



Académie des technologies

Les grands systèmes socio-techniques (GSST)

Rapport voté par l'assemblée
en janvier 2013



Imprimé en France
ISBN : 978-2-7598-1015-4

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2013



PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE

Les travaux de l'Académie des technologies sont l'objet de publications réparties en quatre collections¹ :

- ▶ Les rapports de l'Académie : ce sont des textes rédigés par un groupe de l'Académie dans le cadre du programme décidé par l'Académie et suivi par le Comité des travaux. Ces textes sont soumis au Comité de la qualité, votés par l'Assemblée, puis rendus publics. On trouve dans la même collection les avis de l'Académie, également votés en Assemblée, et dont le conseil académique a décidé de la publication sous forme d'ouvrage papier. Cette collection est sous couverture bleue.

¹ - Les ouvrages de l'Académie des technologies publiés entre 2008 et 2012 peuvent être commandés aux Éditions Le Manuscrit (<http://www.manuscrit.com>). La plupart existent tant sous forme matérielle que sous forme électronique.
- Les titres publiés à partir de janvier 2013 sont disponibles en librairie et sous forme de ebook payant sur le site de EDP sciences (<http://www.edition-sciences.com>). À échéance de six mois, ils sont téléchargeables directement et gratuitement sur le site de l'Académie.
- Les publications plus anciennes n'ont pas fait l'objet d'une diffusion commerciale, elles sont consultables et téléchargeables sur le site public de l'Académie www.academie-technologies.fr, dans la rubrique « Publications ». De plus, l'Académie dispose encore pour certaines d'entre elles d'exemplaires imprimés.

- ▶ Les communications à l'Académie, rédigées par un ou plusieurs Académiciens. Elles sont soumises au Comité de la qualité et débattues en Assemblée. Non soumises à son vote, elles n'engagent pas l'Académie. Elles sont rendues publiques comme telles, sur décision du Conseil académique. Cette collection est publiée sous couverture rouge.
- ▶ Les « Dix questions à ... et dix questions sur ... » : un auteur spécialiste d'un sujet est sélectionné par le Comité des travaux et propose dix à quinze pages au maximum, sous forme de réponses à dix questions qu'il a élaborées lui-même ou après discussion avec un journaliste de ses connaissances ou des collègues (Dix questions à ...). Ce type de document peut aussi être rédigé sur un thème défini par l'Académie par un académicien ou un groupe d'académiciens (Dix questions sur ...). Dans les deux cas, ces textes sont écrits de manière à être accessibles à un public non-spécialisé. Cette collection est publiée sous une couverture verte.
- ▶ Les grandes aventures technologiques françaises : témoignages d'un membre de l'Académie ayant contribué à l'histoire industrielle. Cette collection est publiée sous couverture jaune.
- ▶ Par ailleurs, concernant les avis, l'Académie des technologies est amenée, comme cela est spécifié dans ses missions, à remettre des avis suite à la saisine d'une collectivité publique ou par auto saisine en réaction à l'actualité. Lorsqu'un avis ne fait pas l'objet d'une publication matérielle, il est, après accord de l'organisme demandeur, mis en ligne sur le site public de l'Académie.
- ▶ Enfin, l'Académie participe aussi à des co-études avec ses partenaires, notamment les Académies des sciences, de médecine, d'agriculture, de pharmacie ...

Tous les documents émis par l'Académie des technologies depuis sa création sont répertoriés sur le site www.academie-technologies.fr. La plupart peuvent être consultés sur ce site et ils sont pour beaucoup téléchargeables.

Dans la liste ci-dessous, les documents édités sous forme d'ouvrage imprimé commercialisé sont signalés par une astérisque. Les publications les plus récentes sont signalées sur le site des éditions. Toutes les publications existent aussi sous forme électronique au format pdf et, pour les plus récentes, au format ebook.

AVIS DE L'ACADÉMIE

1. Brevetabilité des inventions mises en œuvre par ordinateurs : avis au Premier ministre – juin 2001
2. Note complémentaire au premier avis transmis au Premier ministre – juin 2003
3. Quelles méthodologies doit-on mettre en œuvre pour définir les grandes orientations de la recherche française et comment, à partir de cette approche, donner plus de lisibilité à la politique engagée ? – décembre 2003
4. Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment les États-Unis – décembre 2003
5. Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie – décembre 2003
6. Commentaires sur le Livre blanc sur les énergies – janvier 2004
7. Premières remarques à propos de la réflexion et de la concertation sur l'avenir de la recherche lancée par le ministère de la Recherche – mars 2004
8. Le système français de recherche et d'innovation (SFRI). Vue d'ensemble du système français de recherche et d'innovation – juin 2004
 - Annexe 1 – La gouvernance du système de recherche
 - Annexe 2 – Causes structurelles du déficit d'innovation technologique. Constat, analyse et proposition.
9. L'enseignement des technologies de l'école primaire aux lycées – septembre 2004
10. L'évaluation de la recherche – mars 2007
11. L'enseignement supérieur – juillet 2007
12. La structuration du CNRS – novembre 2008
13. La réforme du recrutement et de la formation des enseignants des lycées professionnels – Recommandation de l'Académie des technologies – avril 2009
14. La stratégie nationale de recherche et l'innovation (SNRI) – octobre 2009
15. Les crédits carbone – novembre 2009
16. Réduire l'exposition aux ondes des antennes-relais n'est pas justifié scientifiquement : mise au point de l'Académie nationale de médecine, de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies – décembre 2009
17. Les biotechnologies demain – juillet 2010
18. Les bons usages du Principe de précaution – octobre 2010
19. La validation de l'acquis de l'expérience (VAE) – janvier 2012
20. Mise en œuvre de la directive des quotas pour la période 2013–2020 – mars 2011

21. Le devenir des IUT – mai 2011
22. Le financement des start-up de biotechnologies pharmaceutiques – septembre 2011
23. Recherche et innovation : Quelles politiques pour les régions ? – juillet 2012
24. La biologie de synthèse et les biotechnologies industrielles (blanches) – octobre 2012
25. Les produits chimiques dans notre environnement quotidien – octobre 2012
26. L'introduction de la technologie au lycée dans les filières d'enseignement général – décembre 2012
27. Évaluation de la recherche technologique publique – février 2013
28. L'usage de la langue anglaise dans l'enseignement supérieur – mai 2013

RAPPORTS DE L'ACADÉMIE

1. Analyse des cycles de vie – octobre 2002
2. Le gaz naturel – octobre 2002
3. Les nanotechnologies : enjeux et conditions de réussite d'un projet national de recherche – décembre 2002
4. Les progrès technologiques au sein des industries alimentaires – Impact sur la qualité des aliments / La filière lait – mai 2003
5. *Métrologie du futur – mai 2004
6. *Interaction Homme-Machine – octobre 2004
7. *Enquête sur les frontières de la simulation numérique – juin 2005
8. Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – la filière laitière, rapport en commun avec l'Académie d'agriculture de France – 2006
9. *Le patient, les technologies et la médecine ambulatoire – avril 2008
10. *Le transport de marchandises – janvier 2009 (version anglaise au numéro 15)
11. *Efficacité énergétique dans l'habitat et les bâtiments – avril 2009 (version anglaise au numéro 17)
12. *L'enseignement professionnel – décembre 2010
13. *Vecteurs d'énergie – décembre 2011 (version anglaise au numéro 16)
14. *Le véhicule du futur – septembre 2012 (publication juin 2013)
15. *Freight systems (version anglaise du rapport 10 le transport de marchandises) – novembre 2012
16. *Energy vectors – novembre 2012 (vesion anglaise du numéro 13)

17. *Energy Efficiency in Buildings and Housing – novembre 2012 (version anglaise du numéro 11)
18. * Première contribution de l'Académie des technologies au débat national sur l'énergie / First contribution of the national academy of technologies of France to the national debate on the future of energies supply – ouvrage bilingue, juillet 2013
19. *Les grands systèmes socio-techniques / Large Socio-Technical Systems – ouvrage bilingue, juillet 2013

COMMUNICATIONS DE L'ACADÉMIE

1. *Prospective sur l'énergie au xxi^e siècle, synthèse de la Commission énergie et environnement – avril 2004, MàJ décembre 2004
2. Rapports sectoriels dans le cadre de la Commission énergie et environnement et changement climatique
 - Les émissions anthropiques – août 2003
 - Économies d'énergie dans l'habitat – août 2003
 - Le changement climatique et la lutte contre l'effet de serre – août 2003
 - Le cycle du carbone – août 2003
 - Charbon, quel avenir ? – décembre 2003
 - Gaz naturel – décembre 2003
 - Facteur 4 sur les émissions de CO₂ – mars 2005
 - Les filières nucléaires aujourd'hui et demain – mars 2005
 - Énergie hydraulique et énergie éolienne – novembre 2005
 - La séquestration du CO₂ – décembre 2005
 - Que penser de l'épuisement des réserves pétrolières et de l'évolution du prix du brut ? – mars 2007
3. Pour une politique audacieuse de recherche, développement et d'innovation de la France – juillet 2004
4. *Les TIC : un enjeu économique et sociétal pour la France – juillet 2005
5. *Perspectives de l'énergie solaire en France – juillet 2008
6. *Des relations entre entreprise et recherche extérieure – octobre 2008
7. *Prospective sur l'énergie au xxi^e siècle, synthèse de la Commission énergie et environnement, version française et anglaise, réactualisation – octobre 2008
8. *L'énergie hydro-électrique et l'énergie éolienne – janvier 2009
9. *Les Biocarburants – février 2010
10. *PME, technologies et développement – mars 2010

11. *Biotechnologies et environnement – avril 2010
12. *Des bons usages du Principe de précaution – février 2011
13. L'exploration des réserves françaises d'hydrocarbures de roche mère (gaz et huile de schiste) – mai 2011
14. *Les ruptures technologiques et l'innovation – février 2012
15. *Risques liés aux nanoparticules manufacturées – février 2012
16. *Alimentation, innovation et consommateurs – juin 2012
17. Vers une technologie de la conscience – juin 2012 (à paraître)
18. Profiter des ruptures technologiques pour gagner en compétitivité et en capacité d'innovation – juin 2012 (à paraître)
19. Les produits chimiques au quotidien – novembre 2012 (à paraître)
20. Profiter des ruptures technologiques pour gagner en compétitivité et en capacité d'innovation – novembre 2012 (à paraître)
21. Dynamiser l'innovation par la recherche et la technologie – novembre 2012
22. La technologie, école d'intelligence innovante. Pour une introduction au lycée dans les filières de l'enseignement général – octobre 2012 (à paraître)

DIX QUESTIONS POSÉES À...

