

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 98 (2007)  
**Heft:** 17

**Artikel:** La vulnérabilité de l'approvisionnement en électricité aux événements météorologiques extrêmes  
**Autor:** Gnansounou, Edgard / Barben, Raphaël  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857473>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# La vulnérabilité de l'approvisionnement en électricité aux événements météorologiques extrêmes

Les événements météorologiques extrêmes sont des causes d'interruptions importantes de la fourniture d'électricité. La médiatisation de certaines perturbations graves a accru l'inquiétude du grand public. Parallèlement, la dérégulation du marché de l'électricité et les changements climatiques annoncés imposent un nouveau cadre de travail aux compagnies d'électricité. Les nouvelles préoccupations économiques et environnementales rendent nécessaires les approches innovantes en vue de trouver un optimum entre la volonté d'une énergie bon marché et la sécurité d'approvisionnement.

Tout au long de la dernière décennie, les événements météorologiques extrêmes (EME) se sont multipliés provoquant chaque fois des interruptions importantes de la fourniture d'électricité. Le nombre de consommateurs affectés et la durée des

*Edgard Gnansounou, Raphaël Barben*

incidents rendent compte en partie de l'ampleur des dégâts subis. En réalité, les pertes se mesurent chaque fois pour l'industrie électrique, les collectivités publiques et les consommateurs finaux en plusieurs millions de francs suisses. Les débats sur le réchauffement climatique et ses conséquences contribuent à accroître l'inquiétude sur l'accroissement à long terme de la fréquence des tempêtes, vagues de chaleur, de froid et de la gravité de leurs effets sur l'approvisionnement en énergie électrique. Même si ces craintes ne sont que partiellement fondées, il est légitime de prendre les dispositions utiles pour renforcer la sécurité d'approvisionnement des consommateurs lors de ces événements et de réduire ainsi les dégâts encourus.

Du point de vue de son impact sur la sécurité d'approvisionnement en électricité, un événement ordinaire peut provoquer des dommages significatifs s'il est couplé à d'autres incidents critiques. Ainsi, le black-out qui s'est produit en Italie en 2003 a été initié par le contact d'une ligne à très haute tension avec un arbre. Un tel incident a certes une grande plausibilité lors de tem-

pêtes de vent ou de neige, mais peut aussi survenir dans des conditions météorologiques ordinaires suite à une croissance rapide de la végétation, à une gestion défaillante de l'élagage des arbres et à une grande exposition de lignes critiques. Heureusement, dans la plupart de ces situations, les compagnies d'électricité rétablissent rapidement la continuité de service. L'impact des conditions météorologiques normales sur la continuité de service est

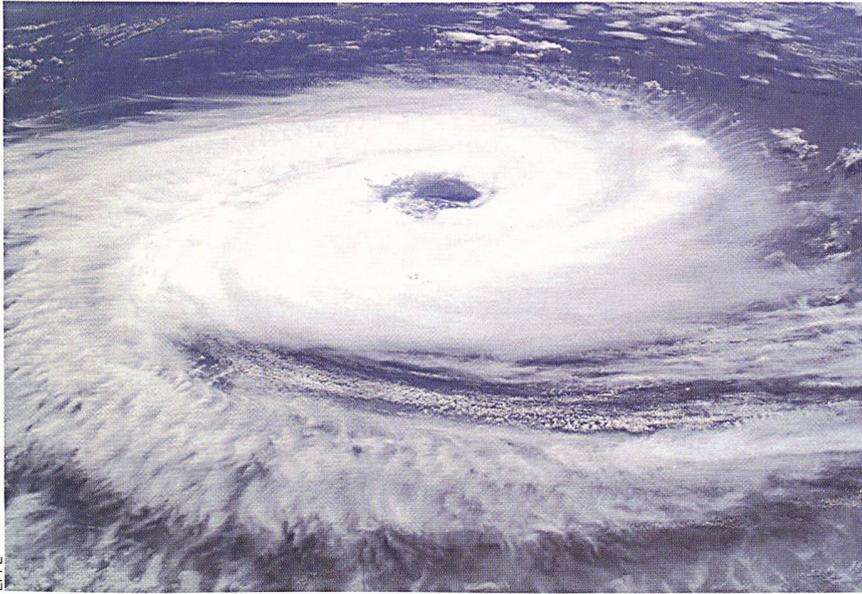
pris en considération lors d'analyses de défaillance réalisées fréquemment par les compagnies d'électricité.

