

RECHERCHE • TECHNOLOGIE • APPLICATIONS

Génie électrique

# Evolutions du réseau de transport d'électricité

*vecteur du développement durable*

Alain Croguennoc

Bernard Dalle

 **hermes**

*Lavoisier*



## Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	15
Hervé LAFFAYE	
<b>Préface</b> . . . . .	17
Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS	
<b>Préambule</b> . . . . .	23
Alain CROGUENOC	
<b>Chapitre 1. La genèse et le développement du réseau de transport d'électricité en France depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle :</b> <b>un patrimoine industriel (multi)séculaire</b> . . . . .	35
Christophe BOUNEAU	
1.1. La genèse du réseau de transport d'électricité de la fin du XIX <sup>e</sup> siècle à 1946 : de l'électrification locale à l'interconnexion nationale . . . . .	36
1.1.1. La dynamique des réseaux pionniers 1890-1918 . . . . .	37
1.1.2. L'âge d'or des réseaux régionaux 1918-1938 . . . . .	40
1.1.3. 1938-1946 : le réseau de transport au cœur d'enjeux stratégiques . .	48
1.1.4. 1946 : la dynamique de développement du réseau de transport et d'interconnexion, et sa synchronisation sur l'ensemble du territoire français, un levier durable de l'aménagement du territoire, suscitant ou facilitant la promotion de régions économiques . . . . .	51
1.2. Le développement du réseau de transport d'électricité sous le signe d'EDF depuis 1946 : de l'aménagement du territoire national au réseau européen . . . . .	52



8 Evolutions du réseau de transport d'électricité

1.2.1. Le réseau de transport d'EDF et les nouvelles logiques industrielles nationales, 1946-début des années 1970 . . . . .	53
1.2.2. Le levier de développement du réseau de transport par le programme électronucléaire du début des années 1970 à la fin des années 1980. . . . .	63
1.2.3. Un réseau sous contraintes depuis la fin des années 1980 : les répercussions des nouveaux paradigmes de la « dérégulation » et du développement durable . . . . .	71
1.3. Conclusion : les réseaux HT et THT constituent au XXI <sup>e</sup> siècle un patrimoine industriel indispensable au déploiement durable d'une politique énergétique de développement durable, combinant ses trois piliers. . . . .	78
1.4. Bibliographie . . . . .	79

**Chapitre 2. Les principales évolutions sociétales et environnementales vis-à-vis du réseau de transport depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle . . . . .** 81

Alain BELTRAN

2.1. Le XIX <sup>e</sup> siècle : l'industrie et la Science au pouvoir avec comme symbole ultime, la « Fée Electricité » . . . . .	82
2.1.1. La libération de l'homme passe par la Science, le Progrès et donc la domination de la Nature. . . . .	83
2.1.2. La France des premiers réseaux : l'arrivée de la Fée Electricité est célébrée comme l'aboutissement d'un siècle de progrès. . . . .	86
2.2. Le temps des constructeurs : la conquête d'un territoire par le transport d'électricité 1914/années 1960 . . . . .	88
2.2.1. Le transport électrique, symbole de modernité. . . . .	88
2.2.2. De nouveaux besoins, de nouvelles sensibilités, de l'intérêt d'organiser et de fonder juridiquement le réseau de transport... . . . . .	89
2.2.3. Après 1945, le réseau de transport symbolise la modernité, une nouvelle unité nationale et accompagne l'aménagement du territoire. . . . .	92
2.3. L'environnement au cœur des préoccupations depuis les années 1970. . . . .	93
2.3.1. Les années 1970 voient l'émergence de nouvelles valeurs. . . . .	93
2.3.2. L'écologie et le tournant des années 1970 : une sensibilité exacerbée face aux symboles d'une société industrielle dans un monde considéré comme menacé . . . . .	94
2.3.3. Un environnement qu'il faut défendre, le phénomène associatif . . . . .	97