1. *Les déchets nucléaires – 10 questions posées à Robert Guillaumont – décembre 2004
2. *L'avenir du charbon – 10 questions posées à Gilbert Ruelle – janvier 2005
3. *L'hydrogène – 10 questions posées à Jean Dhers – janvier 2005
4. *Relations entre la technologie, la croissance et l'emploi – 10 questions à Jacques Lesourne – mars 2007
5. *Stockage de l'énergie électrique – 10 questions posées à Jean Dhers – décembre 2007
6. *L'éolien, une énergie du XXI^e siècle – 10 questions posées à Gilbert Ruelle – octobre 2008
7. *La robotique – 10 questions posées à Philippe Coiffet, version franco-anglaise – septembre 2009
8. *L'intelligence artificielle – 10 questions posées à Gérard Sabah – septembre 2009
9. *La validation des acquis de l'expérience – 10 questions posées à Bernard Decomps – juillet 2012

GRANDES AVENTURES TECHNOLOGIQUES FRANÇAISES

1. *Le Rilsan – par Pierre Castillon – octobre 2006
2. *Un siècle d'énergie nucléaire – par Michel Hug – novembre 2009

HORS COLLECTION

1. Libérer Prométhée – mai 2011

CO-ÉTUDES

1. Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – La filière laitière. Rapport en commun avec l'Académie d'agriculture de France – mai 2004
2. Influence de l'évolution des technologies de production et de transformation des grains et des graines sur la qualité des aliments. Rapport commun avec l'Académie d'agriculture de France – février 2006
3. *Longévité de l'information numérique – Jean-Charles Hourcade, Franck Laloë et Erich Spitz. Rapport commun avec l'Académie des sciences – mars 2010, EDP Sciences
4. *Créativité et Innovation dans les territoires – Michel Godet, Jean-Michel Charpin, Yves Farge et François Guinot. Rapport commun du Conseil d'analyse économique, de la Datar et de l'Académie des technologies – août 2010 à la Documentation française
5. *Libérer l'innovation dans les territoires. Synthèse du Rapport commun du Conseil d'analyse économique, de la Datar et de l'Académie des technologies. Créativité et Innovation dans les territoires Édition de poche – septembre 2010 – réédition novembre 2010 à la Documentation française
6. *La Métallurgie, science et ingénierie – André Pineau et Yves Quéré. Rapport commun avec l'Académie des sciences (RST) – décembre 2010, EDP Sciences
7. Les cahiers de la ville décarbonée en liaison avec le pôle de compétitivité Advancity
8. Le brevet, outil de l'innovation et de la valorisation – Son devenir dans une économie mondialisée – Actes du colloque organisé conjointement avec l'Académie des sciences le 5 juillet 2012 éditions Tec & Doc – Lavoisier

SOMMAIRE

01	Synthèse
05	Introduction
07	Réflexions sur les évolutions des GSST
15	Propositions & Conclusion
15	Première proposition
16	Deuxième proposition
19	Troisième proposition
20	Conclusion
23	Annexes
23	Définir les GSST ?
26	Robustesse du système Telecom ou lumières et ombres des TIC
27	Distinguer compliqué et complexe
28	Des dynamiques temporelles de plus en plus complexes à coordonner : deux exemples dans les systèmes électriques
29	Concilier les temporalités dans le système de transport routier
30	Place de l'homme dans le contrôle du trafic aérien
31	Vers des modélisations et des simulations des systèmes incluant l'humain



32	Divers types de dépendances inter-systèmes
33	Le GSST plate-forme technique pour de nouveaux acteurs
34	Trois types de GSST
35	Conséquences de la déréglementation sur les investissements : exemple du système électrique
36	Gouvernance et gestion du trafic aérien en Europe
37	Impact de la gouvernance : exemple de la construction d'un espace ferroviaire européen
38	La panne du système électrique européen le samedi 4 novembre 2006 et les leçons tirées
40	Éléments de fragilité du système Internet mondial
41	Quelques réflexions sur les actions d'un Centre d'études et de recherches sur les régulations (CERR)
43	Membres du groupe de travail
45	Personnes auditées et/ou contributrices
47	Quelques sites
49	Glossaire



Rapport de l'Académie des Technologies
Les Grands Systèmes Socio-Techniques (GSST)



SYNTHÈSE

Les grands systèmes socio-techniques en réseau – tels le système ferroviaire, le système aérien, le système électrique, le système des télécommunications, puis Internet – ont progressivement et profondément modifié nos vies et, plus généralement, la société humaine. Pour le citoyen, ils incarnent, au quotidien, sciences et techniques, mais surtout, ils fournissent des services devenus indispensables à la vie quotidienne et ont une place significative dans nos budgets familiaux. Les pays en développement s'efforcent de les mettre en place au mieux.

Au-delà de leurs missions spécifiques, ils ont des caractéristiques communes : ce sont des réseaux souvent continentaux voire mondiaux, dont on attend des services ininterrompus, qui réunissent des millions voire des milliards d'objets élémentaires, dont le fonctionnement repose sur la coopération d'un grand nombre d'acteurs aux compétences très différentes et qui sont vus, à l'échelle humaine, comme éternels.

Leur importance – ne serait-ce que sous l'angle des emplois qu'ils assurent – justifie donc leur étude. L'Académie des technologies est directement concernée puisqu'ils sont au cœur d'un « *progrès raisonné, choisi et partagé* » illustrant la relation entre techniques et société.

Leurs dysfonctionnements, de moins en moins admis par la société, peuvent se chiffrer en milliards d'euros et, surtout, coûter des vies humaines. Or, au-delà de leur réussite indéniable, les GSST ont en commun une vulnérabilité qui augmente : leur développement constant, les nouvelles technologies, la pénétration

des TIC, la libéralisation sont à la fois sources de nouveaux services, mais aussi, avec la complexification et l'interdépendance induites, facteurs de vulnérabilité. Ces évolutions ont en outre conduit à la multiplication sur chaque GSST du nombre d'acteurs avec leurs logiques propres ce qui en augmente la fragilité et en complique la gouvernance.

Par ailleurs, globalement, les GSST sont de plus en plus internationaux. En Europe, le ferroviaire, le téléphone, l'électricité, ont vu le passage de monopoles nationaux ou régionaux verticalement intégrés et faiblement couplés à des modèles moins intégrés et caractérisés par de nouvelles répartitions des responsabilités, issus de directives européennes transposées dans chaque pays. L'expérience des quinze dernières années, confirmée par les auditions réalisées par le groupe de travail, montre une vraie difficulté à concevoir de telles régulations et des gouvernances durables des GSST. Ces dernières doivent prendre en compte à la fois les évolutions techniques et les questions d'équilibre entre les aspirations locales et les problématiques nationales, permettre aux industriels d'investir, assurant les services au bon niveau de qualité et au moindre coût pour les consommateurs/client/citoyen et ce, dans le respect des enjeux planétaires.

L'importance des GSST, nommés aussi infrastructures vitales par la Commission européenne, et les réflexions précédentes ont conduit le groupe de travail à trois propositions que l'on peut résumer ainsi :

- ▶ réaliser sans concessions ni *a priori* pour chaque GSST un retour d'expérience de ses évolutions sur tous les plans depuis vingt ans (fonctionnement, coûts, gouvernance et régulation, crises/incidents, dépendances vis-à-vis des autres GSST...) ;
- ▶ réfléchir aux évolutions possibles dans les vingt ans à venir (en termes de services rendus, de qualité, de coût, d'emplois, de maîtrise des risques, de gouvernance et régulation...) dans la logique du développement durable, à partir du retour d'expérience précédent, mais aussi d'une cartographie des compétences disponibles en France, notamment, pour assurer le maintien d'une vision globale permettant d'assurer le niveau utile de maîtrise du système et de son évolution ;
- ▶ développer la prise en compte des GSST dans l'éducation pour qu'ils soient mieux connus et appréciés, pour ce qu'ils apportent, pour les emplois qu'ils offrent mais aussi et surtout pour mieux faire apprécier sciences et techniques, pour montrer ce qu'est l'innovation en action.



La mise en œuvre de ces trois propositions, devrait contribuer à des prises de décision plus informées de la part des instances politiques et des industriels, et permettre à nos enfants de mieux bénéficier de ces fruits magnifiques de l'activité humaine que sont les GSST.



Rapport de l'Académie des Technologies
Les Grands Systèmes Socio-Techniques (GSST)



INTRODUCTION

Les grands systèmes sociaux-techniques en réseau (tels le système électrique, le système ferroviaire, le système aérien, Internet...) ont, ces dernières décennies, transformé nos vies quotidiennes ainsi que le fonctionnement de nos sociétés. Ils représentent un phénomène enthousiasmant, ils contribuent à la démocratisation des sociétés, ils offriront dans les années qui viennent de nouvelles possibilités, conséquences et sources de nouvelles techniques : ils nous ont donc semblé être un objet naturel d'étude pour notre Académie.

Ils ont été et sont l'objet de développements considérables aussi bien dans leur domaine technique d'origine (le photovoltaïque pour la production d'électricité, le TGV pour le transport ferroviaire, les téléphones portables pour la communication interpersonnelle...) que grâce aux nouvelles technologies de l'information, sources de mutations dans leur fonctionnement et dans les services qu'ils offrent.

Ils mobilisent directement ou indirectement une part non négligeable du budget des ménages. Des centaines de milliers d'emplois en dépendent en France, des millions en Europe et dans le Monde. Leur développement a un impact sur l'aménagement et l'attractivité des territoires. Ces points communs ne sont pas les seuls et c'est pourquoi réfléchir aux GSST dans leur ensemble, au-delà de leurs différences, présente de l'intérêt.

Raison supplémentaire de les étudier : même si leur fonctionnement est globalement satisfaisant et s'est remarquablement adapté au fil des années – au moins dans les pays occidentaux – pour autant, leurs dysfonctionnements sont

susceptibles d'avoir de graves conséquences. C'est la raison pour laquelle ces systèmes sont souvent désignés dans le monde anglo-saxon par le terme *Critical Infrastructures*. Il est donc utile de tenter d'analyser les facteurs essentiels de leur évolution, de tenter d'en tirer quelques « lois » et de faire des propositions pour parer aux risques éventuels. Ceci d'autant plus que les membres du groupe GSST, durant leurs travaux, se sont convaincus de la fragilité croissante de la plupart de ces grands systèmes.

Le groupe GSST a observé que les pays moins avancés s'efforcent de développer à leur tour ces systèmes devenus indispensables. Pour ces pays se posent des questions complémentaires en termes techniques, économiques, sociaux et politiques qui restent à étudier.

Le corps du texte présente en une dizaine de pages les principaux facteurs d'évolution des GSST et les propositions du groupe à destination des instances politiques, des régulateurs, des industriels, bref, des acteurs des systèmes – ce qui ne signifie pas que les citoyens/usagers/clients n'ont pas de rôle !

Les notes, commentaires et exemples, référencés dans le texte, sont regroupés en fin du document sous forme d'annexes.

Le document est complété par une liste limitée de sites internet permettant au lecteur intéressé de poursuivre ses réflexions sur les GSST.

RÉFLEXIONS SUR LES ÉVOLUTIONS DES GSST

Brancher un aspirateur ou un ordinateur sur une prise électrique, quoi de plus banal ? Et considérer qu'il y a le courant nécessaire, quoi de plus normal ? Au moins dans des pays comme le nôtre. Sans y penser, nous mobilisons alors le système électrique, qui, de la prise aux barrages, aux centrales nucléaires ou aux fermes éoliennes par exemple, en passant par les réseaux, nous assure que le courant est bien là, avec la qualité voulue – sauf peut-être quelques dizaines de minutes par an. Nous ne pensons alors ni aux millions d'objets techniques assemblés de manière structurée pour assurer ce service, ni aux dizaines de milliers de personnes qui y travaillent, jour et nuit. Nous ne pensons d'ailleurs pas non plus à tous ceux, et ils sont plus d'un milliard, qui ne bénéficient pas de ce service.

De même, lorsque nous « décrochons » notre téléphone, nous savons qu'il y aura la « tonalité » et que quelques secondes ou dizaines de secondes après nous parlerons à notre correspondant qu'il soit à quelques centaines de mètres ou à l'autre extrémité de la planète. À ce service « classique » permettant le dialogue direct entre deux personnes, se sont ajoutés le téléphone mobile puis Internet avec les échanges d'informations et de données qu'ils permettent sans cesse davantage. Pour le téléphone, comme pour Internet, chacun de nous en tant que client et utilisateur mobilise en fait une partie d'un immense système technique comprenant des milliers de kilomètres de réseaux, des milliers de serveurs avec leurs logiciels et leurs données, dont le fonctionnement, là encore, est assuré en France et dans le Monde par des dizaines de milliers de personnes.

Lorsque nous prenons l'avion, nous ne pensons pas nécessairement non plus au système de l'aviation civile qui, outre les avions, comprend aussi les aéroports, le contrôle aérien, l'entretien des avions... qui par son organisation humaine et technique nous permet, sauf incident ou accident, d'aller là où nous l'avons souhaité en quelques heures.

Ces trois exemples de **grands systèmes socio-techniques, que nous appellerons GSST ou simplement grands systèmes (1)**¹ dans la suite, ne sont pas les seuls : le système ferroviaire, le système routier en sont d'autres exemples. Le système de fourniture des hydrocarbures présente des analogies avec les GSST cités. Les systèmes d'alimentation en eau des villes sont plus « locaux » c'est-à-dire ne s'étendent pas sur des centaines de kilomètres mais ressortent de problématiques analogues. Les grands « réseaux de distribution » ainsi que le système financier possèdent à certains égards aussi des caractéristiques semblables.