Les effets d'EME (tempêtes, ouragans, orages particulièrement violents) sont plus difficiles à gérer. Il s'agit souvent de cas de défaillances en modes communs auxquelles le système d'approvisionnement n'est souvent pas adapté. Lorsque les infrastructures de transport et de distribution d'électricité sont massivement détruites et les centrales sont isolées des lieux de consommation, il ne reste plus aux exploitants qu'à prendre les dispositions nécessaires pour réduire la durée de la restauration des services d'électricité. Mais la durée de l'interruption de la fourniture d'énergie dépend souvent davantage de la durée des incidents et de l'ampleur des dégâts. Il s'agit souvent de cas de force majeure dont les conséquences sur les infrastructures ne peuvent être évitées à court terme.

Cependant, dans le contexte de la libéralisation en cours en Europe et des nouvelles réglementations du secteur de l'électricité, des dispositions sont prises dans certains pays pour dédommager partiellement les consommateurs qui sont privés d'électricité pour des périodes jugées excessives. La prise en considération de tel-

Événement météorologique	Date	Pays affectés
Tempête de vent (Kyril)	Janvier 2007	Nord de l'Europe
Tempête de neige	Novembre 2005	Allemagne
Cyclone Rita	Septembre 2005	Etats-Unis
Ouragan Katrina	Août 2005	Etats-Unis
Tempête de vent	Janvier 2005	Suède
Tempête de vent	Décembre 2004	France
Tempêtes de neige	Novembre 2004	Pologne
Tempête de glace	Décembre 2002	Etats-Unis
Tempête de vent	Octobre 2002	Grande-Bretagne
Tempête de vent	Janvier 2002	Grande-Bretagne, Pologne, Russie, Scandinavie, Allemagne, Tchéquie, Slovaquie
Ouragans Lothar et Martin	Décembre 1999	France, Allemagne, Suisse
Tempête de verglas	Janvier 1998	Canada, Etats-Unis

Tableau I Événements météorologiques ayant provoqué des perturbations significatives de l'approvisionnement en électricité dans des pays industrialisés au cours de la dernière décennie.



EPFL

**Figure 1 Des événements météorologiques extrêmes.**

La tempête tropicale Katrina a balayé le sud des Etats-Unis en 2005. Les interruptions de courants de plusieurs jours se sont ajoutées aux destructions d'ampères inégales.

les pénalités devrait, pense-t-on, inciter l'industrie électrique à rechercher le meilleur compromis entre un coût d'approvisionnement plus faible pour le consommateur en fonctionnement normal et un risque de pertes accrues pour les compagnies d'électricité en cas d'incidents graves.

C'est surtout en phase de conception et d'adaptation du système d'approvisionnement que les marges de manœuvre sont les plus grandes. Il peut s'agir de mieux protéger les infrastructures dans les zones vulnérables, rechercher un meilleur équilibre entre les économies d'échelle et les

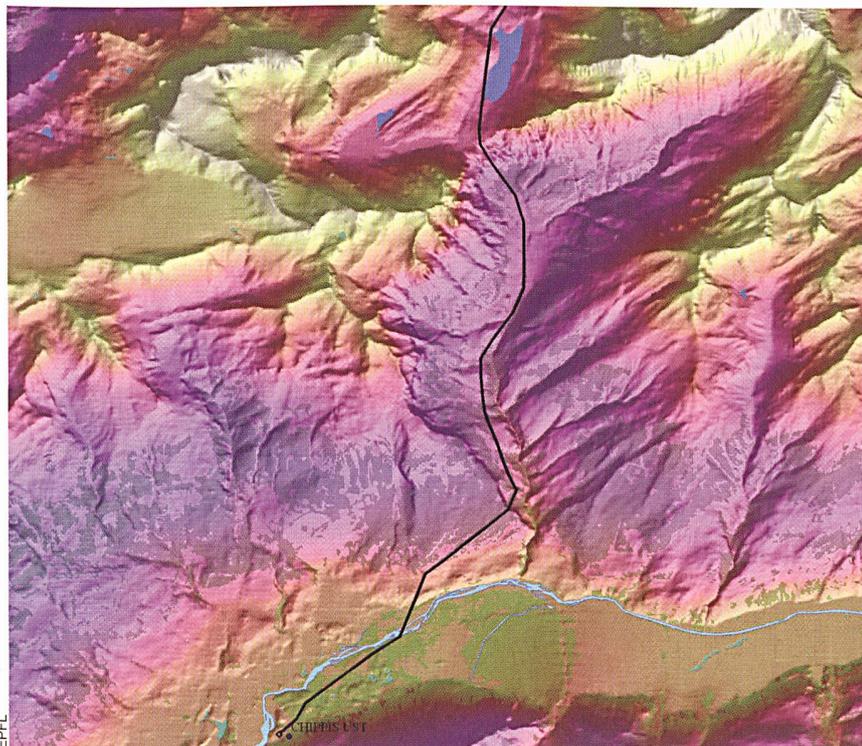
avantages de la production décentralisée d'électricité, améliorer les moyens de communication et de coordination des réseaux, concevoir des stratégies rapides de restauration et se doter, pour ce faire, de ressources logistiques appropriées. Au concept de fiabilité du système adapté au cas ordinaire se substitue alors celui de résilience, c'est-à-dire l'aptitude du système à faire face à des EME, la limitation de l'envergure des dommages et de leur gravité et la rapidité de la restauration des services.

