMP  
     9331CHM<C>57 730.71 18.3 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
     0.994  
 CXC84 -> 731CHOUAN57 #1M 1.047 1309.88 200.65 PTE=  
 0.00/ -81.73 58%AMP  
 L7084 -> 783CHI73557 #1 1.047-1309.86 -200.66 PTE=  
 7.31/-329.20 58%AMP  
     9380NEM<C>57 733.16 33.3 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00  
     0.997  
 L7061 -> 749LG273557 #1M 1.295-1620.15 -285.47  
 PTE=16.45/-380.58 58%AMP  
 CXC61 -> 780NEM73557 #1M 1.296 1620.23 285.47 PTE=  
 0.00/ -81.61 58%AMP  
     9382ALB<C>57 732.57 33.3 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00

0.997  
 L7069 -> 723LMOYNE57 #1 1.302-1624.02 -300.90  
 PTE=13.28/-296.11 50%AMP  
 CXC69 -> 782ALBNEL57 #1M 1.302 1624.07 300.90 PTE=  
 0.00/ -82.39 50%AMP  
 9383CHI<C>57 728.80 23.2 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 0.00

0.992  
 L7076 -> 782ALBNEL57 #1M 1.209-1510.14 -220.28  
 PTE=12.37/-351.83 63%AMP  
 CXC96 -> 783CHI73557 #1M 1.209 1510.19 220.27 PTE=  
 0.00/-108.97 62%AMP  
 804LTDSTQ75 736.58 7.6 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -51.72 GEN

0.999  
 T32 73 -> 704LTD73554 #1M TFX 0.041 0.00 -51.72 PTE=  
 0.00/ 0.24 9%MVA 1.000  
 831CHMSTQ75 726.92 21.8 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -165.95 GEN

0.989  
 T11 73 -> 731CHOUAN57 #1M TFX 0.132 0.00 -165.95 PTE=  
 0.00/ 2.73 14%MVA 1.000  
 880NEMSTQ75 736.38 36.1 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -97.38 GEN

0.998  
 T11 73 -> 780NEM73557 #1M TFX 0.077 0.00 -97.38 PTE=  
 0.00/ 0.92 8%MVA 1.000  
 882ALBSTQ75 737.03 36.1 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -126.47 GEN

0.995  
 T11 73 -> 782ALBNEL57 #1M TFX 0.100 0.00 -126.47 PTE=  
 0.00/ 1.57 10%MVA 1.000  
 883CHISTQ75 736.54 27.2 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -22.03 GEN

1.002  
 T11 73 -> 783CHI73557 #1M TFX 0.017 0.00 -22.03 PTE=  
 0.00/ 0.05 1%MVA 1.000  
 5814LVDSTQ75 728.83 16.0 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -41.59 GEN

0.992  
 T62 73 -> 714LVDRYE57 #1M TFX 0.033 0.00 -41.59 PTE=  
 0.00/ 0.17 3%MVA 1.000  
 5831CHMSTQ75 727.36 21.8 0.00 0.00 0.0 0.0  
 0.00 -159.94 GEN

0.990  
 T12 73 -> 731CHOUAN57 #1M TFX 0.127 0.00 -159.94 PTE=  
 0.00/ 2.53 13%MVA 1.000

5880NEMSTQ75 737.88 36.1 0.00 0.00 0.0 0.0  
0.00 -131.92 GEN 0.994  
T12 73 -> 780NEM73557 #1M TFX 0.104 0.00 -131.92 PTE=  
0.00/ 1.71 11%MVA 1.000  
5882ALBSTQ75 730.88 36.1 0.00 0.00 0.0 0.0  
0.00 -128.54 GEN 0.994  
T12 73 -> 782ALBNEL57 #1M TFX 0.102 0.00 -128.54 PTE=  
0.00/ 1.62 10%MVA 1.000  
5883CHISTQ75 736.32 27.2 0.00 0.00 0.0 0.0  
0.00 -25.11 GEN 1.002  
T12 73 -> 783CHI73557 #1M TFX 0.020 0.00 -25.11 PTE=  
0.00/ 0.06 2%MVA 1.000  
700EQUILLI90 738.00 0.0 0.00 0.00 0.0 0.0  
-15.91 -2.56 EQU 1.000  
-> 702DUV73556 #1 0.013 -15.91 -2.56 PTE=  
0.00/ 0.13  
818MAS73599 770.82 -12.5 990.05 -111.60 0.0 0.0  
0.00 0.00 1.054  
L7040 -> 919CHA73555 #1M 0.742 -990.05 111.60 PTE=  
1.79/ 45.56 9%AMP

**Annexe IX:** *Exemple du modèle Ward*

Nous présentons un exemple sur le réseau de 9 barres dont l'écoulement de puissance et la matrice  $Y_{bus}$  sont:

Barre	<u>Génération</u>		<u>Charge</u>		Tension	Courant injecté
	P	Q	P	Q		
1	1.75	0.2511			1.0	1.7499
					+j0.0	-j0.2511
2			1.4	0.1	0.9869	-1.4021
					-j0.0767	+j0.2103
3			1.0	0.2	0.9856	-0.9890
					-j0.0868	+j0.2901
4			0.8	0.15	0.9939	-0.7954
					-j0.0491	+j0.1902
5	1.45	0.5553			0.9989	1.4232
					-j0.0454	-j0.6207
6			1.0	0.15	0.9916	-0.9936
					-j0.0672	+j0.2186
7	1.5	0.2759			0.9993	1.44889
					-j0.0362	-j0.3301
8	0.7	0.2058			0.9991	0.6743

Barre	<u>Génération</u>		<u>Charge</u>		Tension	Courant injecté
	P	Q	P	Q		
					-j0.0414	-j0.6342
9			1.2	0.25	0.9919	-1.1882
					-j0.0649	+j0.3298

La matrice  $Y_{bus}$ :

9	-j45.0	j20.0	j25.0	0	0	0	0	0
8	j20.0	-j52.9	j20.0	j12.5	0	0	0	0
7	j25.0	j20.0	-j90.0	j10.0	j25.0	j10.0	0	0
6	0	j12.5	j10.0	-j42.5	0	j20.0	0	0
5	0	0	j25.0	0	-j82.5	j12.5	j20.0	j25.0
4	0	0	j10.0	j20.0	j12.5	-j62.5	0	0
3	0	0	0	0	j20.0	0	-j36.0	j16.0
2	0	0	0	0	j25.0	0	j16.0	-j51.2
1	0	0	0	0	0	j20.0	0	j10.0
								-j30.0

Toutes les données sont en p.u.

Nous allons remplacer les barres externes 6, 7, 8 et 9 par son équivalent attaché aux barres frontières 4 et 5 selon deux versions différentes de Ward.