Ces GSST sont le support de notre vie quotidienne sur le plan personnel, sur le plan de nos interactions avec les autres... pour nombre d'actes de la vie. De ce fait, nous avons des exigences vis-à-vis de ces systèmes, tant sur les coûts que sur la qualité des services.

En ce qui concerne les coûts (prix ou tarifs), ils sont un « objet politique » et l'utilisation des services des GSST par les citoyens les moins favorisés peut faire l'objet de mesures particulières pour certains services essentiels.

Pour ce qui est de la qualité des services, dans un pays comme le nôtre, nous sommes habitués à ce que ces grands systèmes, véritables cathédrales modernes, fonctionnent à chaque instant et même, nous tolérons de moins en moins facilement qu'ils puissent avoir un fonctionnement erratique au quotidien ou, pire, tomber complètement en panne. Ces exigences sont généralement satisfaites alors même que la vulnérabilité des GSST a plutôt tendance à croître.

Quelques exemples de pannes ou dysfonctionnements ont d'ailleurs fait l'actualité en France et en Europe ces dernières années :

- ▶ le black-out partiel du système électrique européen du 4 novembre 2006 qui a concerné une quinzaine de millions de foyers européens (1) ;
- ▶ l'arrêt du service d'Eurostar lors de périodes de froid en novembre 2009 et février 2010 ;

¹ Les nombres entre parenthèses renvoient aux annexes.

- ▶ la perturbation du trafic aérien liée aux éruptions d'un volcan islandais en 2010 ;
- ▶ les grèves des agents du contrôle aérien ou des cheminots ;
- ▶ les blocages de services portés par Internet en raison de virus informatique saturant le réseau et/ou des serveurs ;
- ▶ la panne du réseau Orange de juillet 2012 (mais quel opérateur de télécoms n'en a pas eu ... !) [2].

L'importance potentielle de ces pannes ou de ces dysfonctionnements en terme de vies humaines mais aussi économiques peut être considérable, ce qui conduit à s'interroger sur les principaux facteurs de vulnérabilité des GSST et leurs évolutions.

Les GSST sont de plus en plus compliqués voire « complexes » [3]. Ainsi, le téléphone mobile, et plus récemment le téléphone par Internet, ont-ils complexifié le système téléphonique où, à l'origine, n'existaient que « les fixes ». Ainsi, le déploiement de millions de panneaux solaires sur les toits en Europe est-il en train de faire passer le nombre de points de production d'électricité d'un millier (de grandes centrales) à des millions voire des dizaines de millions de points de production. En outre, ces systèmes font travailler ensemble des matériels, des logiciels et des (sous) systèmes aux durées de vie très variées, de quelques années à plusieurs dizaines d'années, ce qui n'est pas sans poser des questions de compatibilité (mais aussi de maintenabilité ou de remplacement) qui renforcent la complexité [4 & 5]. On comprend bien ainsi pourquoi on dit aussi que les GSST sont des « systèmes de systèmes ». S'y ajoute le fait que presque à chaque instant des éléments du GSST sont remplacés ou modifiés (une nouvelle version logicielle est installée par exemple) ou de nouveaux éléments sont ajoutés sans interruption du service en général. Autre facteur de complexité : le fonctionnement quotidien, généralement permanent, des grands systèmes fait intervenir des milliers de personnes de métiers différents, utilisant des disciplines différentes qui ont à travailler ensemble en échangeant des informations dans l'espace et dans le temps au sein de multiples organisations.

Un second facteur de vulnérabilités nouvelles, mais aussi de résilience et surtout de performance et de création de possibilités et de services nouveaux, est la présence croissante des technologies de l'information et de la communication (TIC), et ce, à tous les niveaux, que ce soit dans la conduite ou le contrôle-commande du système, que ce soit dans les services qu'il offre, que ce soit dans les relations avec les clients/usagers.

Certes, la surveillance et le contrôle ainsi que la modélisation et la simulation des grands systèmes ont fantastiquement progressé depuis une cinquantaine d'années, grâce à la multiplication des capteurs d'une part, à l'explosion des TIC d'autre part, sans oublier les techniques spatiales. Celles-ci ont permis, notamment, le développement de l'instantanéité, de la géolocalisation, de l'optimisation rapide ou des tarifications plus ou moins en temps réel. Cependant, sur les situations consécutives aux pannes ou aux accidents, les progrès ont été naturellement moins rapides. En outre, la modélisation, la simulation et les études prenant en compte le rôle de l'homme « dans la boucle » voire de l'organisation humaine sont très difficiles sinon encore hors de portée en général [7].

Il ne faut pas oublier en effet que même si les automatismes en tous genres sont légions dans les GSST, **l'homme est toujours dans la boucle** [6] : il peut éviter que l'incident ne s'aggrave ou ne se transforme en accident, mais il peut aussi en être la cause par défaillance voire par incompetence individuelle ou collective, liée éventuellement à l'organisation ou son mode de fonctionnement (par exemple un « silotage » inapproprié) ; il peut aussi en devenir la cause si l'automatisation est mal conçue ! L'homme est évidemment dans la boucle non seulement dans le fonctionnement quotidien mais aussi dans toutes les décisions amont, la conception et les choix d'évolution, les décisions d'investissement, etc.

Par ailleurs, il faut noter **que simuler n'est pas organiser la conception ou l'évolution d'un système** ! Là encore d'ailleurs **l'homme est partout**, dans les choix techniques et dans les décisions d'investissements par exemple.

Les GSST sont de plus en plus interdépendants, ce qui est un facteur supplémentaire de complexité et de vulnérabilité : les systèmes télécoms doivent être alimentés en électricité et réciproquement : le pilotage du système électrique dépend d'informations reçues des centrales... Nombre de GSST et d'activités économiques dépendent du GPS : une panne de celui-ci illustrerait aussi cette interdépendance ! Plus généralement il suffit de citer le rôle croissant des technologies de l'information et de la communication dans le « contrôle-commande » des systèmes et le rôle croissant d'Internet dans les relations des GSST avec les clients/utilisateurs [8]. Cette interdépendance s'observe lors des pannes d'un GSST ou d'une de ses parties : d'autres systèmes « s'agglomèrent » à la panne, en subissent les conséquences, voire en ralentissent la résolution au lieu de la faciliter. En outre, les systèmes d'information vers la clientèle, spécialement les systèmes temps réel, sont généralement conçus et dimensionnés pour le fonctionnement normal et non pour les

situations de panne, ce qui provoque l'agacement des utilisateurs voire davantage. L'information sur le système fait partie du système : comment l'assurer y compris en situation de crise sinon en essayant de le concevoir à cet effet ? Ceci pose à la fois des questions techniques et des questions culturelles aux opérateurs.

Autre facteur de complexité, particulièrement en Europe, la dérégulation, souvent couplée à l'eupéanisation, qui a contribué à multiplier le nombre des intervenants, avec des logiques partiellement antagonistes et des gouvernances propres : dans de nombreux cas, on est passé d'une situation « simple » d'entreprises nationales sous une gouvernance nationale, avec un statut plutôt stable, à un ensemble d'entreprises de tailles et de statuts variés sous une gouvernance partagée entre le niveau européen et le niveau national (et en plus parfois régional) et ce, avec des contextes réglementaire et technique qui évoluent de manière rapide voire chaotique.

De fait, les GSST sont de plus en plus conduits à une ouverture croissante, dont la maîtrise est objet de débats, pour permettre à de nouveaux et multiples acteurs d'y introduire des services nouveaux, d'y « apporter de la valeur ». Fréquemment, ces services, s'appuient sur l'existant, sur les investissements antérieurement réalisés par les acteurs historiques voire les clients (tel le commerce en ligne sur Internet ou les centres commerciaux qui s'installent dans les gares) : le système devient alors en quelque sorte une plate-forme de services [9] derrière lesquels l'infrastructure est de moins en moins visible pour les utilisateurs, sauf quand elle a un problème !

Ce « partage » des systèmes a clairement permis de libérer l'innovation et de baisser les coûts unitaires pour certains GSST (les télécoms et Internet !). *A contrario*, il a conduit dans d'autres cas (le ferroviaire, l'électricité) à des difficultés pour réaliser certains des investissements nécessaires, aucun des acteurs n'y ayant un intérêt suffisant compte tenu des limites de sa mission ou le marché ne pouvant déclencher un investissement à long terme [10 & 11].

Au-delà de ces remarques générales, les situations des GSST sont assez différentes en raison de leur mission et de leur histoire propre : ainsi les systèmes téléphoniques puis Internet ont été très internationaux, dès l'origine, comme le système aérien, alors que les systèmes électriques étaient bien davantage nationaux ou régionaux [10].

Derniers facteurs de complexité, et non des moindres : **l'évolution des mentalités vers davantage d'individualisme, vers davantage d'autonomie** (par

exemple pour les transports ou l'énergie], vers une méfiance des « Big Brothers » qui peuvent savoir ou savent trop sur nous, vers **la montée des désirs et des pouvoirs au niveau du quartier, de la municipalité, de la région** – ce qui n'est pas un phénomène spécifiquement français. Ceci a des conséquences d'importance sur l'évolution des GSST : **favoriser des solutions centralisées ou décentralisées ? Ou plutôt, quel équilibre et quelle coopération entre elles ? Quelle répartition des responsabilités et de « l'intelligence » du système ?** Quelles clés pour les financements ? Au-delà, ceci pose la question de l'interférence entre le pouvoir de décision locale et un ou des pouvoirs centraux.

L'évolution du système électrique est typique à cet égard, que ce soit en France ou à l'étranger. Depuis les années 1900 jusqu'au début des années 2000, les systèmes locaux autour de centrales hydrauliques et thermiques de quelques dizaines de MW ont fait progressivement place à un système global, national ou régional suivant les pays, avec des centrales atteignant puis dépassant les 1000 MW, interconnectées par des réseaux de plus en plus renforcés : ce système a permis de mutualiser besoins et moyens et donc aussi les coûts. Avec l'apparition des énergies renouvelables décentralisées comme le photovoltaïque, bientôt aussi de stockage décentralisé, ainsi qu'avec le développement de possibilités d'optimisation locale (en un sens à préciser d'ailleurs !), on voit se dessiner à terme un système « global + local » susceptible de donner des degrés de liberté locaux et une certaine autonomie tout en conservant les avantages essentiels en termes de coût et de sécurité apportés par la mutualisation qu'offre le système global. Il est évident que tout ceci suppose de nombreux choix politiques, techniques, industriels...

Plus profondément, apparaissent là les débats sur les libertés individuelles et la conception de la société. Internet et ses services sont à la fois un exemple de réussite locale et globale, mais aussi le symbole de certains de ces débats.

Cela étant, l'internationalisation, la libéralisation, le désir d'autonomie individuelle et locale dans un contexte de développement des GSST partout ont multiplié le nombre d'acteurs. La création « d'Autorités » ou de « régulateurs indépendants », indépendants du politique s'entend, va dans le même sens. À cela s'ajoute la multiplication de politiques sectorielles, définies par ces régulateurs et/ou par les administrations, non nécessairement coordonnées (environnement, industrie, énergie, concurrence...) qui s'imposent d'autant plus aux GSST qu'ils sont multidomains. Cela conduit souvent à la fois à une surrégulation et à **un manque de gouvernance cohérente des GSST (11)**. Enfin, on ne peut que constater une

diminution *de facto* du nombre de personnes ayant une vue d'ensemble suffisamment précise d'un GSST, ce qui alimente à son tour les difficultés de gouvernance.

À cet égard, la bonne vingtaine d'auditions réalisées par le groupe a montré que ces questions de gouvernance sont une des problématiques majeures communes aux GSST étudiés (12 & 13).

À l'issue de ces auditions, le groupe est convaincu que les GSST ont une fragilité croissante et que les évolutions techniques, les transformations organisationnelles et surtout les transformations de leur gouvernance peuvent être à terme la source de graves dysfonctionnements, d'autant plus que s'est développée une dépendance croissante à l'égard de ces systèmes et une perception exagérément optimiste de leur robustesse. Cela signifie non pas qu'il ne peut pas exister une gouvernance ayant les qualités nécessaires pour assurer un « développement durable » de ces systèmes mais que la question doit être très sérieusement travaillée par les responsables politiques et industriels, et bien davantage qu'elle ne l'a été et ce principalement à l'occasion de pannes et de crises ! (2, 14 & 15). Le groupe ne dit pas que le retour aux gouvernances centralisées du siècle passé s'impose, il dit précisément qu'à côté de la créativité technique, une vraie créativité en matière de régulation et d'organisation s'impose, comme ailleurs !



