

Qualité de la tension des réseaux de distribution électrique : Estimations des proportions d'utilisateurs mal alimentés

Hélène Castermant (Université de Strasbourg),
Michel Diebolt (Électricité de Strasbourg),
Myriam Maumy-Bertrand (Université de Strasbourg),
Claire Reinhardt (Université de Strasbourg).

Journées de Méthodologie Statistique

24 mars 2009

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Le Décret 2007-1826 du 24 décembre 2007 prévoit :

Une évaluation annuelle du nombre d'utilisateurs du réseau mal alimentés en électricité :

Le Décret 2007-1826 du 24 décembre 2007 prévoit :

Une évaluation annuelle du nombre d'utilisateurs du réseau mal alimentés en électricité :

- Utilisateurs subissant au moins une fois dans l'année une chute de tension excessive ou une surtension excessive.

Le Décret 2007-1826 du 24 décembre 2007 prévoit :

Une évaluation annuelle du nombre d'utilisateurs du réseau mal alimentés en électricité :

- Utilisateurs subissant au moins une fois dans l'année une chute de tension excessive ou une surtension excessive.
- Utilisateur = client d'Électricité de Strasbourg.

Le Décret définit :

Le Décret définit :

- La tension nominale U_n (tension distribuée en théorie) \Rightarrow BT : 230V en monophasé et 400V en triphasé.

Le Décret définit :

- La tension nominale U_n (tension distribuée en théorie) \Rightarrow BT : 230V en monophasé et 400V en triphasé.
- La plage de variations admissibles en BT : $U_n \pm 10\%$ en valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes.

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

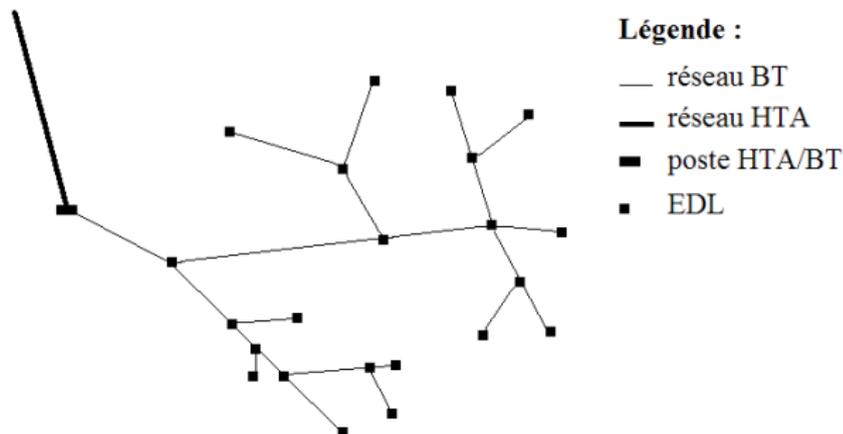
Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Schéma simplifié d'un réseau BT



EDL = Espace De Livraison.

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Données disponibles pour l'étude du phénomène

Données disponibles pour l'étude du phénomène

1. Réclamations émises entre janvier 2004 et avril 2007 : 52 cas avérés sur environ 470000 utilisateurs.

Données disponibles pour l'étude du phénomène

1. Réclamations émises entre janvier 2004 et avril 2007 : 52 cas avérés sur environ 470000 utilisateurs.
2. Résultats de l'étude des réclamations : Données influentes :
 - ▶ Type de câbles reliant l'utilisateur au poste d'alimentation.

Données disponibles pour l'étude du phénomène

1. Réclamations émises entre janvier 2004 et avril 2007 : 52 cas avérés sur environ 470000 utilisateurs.
2. Résultats de l'étude des réclamations : Données influentes :
 - ▶ Type de câbles reliant l'utilisateur au poste d'alimentation.
 - ▶ Charge du réseau entre l'utilisateur et le poste d'alimentation.

Données disponibles pour l'étude du phénomène

1. Réclamations émises entre janvier 2004 et avril 2007 : 52 cas avérés sur environ 470000 utilisateurs.
2. Résultats de l'étude des réclamations : Données influentes :
 - ▶ Type de câbles reliant l'utilisateur au poste d'alimentation.
 - ▶ Charge du réseau entre l'utilisateur et le poste d'alimentation.
 - ▶ Distance entre l'utilisateur et le poste d'alimentation.

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Pas de lien entre la base de données des utilisateurs et la cartographie du réseau

Pas de lien entre la base de données des utilisateurs et la cartographie du réseau

- Longueur des câbles entre l'utilisateur et le poste?
INCONNUE en général.