➤ **Première version**

Modèle Ward injection: Traiter les barres de charge externe comme des injections de courant

Nous extrayons les sous-matrices suivantes:

$$\mathbf{Y}_{ee} = \begin{bmatrix} -j45.0 & j20.0 & j25.0 & 0 \\ j20.0 & -j52.9 & j20.0 & j12.5 \\ j25.0 & j20.0 & -j90.0 & j10.0 \\ 0 & j12.5 & j10.0 & -j42.5 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y}_{be} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & j25.0 & 0 \\ 0 & 0 & j10.0 & j20.0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_e = \begin{bmatrix} -1.1882 + j0.3299 \\ 0.6743 - j0.6343 \\ 1.4889 - j0.3301 \\ -0.9936 + j0.2186 \end{bmatrix}$$

D'où:

$$\mathbf{Y}_{be}\mathbf{Y}_{ee}^{-1}\mathbf{I}_e = \begin{bmatrix} -0.2621 + j0.2516 \\ 0.2826 + j0.1568 \end{bmatrix}$$

et

$$Y_{be} Y_{ee}^{-1} Y_{eb} = \begin{bmatrix} -13.8859i & -10.9265i \\ -10.9265i & -18.8675i \end{bmatrix}$$

Selon la formule ( 2-2 ), la matrice d'admittance du réseau réduit est:

$$Y_{bus}^{nouv.} = \begin{bmatrix} 5 & -j68.61 & j23.43 & j20.0 & j25.0 & 0 \\ 4 & j23.43 & -j43.63 & 0 & 0 & j20.0 \\ 3 & j20.0 & 0 & -j36.0 & j16.0 & 0 \\ 2 & j25.0 & 0 & j16.0 & -j51.2 & j10.0 \\ 1 & 0 & j20.0 & 0 & j10.0 & -j30.0 \end{bmatrix}$$

Parallèlement, la formule ( 2-3 ) donne la matrice des courants injectés:

$$I_{bus}^{nouv.} = \begin{bmatrix} 1.6853 - j0.8722 \\ -1.0781 + j0.0335 \\ -0.9890 + j0.2901 \\ -1.4021 + j0.2103 \\ 1.7499 - j0.2511 \end{bmatrix}$$

➤ **Deuxième version:**

Modèle Ward admittance: les apports dans les nœuds sont convertis en admittances shunt.

Puisque nous savons que:

$$S = VI^* = V \left( \frac{V}{Z} \right)^* = \frac{V^2}{Z^*} = V^2 \bar{y}^*$$

donc:  $\bar{y} = \left( \frac{S}{V^2} \right)^* = \frac{S^*}{V^2}$

Les valeurs obtenues sont:

Barre	S injectée	Tension	$\bar{y}$
( Module )			
9	-1.20 - j0.25	0.994	-1.2 + j0.253
8	0.70 + j0.2058	0.9257	0.8168 - j0.2402
7	1.5 + j0.2759	1	1.5 - j0.2759
6	-1.0 - j0.15	0.9939	-1.0 + j0.152

Évidemment, nous devons annuler les courants injectés aux barres externes:

$$\mathbf{I}_e = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La matrice  $\mathbf{Y}_{bus}$  dans ce cas est:

$$\begin{array}{|c|ccccc|cc|cc|} \hline 9 & 1.2 - j45.253 & j20.0 & j25.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 8 & j20.0 & -0.8168 - j52.6598 & j20.0 & j12.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & j25.0 & j20.0 & -1.5 - j89.72 & j10.0 & j25.0 & j10.0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & j12.5 & j10.0 & 1-j42.6518 & 0 & j20.0 & 0 & 0 \\ \hline 5 & 0 & 0 & j25.0 & 0 & -j82.5 & j12.5 & j20.0 & j25.0 \\ 4 & 0 & 0 & j10.0 & j20.0 & j12.5 & -j62.5 & 0 & j20.0 \\ \hline 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.0 & 0 & -j36.0 & j16.0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & j25.0 & 0 & j16.0 & -j51.2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.0 & 0 & j10.0 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}$$

À partir de ce point, nous répétons les mêmes calculs que dans l'autre version.

Néanmoins, certaines simplifications peuvent être faites tout de suite, tel que:

$$\mathbf{Y}_{be} \cdot \mathbf{Y}_{ee}^{-1} \mathbf{I}_e = \mathbf{0} \quad \text{car } \mathbf{I}_e \text{ est un vecteur nul.}$$

Il s'ensuit que la matrice des courants injectés dans le réseau réduit est:

$$\mathbf{I}_{\text{bus}}^{\text{nouv.}} = \begin{bmatrix} -0.7954 - j0.19024 \\ 1.4232 - j0.62069 \\ -0.9890 + j0.2901 \\ -1.4021 + j0.2103 \\ 1.7499 - j0.2511 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y}_{\text{be}} \mathbf{Y}_{\text{ee}}^{-1} \mathbf{Y}_{\text{eb}} = \begin{bmatrix} 0.2557 - j13.9323 & 0.0797 - j10.9482 \\ 0.0797 - j10.9482 & -0.2819 - j18.8296 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y}_{\text{bus}}^{\text{nouv.}} = \begin{bmatrix} 5 & -0.2557 - j68.567 & -0.0797 + j23.4482 & j20.0 & j25.0 & 0 \\ 4 & -0.0797 + j23.4482 & 0.2819 - j43.6704 & 0 & 0 & j20.0 \\ 3 & j20.0 & 0 & -j36.0 & j16.0 & 0 \\ 2 & j25.0 & 0 & j16.0 & -j51.2 & j10.0 \\ 1 & 0 & j20.0 & 0 & j10.0 & -j30.0 \end{bmatrix}$$

Quelle que soit l'approche, la formule ( 2-2 ) montre que les courants injectés aux barres frontières sont  $\mathbf{I}_b + \mathbf{I}_{eq}$ , ainsi la puissance totale injectée à une barre frontière est la sommation de la puissance initiale et de celle qui vient du réseau externe calculé au cas de base.

## **Annexe X: Article N° 1**

### **Detection and Identification of Topological Errors from Real-Time Measurements Reconciliation**

Présenté à:

IEEE PES 2002 Winter Meeting Janvier 2002

# Detection and identification of topological errors from real-time measurements reconciliation

Mai Hoa Vuong<sup>1</sup>, Serge Lefebvre<sup>2</sup>, Xuan Dai Do<sup>1</sup>

1) *École Polytechnique de Montréal, Génie électrique, P.O.Box 6079, Montréal, Québec, H3C 3A7*  
 2) *Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 1800 Boul. Lionel-Boulet, Varennes, Québec, Canada, J3X 1S1*

**Abstract-** State estimation assumes that measurement errors are statistically small, that data redundancy is adequate in number, type and topological distribution of measurements. Furthermore, network configuration and parameters are assumed known. Frequently, these hypotheses are not true. Topology errors result from errors in the status of the circuit breakers associated with a network branch such as a line, a transformer, a shunt capacitor, or a bus tie. In this paper, network configuration and parameter errors are addressed and an identification procedure is demonstrated.