Rapport de l'Académie des Technologies
Les Grands Systèmes Socio-Techniques (GSST)

PROPOSITIONS & CONCLUSION

Ces réflexions suggèrent **les trois propositions** suivantes en direction des pouvoirs publics, des organismes de régulation et des décideurs industriels, sans oublier l'ensemble des autres parties prenantes.

PREMIÈRE PROPOSITION

Organiser, pour chaque GSST, un retour d'expérience sans concessions ni *a priori* sur les évolutions depuis vingt ans du fonctionnement du système et de sa gouvernance en vue de dégager des orientations pour les vingt ans qui viennent. Ce retour d'expérience pourrait notamment analyser :

- a. l'évolution du service rendu par le GSST, sa qualité réelle et perçue, son accessibilité et ses coûts, directs et indirects (*via* le budget de l'État) pour les citoyens et pour l'ensemble des utilisateurs, ainsi que les choix dont ceux-ci disposent ;
- b. les pannes répétitives, les incidents, crises ou dysfonctionnement observés, leur niveau d'acceptabilité, les processus qui les expliquent (par exemple, sont-ils issus de dérives lentes donc non perçues à temps ?) et ceux qui ont permis leur résolution, ainsi que les changements et les leçons techniques

- et/ou organisationnels qui en ont été tirés ; en particulier, comment est réalisée l'analyse des risques et celle des investissements nécessaires ;
- c. l'état du système en France par rapport à d'autres pays (en Europe, en Amérique, en Asie), notamment en matière d'intégration des TIC tant pour son fonctionnement interne que pour la relation avec les citoyens ;
 - d. les impacts du système et de son développement sur le changement climatique et sur l'environnement (émissions de CO₂, de produits dangereux, bruit...) et leur acceptabilité sociale ;
 - e. l'écosystème des organismes et entreprises assurant le fonctionnement du système, le rôle de l'État et des collectivités locales, avec une comparaison par rapport aux autres pays européens voire au-delà ;
 - f. le niveau de standardisation/normalisation et ses conséquences industrielles et/ou d'insertion au sein d'un système européen ou mondial ; les choix de normes ont aussi des conséquences sur le développement des GSST dans les pays en développement et moins avancés, point qu'il faudrait prendre en compte, entre autres, dans une extension de ces réflexions sur les GSST de ces pays ;
 - g. l'évolution des emplois directs et indirects qui sont impliqués dans son fonctionnement, et leur localisation (la question des emplois créés en France par l'action des industriels français agissant dans le domaine du GSST à l'international est un aspect de ce point).

DEUXIÈME PROPOSITION

Afin de maîtriser au mieux pour les vingt ans qui viennent, en termes de services rendus, de qualité, de coût pour le citoyen/client/utilisateur l'évolution de chaque GSST, compléter, pour chacun des systèmes, le retour d'expérience précédent par :

- a. **une cartographie des lieux et des compétences dont dispose la France (mais aussi l'Europe, les États-Unis, le Japon, la Chine...) pour assurer le maintien d'une vision globale précise du système, pour observer, comprendre, prévoir et modéliser les évolutions du système, ses forces et ses faiblesses, les opportunités et les menaces qui le concernent et la manière de les contrôler, pour concevoir et assurer la gouvernance aux différents**

niveaux (national, local...). L'importance des enjeux pour notre pays d'un bon fonctionnement au quotidien de ces systèmes conduit en effet naturellement à la nécessité de plusieurs lieux de compétences pour chacun d'eux, répartis entre acteurs publics et privés, industriels et universitaires, pour qu'il puisse y avoir dialogue et confrontation réels sur les méthodes d'étude et sur les choix possibles. L'un des objets de cet inventaire sera d'examiner si les équipes en charge sont non seulement suffisamment étoffées, mais aussi de savoir si elles ont accès aux données nécessaires et si leur niveau est assuré sur les plans scientifique, technique, économique, sociologique.

De savoir aussi si des travaux de R & D, de développement d'outils nouveaux de simulations en particulier seront nécessaires, notamment dans les simulations incluant les hommes « sur le terrain » en charge du système. Une telle analyse pourrait conduire dans certains cas les pouvoirs publics à renforcer ou recréer de tels centres de compétences, ce qui semble devoir être le cas *a minima* pour les systèmes électrique et ferroviaire au vu des auditions conduites par le groupe. Il pourrait aussi conduire par exemple des entreprises et/ou des universités, françaises et/ou européennes à développer **un ou des Centres d'études et de recherches sur les régulations (CERR)** travaillant principalement sur la conception et la mise en œuvre de **régulations** robustes, adaptatives et **durables (16)** !

- b. **une réflexion prospective, si possible à vingt ans, se plaçant résolument dans le contexte mondial, dans la logique du développement durable, sur les évolutions possibles**, les solutions concurrentes et les défis et opportunités de tous ordres que celles-ci vont présenter à nos sociétés elles-mêmes en mouvement – notamment en matière d'urbanisme et d'évolution des villes ;
- c. **la définition et la mise en œuvre d'orientations et de priorités politiques stables dans la durée, pour que les parties prenantes puissent agir de manière cohérente et efficace** : les collectivités locales, les régulateurs, les industriels du secteur, sans oublier les citoyens et ce qu'ils doivent payer (par exemple dans l'isolation de leur maison, dans l'installation de panneaux photovoltaïques, dans l'achat d'un véhicule hybride rechargeable...) ;
 - pour libérer la créativité afin que de nouveaux venus puissent apporter des solutions nouvelles,
 - pour maîtriser la qualité et le coût du GSST considéré et pour maintenir les risques associés à des niveaux acceptables,

- **dans tous les cas, une des priorités est l'actualisation de l'analyse des risques encourus par malveillance et attaque (matérielle et/ou logicielle) du GSST et par les interactions entre GSST.** Ceci impose notamment de pouvoir impliquer des équipes (spécialistes du système, informaticiens, etc.) chez les principaux opérateurs et dans l'administration pour faire ce genre d'études avec les compétences et la confidentialité requise.



Quelques commentaires sur ces deux premières propositions avant d'aborder la troisième :

Les multiples enjeux précédemment évoqués, la lourdeur des investissements généralement nécessaires pour chaque GSST tout comme les difficultés pratiques de leur réalisation – et donc leurs délais dans certains cas – justifient de pratiquer périodiquement ce type de réflexions. Elles sont certes d'ores et déjà partiellement organisées pour certains des GSST (le système électrique par exemple), parfois seulement en période de changement ou suite à une crise pour d'autres ; elles gagneraient à être plus systématiques, et à être mises en œuvre avec des méthodologies rigoureuses et ouvertes sur l'ensemble des acteurs.

La réalisation de ces bilans des vingt ans passés et l'éclairage des vingt ans à venir doivent être conduits et pensés avec le bon niveau d'indépendance par rapport aux acteurs publics et privés, d'autant que ce sont généralement des acteurs puissants. De telles analyses pourraient être confiées à un ou plusieurs organismes « neutres », tels l'OPECST, le Conseil économique, social et environnemental ou le Conseil d'analyse stratégique (CAS) – en le dotant des moyens nécessaires. L'Académie des technologies pourrait aussi y contribuer.

Enfin, il faut penser au moins Europe et pas seulement France ! À cet égard, une réflexion commune des Académies des technologies d'EuroCASE et du CAETS pourrait être extrêmement utile compte tenu des dimensions européennes et mondiales de nombre de GSST. En tout état de cause, il s'agit de proposer des visions dans l'intérêt général et non d'arbitrage entre groupes de pression ...

Grâce à la mise en œuvre de ces deux propositions, les politiques pourront agir en prenant mieux en compte le long terme, les risques systémiques et les risques inter-systèmes, dans la conception ou l'évolution des régulations, du rôle des régulateurs, de l'articulation entre les régulateurs mais aussi de la conception du marché lorsqu'il y a un marché.

Notons, au passage, qu'il est clair que la cohérence entre régulations de divers secteurs est un élément facilitant l'action des acteurs et la réduction des coûts. Dans d'autres pays un même régulateur couvre plusieurs GSST : en Allemagne, par exemple, BundesNetzAgentur (BNA) est compétente pour l'électricité, le gaz, les télécommunications, la poste et les transports ferroviaires.

Ainsi les industriels du secteur pourront mieux investir et agir avec les constantes de temps nécessaires.

De telles démarches de bilan/prospectives sont enfin clairement une opportunité pour favoriser dans le public le débat sur les GSST et leur rôle : de toute évidence, la société gagnerait à ce que les citoyens/consommateurs connaissent mieux les Grands Systèmes. Les GSST méritent une communication accessible aux non-spécialistes !



La remarque qui précède introduit la troisième proposition.

TROISIÈME PROPOSITION

Développer une ambition de prise en compte des GSST dans l'éducation pour qu'ils soient mieux connus, pour les emplois qu'ils offrent et offriront mais aussi et surtout pour mieux faire apprécier sciences et technologies, pour montrer ce qu'est l'innovation en action. En effet, pour tous, les interfaces les plus quotidiennes avec nombre de sciences et de techniques : les mathématiques, la physique, la mécanique, la science des matériaux, l'informatique, l'économie, les sciences humaines... sont au cœur des GSST. Ceci conduit aux suggestions suivantes :

- a. **introduire, dans les programmes des lycées, et *a minima* en terminales pour commencer, des éléments sur les GSST, que ce soit en physique, en géographie, en histoire ou par des travaux interdisciplinaires.** Il y a là certainement à développer des innovations pédagogiques, pour aider nos jeunes « à penser systèmes », ce qui est différent de la familiarisation avec le monde des entreprises ! Ces innovations gagneraient d'ailleurs à se faire au niveau local ou régional, en s'appuyant sur la réalité locale ou régionale des GSST ;

- b. **valoriser la systémique et l'ingénierie des systèmes dans l'enseignement supérieur et la recherche** – il s'agit là non pas tant des approches sur la création de nouveaux « systèmes » (comme lorsqu'on conçoit un nouvel avion) mais bien plutôt des approches, encore largement en développement, qui concernent l'évolution de grands systèmes existants comme les GSST ;
- c. **développer dès l'école la dimension du travail collectif, de la coopération et de la communication interpersonnelles, de la recherche d'accords pour surmonter des divergences**, car c'est une dimension essentielle à un fonctionnement fluide des GSST (mais pas seulement pour eux !), faire évoluer l'enseignement, notamment secondaire et supérieur pour mieux préparer les jeunes à cette dimension. À cet égard les projets en groupe mais aussi le travail « par îlots » au sein de la classe (en sous-groupe) font partie des moyens efficaces s'ils sont bien utilisés ;
- d. **plus généralement, faire connaître les défis des GSST pour faire rêver les nouvelles générations et les entraîner à relever ces défis**, ce qui peut être partiellement réalisé par les initiatives précédentes mais aussi par l'action d'autres institutions (Universciences, Futuroscope ...).

CONCLUSION

Nous sommes conscients que la mise en œuvre de ces trois propositions demande des moyens. Nous sommes convaincus que ces moyens sont minimes en regard des enjeux. Cependant, si l'on souhaite échelonner les investissements et, donc établir des priorités parmi ces propositions, nous suggérons de retenir en préalable quatre actions :

- a. réaliser un « atlas » de la gouvernance des GSST en France, de leurs régulations et des relations entre ces régulations (le CAS pourrait probablement prendre en charge cette action) ;
- b. faire un point sur la prise en compte par les opérateurs de chaque GSST des risques de rupture de fourniture des autres GSST (il revient probablement au SGDSN de réaliser ou actualiser ce point ainsi que sur l'étude des risques transverses liés aux interdépendances et les parades correspondantes) ;

- c. préparer l'introduction dans les programmes de terminales d'éléments sur les GSST (il revient certainement à l'Inspection générale de l'éducation nationale de prendre en charge cette action, à laquelle l'Académie des technologies pourrait contribuer) ;
- d. proposer au CAETS ou à Euro-CASE une réflexion commune sur ces sujets.