Quelles leçons peut-on tirer de l'expérience internationale en matière de révision de la conception de l'approvisionnement en énergie électrique à la suite d'événements météorologiques extrêmes? Quelles précautions faudrait-il prendre pour réduire dans le cas de la Suisse les risques liés aux perturbations graves provoquées par les EME? Des travaux de recherche en cours à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) tentent de répondre à ces questions.

### L'expérience internationale

Suite aux nombreux EME de la dernière décennie et à leurs impacts sur la continuité de la fourniture d'électricité, plusieurs études ont été menées au niveau international en vue de tirer les enseignements utiles. Ainsi, sur la base de cinq études de cas (Canada, 1998; France, 1999; Pologne, 2004; Suède, 2005, et Lituanie, 2005), l'Union de l'Industrie électrique européenne (Eurelectric, [1]) a tiré différentes conclusions sur les points suivants: les nouvelles exigences en matière de conception des réseaux de distribution, la maintenance, la compensation des consommateurs d'électricité, les incitations pour favoriser les investissements en vue de renforcer la sécurité d'approvisionnement, l'organisation des interventions d'urgence, la communication et la solidarité entre les compagnies d'électricité d'une part et avec les autres intervenants d'autre part en phase de planification et de gestion des interventions d'urgence et des opérations de restauration. Plusieurs pays ont tiré les leçons nécessaires et dans certains cas, des décisions ont été prises relatives aussi bien à la réglementation du secteur de l'électricité qu'à la planification des futurs investissements pour renouveler le réseau électrique. On se limite ici à évoquer le cas de la France.

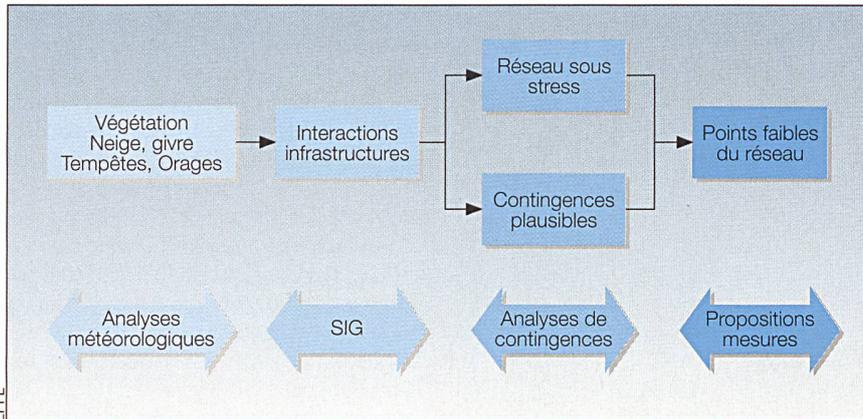
Les ouragans Lothar et Martin ont causé en 1999 des dommages importants principalement en France alors qu'en Allemagne et surtout en Suisse, les dégâts étaient de moindres ampleurs. Le rapport Piketty tirant les leçons pour la France de ces événements [2] conclut à la nécessité d'une



EPFL

**Figure 2 Des cartes d'exposition.**

Des cartes de risque d'accrétion neige humide ont été calculées pour toute la Suisse. Voici un zoom sur la station de Chippis VS et la ligne partant pour Bickigen. En jaune le risque d'accrétion est faible et élevé en violet. La moyenne montagne est une zone à risque en hiver.