**Keywords-** energy management system; topology; error detection; transmission system

## I. INTRODUCTION

The topology of a power system is continuously changing due to the varying nature of the load. Many devices are put out/in under normal daily operations, but for economic reasons, not all the logical switches are telemetered. Manual updating of their status is neglected by the personnel due to higher priorities. Such digital status errors can either cause state estimation of an energy management system to diverge or to identify a large number of conforming bad telemetry data in some part of the network model. Other sources of malfunction or inaccuracies are errors on the system parameters as well as on the analog data.

Several functions in the energy management system are used to eliminate these errors.

The preprocessing function that carries out topological analysis at the station level is normally restricted to a straight "network configurator" based on the logical status information. Due to the low

redundancy and the absence of branch voltage drop, a thorough digital status validation cannot be performed except in cases where a switch is directly associated to a branch flow measurement [1]. Algorithms are also applied to detect measurements containing systematic gross errors. The questionable measurements are excluded from that feeding state estimation.

Additional topological errors and bad data may be reported by the state estimation function. For identifying these, the state estimator residuals are used in statistical testing.

A single bad data has the largest absolute normalized residual. Multiple non-interacting bad data occur when there exist several gross errors corrupting measurements with uncorrelated residuals. In these cases, identification is relatively straightforward.

There are also wrong measurements with correlated residuals and they are usually situated near the same buses. They may mask each other in the sense that their effects may cancel each other out in the residuals. Hence, the bad data undetectable by the hypothesis tests applied to these quantities. The performance for handling such multiple errors leaves room for improvement [2].

The computational burden varies as the measurement redundancy increase. One on the main reasons for having redundant measurement information is precisely to provide the capability to detect and identify such errors.

Processing of the "configurated network" and of raw data measurements at the transmission system level provides an alternative for the detection and identification of multiple errors (topological and parameters). Data reconciliation exploits information

redundancy and conservations laws to extract accurate and reliable information from measurements.

Bonanomi in [3] is an example of such strategies. This paper proposes simple consistency checks involving the power flow balance at a bus. Starting at any node whose voltage is measured, these checks involve sequential calculation of adjacent bus voltages using the measured or derived line flows and the known line parameters. The entire network must be covered. The system must be observable from the voltage measurements and the line flows, which is a conservative observability condition. The redundant measurements serve to perform consistency checks involving tolerances. The method is simple but conservative in terms of observability requirements, as it is not suited to measuring systems consisting primarily of bus injections.

The use of global information in state estimation to reveal topology errors is showed in [4 -7]. In [10], a robust pre-processing estimation method determines the branch statutes provided measurements are locally redundant

To alleviate the difficulties, this paper presents an efficient data reconciliation strategy. Plant measurements, including data derived from analyses, are reconciled in such a way that KVL and KCL are satisfied. Unmeasured values are calculated and the precision of reconciled values is quantified. A set of measurements consisting of voltage magnitudes, pairs of active and reactive flows, pairs of active and reactive bus injections are assumed available.

The method requires one line flow measurement by loop, and sometimes power injection at particular bus. Unlike in [3], a substantial proportion of line flows measurements are necessary for adequate observability and minimal error propagation. Also, the decoupling assumption is made: bad voltage drops are related with bad reactive power flows and bad voltage angles with bad active power flows. Mainly, Bonanomi's method consists of a sequential calculation of the complex bus voltages in a way that is compatible with the data validation features. For the approach presents here, problem formulation could be decoupled in P and Q line flows, but the hypotheses for sensitivity factors imply that bus voltage is near unity.

## II. DETECTION OF TOPOLOGY ERRORS

### A. Motivation of the proposed method

If there are sufficient measurements, branch status can be assessed from simple tests. For example, given flow

measurements at the two ends of a branch, statistical tests on filtered measurements can identify status even with multiple interacting bad data and without any topology information [10]. Practically this supersedes decision making based thresholds on branches that are measured on one branch side.

However, the assumption in this paper is that the measurement system cannot be improved for local redundancy. Therefore, branch statuses are being determined from sensitive measurements and characteristic values characterizing the assumed topology and branch parameters.

### B. The approach

A status-change of one branch can result in considerable variations of line flows in the neighbouring branches and the power injected into the nearby bus. Nevertheless, away from the error area, these variations are weaker and weaker.

Therefore, an approach is proposed whereby it is possible to partition the network into many loops for separate examination. This makes the topology estimation problem a series of small problems. The most sensitive raw branch measurement in each loop is used to identify topology problems in this loop.

The basic measurements used are lines flow and nodal injections that are readily available for state estimation. Voltage measurements also are used for additional consistency check. When the sensitive measurement is outside the tolerance, this indicates there may be an error in the loop. It is also important to take into account errors in the measurements while making these tests.

### C. Line outage distribution factors

The method requires some simple indicators to determine the more topology sensitive line flow measurement in each loop. Usage of several distribution factors has become popular in control centers due to the pressure of deregulation. The off-line computation of the distribution factor matrices is not an issue and it is performed by commercial software products. For example, NERC [8] has defined Power Transfer Distribution Factors (PTDF), which represent the distribution of Interchange Schedules across a given flowgate. A flowgate is a modeled transmission line or transformer that can become limiting during system operation and for which representation is made in the interim. The NERC model consists of 100 control areas and 1164 flowgates.

case. In fact, the variation of power flow on line  $jk$  due to the outage of line  $lm$  is given by (Line Outage Distribution Factor LODF):

$$\tau_{jk,lm} = (\Delta S_{jk} / S_{lm}) |_{out\,lm} \quad (1)$$

where  $S_{lm}$  denotes the line flow from bus  $l$  to bus  $m$ .

In the above formula, the coefficients  $\tau$  are:

$$\tau_{jk,lm} = (\rho_{lm,k} - \rho_{lm,j}) z_{lm}^* / [(\rho_{lm,l} - \rho_{lm,m} - 1) z_{jk}^*] \quad (2)$$

The distribution factor  $\rho_{lm,x}$  (Line Flow Distribution Factor LFDF) used above represents the sensitivity of power flows on line  $lm$  given the variation of injection power at bus  $x$ . We calculate these values from the  $Z_{bus}$  matrix and the primitive impedance  $z$  according to the formula:

$$\rho_{lm,k} = \partial S_{lm} / \partial S_k = [(Z_{buslk} - Z_{busmk}) / z_{lm}]^* \quad (3)$$

The notation  $z_{lm}$  refers to the impedance of line  $lm$ .

The factors  $\rho_{lm,k}$  and  $\tau_{jk,lm}$  are used in the algorithm of detection of topological errors.

#### D. Data reconciliation algorithm

Loops can be obtained by first obtaining a spanning tree for the graph and then looking for cycles from the non-tree branches. A spanning tree is a tree that includes all the bus. The fundamental loops so defined form a loop base of the graph. Every loop of the graph is the union of two or more loops from this loop base. Of course, the number of loops in a graph is generally exponential in the number of nodes of the graph.

If the network is described by the incident  $A$  matrix such as:

$$[A] = [A_T \mid A_L]$$

With

$A_T$ : matrix of the tree's bond  
and

$A_L$ : matrix of the co-tree's bond.