2.3.4. L'électricité, entre continuité et ruptures : l'électricité une nécessité essentielle, « naturelle », invisible, pourtant contestée dans sa représentation industrielle qu'est le réseau de transport . . . . .	99
2.4. Bibliographie . . . . .	105
<b>Chapitre 3. Les réponses du législateur : les évolutions réglementaires.</b> . . .	107
Stella CITI, Alain CROGUENOC, Noëlle LEBAS, Marie-Annick MEUDIC, Jean-Michel PILATE et Sabine SCHWARTZMANN	
3.1. La loi fondamentale du 15 juin 1906, un cadre juridique du développement et de l'exploitation du réseau de transport . . . . .	108
3.2. De nouveaux outils réglementaires . . . . .	110
3.2.1. L'étude d'impact . . . . .	111
3.2.2. L'enquête publique . . . . .	117
3.2.3. La concertation . . . . .	119
3.2.4. Le débat public : vers l'instauration d'un principe de participation élargi du public (1995-2002) . . . . .	126
3.3. Une procédure conduisant à la DUP précise et très formalisée . . . . .	131
3.3.1. La reconnaissance de l'utilité publique . . . . .	131
3.3.2. Etablissement des servitudes : la mise au point du tracé de détail . . . . .	135
3.4. Une réglementation technique pour la construction et l'exploitation des ouvrages de transport pour garantir la sécurité des tiers et limiter les impacts environnementaux . . . . .	139
3.4.1. La réglementation technique de construction des ouvrages à haute et très haute tension et la prise en compte des évolutions techniques et environnementales. . . . .	139
3.4.2. Les règles relatives aux travaux réalisés à proximité d'ouvrages électriques . . . . .	142
3.5. Des mesures fiscales accompagnant le développement des réseaux à 400 000 et 225 000 volts. . . . .	144
3.6. Bibliographie . . . . .	145
<b>Chapitre 4. La réponse des industriels</b> . . . . .	147
Pierre Emmanuel BONY, Anne CHAUVANCY, Benjamin CLAVERIE, Bernard COLOMB, Bernard DALLE, Mathieu DALLET, Damien DUBUS, Jérôme HERREROS, Damien LEBRANCU, Frédéric LECLERC, Damien LEMOINE, Camille LEYDIER, Florent MALIQUE, Florence MAZOYER, Géraldine REAL et Samuel NGUEFEU	
4.1. Amélioration de l'esthétique des pylônes . . . . .	148
4.1.1. Innovation dans l'élaboration des supports neufs . . . . .	149



10 Evolutions du réseau de transport d'électricité

4.1.2. Mise en valeur des supports existants . . . . .	153
4.1.3. La politique actuelle de l'opérateur de réseau . . . . .	154
4.2. L'évolution des réseaux en techniques souterraines . . . . .	155
4.2.1. Evolutions techniques des liaisons souterraines . . . . .	155
4.2.2. Cas particulier des champs magnétique et électrique . . . . .	159
4.2.3. Impact environnemental de la pose d'un ouvrage souterrain . . . . .	159
4.2.4. Influence du mode de pose dans la gestion du cycle de vie des câbles . . . . .	161
4.2.5. Le coût d'un ouvrage souterrain . . . . .	162
4.2.6. Conclusion . . . . .	163
4.3. Réduction des emprises de postes par utilisation de postes sous enveloppes métalliques ; impact sur les postes. . . . .	163
4.3.1. Les postes sous enveloppe métallique (SEM) . . . . .	165
4.3.2. Les postes urbains. . . . .	167
4.3.3. Les évolutions des postes SEM. . . . .	170
4.4. Maîtriser la végétation sous les lignes de transport . . . . .	171
4.4.1. La végétation : un risque très important pour la sécurité et la sûreté du système électrique . . . . .	174
4.4.2. La maîtrise de la végétation aux abords des lignes électriques, un enjeu fondamental des opérateurs de réseaux électriques . . . . .	174
4.4.3. Concrétisation de la concertation avec les professionnels en 2005 . . . . .	175
4.4.4. Une politique végétation de l'opérateur de réseau qui s'appuie sur une application de gestion informatisée de la végétation (GIV) . . . . .	176
4.4.5. Chaque année, des travaux considérables d'élagage . . . . .	178
4.5. Diminuer le bruit des ouvrages . . . . .	178
4.5.1. Quelques notions d'acoustique . . . . .	179
4.5.2. Lutter efficacement contre les bruits autour des postes de transformations . . . . .	185
4.5.3. Réduire les bruits dus aux lignes électriques . . . . .	194
4.6. Limiter l'accroissement des infrastructures de réseau par l'industrialisation de nouveaux conducteurs . . . . .	205
4.6.1. Câble à économie d'énergie : Azalée . . . . .	206
4.6.2. Câble à faible dilatation : ACSS et composites . . . . .	207
4.6.3. Les autres types de câbles CFD dits à « âme composite » . . . . .	208
4.7. Limiter l'accroissement des infrastructures de réseau par les FACTS – <i>Flexible Alternative Current Transmission Systems</i> . . . . .	209
4.7.1. Contexte : problématique du développement de réseau. . . . .	209
4.7.2. Les moyens d'optimisation . . . . .	209
4.7.3. L'optimisation du réseau THT et HT français . . . . .	213
4.7.4. Les perspectives. . . . .	216