Pas de lien entre la base de données des utilisateurs et la cartographie du réseau

- Longueur des câbles entre l'utilisateur et le poste ?
INCONNUE en général.
- Nature et section des câbles entre l'utilisateur et le poste ?
INCONNUES en général.

Pas de lien entre la base de données des utilisateurs et la cartographie du réseau

- Longueur des câbles entre l'utilisateur et le poste ?
INCONNUE en général.
- Nature et section des câbles entre l'utilisateur et le poste ?
INCONNUES en général.
- Charge du réseau ? **INCONNUE** en général.

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Données disponibles

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :
 - ▶ Distance vol d'oiseau EDL - poste le plus proche est CONNUE.

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :
 - ▶ Distance vol d'oiseau EDL - poste le plus proche est CONNUE.
 - ▶ Majorité des EDL raccordés au poste d'alimentation le plus proche.

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :
 - ▶ Distance vol d'oiseau EDL - poste le plus proche est CONNUE.
 - ▶ Majorité des EDL raccordés au poste d'alimentation le plus proche.
2. Relation linéaire entre distances :

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :
 - ▶ Distance vol d'oiseau EDL - poste le plus proche est CONNUE.
 - ▶ Majorité des EDL raccordés au poste d'alimentation le plus proche.
2. Relation linéaire entre distances :
 - ▶ Longueur des câbles (DRE) entre un utilisateur et son poste d'alimentation.
 - ▶ Distance à vol d'oiseau (DVO) entre un utilisateur et le poste d'alimentation le plus proche. [▶ Voir schéma réseau BT](#)

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :
 - ▶ Distance vol d'oiseau EDL - poste le plus proche est CONNUE.
 - ▶ Majorité des EDL raccordés au poste d'alimentation le plus proche.
2. Relation linéaire entre distances :
 - ▶ Longueur des câbles (DRE) entre un utilisateur et son poste d'alimentation.
 - ▶ Distance à vol d'oiseau (DVO) entre un utilisateur et le poste d'alimentation le plus proche. ▶ Voir schéma réseau BT
 - ▶ Droite de régression estimée : $DRE = 0,96 * DVO + 155$ (à partir des données des réclamations).

Données disponibles

1. Base de données des EDL reliée à la cartographie du réseau :
 - ▶ Distance vol d'oiseau EDL - poste le plus proche est CONNUE.
 - ▶ Majorité des EDL raccordés au poste d'alimentation le plus proche.
2. Relation linéaire entre distances :
 - ▶ Longueur des câbles (DRE) entre un utilisateur et son poste d'alimentation.
 - ▶ Distance à vol d'oiseau (DVO) entre un utilisateur et le poste d'alimentation le plus proche.
 - ▶ Droite de régression estimée : $DRE = 0,96 * DVO + 155$ (à partir des données des réclamations).

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Hypothèses de travail

- Chutes de tension corrélées avec distance EDL - poste.

Hypothèses de travail

- Chutes de tension corrélées avec distance EDL - poste.
- Base de données des EDL reliée au réseau BT.

Hypothèses de travail

- Chutes de tension corrélées avec distance EDL - poste.
- Base de données des EDL reliée au réseau BT.
- Majorité des EDL reliés au poste d'alimentation le plus proche.

Hypothèses de travail

- Chutes de tension corrélées avec distance EDL - poste.
- Base de données des EDL reliée au réseau BT.
- Majorité des EDL reliés au poste d'alimentation le plus proche.
- Un EDL comprend un ou plusieurs utilisateurs et un utilisateur n'est relié qu'à un seul EDL.

Hypothèses de travail

- Chutes de tension corrélées avec distance EDL - poste.
- Base de données des EDL reliée au réseau BT.
- Majorité des EDL reliés au poste d'alimentation le plus proche.
- Un EDL comprend un ou plusieurs utilisateurs et un utilisateur n'est relié qu'à un seul EDL.
- Tous les utilisateurs d'un même EDL ont la même tension.