Nous pensons qu'une extension de ces réflexions pour prendre en compte la situation des pays en développement et moins avancés serait utile.

Nous espérons que la mise en œuvre de nos trois propositions se fera progressivement de manière complète et favorisera le développement des grands systèmes sociaux-techniques (en réseaux) au bénéfice bien sûr des citoyens français et européens : face aux transformations géopolitiques, il faut en effet maintenir ou recréer les conditions qui permettront en définitive à nos enfants de bénéficier pleinement de ces fruits magnifiques et renouvelés d'interactions permanentes entre l'homme, la société, les sciences et techniques que sont les GSST.



Rapport de l'Académie des Technologies
Les Grands Systèmes Socio-Techniques (GSST)



ANNEXES

*Compte tenu de l'étendue du sujet, cet ensemble d'annexes
ne vise nullement l'exhaustivité !*

Il vise à illustrer et approfondir certains points importants.

1. DÉFINIR LES GSST ?

Précisons ce que sont nos GSST et leurs « limites » :

- ▶ pour le **système électrique**, on peut dire qu'il va des prises électriques à la maison jusqu'aux centrales de production et aux moyens de stockage en passant par les réseaux de distribution et de transport, sans oublier les centres de conduite ou *dispatchings* !
- ▶ pour le **système ferroviaire**, on peut dire qu'il est fait des réseaux ferrés, du matériel roulant et des centres de conduite ; il est parfois tentant de considérer le système ferroviaire comme une partie du « système de(s) transport(s) », surtout quand on veut étudier l'inter-modalité ou les déplacements de bout en bout, mais précisément, les difficultés existantes pour les étudier et surtout les réaliser ne montrent-elles pas qu'il ne s'agit justement pas, dans la société actuelle, d'un GSST unique ?

- ▶ pour le **système aérien**, il se compose des aéroports, des avions et du système de contrôle aérien ;
- ▶ pour les **télécoms**, se limiter aux réseaux téléphoniques fixes eût été la solution... en 1970 ! Même en incluant les réseaux de téléphone mobile, on est certainement sur une approche trop limitée et sans frontière bien définie avec la voix sur IP – Internet de son côté ne peut en être séparé... Considérer le « grand système technique du numérique » est probablement la bonne solution ;
- ▶ pour ce qui est du « **système routier** », peut-on parler de système compte tenu des liens existants entre le réseau routier et les véhicules ? Le lancement de « Bison futé » en France le 30 juin 1976 a symbolisé le début de passage du « simple » réseau au système. La réponse est devenue réellement positive avec l'introduction des NTIC et de « l'intelligence » temps réel sur les routes (capteurs, caméras...), dans les véhicules et l'enrichissement des fonctionnalités des centres de surveillance du système : c'est la « route de cinquième génération » – les précédentes étant le chemin muletier, la voie romaine, la route de Mac Adam puis l'autoroute.

L'utilisateur (appelé aussi client, usager, abonné, consommateur ou citoyen suivant le contexte) agit directement sur le système électrique, sur le système télécoms, sur Internet et sur le système routier. Par contre, il n'agit pas directement sur le système ferroviaire et le système aérien. Dans tous les cas, il utilise le système d'information du GSST, système qui a profondément modifié la « relation client ».

S'essayer à une « définition » des GSST est tentant, *a minima* en identifier des caractéristiques communes ! Nous dirons que les GSST fournissent un « service unifié » et que ce sont :

- ▶ **des systèmes**. Les liens à l'intérieur du système sont principalement techniques, mais les dimensions organisationnelles, économiques, industrielles et juridiques sont omniprésentes. Les liens sont assez forts pour que les parties ne puissent pas être étudiées sans référence à l'ensemble ;
- ▶ **grands, dans l'espace et dans le temps**. Pour ceux que nous avons abordés, l'échelle spatiale a pu être pour certains la France, c'est maintenant l'Europe ou le Monde. L'échelle temporelle joue un rôle essentiel : les GSST sont conçus et « opérés » pour affronter la durée, comme s'ils devaient durer toujours ;

- ▶ **socio-**. Les GSST concernent tous les citoyens et sont des supports essentiels du fonctionnement de la société. En fait, nous sommes concernés en tant que citoyens au niveau national voire au niveau local, mais aussi en tant que client/consommateur/abonné...
- ▶ **techniques**. Les GSST sont matérialisés par des réseaux techniques, dont la composante NTIC est de plus en plus forte.

En fait cette « définition » est plutôt un guide qu'une définition... même si nous pouvons décider qu'est un GSST ce qui répond à notre « définition » !

D'autres expressions sont aussi employées, ainsi :

Critical Infrastructure : *“the physical and information technology facilities, networks, services and assets that, if disrupted or destroyed, would have a serious impact on the health, safety, security or economic well-being of citizens or the effective functioning of governments in EU countries.”* [Extrait de : Communication from the Commission of 12 December 2006 on a European Programme for Critical Infrastructure Protection [COM (2006) 786 final – *Official Journal C 126 of 7.6.2007*].

Un secteur d'activités d'importance vitale, mentionné au 1^o du II de l'article 1^{er} du décret n° 2006-212 du 23 février 2006 relatif à la sécurité des activités d'importance vitale, est constitué d'activités concourant à un même objectif, qui :

- ▶ 1^{er} ont trait à la production et la distribution de biens ou de services indispensables :
 - a. à la satisfaction des besoins essentiels pour la vie des populations,
 - b. ou à l'exercice de l'autorité de l'État,
 - c. ou au fonctionnement de l'économie,
 - d. ou au maintien du potentiel de défense,
 - e. ou à la sécurité de la nation.
 dès lors que ces activités sont difficilement substituables ou remplaçables ;
- ▶ 2^e ou peuvent présenter un danger grave pour la population.

[On notera que les mots de systèmes et de réseau ne figurent pas dans ce texte].

Ces expressions et les documents correspondants se trouvent dans des documents officiels qui abordent les questions de la dépendance de nos sociétés vis-à-vis des GSST et des menaces correspondantes, notamment avec le rôle croissant des TIC et la multiplication des interrelations entre systèmes.

On trouve des expressions du même type, par exemple aux États-Unis dans les documents du Department of Homeland Security.

2. ROBUSTESSE DU SYSTÈME TELECOM OU LUMIÈRES ET OMBRES DES TIC

Le pilotage d'ensemble du système France-Telecom France a été organisé pour être, sauf crise majeure, entièrement automatique et réparti :

- ▶ la régulation temps réel s'effectue au sein des systèmes de routage qui comportent des dispositifs d'autolimitation du trafic associés à des priorités de délestage en fonction de la nature des flux (les données sont moins prioritaires que la voix, etc.) ;
- ▶ le cœur de réseau est surdimensionné (il ne représente que 20 % des coûts) et absorbe donc par construction les variations journalières ou exceptionnelles ; l'augmentation très forte du trafic (doublement chaque année) amène à réinvestir constamment en capacité, le réseau étant finalement dimensionné « à la pointe », comme le réseau électrique ;
- ▶ la surveillance est centralisée à l'échelle nationale. Dans les situations de crise, les opérateurs interconnectés échangent en temps réel les informations utiles. Le risque d'effondrement global est très faible car une part croissante de l'interconnexion s'effectue *via* l'Internet mondial, qui est notamment :
 - auto-cicatrisant ;
 - maillé (multiples chemins physiques).

Ceci étant, la panne de juillet 2012 a montré, si besoin était, que le risque de panne n'est jamais nul ! D'autres grands opérateurs ont aussi auparavant rencontré ce genre de panne ... ou en rencontreront d'autres !

Cette panne a pour origine lointaine un choix du régulateur pour améliorer la qualité de service, à savoir permettre aux clients de conserver leur numéro lorsqu'ils changent d'opérateur. Auparavant, en fonction du début du numéro (06, 07 ...), le réseau routait l'appel directement vers les différents serveurs, redondants, de l'opérateur concerné. Pour assurer la portabilité du numéro, lorsqu'un client



a changé d'opérateur, les serveurs de son opérateur d'origine reroutent l'appel vers ceux de son opérateur actuel : ceci a donc introduit une couche supplémentaire dans le traitement de tels appels et d'ailleurs aussi une interdépendance nouvelle entre les réseaux des différents opérateurs – ce qui montre qu'une amélioration du service peut introduire parfois une fragilisation ! Surtout, il a fallu introduire un logiciel de reroutage en temps réel. Ce logiciel, développé par un seul fournisseur au niveau mondial, comportait un bogue dans une nouvelle version. La redondance des serveurs d'accueil de l'opérateur télécoms a donc été mise en défaut à cause de ce « mode commun », en l'occurrence le fameux logiciel ! Depuis, l'offre de logiciels permettant ce type de traitement temps réel s'est développée et un opérateur télécoms veille à ce que ses serveurs n'utilisent pas tous le même logiciel.

Ajoutons que le partage d'expérience entre les opérateurs sur des problèmes de ce type n'est pas facilité par les règles de la régulation car elles limitent les échanges d'informations autorisées entre concurrents.

3. DISTINGUER COMPLIQUÉ ET COMPLEXE

Les travaux sur les systèmes distinguent les mots « compliqué » et « complexe », dont les origines latines sont d'ailleurs différentes : compliqué fait plutôt référence à un ensemble composé d'un grand nombre d'éléments et difficile à appréhender de ce fait, tandis que complexe fait plutôt référence à un système dont les comportements sont pour partie difficilement prévisibles.

Sur les notions de système même, la littérature scientifique et philosophique est abondante. Nous nous limitons ici à une seule définition, que donne J.L. LE MOIGNE, qui illustre que la notion de système est, par elle-même, récursive, et que tout système est (au moins potentiellement) un « système de systèmes »

« Un système est un objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations. Les composants sont considérés comme des sous-systèmes, ce qui signifie qu'ils entrent dans la même catégorie d'entités que les ensembles auxquels ils appartiennent. Un sous-système peut être décomposé à son tour en sous-systèmes d'ordre inférieur ou être traité (au moins provisoirement) comme un système indécomposable. L'idée essentielle est que le

système possède un degré de complexité plus grand que ses parties, autrement dit qu'il possède des propriétés irréductibles à celles de ses composants ».

Pour terminer, un extrait d'un article de Herbert A. SIMON, intitulé « The Architecture of Complexity », publié dans *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol 106, n°6, décembre 1962 :

« I shall not undertake a formal definition of "complex systems". Roughly, by a complex system I mean one made up of a large number of parts that interact in a non simple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts, not in an ultimate, metaphysical sense, but in the important pragmatic sense that, given the properties of the parts and the laws of their interaction, it is not a trivial matter to infer the properties of the whole ».

4. DES DYNAMIQUES TEMPORELLES DE PLUS EN PLUS COMPLEXES À COORDONNER : DEUX EXEMPLES DANS LES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES

En mai 2012, pour la première fois, la puissance photovoltaïque en Allemagne a dépassé 22 000 MW vers 13h00 – cette puissance « décentralisée » était bien sûr rigoureusement nulle à 5h00 du matin et à 22h00. Cette puissance correspondait alors à plus du tiers de la puissance appelée. Cette dynamique de la production solaire ne reflète pas celle de la demande d'électricité qui, elle, n'atteint pas son maximum en milieu de journée en Allemagne. Le caractère aléatoire de cette production nécessite le maintien ou le développement de capacité de production « classique » ; son caractère fortement variable nécessite en outre une flexibilité suffisante en vitesse et en quantité du reste du parc de production (et de stockage) ; cette flexibilité est assurée usuellement par les centrales hydrauliques et thermiques à gaz et à charbon, mais aussi, en France, par le parc nucléaire.

La coordination quotidienne à parc de production fixe évoquée ci-dessus n'est pas la seule qui se soit complexifiée. Au niveau à présent atteint et prévu dans de nombreux pays, la production éolienne a un impact sur le réseau de transport d'électricité : elle nécessite des investissements sur le réseau. Or, s'il est possible de construire en 3 à 4 ans un grand parc éolien terrestre ou une centrale à cycle combiné à gaz, le renforcement du réseau pour injecter leur production, nécessite

lui plutôt 7 à 10 ans compte tenu des oppositions locales pour construire une nouvelle ligne et obtenir les autorisations ! Il n'est que de mentionner en France la problématique de sécurité d'approvisionnement de la région PACA. Ces difficultés pratiques ne favorisent ni l'investissement des producteurs ni la sécurité du système électrique.