Then, the fundamental loops matrix is:

$$[B] = (-(A_T^{-1} A_L)^T \mid I)$$

For topology detection reliability, redundancy in branch loop inclusion would be a nice feature. However, this redundancy is not required, as well as it is not required to span all network branches. Branches where digital switch status can be inferred at the network configurator level can be excluded. Furthermore, it is convenient for real-time applications to reduce the amount of information. Hence, the algorithm relies on disjoint loops.

#### 1) Loop Selection Algorithm:

REPEAT until all buses are used:

- Discard branches with known status, except those branches creating radial sections when eliminated.
- Eliminate isolated buses.
- Calculate the spanning tree.
- Select a fundamental loop.

END

Note: when branches cannot be discarded, some loops become dependent.

#### 2) Reconciliation Algorithm:

In each loop, we repeat the following steps:

- a) Analyse off-line LODF to localize the most sensitive branch of the loop for any branch status modification.
- b) Take measurements associated with the following elements: the  $S_{jk}$  transit on the critical line and the power injections  $S_i$  in the loop. The  $\Delta S_i$  value is used to validate hypotheses.
- c) Evaluate  $\Delta S_{jk}$  and  $\Delta S_i$  as follows:

$$\Delta S_{jk} = S_{jk}^{mes} - S_{jk}^{base} \quad (4)$$

$$\Delta S_i = S_i^{mes} - S_i^{base} \quad (5)$$

The values  $S_{jk}^{base}$  and  $S_i^{base}$  corresponding to the load flow obtained from the last reliable solution of the state estimator.  $S_{jk}^{mes}$  is the measured line flow on the critical line at step b.  $S_i^{mes}$  is the measure of injected power at bus  $i$ . This bus is one of loop's buses that the power injections are available.

power at bus  $i$ . This bus is one of loop's buses that the power injections are available.

d) When  $\Delta S_{jk}$  difference goes over the prescribed limit, there may be an error in this loop and we write it on the list of candidates to be examined more intensely in step d.

Conduct a verification to detect a line in perturbation in the targeted loop.

Steps a and d require more explications.

Details about step a:

We outage each line of the loop respectively and in each case, we first note the line and the nod which underwent significant variations. We find the variation of  $jk$  transit due to an outage of line  $lm$  with the following equation:

$$S_{jk}^B = S_{jk}^A + \tau_{jk,lm} S_{lm}^A \quad (6)$$

where case  $A$  is the "all lines in" (base case) and  $B$  denotes the line outage case.

Or:

$$\Delta S_{jk} = \tau_{jk,lm} S_{lm}^A \quad (7)$$

The first step of the selection consists of making a decreasing order list of  $\Delta S_{jk}$  values calculated for each situation, which is the removal of one branch in the loop. Naturally, the branch that undergoes the strongest line flows' change in all cases is the most sensitive branch and must be measured. If there is uncertainty of the choice, which means the critical position changes in accordance with the contingency, other factors can be analysed in the final decision. Indeed, some branches in the networks are considered as branches under surveillance, thus in priority the sensitive element in the loop must be classified according to this outage. If not, the use of standard deviation  $\sigma$  and variation  $\Delta S_{jk}$  mean is pertinent for raising the most sensitive element in regard to the set of all contingencies. We note that the standard deviation  $\sigma$  is a measure of dispersion in order to eliminate a variable who is very different from a contingency another.

Details about step d:

Here is the method suggested to detect the problematic branch in the loop identified as suspect:

In turns, we suppose that a branch in the loop changes its status and we evaluate theoretically the  $S_{jk}$  value on line  $jk$ . These lines are selected at step a as the measurement positions.

The results obtained are compared with the real-time measurement values. A loop containing  $n$  lines possessed  $n$  result sets, since they are  $n$  possibilities of closing or opening the branch.

The set of results that is nearest the measurement values reflects the real condition of the network. Thus, it is possible to correct the modelling error. We must stress on that this expressed is also applicable when the loop is composed of parallel lines. Radial lines in antenna cannot be covered by the loops; associated measurements must be locally redundant to allow topology estimation on these lines.

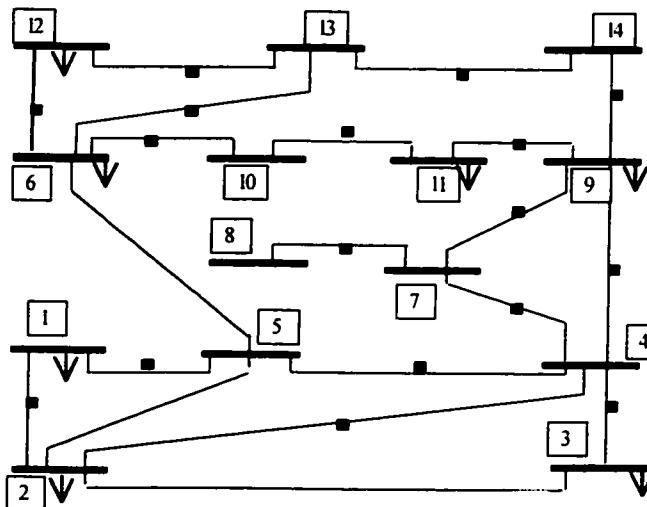
3) Reconciliation Algorithm: correction of parameters

After correcting the network topology, residual errors may remain for example transformer tap settings, transformer impedances or transmission line impedances. Model parameter errors can be statistically corrected by a parameter estimation algorithm provided sufficient measurements redundancy [7].

### III. RESULTS OF TESTS ON BENCHMARK

This section presents some comments on the computational aspects of the application of the proposed methodology to the IEEE-14 bus system depicted in Figure 1.

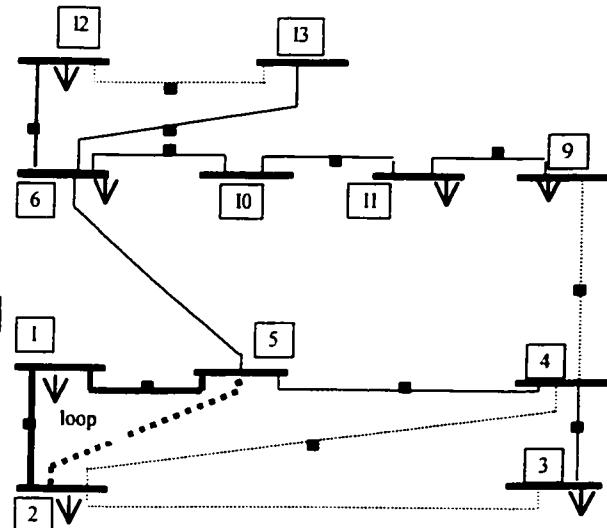
The metering scheme consists voltage measurements, injection measurements, and flow measurements. The following branches status is certain from bus information: branches between 4 and 7, between 7 and 9, between 7 and 8, between 9 and 14, and between 13 and 14. The status of all other network branches is not reliably known.