**Figure 3 Détecter les points faibles.**  
 Les analyses météorologiques permettent d'identifier les infrastructures exposées à des événements extrêmes. Un SIG permet d'en déduire des contingences plausibles dont les effets sur l'approvisionnement sont évalués par des analyses de contingence. Sur cette base, des contre-mesures sont proposées.

remise en cause de la démarche d'évaluation en France des risques liés aux EME fondée sur un temps de retour de 20 ans et expose un plan d'actions couvrant une large gamme de mesures. Les dommages internes à l'industrie électrique ont été estimés à 2,2 milliards de CHF alors que pour l'ensemble de la collectivité, le coût total des dégâts se situait dans une fourchette de 8 à 10 milliards de CHF. L'énergie non distribuée (END) du fait des défaillances des systèmes électriques s'élevait à 415 GWh et les défaillances des réseaux de distribution en particulier du réseau moyenne tension (20 kV) étaient responsables des ¾ de l'END. Quant aux réseaux à haute et très haute tension, si seulement 0,4% de la longueur totale des lignes et le même pourcentage des pylônes étaient hors de service, leur impact sur l'END était néanmoins significatif (25%). L'analyse des causes révèle que la chute d'arbres était le principal responsable des perturbations du réseau de distribution moyenne et basse tension ainsi que celles du réseau haute tension (respectivement 85% et 73% des dégâts). Dans le cas du réseau très haute tension, les dommages étaient liés principalement selon le rapport de RTE [3] à des conceptions inadaptées ou anciennes des ouvrages. Pour un temps de retour variant entre 50 et 100 ans, le rapport Piketty estime entre 2,2 et 5 milliards de CHF le montant actualisé des dommages encourus et propose que les dépenses de sécurisation du réseau ne dépassent pas la limite supérieure de cette estimation. Pour ce faire, les actions envisagées doivent éviter les solutions simplistes telles que l'enfouissement de la totalité du réseau de distribution. Dans le cas de la France, le coût d'une telle mesure était estimé à environ 25 milliards de CHF, soit 5 fois les dépenses jugées raisonnables pour l'ensemble du réseau. Les ac-

tions décidées sont donc une combinaison des mesures suivantes: plan d'élagage plus efficace, enfouissement volontariste d'une grande proportion des nouvelles lignes de distribution, définition de nouvelles zones de pression de vents et normes de dimensionnement des ouvrages plus sévères dans ces zones, renforcement mécanique de lignes, production décentralisée et d'autres mesures de planification et de gestion des actions d'urgence.

### Les leçons à tirer pour la Suisse

L'expérience internationale n'est pas transposable sans autres précautions à la Suisse, du fait de la situation géographique particulière et des caractéristiques plus robustes en Suisse des infrastructures électriques comparées à celles de plusieurs pays européens, en particulier à celles de la France. Ceci explique sans doute que les conséquences des tempêtes de 1999 aient été moins graves dans notre pays. Cependant, plusieurs raisons plaident en faveur d'une analyse approfondie de l'exposition du système électrique de la Suisse aux EME: le réseau électrique suisse a une position importante de transit au milieu du réseau interconnecté de l'UCTE et toute défaillance importante en Suisse peut avoir des conséquences significatives sur l'approvisionnement de nos voisins; des orages de moindre intensité causent souvent des dégâts importants dans des réseaux locaux de distribution en Suisse privant d'électricité de nombreux consommateurs; du fait de la position géographique de la Suisse au sein du réseau UCTE et de la solidarité entre les participants à ce réseau, notre approvisionnement en électricité est également tributaire de défaillances importantes qui pourraient se produire ailleurs et celles liées aux EME sont susceptibles

de générer une forte demande de solidarités.

Comme dans d'autres pays, la proximité des arbres le long des lignes est un facteur de vulnérabilité en Suisse. Les tempêtes ne sont pas les seuls phénomènes météorologiques capables de provoquer des contacts des lignes avec les arbres. Les orages peuvent aussi produire des vents proches de 150 km/h, même si cela reste assez local. L'accumulation de neige peut faire ployer les branches qui rentreront en contact avec les conducteurs.