5. CONCILIER LES TEMPORALITÉS DANS LE SYSTÈME DE TRANSPORT ROUTIER

Le système de transport routier a trois composants : les véhicules, qui relèvent de l'industrie manufacturière, l'infrastructure, qui relève du génie civil, et l'exploitation qui est de la responsabilité des opérateurs (services départementaux, compagnies d'autoroute par exemple). L'industrie, le génie civil et les opérateurs ont leur logique propre, mais sont cependant interdépendants.

Si l'on considère maintenant les interactions entre :

- ▶ le système de transport,
- ▶ le système d'activités (industrie, service, habitat...),

soit en gros entre l'offre et la demande, on aboutit au flux de trafic sur le réseau, c'est-à-dire ce qui permet la mobilité des personnes, l'approvisionnement des usines et la distribution au client final.

Si l'on considère plutôt les temporalités, on retrouve trois niveaux :

1. **le court terme (le quotidien)** : le trafic (et ses difficultés éventuelles) résulte de la confrontation entre l'activité actuelle et le système de transport actuel ;
2. **le moyen terme (quelques années)** : l'opérateur peut, dans certaines limites, adapter l'infrastructure et son mode d'exploitation à l'évolution du trafic par ses investissements ; ainsi un péage variable s'inspirant d'une tarification temps réel peut être un outil ;
3. **le long terme (dix ans et plus)** : les activités évoluent par des décisions, notamment d'implantation, prises en fonction, entre autres, des services offerts par les opérateurs. Or l'aménagement du territoire et l'urbanisme exigent des temps longs.

Comment concilier ces trois temporalités ? Les « bouchons », lot quotidien de certains automobilistes en certains lieux, montrent la difficulté de concilier ces trois temporalités.

Un opérateur doit viser la « rentabilité » mais ne peut seul décider des infrastructures dont il a besoin et encore moins de l'implantation des activités, qui est de la responsabilité d'autres acteurs de la société (élus, industriels, promoteurs, citoyens), lesquels ne peuvent se passer d'opérateurs de réseaux techniques.

Le « marché » ne peut, à lui seul, coordonner les trois composants : véhicules, infrastructure et techniques d'exploitation. Enfin, l'on ne peut aisément simuler globalement le fonctionnement de tels GSST...

On notera que ce commentaire s'applique dans une large mesure aussi au transport ferroviaire.

6. PLACE DE L'HOMME DANS LE CONTRÔLE DU TRAFIC AÉRIEN

Deux catégories de personnes sont au cœur du système : les pilotes et les contrôleurs.

Les deux dialoguent et reçoivent des informations *via* des systèmes (le système de gestion de vol à bord – FMS, Flight Management System – et le plan de vol au sol) qui communiquent de plus en plus directement, mais qui sont en revanche incapables à eux seuls de garantir une trajectoire sécurisée aux avions.

Un des enjeux majeurs des prochaines années va justement consister à fournir à ces deux acteurs des données provenant d'échanges sol-bord, qui vont permettre à la fois aux contrôleurs de disposer de plus d'informations et aux pilotes de disposer d'une plus grande flexibilité dans les trajectoires de leurs avions (de sorte que l'avion, comme le bateau, puisse aller partout, sauf là où le survol est interdit!).

Ces progrès technologiques doivent s'accompagner d'une élévation des niveaux de sécurité d'un facteur 10 : l'augmentation prévue du trafic aérien ne sera en effet socialement acceptable que si le nombre d'accidents d'avion n'augmente pas et même continue de baisser malgré l'augmentation du trafic (cf. commentaire « Conséquences de la déréglementation sur les investissements : exemple du système électrique »).

De tels changements technologiques entraînent de fortes problématiques d'ergonomie, surtout « d'imbrication » des métiers qui nécessite elle-même des formations adaptées tant chez les pilotes et les contrôleurs que chez les industriels fournisseurs des systèmes de management du trafic.

7. VERS DES MODÉLISATIONS ET DES SIMULATIONS DES SYSTÈMES INCLUANT L'HUMAIN

Depuis une cinquantaine d'années, grâce notamment aux ordinateurs, la modélisation et la simulation numérique des phénomènes physiques et chimiques intervenants dans les systèmes construits par l'homme sont devenues classiques. Sans entrer dans des détails hors sujet ici, l'application aux Grands Systèmes peut se heurter encore à deux verrous :

- ▶ une puissance de calcul qui reste trop faible pour des simulations fines multiphysiques statiques ou dynamiques – ceci étant, elle continue d'augmenter rapidement ;
- ▶ l'indisponibilité des données, qu'il s'agisse de mesures sur des phénomènes réels ou des données sur la société humaine par exemple ; cette indisponibilité peut être réelle ou conséquence de questions de concurrence ou de situations juridiques particulières.

Notons que les mesures sur le monde réel ont progressé de plusieurs ordres de grandeur en nombre et en qualité dans tous les domaines depuis trente ans. Il en est de même, plus récemment, sur les données concernant la société humaine : les mesures *via* les techniques spatiales, les *data mining* (fouilles de données) sur Internet continuent de se développer. Nous ne développerons pas ici ces questions du « déluge de données » qui font l'objet de nombreux travaux et concernent aussi les GSST puisqu'ils en sont une des sources et que, de plus, leur fonctionnement nécessite de maîtriser l'utilisation de grandes masses de données.

Ajoutons que les questions d'incertitude sur les données (physiques notamment) font l'objet d'approches probabilistes. De même existent des approches sur les problématiques de défaillance (arbres de défaillance...).

Bien d'autres types de modélisations et de simulations que celles de la physique et de la chimie existent (recherche opérationnelle par exemple). On ne saurait les détailler ici.

La prise en compte du comportement de l'homme, de la réaction de l'utilisateur et leur modélisation est une autre question. Des modèles ont été réalisés quand il suffit de modéliser un aspect limité du comportement humain, susceptible d'être validé par l'expérience, par exemple pour des pilotes d'avion ou des opérateurs de centrales nucléaires.

Pour simuler plus profondément le fonctionnement et les réactions des grands systèmes, il est nécessaire de représenter des comportements beaucoup plus complexes (dimension humaine individuelle, interactions entre acteurs en cas de décision partagée, dimension organisationnelle, dimension collective pour une foule...). C'est là un domaine de recherches en plein développement dans lequel :

- ▶ la défense (notamment américaine) a été motrice,
- ▶ les outils de la biologie (simulation des sociétés d'insectes) et ceux de l'intelligence artificielle « distribuée » sont sources d'idées et de modèles,
- ▶ les méthodes et algorithmes des jeux vidéo multi-joueurs apportent aussi une contribution.

On trouve d'ores et déjà sur le marché des logiciels de simulation incluant des « agents » qui peuvent aussi être des humains au comportement « modélisé ». Il n'en demeure pas moins qu'il s'agit là de simulations et qu'en faisant « tourner » ces simulations on peut trouver des comportements « émergents » imprévus (cf. annexe 1). La question est alors double : ce comportement est-il un artefact du fait du modèle ou un phénomène susceptible de se produire ? Était-il prévisible ?

8. DIVERS TYPES DE DÉPENDANCES INTER-SYSTÈMES

On peut distinguer :

- ▶ **les dépendances temps réel ou instantané** : le système électrique dépend du système télécoms pour son système de contrôle ; de même, le système télécoms et, plus généralement Internet, ne fonctionne que s'il y a alimentation électrique ; de même pour le système ferroviaire (locomotives,

signalisation] ; en pratique, les systèmes de contrôle des GSST dépendent de plus en plus des NTIC et donc, de ce fait, de l'électricité ;

- ▶ **les dépendances en temps différé (quelques heures, jours, semaines) :** le système électrique dépend dans de nombreux pays de l'approvisionnement en gaz, le système routier et le système aérien de l'approvisionnement en hydrocarbures, qui dépend lui-même du système routier ; le système routier se trouve souvent « saturé » lorsqu'il y a une grève des cheminots ! les opérations de maintenance s'appuient de plus en plus sur le GPS ;
- ▶ **les dépendances à long terme (quelques mois ou davantage) :** ce sont les dépendances des GSST vis-à-vis des industriels fournisseurs (les fournisseurs de combustible nucléaire pour l'électricité des centrales nucléaires, les fournisseurs de serveurs informatiques...).

Les centres de contrôle ou contrôle-commande des GSST ont généralement besoin en temps réel d'alimentation électrique et d'informations arrivant par les réseaux télécoms, qui sont donc des GSST « transverses ».

Le maillage des réseaux, l'installation de systèmes redondants, doublés ou triplés, les stocks (de gaz par exemple), les moyens de secours (diesels par exemple) sont des moyens de pallier, au moins temporairement et parfois localement seulement, les conséquences des pannes d'un GSST sur un autre.

Au-delà, les dépendances mutuelles sont concrétisées par les difficultés de vie dans une ville dès que l'un des GSST est en panne ! Toutes ces dépendances induisent des vulnérabilités, notamment vis-à-vis de la malveillance et du terrorisme, qui nécessitent réflexions et actions préventives, à actualiser régulièrement, des autorités et des opérateurs.

9. LE GSST PLATE-FORME TECHNIQUE POUR DE NOUVEAUX ACTEURS

Extrait de : « La régulation des communications électroniques en France et en Europe : entretien avec Nicolas Curien » rédigé par Géraldine Pflieger, paru dans FLUX n°87, 2012/1 :

« Cette couche [des services et des usages], potentiellement la plus ouverte à

la concurrence, se situe au contact des usagers finaux, des utilisateurs du réseau. Dans le secteur des communications électroniques, elle rassemble toutes les applications accessibles à travers le réseau : originellement une seule application, la téléphonie ; et, aujourd'hui, la myriade des services disponibles sur internet. Cette diversification massive des usages, certainement l'un des phénomènes les plus marquants de la révolution numérique, a débuté à la fin des années 1970, lorsque des services de transmission de données sont apparus au côté du service téléphonique. Dès lors, le réseau, composé de son infrastructure et de son info structure, n'était plus le support d'un service unique de communication point à point, avec lequel on le confondait d'ailleurs jusque-là très naturellement, mais il devenait un lieu d'intermédiation, une plate-forme technique mettant en relation des fournisseurs et des utilisateurs d'informations et de communications. Cette mutation, qu'incarnent aujourd'hui l'omniprésence d'Internet et l'essor explosif des services en ligne, a créé un réel changement de paradigme : le réseau n'est plus le support d'un service, il devient une "place" d'échanges marchands et non marchands entre agents socio-économiques ».

10. TROIS TYPES DE GSST

Les GSST semblent se répartir en trois catégories (en Europe à tout le moins) :

- ▶ le système peut être organisé comme un ensemble de réseaux (d'entreprises) opérant à l'échelle européenne ou mondiale. Ces entreprises sont réunies dans un cadre réglementaire commun, qui assure le service européen ou mondial de façon assez uniforme : c'est le cas pour les télécoms et pour le système aérien – avec des types de liaisons très différentes entre les deux ;
- ▶ il peut également être composé d'entreprises opérant jusqu'à récemment dans un cadre majoritairement national, et obéissant, comme pour le cas précédent, à des règles européennes. Ce cas est actuellement le plus fréquent : le système électrique, le système ferroviaire ;
- ▶ le troisième cas possible, la direction européenne unifiée « native », n'a pas (encore ?) été mis en place actuellement. Le système Galileo, dont la Commission assure la maîtrise d'œuvre et qui est en cours de déploiement est probablement ce qui s'en rapproche le plus.

Les situations du second type semblent correspondre à celles qui répondent à une gouvernance et des modes d'organisations non stabilisées. On peut observer qu'il y a là des secteurs où les directives européennes se succèdent et tentent de faire apparaître des systèmes européens *via* la libéralisation. Ainsi pour le ferroviaire, l'évolution est toute entière dans une phrase de J.-Cl. RAOUL lors de son audition par notre groupe :

« Des réseaux gérés par un organisme dans chaque pays avec des raccordements discrets et peu nombreux, un matériel spécial (pour passer la frontière) ou changeant, un conducteur qui change à la frontière ... La Commission Européenne a dit qu'il faut arriver à un réseau homogène, ouvert sur le marché des trains et des fournisseurs ».