■ Line flow measurement  $\nabla$  Injection measurement  
**Figure 1: IEEE 14-bus network**

*A. Prepare phase: definition of loops.*

- Step 1: Remove branches whose status is known from the network.
- Step 2: Remove isolated buses from the network
- Step 3: Find minimum spanning tree of the reduced network
- Step 4: Select a loop obtained by the closure of a branch in the co-tree. At this step, the circuit diagram shown in Figure 2 is obtained. The loop selected involves the tree branches 1-2, 1-5, and the co-tree branch 2-5.
- Step 5: Eliminate the tree branches 1-2, 1-5, and the co-tree branch 2-5. Eliminate node 1 that becomes isolated.
- Step 6: Find minimum spanning tree of the reduced network.
- Step 7: Select a loop obtained by the closure of a branch in the co-tree. The loop selected involves the tree branches 2-4, 3-4, and the co-tree branch 2-3. Continued application of this procedure will identify loop 3 and loop 4. The four loops selected are tabulated in Table 1.
- All loops are independent and cover all branches whose status is uncertain.



**Figure 2 : Tree and loops of reduced 14-bus network at step 4**

**Table 1**  
**Loops in the IEEE 14-bus network**

Loop	Branch						
1	<b>1-5</b>	1-2	2-5				
2	2-4	2-3	<b>3-4</b>				
3	<b>4-5</b>	6-5	4-9	6-10	9-11	10-11	
4	6-12	<b>6-13</b>	12-13				

(critical branch flows are shown in bold)

*B. Calculus phase:*

1) Characteristic table of critical branches

Step a: Determine critical branch in each loop for the base system. This is achieved by calculating  $\Delta S_{kj}$  for each line after an outage of any line in the loop, given the base topology and the line flows. Table 2 lists the values obtained for loop 1. Branch 1-5 has the highest mean shift and it is declared the critical branch. If there is no flow measured on this line, the next most critical line must be selected. The flow  $\Delta S_{1-5}$  changes according to the line taken out and can discriminate an outage of 1-5 with that of (1-2 or 2-5). If the values were too close, discrimination would require additional criteria based on the injected powers or the voltages.

Table 2  
Theoretical values of  $\Delta S_{kj}$  for lines in loop 1

Branch	Out 1-5	Out 1-2	Out 2-5	Mean
1-5	0.7563	1.6002	0.1490	0.835
1-2	0.7601	1.582	0.1482	0.829
2-5	0.3633	0.7610	0.406	0.51

The computations are repeated for the three other loops.

Table 3 is the resulting characteristic table of critical branches.

Table 3  
Characteristic table of critical branches

Branch out	Loop	Critical branch	Characteristic
1-5	1	1-5	0.7563
1-2	1	1-5	1.6002
2-5	1	1-5	0.1490
2-4	2	3-4	0.1570
2-3	2	3-4	0.7139
3-4	2	3-4	0.2431
4-5	3	4-5	0.6362
4-9	3	4-5	0.0488
5-6	3	4-5	0.4109
6-10	3	4-5	0.0441
9-11	3	4-5	0.0373
10-11	3	4-5	0.0224
6-12	2	6-13	0.0699
6-13	2	6-13	0.1913
12-13	2	6-13	0.0153

## 2) Test Results:

### Case 1: Simple error: outage on branch 2-3

Step b: Obtain the real time measurements on the critical branches. The values are obtained by a simulation of the network with branch 2-3 open.

Step c: Compute the error between the measured values of the critical lines flow and their base values. This yields Table 4.

Step d: Compare the critical lines flow discrepancies with the critical values in Table 3. Table 5 shows the hypotheses retained.

Step e: To test the hypotheses, the magnitude of the  $\Delta S$  flow error is not an accurate discriminating indicator. Nodal information must be used. The match is best at all measured injection points with branch 2-3 out. The injected power mismatch becomes lower than the threshold so that there should be no other topology error. So far, the algorithm is not prone to convergence problems, which is of great value in a real-time environment. When this test is not feasible, for example when a bus injection is not available for testing in a loop, another approach is to run load flows to reflect the topology hypotheses and to pick the best match. Here the algorithm could run into convergence problems.

Table 4  
Critical lines flow discrepancies measured

Loop	Branch	$\Delta S$ p.u.
1	1-5	0.2012
2	3-2	0.7737
3	4-5	0.4067
4	6-13	0.012

Table 5  
Hypotheses resulting from data reconciliation

Loop	Line flow	$\Delta S$ measured	Nearby charact. value	Branch out Hypoth.	$\Delta S$ error
2	3-4	0.7737	0.7139	2-3	0.0598
3	4-5	0.4067	0.4109	5-6	0.0042
4	6-13	0.012	0.0153	12-13	0.0033

### Case 2: Double errors:

#### *outage on branches 2-3 and 2-4*

The algorithm is tested next on a double contingency case). Table 6 lists the error between the measured values of the critical lines flow and their base values (column 3). It also lists the hypotheses regarding network topology.

Nodal information must be used to select a

hypothesis. The injected power mismatch is the smallest at all measured injection points with branch 2-3 out. The remaining mismatches are indicated in Table 7 and the new hypotheses. Branch 2-4 is identified from the nodal injection discrepancies. Based on superposition, the method handles an arbitrary number of topology errors.

Table 6  
Hypotheses resulting from data reconciliation  
(double error)

Loop	Line flow	$\Delta S$ measured	Nearby charact. value	Branch out hypoth.	$\Delta S$ error
1	1-5	0.7025	0.7563	1-5	0.0538
2	3-4	0.7880	0.7139	2-3	0.0741
3	4-5	1.2952	n.a.	n.a	n.a.
2	6-13	0.0323	0.0153	12-13	0.01730

Table 7  
Hypotheses resulting from data reconciliation  
(status of branch 2-3 already compensated)

Loop	Line flow	$\Delta S$ measured	Nearby charact. value	Branch out hypoth.	$\Delta S$ error
1	1-5	0.5106	0.7563	1-5	0.2394
2	3-4	0.0885	0.1570	2-4	0.0685
3	4-5	0.889	0.6362	4-5	0.2590
2	6-13	0.0206	0.0153	12-13	0.0106

#### IV. COMMENTS

We first note the simplicity and the rapidity of the method suggested here. Distribution factors are measured explicitly with short formulas, there is no iteration to do, therefore no convergence problem, and calculation time is minimal. By observing anomaly in each loop to locate irregular loops and next to detect the wrong status line, the procedure is systematic, no subjective and easy to automate.

The method doesn't need too many measurements and they are quite accessible in real-time. Interpretation of results is direct. Furthermore, from the test results on the IEEE 14 bus, we can expect a minor probability of intemperate detection because the transit load flow on

the measured line differs substantially from contingency to the next.

After some simulations, we notice that the use of the variation of real power  $\Delta P_{ij}$  as an anomaly index instead of  $\Delta S_{ij}$  makes a comparison with the characteristic table more obvious because theoretical and measured values in the identified case are very close. Thus, the analysis could use  $\Delta P$  instead  $\Delta S$ .