Dès lors l'ensemble des décideurs suisses doivent rester attentifs aux mesures telles que: l'enfouissement des segments de réseaux de distribution les plus vulnérables, le renforcement du réseau électrique pour éliminer les zones de fragilité, une stratégie renforcée de l'élagage des arbres aux abords des lignes, une combinaison adaptée entre les grosses centrales de production d'électricité et la production décentralisée et enfin des actions appropriées de maîtrise et de gestion de la demande d'électricité en temps normal et en période de crise. Cette liste de mesures permettrait, sans aucun doute, de diminuer la vulnérabilité de l'approvisionnement en électricité de la Suisse face aux EME. Mais comme le montre l'expérience française, la sécurisation totale du réseau n'est envisageable qu'à un coût exorbitant qui rendrait l'énergie électrique suisse peu compétitive dans un environnement de concurrence. Il est donc nécessaire de se concentrer sur les parties faibles du réseau. Celles qui sont à la fois exposées aux éléments naturels et peu aptes à résister aux EME pouvant ainsi mettre en péril la viabilité du système.

D'autres mesures opérationnelles sont prises pour limiter le risque de perturbations majeures. Les opérateurs disposent dans la plupart des cas d'un degré de liberté important permettant de remédier à



**Figure 4 Des tours effondrées.**  
 Une tempête de neige accompagnée de vents violents ont récemment détruit des lignes électriques en Allemagne. Les normes de construction en vigueur n'excluent pas des ruines.

### Un outil d'identification des points faibles du réseau

Les différentes mesures pour améliorer la protection du réseau en cas d'EME sont bien connues. Leur coût souvent prohibitif dépend de l'étendue de leur application. Il incite à ne considérer la sécurisation que pour les endroits les plus exposés et critiques du réseau en établissant une liste des lignes prioritaires. Le LASEN, en collaboration avec BKW, Swissgrid et d'autres partenaires, a entrepris des travaux visant à détecter les points faibles du réseau suisse. La méthodologie est illustrée de manière simplifiée par la figure 3.

Une analyse des régions les plus soumises à des EME a été entreprise pour le territoire suisse. Des cartes d'exposition ad hoc ont été générées comme pour l'exemple de la neige humide représentée par la figure 2. La superposition de celles-ci avec le réseau électrique se fait à l'aide de système d'information géographique (SIG).

Les contingences les plus plausibles sont ensuite produites en tenant compte de l'exposition des lignes aux événements météorologiques et de leur capacité de résistance. Une méthode à base de règles est utilisée pour déterminer la plausibilité des contingences.

Les contingences les plus plausibles sont ensuite combinées entre elles en veillant à leur cohérence et ceci pour reproduire les défaillances multiples auxquelles le réseau pourrait être soumis. Des analyses de contingences comprenant à la fois le réseau suisse et européen sont effectuées pour évaluer les situations pouvant donner lieu à des perturbations majeures.

La connaissance des lignes critiques en cas d'EME permettrait d'engager efficacement des moyens de sécurisation. Cette étude a pour but de fournir un outil fiable tenant compte de l'interaction complexe entre des phénomènes météorologiques et un système électrique interconnecté sur quelques milliers de kilomètres.

des situations critiques. Ils sont aidés par des systèmes d'informations du réseau et d'aide à la décision. La seule prise en compte, durant la phase de planification, des contingences provenant des phénomènes météorologiques extrêmes n'est pas suffisante, mais elle y aide si des mesures sont prises pour rendre le réseau plus résilient. Cependant, la singularité et l'imprévisibilité de chaque événement météorologique impose des réactions efficaces rapides, globalement coordonnées et adaptées aux circonstances.

### Conclusions

Les black-out ou les interruptions de service locales sont la conjonction de plusieurs facteurs imprévus. La prévision et la simulation de ces situations critiques constituent un problème d'une grande complexité et ne peuvent couvrir tout le champ des possibilités. L'analyse des black-out passés montre qu'une bonne partie était liée à des EME. La diminution significative du nombre de contingences et du stress du réseau ne peut provenir que d'actions visant à accroître la résilience du système d'approvisionnement en électricité.