Le second type disparaîtra-t-il un jour ? La question se pose d'autant plus que face au national montent en puissance le local et/ou le régional d'un côté, et le niveau européen de l'autre.

11. CONSÉQUENCES DE LA DÉRÉGLEMENTATION SUR LES INVESTISSEMENTS : EXEMPLE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

La mise en place du marché devait faire émerger les coûts de court terme. Or, la dimension politique de la facture d'électricité maintient, au moins pour les clients résidentiels, dans nombre de pays, des tarifs réglementés ou des prix constants reflétant plus ou moins la moyenne des coûts sur une période.

Par ailleurs, le marché ne fait pas apparaître l'optimisation de long terme et ne permet pas de rentabiliser le développement de moyens de pointe. C'est là qu'apparaissent, par exemple en France, les processus de « planification pluriannuelle des investissements », les appels d'offre du gestionnaire de réseau RTE pour de nouveaux moyens de production, la création éventuelle d'un marché de capacités (pour assurer qu'il y a suffisamment de capacités de production à la pointe). Ces nouvelles approches, avec d'autres, sont l'objet d'expérimentations ou de réalisations dans de nombreux pays, et pas seulement en Europe. En tout état de cause, elles ne se font pas encore à l'échelle européenne et ne sont pas stabilisées, ce qui ne facilite pas l'investissement des industriels. Par comparaison, la situation de

monopole, national ou régional était plus simple, le même acteur ayant à sa main les données de consommation et de production et les prévisions associées à long terme... mais elle ne poussait pas nécessairement à la créativité ni à l'économie si le monopole n'était pas « vertueux ».

Autre point : la réglementation européenne est basée sur le modèle du système électrique du xx^e siècle en quatre couches : la production (centralisée), le réseau de transport, le réseau de distribution, le commerce. Les directives imposent une séparation croissante entre ces couches. Or, le déploiement de la production répartie, telle le photovoltaïque – puis à terme de stockage réparti aussi – n'entre pas dans ce modèle. Plus précisément, ce déploiement concerne directement les couches commerce et distribution, le réseau de distribution devant investir pour devenir un réseau de « circulation » sûr. De plus, les outils de maîtrise de l'énergie, type lissage de pointe de charge par réduction ou décalage d'usages, effacements tournants d'utilisateurs sont eux aussi de part et d'autres de la frontière commerce/distribution : l'existence de cette frontière freine les expérimentations en matière de réseaux électriques intelligents (*smartgrid*) ; plus grave, elle questionne les investissements type compteur communicant dont la rentabilité n'est que difficilement assurée par un seul côté de la frontière. Les « subventions croisées » entre les couches du modèle ont aussi parfois du bon ! Elles ont permis aux électriciens d'utiliser leur puissance d'investissements suivant les périodes à la production ou au réseau, par exemple, sans avoir besoin d'équilibrer le bilan de l'une ou de l'autre. Ainsi apparaissent de réels besoins de créativité pour de nouveaux types de régulation !

12. GOUVERNANCE ET GESTION DU TRAFIC AÉRIEN EN EUROPE

Issue de systèmes d'abord nationaux, la gestion du ciel européen est fragmentée en 67 portions spatiales et avec une faible intégration entre systèmes civils et militaires. Ceci a des conséquences négatives en termes de sûreté, de capacité et de coûts des vols.

Pour remédier à ces problèmes et pouvoir faire face à l'augmentation du trafic, l'Europe soutient le programme Ciel européen unique ou SES (*Single European Sky*) visant à réaliser un ciel « sans coupure » : ce programme s'appuie sur deux « paquets » réglementaires et sur le programme de recherche SESAR (*Single*

European Sky ATM Research) piloté par Eurocontrol (représentant 38 pays européens). L'introduction du concept de FAB (Functional Airspace Blocks) doit conduire à un changement de paradigme permettant notamment à un contrôleur aérien de suivre un avion au-delà des frontières nationales grâce à une «Common Operational Picture» partagée entre les acteurs. Au nombre de 9, les FAB doivent notamment remplacer les 67 portions spatiales actuelles.

Le programme SESAR se découpe en trois phases : définition (2004-2008), développement (2008-2015), déploiement (de 2013 à 2020 et au-delà). Cette dernière doit voir la production en masse des nouveaux systèmes et la mise en œuvre des nouvelles infrastructures de gestion de trafic harmonisées et interopérables qui devraient assurer une grande efficacité au transport aérien européen.

La durée du programme illustre les caractéristiques du GSST aérien. De nombreux acteurs interviennent : compagnies aériennes, pilotes privés, organisations de l'aviation civile, ministères des transports et ministères de la défense des pays, propriétaires d'aéroports, organismes de certification, industriels, organismes et industriels de la défense, et bien sûr, passagers !

Le nombre d'acteurs, leurs priorités parfois dissemblables voire divergentes par rapport aux évolutions qu'ils souhaitent, peut être un frein aux évolutions techniques et à leur déploiement, ce qui conduit aussi à des objectifs de réduction de coûts d'investissements ou de fonctionnement rarement atteints.

13. IMPACT DE LA GOUVERNANCE : EXEMPLE DE LA CONSTRUCTION D'UN ESPACE FERROVIAIRE EUROPÉEN

À partir d'une situation historique de cloisonnement des réseaux ferrés nationaux pour des raisons militaires et industrielles, la Commission européenne, sous l'impulsion des États membres, eux-mêmes à la recherche de solutions à la congestion des transports, a pris des initiatives (« paquets » ferroviaires) visant la construction d'un espace ferroviaire européen intégré sur le plan technique et celui des opérations, ouvert tant du côté opérateurs que constructeurs d'équipements :

- ▶ séparation entre opérateurs et gestionnaires d'infrastructure : création de RFF en France en 1997 ;
- ▶ ouverture du marché des services internationaux à partir de 2001.

Obtenir l'interopérabilité pour les réseaux et matériels roulants existants est évidemment un chantier technique et industriel, économique, social et financier hors de portée à court terme puisqu'il faudrait homogénéiser et donc remplacer signalisations, voltages, voire certains rails et roues, etc. Le premier chantier concret de construction de l'interopérabilité a donc été celui des lignes et trains à grande vitesse, puisqu'il s'agissait là essentiellement de développements nouveaux. Ceci a été fait à travers la mise en œuvre de la directive 96/48, elle-même fondée sur deux principes :

- ▶ décomposition en sous-systèmes (infrastructures, installations fixes, équipements logistiques et matériels roulants) ;
- ▶ pour chacun de ces sous-systèmes, définition de conditions d'interface à satisfaire, sous la forme de « spécifications techniques d'Interopérabilité » (STI), adossées à un système de certification indépendant des opérateurs et des industriels.

Le consensus sur les STI (éditées sous forme de règlements communautaires) a été atteint en 2004 après plusieurs années d'intense activité pendant lesquelles ont été mobilisés 500 experts issus des constructeurs, des opérateurs et des gestionnaires d'infrastructures de l'Europe alors des 15.

La formation du consensus a été facilitée par :

- ▶ le positionnement du problème sous un angle plus technique que juridique et par le périmètre relativement limité de l'harmonisation (sous-système TGV) ;
- ▶ la convergence d'intérêt des fabricants de matériels (Alstom, Bombardier, Siemens, intéressés par le développement du marché et qui représentent environ 50 % du marché mondial), qui ont entraîné quelques opérateurs au départ réticents ;
- ▶ le conditionnement de l'utilisation du Fonds de cohésion (destiné au financement des grandes infrastructures de transport) au respect des STI.

14. LA PANNE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE EUROPÉEN LE SAMEDI 4 NOVEMBRE 2006 ET LES LEÇONS TIRÉES

Suite à la coupure volontaire d'une ligne très haute tension pour laisser passer un grand bateau sur la rivière Ems en Allemagne du Nord, plus de 15 millions de

foyers européens, dont 5 en France, ont subi une coupure de courant de trente minutes à une heure.

L'analyse de ce « black-out » a montré notamment que :

- ▶ E.ON Netz GmbH, qui avait en charge la partie du réseau de transport allemand concerné n'a, semble-t-il, pas respecté la règle fondamentale dite « du n-1 », à savoir que l'opérateur de réseau doit vérifier en permanence que si un élément clé du réseau, centrale ou ligne, se retrouve hors-service brutalement alors les reports de charge sur les lignes restantes ne conduisent pas à un effacement en cascade de cartes par reports successifs ;
- ▶ la puissance éolienne effective n'était pas précisément connue des dispatchings car la mise à disposition de cette information en temps réel n'avait pas été imposée aux propriétaires d'éoliennes ;
- ▶ la déconnexion/reconnexion des éoliennes, conséquences de la variation de fréquence induite par l'incident, l'aggravait et compliquait sa résolution ; en effet, d'une part, la déconnexion liée à une baisse de fréquence du réseau par insuffisance de production aggrave ce manque ; d'autre part, la reconnexion automatique après déconnexion par excès de fréquence conséquence d'un excès de puissance aggrave cet excès !
- ▶ les communications temps réel entre les opérateurs des réseaux étaient insuffisantes et la formation des dispatcheurs dans le contexte de production décentralisée devait être adapté.

Cette panne, la plus grave connue en Europe depuis plusieurs décennies, a conduit les acteurs de l'univers de l'électricité européens (régulateurs, opérateurs de réseaux de transport, Union pour la Coordination du Transport d'Électricité) ainsi que les politiques (nationaux et européens) :

- ▶ à modifier l'organisation européenne : création de l'agence des régulateurs (ACER), de l'association des transporteurs du réseau interconnecté européen (ENTSO-E) et définition de leur rôle ;
- ▶ à modifier les « *grid code* » qui précisent les règles s'imposant aux producteurs notamment.

En outre, cinq opérateurs de réseau de transport de l'Ouest de l'Europe ont, à l'initiative de RTE, créé CORESO, centre de coopération pour prévenir des incidents tels celui de 2006 : rassemblant des ingénieurs de plusieurs pays, CORESO simule

le fonctionnement du réseau européen et propose, si nécessaire, par exemple, des solutions pour supprimer des congestions du réseau qui utilisent des lignes de plusieurs pays, alors que les *dispatchings* nationaux ne peuvent naturellement le faire que sur leur propre territoire. Cet élargissement du traitement des congestions a une analogie avec l'évolution du contrôle aérien (cf. commentaire 9) car le système électrique est aujourd'hui « un avion avec plusieurs pilotes ».

Ceci illustre le processus de changement de gouvernance conséquence d'une crise elle-même conséquence de plusieurs changements dont la montée de la puissance éolienne connectée et non contrôlée.

Il faut noter enfin qu'E.ON Netz est attaqué devant des tribunaux allemands dans le cadre de l'incident du 4 novembre 2006 et pourrait l'être par des clients français délestés, vis-à-vis desquels RTE a invoqué la force majeure. La responsabilité des régulateurs (nationaux) pourrait aussi être recherchée dans la mesure où il serait possible de prouver qu'ils n'auraient pas donné leur accord à des propositions d'investissement permettant de sécuriser le réseau.

15. ÉLÉMENTS DE FRAGILITÉ DU SYSTÈME INTERNET MONDIAL

Malgré ses indéniables succès et une base robuste – rappelons que l'UIT, Union Internationale des Télécommunications, a réussi depuis toujours à constituer un système mondial dans ce domaine – et malgré la reprise des investissements après la « bulle » Internet, le système présente des fragilités et des incertitudes issues :

- ▶ aux USA, des conflits industriels entre fournisseurs de réseaux et de contenus ;
- ▶ en Europe, des inquiétudes sur l'influence américaine en matière de gouvernance d'Internet et diffusion de contenus ;
- ▶ plus généralement, de la question du piratage et des débats sur les mesures de protection : conséquences sur l'industrie de la création, surveillance des internautes ;
- ▶ plus généralement encore, des questions de malveillance et de risques de sabotage *via* les accès Internet toujours plus nombreux vers des services de toute nature, dont tous les services clientèles informatisés dont le blocage peut à son tour bloquer les systèmes qu'ils servent à facturer.