#### V. CONCLUSIONS

A real-time method has been described to identify topology errors not detectable from a standard display of logical devices abnormal status, e.g. a current is measured but the device is declared open. The main constraint was to restrict the measurement set to that in place for state estimation, however topology error identification has been handled separately from state estimation.

Studies have also been conducted on a real large network with noisy data. The procedures developed have proven useful to detect line parameter errors. This will be described in a follow-up paper.

#### VI. REFERENCES

- [1] M. Assadian, R.J. Goddard, H.W. Hong, D. French, "Field operational experiences with on line state estimator," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 50-58, Feb. 1994.
- [2] M.G. Cheniae, L. Mili, and P.J. Rousseeuw, "Identification of multiple interacting bad data via power system decomposition," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, pp. 1555-1563, Aug. 1996
- [3] P. Bonanomi, G. Gramberg, "Power system data validation and state calculation by network search techniques," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 102, no. 1, pp. 238-249, Jan. 1983.
- [4] R.L. Lugtu, D.F. Hacketl, K.C. Liu, D.D. Might, "Power system state estimation: Detection of topological errors," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 99, no. 6, pp. 2406-2412, Dec. 1980.
- [5] F. F. Wu, W-H. E. Liu, "Detection of topology errors by state estimation," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 176-183, Feb. 1989.
- [6] K.A. Clements, P.W. Davis, "Detection and Identification of Topology Errors in Electric Power Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 1748-1753, Nov. 1988.

- state and systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, no 1, pp. 81-89, Feb. 1992.
- [8] NERC page at <http://www.nerc.com/filez/dftf.html>.
- [9] Alt, Fuchs, Kriegel, "On the number of simple cycles in planar graphs" 23<sup>rd</sup> International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, Berlin, Germany, 18-20 June 1997.
- [10] L. Mili, G. Steeno, F. Dobroca, D. French, "A robust estimation method for topology error identification," *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol 14, No 4, pp. 1469-1476, Nov. 1999.

## VII. BIOGRAPHIES

**Mai Hoa Vuong** received her B. Ing in Electrical Engineering in 1989 and her M. Sc. A in applied mathematics in 1990, both from École Polytechnique, Montreal, Canada. Before entering her Ph. D. program at Ecole Polytechnique she worked for Spar Aerospace, the Montreal Stock Exchange, and Hydro-Quebec. Her research interests include energy management systems, communication issues associated to electromagnetic compatibility.

**Serge Lefebvre** received the B. Sc.A. and the M.sc.A degrees in electrical engineering from Ecole Polytechnique, Montreal, Canada, in 1976 and 1977 respectively and the Ph. D. from Purdue University, Indiana, in 1980. He has worked at Research Institute of Hydro-Quebec (IREQ) since 1981 while being an associate professor at Ecole Polytechnique, Montreal. As a member of IEEE, Dr. Lefebvre served as Chairman of the working group "Dynamic performance and modeling of dc systems and power electronics for transmission systems". S. Lefebvre is presently research project leader in the area of transmission and distribution. His current research activities are centered on load modeling, load prediction, reactive control, frequency control and calculation of available transmission capacity for the Energy Management Systems of the transmission and distribution networks.

**Xuan Dai Do** received his B.A.Sc., M.A.Sc. and Ph.D. degrees in electrical engineering from Laval University, Quebec in 1966, 1968 and 1971, respectively. He has been at Ecole Polytechnique de Montreal, Canada since 1971, where he presently is a professor in the Electrical Engineering department. His areas of teaching and research are in the analysis, modeling and simulation of HVAC and HVDC power systems, surge and insulation coordination and sizing of EHV overhead conductors. Dr. Do is a senior member of IEEE, and he has authored or co-authored numerous technical papers. He was awarded the IEEE centennial medal in 1984 and the IEEE outstanding student branch counsellor in 1981.

## **Annexe XI: Article N° 2**

### **Detection and Estimation of Topology and Parameter Errors from Real-Time Measurements**

Présenté à:

IEEE PES 2002 Summer Meeting Juillet 2002

# Detection and estimation of topology and parameter errors from real-time measurements

Mai Hoa Vuong<sup>1</sup>, Serge Lefebvre<sup>2</sup>, Xuan Dai Do<sup>1</sup>

1) *École Polytechnique de Montréal, Génie électrique, P.O.Box 6079, Montréal, Québec, H3C 3A7*  
 2) *Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 1800 Boul. Lionel-Boulet, Varennes, Québec, Canada, J3X 1S1*

---

**Abstract-** This paper deals with the detection and correction of topology and modeling errors in power system state estimation. The proposed method partitions the network into loops. Then anomalies-sensitive measurements are used to diagnose real-time data and the power system model. Finally the method is demonstrated on a real network.

**Keywords-** energy management system; topology; error detection;.

## I. INTRODUCTION

This paper presents a method for detecting and identifying topology and modeling errors in electrical power networks from real-time measurements.

Topology diagnosis is based on an assumed topology, provided by a network configurator function, and a base load flow solution, provided by a state estimator function. Topology information serves to partition the network branches into loops. In each loop, the most sensitive SCADA branch flow serves to identify topology problems through sensitivity analysis and a characteristic table. For the critical (most-sensitive) line in each loop, the error between its real-time measurement and the base case line flow is checked against a tolerance -- to avoid confusion, we must emphasize that the definition of critical branch in this paper is associated with the most sensitive branch flow following the opening of others lines in the loop. When

the tolerance is exceeded, the loop diagnosis and correction is based on the characteristic table. The proposed methodology has been tested with success on the IEEE 14-bus system for the single and double errors [1] but in the absence of parameter errors.

Significant differences between state estimator results and real-time data are also associated with parameter errors like transformer tap settings, incorrect transformer and transmission line impedances. Parameter estimation techniques based on state augmentation [2] have been followed by dynamic parameter estimation techniques, based on several snapshot [3]. From the linearized decoupled state estimation results, it is possible to identify a set of suspect parameters in the network. Then, a method is proposed to estimate the parameter based on a series of consecutive state estimation results. Only errors on susceptance can be estimated, the extension of the method for parameter errors does not seem trivial due to computational issues.

Despite the theoretical innovation, parameter estimation is rarely used although some companies developed parameter estimation prototypes by enhancing the existing state estimation source code.

In this paper, we show that the same network decomposition used in topology diagnosis can be extended to detect and correct parameter errors in a simple manner.

## II. METHODOLOGY

The approach used to diagnose topology errors [1] is carried over to modeling errors. Similar to a topology error, the effect of a parameter error is discrepancies on flows associated with the erroneous line and its neighbors. The premise is that discrepancies between the real-time data and the state estimator is attributed only to a topological error, or only to parameter errors. Parameter error detection is based on  $\Delta S_{jk}$ , which is the difference between measured and calculated value of  $S_{jk}$ .