4.8. Limiter l'accroissement des infrastructures de réseau par les liaisons à courant continu . . . . .	217
4.8.1. Liaisons à courant continu actuelles . . . . .	218
4.8.2. IFA 2000 . . . . .	221
4.9. Limiter les impacts sur l'environnement : gestion de la peinture et des produits associés. . . . .	223
4.9.1. Des spécifications « produits » limitant l'impact environnemental bien au-delà des exigences légales. . . . .	224
4.9.2. Des conditions d'exécutions des travaux de peinture exigeantes . . . . .	225
4.9.3. Une bonne gestion des déchets . . . . .	226
4.9.4. Actions de recherche . . . . .	226
4.10. Limiter les impacts sur l'environnement par l'éco-conception et la gestion des matériels en fin de vie . . . . .	228
4.10.1. L'exploitation du réseau de transport d'électricité : appareillages particuliers . . . . .	228
4.10.2. Des outils de conception intégrant l'environnement. . . . .	229
4.10.3. L'analyse du cycle de vie (ACV) . . . . .	231
4.10.4. Eco-conception . . . . .	235
4.10.5. Une information intégrant les exigences environnementales. . . . .	240
4.10.6. Conclusion . . . . .	240
4.11. Gérer les cohabitations avec les infrastructures de transport . . . . .	241
4.11.1. Les lignes aériennes. . . . .	241
4.11.2. Les lignes souterraines . . . . .	253
4.12. Bibliographie . . . . .	267
<b>Chapitre 5. La réponse des opérateurs de réseaux. . . . .</b>	<b>269</b>
Robert ARCHAMBAULT, Benoît BOURGUIGNON, Alain CROGUENOC, Laure DEVEAUX, Sandra FRESNEDO, Olivier HERZ, Jean ISOARD, Elodie JAUSSAUD, Jean-Paul LAROCHE, Didier LASSERRE, Stéphanie PAJOT et François ROSSO	
5.1. Les engagements complémentaires des opérateurs de réseaux pour une meilleure préservation des paysages . . . . .	272
5.1.1. Les accords « réseaux électriques et environnement » depuis 1992 . . . . .	272
5.1.2. Les contrats de service public (CSP). . . . .	273
5.1.3. L'indemnisation du préjudice visuel. . . . .	274
5.1.4. L'optimisation du réseau de transport, notamment la réduction de la longueur du réseau de transport . . . . .	276
5.1.5. Les engagements de mise en souterrain . . . . .	276
5.1.6. Le plan d'accompagnement de projet (PAP) . . . . .	277



## 12 Evolutions du réseau de transport d'électricité

5.1.7. La concertation préalable aux procédures administratives . . . . .	279
5.1.8. La mise à disposition d'informations sur le site <i>web</i> de l'opérateur du réseau de transport . . . . .	280
5.1.9. La gestion du SF <sub>6</sub> : l'accord Gimelec/RTE/ADEME . . . . .	280
5.2. Garantir la biodiversité . . . . .	281
5.2.1. Protection de l'avifaune . . . . .	281
5.2.2. Prise en compte des zones protégées. . . . .	285
5.2.3. Gestion de la biodiversité sous les lignes de transport . . . . .	286
5.3. Diminuer le bruit des ouvrages . . . . .	289
5.3.1. Avant 1992 : aucune réglementation existante. . . . .	289
5.3.2. 1992 : loi bruit du 31/12/1992 . . . . .	290
5.3.3. 1992 : bruits de voisinage, décret du 18/04/1995 . . . . .	290
5.3.4. 2007 : intégration du bruit dans l'arrêté interministériel de 2001 (article 12ter) par arrêté du 26/01/2007. . . . .	291
5.3.5. Comment l'opérateur de transport répond-t-il à ces évolutions de mentalités et de la réglementation ? . . . . .	291
5.4. Rassurer sur les champs magnétique et électrique . . . . .	293
5.4.1. Qu'est-ce qu'un champ magnétique, un champ électrique et un champ électromagnétique ? . . . . .	293
5.4.2. Où trouve-t-on des champs électrique et magnétique ? . . . . .	294
5.4.3. Le questionnement autour des champs électrique et magnétique de basse fréquence au fil du temps. . . . .	296
5.4.4. La réponse de l'Union européenne. . . . .	301
5.4.5. La montée en puissance des inquiétudes des citoyens . . . . .	303
5.4.6. Lignes aériennes à très haute tension et animaux d'élevage . . . . .	307
5.5. Insérer les ouvrages de transport d'électricité dans les paysages : une préoccupation constante des opérateurs de réseaux . . . . .	313
5.5.1. Le paysage, une notion complexe et évolutive. . . . .	313
5.5.2. Première période : de la création du réseau de transport jusqu'aux années 1960, le pylône symbole du progrès . . . . .	314
5.5.3. Deuxième période : des années 1960 aux années 1980, s'adapter à l'environnement, un effort d'esthétique. . . . .	318
5.5.4. Troisième période : à partir de 1990, s'inscrire dans les paysages . . . . .	326
5.5.5. Et aujourd'hui ? . . . . .	336
5.5.6. Repères législatifs et réglementaires . . . . .	340
5.6. Gérer les co-activités . . . . .	342
5.6.1. Un constat : les populations concernées par les ouvrages électriques exigent d'être informées de toutes évolutions du réseau et d'être justement indemnisées. . . . .	342
5.6.2. Les démarches partenariales des opérateurs de réseaux . . . . .	342