Dans un premier temps :

Dans un premier temps :

- Stratification des EDL selon DVO EDL - poste :

Strate	Limite en m	Risque	Nb d'EDL	Réclamations
1	[0 ;50[	Quasi nul	17267	0
2	[50 ;150[	Faible	91690	0
3	[150 ;300[	Moyen	61182	15
4	≥ 300	Élevé	4485	37

Dans un premier temps :

- Stratification des EDL selon DVO EDL - poste :

Strate	Limite en m	Risque	Nb d'EDL	Réclamations
1	[0 ;50[	Quasi nul	17267	0
2	[50 ;150[	Faible	91690	0
3	[150 ;300[	Moyen	61182	15
4	≥ 300	Élevé	4485	37

- Dans chaque strate, tirage d'un échantillon d'EDL selon un sondage aléatoire simple à probabilités égales sans remise en privilégiant les strates 3 et 4.

Dans un second temps :

Dans un second temps :

- Dénombrement des utilisateurs raccordés à chaque EDL et mesure chez un seul utilisateur de l'EDL (**hypothèse : tous les utilisateurs d'un même EDL ont la même tension**).

Dans un second temps :

- Dénombrement des utilisateurs raccordés à chaque EDL et mesure chez un seul utilisateur de l'EDL (**hypothèse : tous les utilisateurs d'un même EDL ont la même tension**).
- Mesures en hiver : période où il y a le plus de chutes de tension excessives (charge du réseau maximale).

- Estimateur dans chaque strate :

$$\hat{P}_{CT,h} = \frac{M_h}{m_h \hat{N}_h} \sum_{i=1}^{m_h} \hat{Y}_{i,h}$$

avec

$$\hat{N}_h = M_h \frac{\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}}{m_h} \quad \text{et} \quad \hat{Y}_{i,h} = \sum_{k=1}^{N_{i,h}} Y_{i,k,h}$$

- Estimateur dans chaque strate :

$$\hat{P}_{CT,h} = \frac{M_h}{m_h \hat{N}_h} \sum_{i=1}^{m_h} \hat{Y}_{i,h}$$

avec

$$\hat{N}_h = M_h \frac{\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}}{m_h} \quad \text{et} \quad \hat{Y}_{i,h} = \sum_{k=1}^{N_{i,h}} Y_{i,k,h}$$

- Estimateur global :

$$\hat{P}_{CT} = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^4 \hat{N}_h \hat{P}_{CT,h}$$

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

Strate	M_h
1	17267
2	91690
3	61182
4	4485
Total	174624

Strate	M_h	m_h
1	17267	10
2	91690	25
3	61182	99
4	4485	94
Total	174624	228

Strate	M_h	m_h	$\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}$
1	17267	10	46
2	91690	25	64
3	61182	99	150
4	4485	94	128
Total	174624	228	388

Strate	M_h	m_h	$\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \frac{\hat{Y}_{i,h}}{N_{i,h}}$
1	17267	10	46	0
2	91690	25	64	0
3	61182	99	150	6
4	4485	94	128	14
Total	174624	228	388	20

Strate	M_h	m_h	$\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \frac{\hat{Y}_{i,h}}{N_{i,h}}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \hat{Y}_{i,h}$
1	17267	10	46	0	0
2	91690	25	64	0	0
3	61182	99	150	6	6
4	4485	94	128	14	16
Total	174624	228	388	20	22

Strate	M_h	m_h	$\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \frac{\hat{Y}_{i,h}}{N_{i,h}}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \hat{Y}_{i,h}$	$\hat{P}_{CT,h}$
1	17267	10	46	0	0	0%
2	91690	25	64	0	0	0%
3	61182	99	150	6	6	4%
4	4485	94	128	14	16	12,5%
Total	174624	228	388	20	22	0,94%

Strate	M_h	m_h	$\sum_{i=1}^{m_h} N_{i,h}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \frac{\hat{Y}_{i,h}}{N_{i,h}}$	$\sum_{i=1}^{m_h} \hat{Y}_{i,h}$	$\hat{P}_{CT,h}$
1	17267	10	46	0	0	0%
2	91690	25	64	0	0	0%
3	61182	99	150	6	6	4%
4	4485	94	128	14	16	12,5%
Total	174624	228	388	20	22	0,94%

L'intervalle de confiance à 95% associé à la proportion d'utilisateurs subissant des chutes de tension excessives est égal à $[0,33\% ; 1,55\%]$.

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

1. Rappel, surtension excessive :

- ▶ Ancienne norme (avant le décret) : tension $> 244V (U_n+6\%)$.

1. Rappel, surtension excessive :

- ▶ Ancienne norme (avant le décret) : tension $> 244\text{V}$ ($U_n+6\%$).
- ▶ Depuis le décret : tension $> 253\text{V}$ ($U_n+10\%$) en valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes.