The first step, after construction of the sensitivity or characteristic tables, is to locate the branch with parameter errors. This is achieved by choosing in characteristic table, the case of topological errors which best matches the variation. This behaves quite well for large errors.

Diagnosis of small parameter errors with the characteristic table is more challenging. However, since the effect is restricted to a small neighborhood, this permits to reduce the number of loops. Also in the diagnosis of a suspicious loop, only the lines with a critical value smaller than the measured value are retained. This reduces the number of hypotheses to check. For each hypothesis, a parameter estimation is performed and after correction, the network solution is updated. The hypothesis is retained if it yields the

$$B_{ik} = \frac{X_{ik}}{(R_{ik}^2 + X_{ik}^2)}$$

The flow in the series admittance is produced by state estimation. This flow is computed as:

$$S_{ik} = Y_{ik}^* (V_i^* - V_k^*) V_i \quad (1)$$

Suppose that bus  $i$  is connected to bus  $k, l, m$  the mismatch equation at bus  $i$  is :

$$V_i [(V_k - V_i) Y_{ki} + (V_l - V_i) Y_{li} + (V_m - V_i) Y_{mi}]^* + S_i = 0 \quad (2)$$

$S_i$  injected power at bus  $i$ .

smallest  $\Delta S_{jk}$  in all loops. Error correction involves only fine tuning of parameters.

When the line is located, parameter updating relies on the real-time measurements and the pi-equivalent circuit illustrated in Fig. 1. The method can be extended to transformer taps.

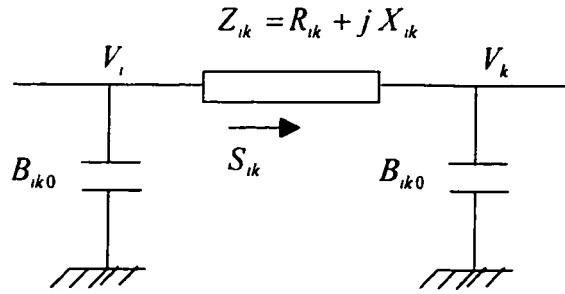


Figure 1: A pi model of the line

Define:

Series impedance :

$$Z_{ik} = R_{ik} + jX_{ik}$$

Series admittance :

$$Y_{ik} = G_{ik} - jB_{ik}$$

$$\text{With: } G_{ik} = \frac{R_{ik}}{(R_{ik}^2 + X_{ik}^2)}$$

Line charging cannot be separately measured since it is distributed along the length of a line. We have:

$$S_{ik}^{line} = P_{ik} + jQ_{ik}^{line} \quad (3)$$

$$= S_{ik} + V_i V_i^* (jB_{ik0})^* \quad (4)$$

The real power flow in line  $ik$  is:

$$P_{ik} = V_i^2 G_{ik} - |V_i V_k| [G_{ik} \cos(\delta_i - \delta_k) - B_{ik} \sin(\delta_i - \delta_k)] \quad (5)$$

where  $\delta_k, \delta_i$  are bus voltage angles.

Using the DC load flow formulation, equation (5) becomes:  $P_{ik} = B_{ik} (\delta_i - \delta_k)$ .

There are two options to obtain the parameters:

1- If  $S_i$  is measured, even if  $Y_{ik}$  is erroneous, we

can deduce the correct value of  $S_{ik}$  from the mismatch equation, because the exact parameter of others lines are assumed known. Having the approximate value of  $S_{ik}$ , we can find  $Y_{ik}$ :

$$Y_{ik}^* = \frac{S_{ik}}{(V_i^* - V_k^*)V_i} \quad (7)$$

2- If  $S_{ik}^{line}$  is measured, it means  $P_{ik}$  is known:

- from the solution  $\mathbf{x}$  of the state estimator  $\mathbf{Hx} = \mathbf{z}$ , where  $\mathbf{H}$  is calculated with nominal value of parameters, we find the estimate for  $\mathbf{z}$  noted  $\mathbf{z}^e$  ( $\mathbf{z}^e = P_{ik}^e$  for a real power).
- using this estimated measure, evaluate the admittance by:

$$B_{ik} = \frac{P_{ik}^e}{(\delta_i - \delta_k)} \quad (8)$$

- reformulate  $\mathbf{H}$ , and repeat the estimation until convergence ( $P_{ik}^e = P_{ik}$ ).

### III. APPLICATION

Topology error diagnosis and model parameter updates are demonstrated on the Trans-Énergie network. The state estimator solution includes the high voltage transmission network at 735 kV and several sub-networks with different voltages (120, 230, 315 kV). The network can be represented by 631 aggregated buses and 841 branches. For demonstration purposes, topological and modeling errors are restricted to the 735kV network. For diagnosis purposes, a 154 bus and 225 branches 735kV network is used. To cover this network as in [1], 38 loops have been identified. Two cases have been tested.

#### Case 1: Topology errors

**A long distance parallel line connecting two 735kV buses is not in service**

Real-time noisy measurements are created to emulate this condition. The assumption is that the line removed is not directly monitored, representative of operation during a crisis. Diagnosis is based on the

$\Delta P_{jk}$  discrepancy between the available SCADA flow measurements and the calculated flow, defined by:

$$\Delta P_{jk} = P_{jk}^{mes} - P_{jk}^{calcul}$$

These values are distributed according to Table 1. An error  $\Delta P$  greater than the tolerance indicates an error probable in the loop. To take into account the noise, the tolerance is set to 0.02pu. Most of the errors (75%) are less than 50MW in magnitude. The highest discrepancy (-544.34) is captured on one line (line No 61 which is a parallel line with the outaged line). This line participates to three loops, namely loops 10, 11 and 30.

Table 1: Critical lines flow discrepancies measured  
( Case 1 )

$\Delta P$ ( MW ) at critical lines	Number of measures in interval	% Lines
0 → 50	21	75 %
50 → 100	1	3.5%
100 → 150	3	10.7%
150 → 200	1	3.5%
200 → 250	1	3.5%
Max -544.34	1	3.5%

Next, examine the characteristic tables of these three loops (shown in Table 2) for the entry closest to the error -544.34 on the real flow. It turns out that -587.1 is near -544.34 with a relative error of

$$(-587.1 - 544.34) / 587.1 * 100 \% = 7.3 \%$$

This correspond to an outage of either one of the two identical parallel lines 61 and 62, line 61 being the outaged line.

Table 2: Characteristic table of suspicious loops

	Outaged line	Variation of flows MVA ( $\times 1000$ )
Loop 10	59	$0.7642 + 0.1028j$
	63	$1.0626 + 0.0512j$
	61	$-0.5871 - 0.0642j$
Loop 11	59	$0.7642 + 0.1028j$
	63	$1.0626 + 0.0512j$
	62	$-0.5871 - 0.0642j$
Loop 30	59	$0.7642 + 0.1028j$
	63	$1.0626 + 0.0512j$
	167	$-0.3793 + 0.0776j$

**Case 2: Large parameter errors**

**The parameters of another long distance line must be tuned**

This case is designed to illustrate that it is possible to identify parameter errors and make appropriate corrections. A new set of measurements is used to obtain the deviations  $\Delta P_{jk}$  in each loop. Here the smallest  $\Delta P_{jk}$  is 0.03 and the greatest  $\Delta P_{jk}$  is 524.8. The deviations distribution is shown in Table 3. Most of the errors (79%) are less than 50MW in magnitude.