5.6.3. Une ferme expérimentale pour faire avancer la connaissance . . .	349
5.6.4. Le groupe permanent de sécurité électricité . . . . .	351
5.6.5. La sécurité des tiers. . . . .	356
5.7. Limiter les impacts environnementaux dès la conception des ouvrages et des méthodes de maintenance du réseau de transport d'électricité. . . . .	361
5.7.1. Le contexte. . . . .	361
5.7.2. La position de l'opérateur de réseau . . . . .	361
5.7.3. Des exemples . . . . .	362
5.8. Prévenir les pollutions et gérer les déchets . . . . .	366
5.8.1. Par la réduction des fuites de SF <sub>6</sub> . . . . .	366
5.8.2. Par la maîtrise des fuites d'huile accidentelles des transformateurs. . . . .	367
5.8.3. Par la maîtrise des fuites d'huile accidentelles de certains câbles souterrains . . . . .	368
5.8.4. Par une gestion efficace des déchets . . . . .	369
5.8.5. Par l'élimination des équipements aux polychlorobiphényles (PCB). . . . .	372
5.9. Contribuer à lutter contre les changements climatiques : le bilan carbone® du réseau de transport d'électricité . . . . .	373
5.9.1. Réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), un objectif maintenant incontournable . . . . .	373
5.9.2. Le bilan carbone : une méthode certifiée . . . . .	374
5.9.3. Le bilan carbone de l'opérateur de réseau de transport : 1,1 million de tonnes équivalent CO <sub>2</sub> annuel. . . . .	375
5.9.4. Axes de progrès . . . . .	377
5.10. Répondre aux évolutions sociétales : concerter, maîtriser les impacts environnementaux du réseau . . . . .	378
5.10.1. Développer la concertation. . . . .	379
5.10.2. Maîtriser les impacts environnementaux du réseau par un management environnemental transparent et source de progrès continus. . . . .	381
5.11. Faire face aux aléas climatiques : sécuriser le réseau de transport. . .	384
5.11.1. Une sensibilité des Français aux coupures d'électricité de grande ampleur qui s'est accrue de manière très importante. . . . .	384
5.11.2. Le retour d'expérience de la tempête de décembre 1999 . . . . .	384
5.11.3. La mise en œuvre du programme de sécurisation par l'opérateur de réseau de transport. . . . .	385
5.11.4. Renforcer les points sensibles du réseau. . . . .	385
5.11.5. Consolider mécaniquement le réseau à moyen long terme . . . .	386
5.12. Bibliographie . . . . .	388



<b>Chapitre 6. Prospectives sur les réseaux de transport d'électricité : le défi climatique</b> . . . . .	389
Gro WAERAAS DE SAINT MARTIN	
6.1. Les scénarios d'évolution de la consommation . . . . .	390
6.1.1. La situation aujourd'hui . . . . .	390
6.1.2. Et demain ? . . . . .	392
6.2. Les scénarios d'évolution de la production . . . . .	394
6.2.1. La situation d'aujourd'hui . . . . .	394
6.2.2. Et demain ? . . . . .	396
6.3. Les évolutions des réseaux de transport . . . . .	397
6.3.1. Les trois scénarios possibles . . . . .	400
6.4. Quels sont les services attendus du réseau futur ? . . . . .	403
6.5. Conclusion : la présence d'un réseau public de transport d'électricité reste indispensable ; certaines fonctions pourraient évoluer en fonction des scénarios . . . . .	405
 <b>Conclusion. Le réseau de transport d'électricité, un vecteur du développement durable</b> . . . . .	407
Etienne SERRES	
 <b>Index</b> . . . . .	417