1. Rappel, surtension excessive :
 - ▶ Ancienne norme (avant le décret) : tension $> 244V$ ($U_n+6\%$).
 - ▶ Depuis le décret : tension $> 253V$ ($U_n+10\%$) en valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes.
2. Données disponibles pour l'étude du phénomène :
 - ▶ Réclamations émises entre fin 2003 et fin 2007 : 4 cas de surtension se produisant tout au long de l'année.

1. Rappel, surtension excessive :

- ▶ Ancienne norme (avant le décret) : tension $> 244V$ ($U_n+6\%$).
- ▶ Depuis le décret : tension $> 253V$ ($U_n+10\%$) en valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes.

2. Données disponibles pour l'étude du phénomène :

- ▶ Réclamations émises entre fin 2003 et fin 2007 : 4 cas de surtension se produisant tout au long de l'année.
- ▶ Cas de surtension de la campagne de mesures de l'hiver 2007-2008 : 5 cas de surtension.

1. Rappel, surtension excessive :

- ▶ Ancienne norme (avant le décret) : tension $> 244V (U_n+6\%)$.
- ▶ Depuis le décret : tension $> 253V (U_n+10\%)$ en valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes.

2. Données disponibles pour l'étude du phénomène :

- ▶ Réclamations émises entre fin 2003 et fin 2007 : 4 cas de surtension se produisant tout au long de l'année.
- ▶ Cas de surtension de la campagne de mesures de l'hiver 2007-2008 : 5 cas de surtension.

Enfin 9 cas retenus pour l'étude du phénomène

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

1. Dans un premier temps :
 - ▶ Tirage d'un échantillon d'EDL selon un sondage aléatoire simple à probabilités égales sans remise.

1. Dans un premier temps :
 - ▶ Tirage d'un échantillon d'EDL selon un sondage aléatoire simple à probabilités égales sans remise.
2. Dans un second temps :
 - ▶ Dénombrement des utilisateurs raccordés à l'EDL et mesure chez un seul utilisateur de l'EDL (**hypothèse : tous les utilisateurs d'un même EDL ont la même tension**).

1. Période des mesures :

- ▶ Dans un premier temps, des mesures sur une année entière (surtensions tout au long de l'année) :

1. Période des mesures :

- ▶ Dans un premier temps, des mesures sur une année entière (surtensions tout au long de l'année) :

Échantillon d'EDL divisé aléatoirement en V sous-échantillons de même taille.

1. Période des mesures :

- ▶ Dans un premier temps, des mesures sur une année entière (surtensions tout au long de l'année) :

Échantillon d'EDL divisé aléatoirement en V sous-échantillons de même taille.

Pendant la période v ($1 \leq v \leq V$), les mesures sont faites aux EDL du sous-échantillon v .

1. Période des mesures :

- ▶ Dans un premier temps, des mesures sur une année entière (surtensions tout au long de l'année) :

Échantillon d'EDL divisé aléatoirement en V sous-échantillons de même taille.

Pendant la période v ($1 \leq v \leq V$), les mesures sont faites aux EDL du sous-échantillon v .

2. Estimateur :

$$\hat{P}_S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{N_i} \frac{m}{M} Y_{ik}$$

Plan

Introduction

Décret du 24 décembre 2007

Réseaux électriques

Chutes de tension excessives

Phénomène des chutes de tension

Données disponibles pour l'élaboration d'un plan de sondage

Plan de sondage

Première campagne de mesures l'hiver 2007-2008

Surtensions excessives

Phénomène des surtensions

Plan de sondage

Conclusion

Estimateur final

Annexe

- La chute de tension est un phénomène indépendant de la surtension => Deux échantillons d'EDL et deux plans de sondage différents.

- La chute de tension est un phénomène indépendant de la surtension => Deux échantillons d'EDL et deux plans de sondage différents.
- L'estimateur de la proportion d'utilisateurs subissant des surtensions ou des chutes de tension excessives est égal à :

$$\hat{P} = \hat{P}_{CT} + \hat{P}_S$$

- La chute de tension est un phénomène indépendant de la surtension => Deux échantillons d'EDL et deux plans de sondage différents.
- L'estimateur de la proportion d'utilisateurs subissant des surtensions ou des chutes de tension excessives est égal à :

$$\hat{P} = \hat{P}_{CT} + \hat{P}_S$$

- Modification des plans de sondage selon l'évolution des données disponibles.

Merci pour votre attention !

Schéma simplifié d'un réseau BT