Table 3: Critical lines flow discrepancies measured  
( Case 2 )

$\Delta P$ ( MW ) at critical lines	Number of measures in interval	% Lines
$0 \rightarrow 50$	22	79 %
$50 \rightarrow 100$	3	10.5%
$100 \rightarrow 150$	1	3.5%
$150 \rightarrow 200$	0	0%
$200 \rightarrow 250$	1	3.5%
<b>Max 524.8</b>	<b>1</b>	<b>3.5%</b>

The largest discrepancy (524.8) occurs on one line (line No 87) is now on line 87 which is involved in 3 loops: loop 14, 15 and 18.

In Table 4, none of the values listed is close to 524.8 which is an indication of multiple errors. We notice that in loop 14:

Line 85 falls:  $\Delta P_{87} = 221.67$ .

And in loop 15:

Line 86 falls:  $\Delta P_{86} = 231.70$ .

Using superposition, the total deviation is obtained as  $221.67 + 231.70 = 453.37$ . This value is near 524.8 with a relative error:

$$( 524.8 - 453.37 ) / 524.8 * 100 \% = 13.6 \%$$

Lines 85 and 86 are parallel lines. This is interpreted as two parallel lines being modeled incorrectly between the buses named 703 and 707. From state estimator output, the following estimates are available:

$$V_i = V_{703} = 1.005 \angle 5.6^\circ$$

$$V_j = V_{707} = 1.011 \angle 0^\circ$$

$$\text{Flow on branch 1: } S_{703 \rightarrow 707} = 740.83 - 109.03j$$

$$\text{Flow on branch 2: } S_{703 \rightarrow 707} = 724.83 - 181.48j$$

Using ( 7 ) we find:

$$\text{Branch 1: } Z_{703 \rightarrow 707} = 0.0005 + 0.0133j$$

$$\text{Branch 2: } Z_{703 \rightarrow 707} = 0.0018 + 0.0132j$$

while the true values are:

$$Z_{703 \rightarrow 707} = 0.0005 + 0.0133i \text{ for each branch.}$$

Table 4: Characteristic table of suspicious loops  
( Case 2 )

	Outage line	Variation of flows MVA ( $\times 100$ )
Loop 14	87	$-8.4224 + 2.6824j$
	95	$1.1484 - 0.8150j$
	107	$-6.1405 - 1.3009j$
	85	$2.2167 - 0.5216j$
Loop 15	87	$-8.4224 + 2.6824j$
	95	$1.1484 - 0.8150j$
	107	$-6.1405 - 1.3009j$
	86	$2.3170 - 0.5331j$
Loop 18	87	$-8.4224 + 2.6824j$
	95	$1.1484 - 0.8510j$
	107	$-6.1405 - 1.3009j$
	93	$-0.7874 + 0.2827j$

#### IV. DISCUSSION

In the cases studied, noise was less than 5% of the signals. At this noise level, and without measurement biases, the method could give the good answer without ambiguity. At higher noise level and with biases, data can be filtered.

In the system, there were 38 loops which were characterized by 28 measures. In general, for parameter correction of a branch, its branch flow must be monitored. Topology and parameter errors on an observability-critical branch can be detected provided this branch is part of a loop which does not involve only observability-critical branches.

If observability is weak, parameter estimates are less accurate. Since the method is robust with respect to detection and identification of topology and modeling errors, it is possible at least to locate the errors and analyze them. In the case of multiple errors, the anomalies can situate in the same loop, in neighboring loop or in a far away loop.

The method presented is able to diagnose whether branches between existing nodes are in or out of service.

#### V. CONCLUSION

This paper addressed branch parameter estimation by extending our earlier work on topological error detection. Because the effects of those two kinds of errors on flow deviations  $\Delta P_{jk}$  are similar, steps in [1] are followed. A value  $\Delta P_{jk}$  greater than the tolerance means an error is present in the loop. If not a topological error, it is assumed to be a parameter error. In most cases, we can locate the faulty line in the loop by examining the characteristic tables. All computations are simple and direct, not subject to convergence problems.

The concept is to survey lines in the same loop by just one measure, so it is not expensive and is effective in the real network.

#### VI. REFERENCES

- [ 1 ] M. H. Vuong, S. Lefebvre, X. D. Do, "Detection and identification of topological errors from real-time measurements reconciliation," in *Proc. IEEE Power Engineering Society 2002 Winter Meeting*.
- [ 2 ] A.S. Debs, "Estimation of steady-state power system model parameters," *IEEE Trans. On Power App. And Systems*, Vol 93, pp 1260-1268, Sept/Oct 1974.
- [ 3 ] I.W. Slutsker, S. Mokhtaru, K.A. Clements, "Real-time recursive parameter estimation in energy management systems," *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol 11, pp. 1393-1399, August 1998.

#### VII. BIOGRAPHIES

**Mai Hoa Vuong** received her B. Ing in Electrical Engineering in 1989 and her M. Sc. A in applied mathematics in 1990, both from École Polytechnique, Montreal, Canada. Before entering her Ph. D. program at École Polytechnique she worked for Spar Aerospace, the Montreal Stock Exchange, and Hydro-Québec. Her research interests include energy management systems, communication issues associated to electromagnetic compatibility.

**Serge Lefebvre** received the B. Sc.A. and the M.sc.A degrees in electrical engineering from Ecole Polytechnique, Montreal, Canada, in 1976 and 1977 respectively and the Ph. D. from Purdue University, Indiana, in 1980. He has worked at Research Institute of Hydro-Québec (IREQ) since 1981 while being an associate professor at Ecole Polytechnique, Montreal. As a member of IEEE, Dr. Lefebvre served as Chairman of the working group "Dynamic performance and modeling of dc systems and power electronics for transmission

systems". S. Lefebvre is presently research project leader in the area of transmission and distribution. His current research activities are centered on load modeling, load prediction, reactive control, frequency control and calculation of available transmission capacity for the Energy Management Systems of the transmission and distribution networks.

**Xuan Dai Do** received his B.A.Sc., M.A.Sc. and Ph.D. degrees in electrical engineering from Laval University, Quebec in 1966, 1968 and 1971, respectively. He has been at Ecole Polytechnique de Montreal, Canada since 1971, where he presently is a professor in the Electrical Engineering department. His areas of teaching and research are in the analysis, modeling and simulation of HVAC and HVDC power systems, surge and insulation coordination and sizing of EHV overhead conductors. Dr. Do is a senior member of IEEE, and he has authored or co-authored numerous technical papers. He was awarded the IEEE centennial medal in 1984 and the IEEE outstanding student branch counsellor in 1981.