Malgré toutes les mesures déjà prises par le passé pour sécuriser le réseau, le risque de perturbations importantes de l'approvisionnement reste significatif en

Suisse. Une application encore plus efficace des mesures existantes peut limiter l'occurrence et l'intensité des perturbations majeures. Parmi les pistes à l'étude dans le cadre du projet mené à l'EPFL, la gestion plus efficace de la végétation apparaît un moyen particulièrement efficace pour réduire la vulnérabilité du réseau [4] lors de tempêtes ou d'orages, mais aussi lors d'un temps calme comme le cas du black-out italien. L'enfouissement et le renforcement de lignes sont aussi des mesures efficaces influant sur le bon fonctionnement du système, mais ils doivent être examinés de cas

en cas afin d'éviter des solutions inefficaces du point de vue économique. Dans tous les cas, une analyse coûts/avantages des actions proposées est indispensable. Pour les entreprises électriques, les investissements consentis à la sécurisation du réseau sont balancés par la diminution des coûts de réparation, de reconstruction voire par les montants évités destinés à compenser les consommateurs. Des outils d'aide à la décision sont utiles pour estimer correctement les actions les plus aptes à résoudre ce problème technico-économique complexe.

### Références

- [1] Eurelectric: Impacts of Severe Storms on Electric Grids. Ref.: 2006-181-001, janvier 2006.
- [2] Gérard Piketty, Renaud Abord de Chatillon, Claude Trink: La sécurisation du système électrique français. Paris: Secrétariat d'Etat à l'économie, 2000.
- [3] RTE: Le bilan des tempêtes de décembre 1999. Paris, décembre 2000.
- [4] Bryan Hooper: Vegetation management takes to the air. Transmission and distribution, 2003.

### Informations sur les auteurs

D' *Edgard Gnansounou* est MER à l'EPFL. Il a fait sa thèse en 1990 sur la modélisation de l'approvisionnement en énergie électrique de la Suisse en environnement incertain. Ses activités à l'EPFL se concentrent sur la conception de méthodes de planification énergétique adaptées au nouveau contexte des marchés énergétiques: multiplicité des acteurs, accroissement des incertitudes et sensibilité plus grande des décideurs aux impacts socio-économiques, environnementaux et à la sécurité d'approvisionnement en énergie.

EPFL/ENAC/ICARE/LASEN, 1015 Lausanne, edgard.gnansounou@epfl.ch

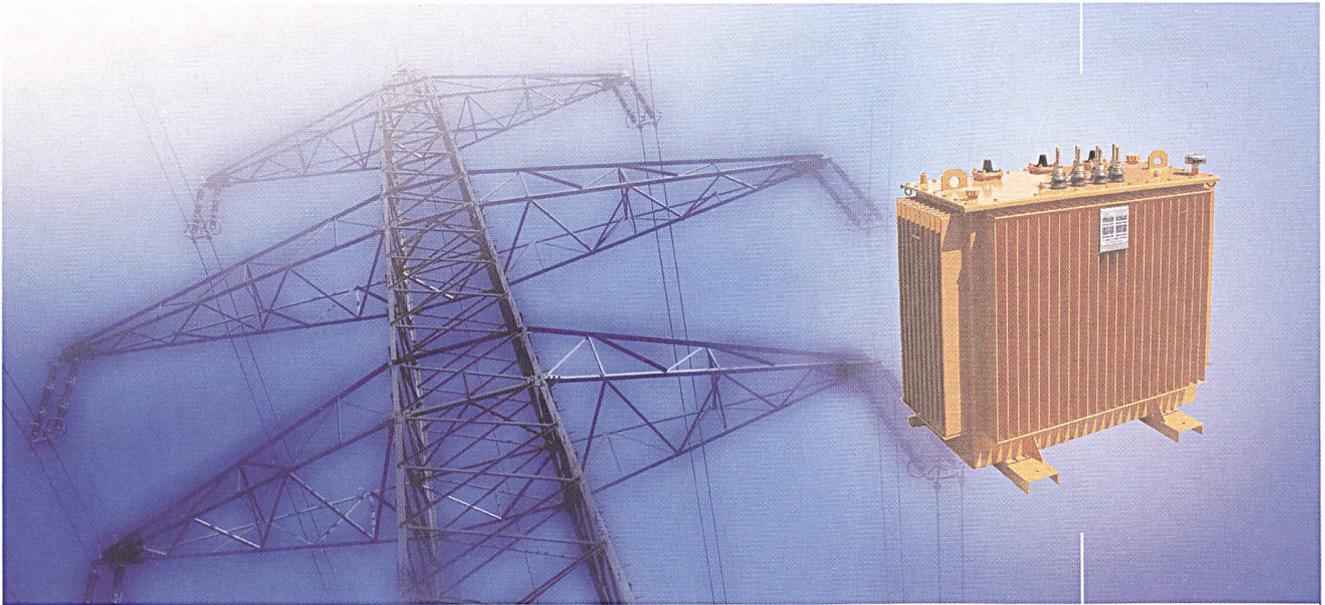
*Raphaël Barben* a obtenu le Master of Science en électricité à la Faculté des sciences et techniques de l'ingénieur (STI) de l'EPFL en 2005. Il poursuit actuellement sa formation par des études doctorales au laboratoire des systèmes énergétiques (LASSEN) à l'EPFL. Son principal sujet de recherche est l'étude de la vulnérabilité de l'approvisionnement électrique dans des conditions météorologiques extrêmes.

EPFL/ENAC/ICARE/LASEN, 1015 Lausanne, raphael.barben@epfl.ch

### Zusammenfassung

#### Verwundbarkeit der Stromversorgung bei extremen Wetterereignissen

Extreme Wetterereignisse führen zu grösseren Stromausfällen. Medienberichte über schwere Störungen haben die Öffentlichkeit noch weiter beunruhigt. Parallel dazu zwingen die Liberalisierung des Strommarktes und der angekündigte bevorstehende Klimawandel den Stromunternehmen neue Rahmenbedingungen auf. Neue wirtschaftliche und umwelttechnische Überlegungen erfordern innovative Lösungsansätze, um einen optimalen Kompromiss zwischen der Nachfrage nach billiger Energie und der Versorgungssicherheit zu finden.



**Die einfache Lösung für Ihr NISV-Problem**  
 – wir reduzieren die Felder an der Quelle  
 auf ein Minimum.

**RAUSCHER  
 STOECKLIN**

**Rauscher & Stoecklin AG**  
 Reuslistrasse 32, CH-4450 Sissach  
 T +41 61 976 34 66, F +41 61 976 34 22  
 info@raustoc.ch, www.raustoc.ch

## SPG5-1000

**Tragbares Prüf- und Fehlerortungssystem  
 für Niederspannungsnetze mit ICEplus-  
 Vorortungsverfahren**



- absoluter Bedienkomfort für alle Benutzerlevel, höchster Sicherheitsstandard
- Verfahren zur sicheren Fehlervorortung ohne Beeinflussung durch T-Abzweige
- Kompakte und leichte Bauweise

**INTERSTAR AG**  
 alte Steinhäuserstrasse 19, 6330 Cham  
 Tel. 041 741 84 42, 041 741 84 66  
 www.interstar.ch info@interstar.ch

## Buchbinde-Angebot Bulletin SEV/VSE

Mit einem Bulletin-SEV/VSE-Sammelband können Sie Ihre Bulletins SEV/VSE übersichtlich und kompakt aufbewahren. Gerne übernehmen wir das Einbinden Ihrer Fachzeitschrift.

### Bestellung

Anzahl		Jahrgang	Preis
.....	Einband inkl. Einbanddecke	2006	Fr. 109.20
.....	Einband inkl. Einbanddecke	.....	Fr. 109.20
.....	Einbanddecken/Jahrgang	2006	Fr. 43.20
.....	Einbanddecken/Jahrgang	.....	Fr. 43.20

Exkl. Porto, Verpackung + MwSt.

Die Bulletins des Jahrgangs 2006 werden zusammen mit einer gedruckten Version des Jahresinhaltsverzeichnisses gebunden.

Bei Bestellung von Einbanddecken des Jahrgangs 2006 wird ein gedrucktes Exemplar des Jahresinhaltsverzeichnisses gratis mitgeliefert.

Bitte senden Sie Ihre Bulletins mit dem Vermerk «Bulletin SEV/VSE» an:



Buchbinderei Burkhardt AG  
 Isenrietstrasse 21, 8617 Mönchaltorf  
 Tel. 044 949 44 59, www.bubu.ch