Sur un plan différent, le ralentissement de la croissance en valeur dans les pays les plus avancés, conséquence de la baisse des prix de la téléphonie fixe et de la stagnation de l'ARPU (Average Revenue Per Unit) des mobiles dans un marché saturé, n'est pas complètement compensé par la forte hausse des revenus du haut débit et des services « data » : ceci peut aussi conduire à des limitations d'investissements qui fragilisent certaines parties du système.

16. QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LES ACTIONS D'UN CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES SUR LES RÉGULATIONS (CERR)

Outre les actions de formation dont la portée sera à long terme, il s'agit d'alimenter les processus de décisions de régulation des GSST par un potentiel d'études et de recherches d'un niveau à la hauteur des enjeux.

De ce fait, créer un ou plusieurs **Centre d'études et de recherches sur les régulations (CERR)** serait un moyen de contribuer à la créativité et à l'intelligence nécessaire en matière de régulation. Le budget annuel de quelques dizaines de millions d'euros d'un tel centre sera de plusieurs ordres de grandeur inférieur à ce qu'il rapportera probablement !

Naturellement multidisciplinaire et international, un tel Centre pourrait à la fois développer les « visions système » et capitaliser les compétences et la mémoire nécessaires sur les systèmes :

- ▶ il pourrait acquérir voire développer un outillage de simulation et de visualisation de haut niveau de l'évolution des Grands Systèmes, des enjeux, vulnérabilités, options et impacts ;
- ▶ il aurait un accès aux données des Grands Systèmes pour ses travaux (à l'exclusion de toute activité commerciale) ;
- ▶ il développerait une expertise sur les régulations et la simulation des conséquences des choix en la matière.

La mise en œuvre des propositions, le financement et la crédibilité d'un tel Centre seront grandement favorisés par l'implication des opérateurs

industriels eux-mêmes :

- ▶ pour le financement,
- ▶ pour l'accès aux données,
- ▶ pour les éventuelles expérimentations sur le terrain, en plus de l'implication des régulateurs et des organismes académiques, notamment les Universités et instituts qui travaillent sur l'ingénierie et le fonctionnement des Grands Systèmes.

L'ampleur des enjeux appelle probablement un ou plusieurs Centres au niveau européen, s'occupant de plusieurs GSST. Les thèmes liés à la sécurité et la vulnérabilité seraient certainement prioritaires.



MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL

Yves BAMBERGER (animateur/rédacteur) – *Conseiller scientifique du président d'EDF ;
membre de l'Académie des technologies*

Jean-Pierre CAUSSE – *Président d'honneur Saint-Gobain recherche ; membre de
l'Académie des technologies*

Paul CASEAU † ; membre de l'Académie des technologies

Michel FRYBOURG – *Ingénieur général des ponts et chaussées ; membre de
l'Académie des technologies*

Pierre PERRIER – *Ancien sous-directeur études avancées, Dassault Aviation ;
membre de l'Académie des technologies*

Erich SPITZ – *Ancien président THALES Avionics ; membre de l'Académie
des technologies*

Jean-François HAMELIN (secrétaire scientifique) – *Délégué systèmes d'informa-
tion, direction de l'ingénierie nucléaire edf*



Rapport de l'Académie des Technologies
Les Grands Systèmes Socio-Techniques (GSST)



PERSONNES AUDITÉES ET/OU CONTRIBUTRICES

Thierry BEAUVAIS – *VP recherche et technologie de THALES*

Jean BERGOUGNOUX – *Ancien directeur général d'EDF, ancien président de la SNCF*

François BICHET – *Responsable de la stratégie technologique de Dassault Systèmes*

Pierre BORNARD – *Vice-président de RTE (réseau de transport d'électricité, France)*

Yves CASEAU – *Directeur général adjoint technologies, services, innovation de Bouygues Telecom, membre de l'Académie des technologies*

Pierre CASTILLON – *Ancien directeur recherche, technologie et environnement d'ELF Aquitaine, président fondateur de l'Académie des technologies*

Nicolas CURIEN – *Professeur émérite au Conservatoire national des arts et métiers, Ancien membre de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, membre de l'Académie des technologies*

Olivier FAURE – *Directeur du groupe FM Logistic en charge des volets technique, achats et système d'information*

Jean-Pierre HUTIN – *Directeur des programmes de recherche production d'EDF R et D, président du réseau européen NULIFE*

Bruno JARRY – *Ancien directeur scientifique du groupe Tate and Lyle, membre de l'Académie des technologies*

Dominique LUZEAUX – *Directeur à la Direction générale de l'armement (DGA), président de l'AFIS, Association française d'ingénierie système*

Dominique MAILLARD – *Président de RTE (réseau de transport d'électricité, France)*

Olivier MAUREL – *Président du pôle de compétitivité NOV@LOG, membre de l'Académie des technologies*

Philippe MERLO – *Directeur de la technique et de l'innovation à la Direction des services de la Navigation aérienne*

Jacques OKSMAN – *Directeur de la recherche et des relations industrielles à SUPÉLEC*

Yves RAMETTE – *Directeur général adjoint de la RATP en charge des projets, de l'ingénierie et des investissements du Grand Paris et de la sécurité ferroviaire, membre de l'Académie des technologies*

Jean-Claude RAOUL – *Conseiller technique de la fédération des industries ferroviaires, directeur de l'association européenne pour l'interopérabilité ferroviaire, membre de l'Académie des technologies*

Bruno REVELLIN FALCOZ – *Ancien vice-président-directeur-général de Dassault Aviation, ancien président de l'Académie des technologies*

Étienne de ROCQUIGNY – *Directeur-adjoint de la recherche à l'École centrale de Paris*

Christian SAGUEZ – *Ancien professeur à l'École centrale de Paris, membre de l'Académie des technologies*

Marc TROTIGNON – *Chercheur senior à EDF R et D dans le domaine de l'économie et du fonctionnement des systèmes électriques*

Pascal VIGINIER – *Directeur commercial France Orange-France Telecom, membre de l'Académie des technologies*

Christophe WILHELM – *Directeur de la stratégie et du marketing de Thalés Alenia Space*



QUELQUES SITES

Les sites des industriels fournisseurs et ceux des opérateurs des systèmes, aisés à trouver, ne figurent pas dans la liste

GÉNÉRAUX

<http://ec.europa.eu> (Commission européenne)

www.strategie.gouv.fr (Conseil d'analyse stratégique)

www.dhs.gov (US Department of Homeland Security)

SUR LE SYSTÈME FERROVIAIRE

www.rff.fr (Réseau ferré de France)

www.regulation-ferroviaire.fr

www.rail-reg.gov.uk

www.irg-rail.eu (groupe des régulateurs européens du rail)

SUR LE SYSTÈME AÉRIEN

www.iata.org (International Air Transport Association)

<http://easa.europa.eu> (Agence européenne de sécurité aérienne)

www.eurocontrol.int (Système européen de contrôle aérien)

SUR LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

www.cre.fr (Commission de régulation de l'énergie)
www.rte-France.com (réseau de transport de l'électricité)
www.coreso.eu
www.entsoe.eu (European Network of Transmission System Operators)
www.caiso.com (Opérateur du système californien)
www.acer.europa.eu (Agency for the cooperation of Energy regulators)
<http://ieeexplore.ieee.org> (Bibliothèque électronique de l'IEEE)

SUR LE SYSTÈME ROUTIER

<http://www.bison-fute.equipement.gouv.fr> (Centre national d'informations routières)
www.worldhighways.com (revue)

SUR LE SYSTÈME TÉLÉCOMS ET SUR INTERNET

www.arcep.fr (autorité de régulation des communications électroniques et des postes)
<http://bereg.europa.eu> (Body of European regulators for electronic communications)

SUR RECHERCHE ET ENSEIGNEMENT

media.eduscol.education.fr/file/SVT/16/2/SVT_Fiche1_209162.pdf (fiche du Ministère de l'éducation nationale sur l'enseignement par îlots)
www.iscpif.fr (Institut des systèmes complexes d'Île de France)
www.santafe.edu (Santa Fe Institute, spécialisé dans l'étude des systèmes complexes)



GLOSSAIRE

ACER – AGENCY FOR THE COOPERATION OF ENERGY REGULATORS

L'Agence pour la Coopération des Régulateurs de l'Énergie a été créée par l'Union européenne dans le cadre du troisième « paquet » énergie pour promouvoir le développement des marchés européens du gaz et de l'électricité.

BLACK-OUT

Panne de courant à une large échelle (plusieurs millions ou dizaine de millions de consommateurs).

CAETS – INTERNATIONAL COUNCIL OF ACADEMIES OF ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL SCIENCES

Le CAETS est une organisation indépendante, non politique et non gouvernementale qui rassemble les Académies d'ingénierie et de technologies de pays du Monde entier (une académie par pays).

CAS – CENTRE D'ANALYSE STRATÉGIQUE

Le Centre d'analyse stratégique est une institution d'expertise et d'aide à la décision placée auprès du Premier ministre. Il a pour mission d'éclairer le Gouvernement

dans la définition et la mise en œuvre de ses orientations stratégiques en matière économique, sociale, environnementale ou technologique.

CESE – CONSEIL ÉCONOMIQUE SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL

Le CESE est une assemblée consultative de 233 membres définie dans la Constitution française. Il rassemble des représentants des principales activités économiques, sociales et environnementales et assure leur participation à la définition et l'évaluation des politiques publiques.

CONTRÔLE-COMMANDE

Le contrôle-commande d'un système est le système qui sert à le surveiller et le piloter.

CORESOS

Coresos est une compagnie indépendante dont les ingénieurs viennent de plusieurs pays européens pour œuvrer ensemble à assurer et renforcer la sécurité de fonctionnement du système électrique d'Europe occidentale (en 2012 : la France, la Grande-Bretagne, l'Italie, la Belgique et la partie Est du réseau allemand). Coresos se définit comme a «*Regional coordination service center*».

E.ON NETZ GMBH

Réseau de transport de la compagnie E.ON en Allemagne du Nord.

EURO-CASE –

EUROPEAN COUNCIL OF APPLIED SCIENCES TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Le Conseil européen des Académies de sciences appliquées, technologies et Ingénierie est une organisation indépendante, sans but lucratif, rassemblant les Académies de ces domaines de 21 pays européens. Sa mission est d'encourager et maintenir l'excellence dans ces domaines et de promouvoir leurs sciences, techniques et pratiques pour le bénéfice des citoyens européens.

EUROCONTROL

EUROCONTROL est une organisation internationale, civile et militaire du domaine du contrôle aérien essentiellement européenne et comprenant 39 états membres.

EUROCONTROL travaille avec ses partenaires à la construction d'un « Ciel européen unique » (Single European Sky) par le développement d'un système de management du trafic aérien (ATM) adapté au XXI^e siècle.

EUROSTAR – EUROSTAR INTERNATIONAL LIMITED

Compagnie propriété de London and Continental Railways (40 %), SNCB (5 %) et SNCF (55 %), Eurostar est la société-mère du service Eurostar qui opère des trains à grande vitesse entre Londres, Bruxelles et Paris au travers du tunnel sous la Manche.

FOND DE COHÉSION

Le fonds de cohésion est un instrument financier créé en 1994 afin de réduire les disparités économiques et sociales sur le territoire de l'Union européenne.

GALILEO

Galileo est un projet européen de système de positionnement par satellites destiné à être un GPS européen.

MW

Un mégawatt est égal à un million de watts. À titre de comparaison, une centrale nucléaire classique a une puissance électrique de sortie de l'ordre de 1 000 MW. Watt et mégawatt sont des unités de puissance, l'unité officielle d'énergie est le joule, mais la plus souvent utilisée en pratique lorsque l'on parle de réseau électrique est le watt-heure : énergie consommée en une heure par un appareil ayant une puissance de 1 watt (d'où il vient immédiatement qu'un watt-heure est équivalent à 3 600 joules).

OPECST – OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION

DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES (FRANCE)

Créé en 1983, l'OPECST a pour mission d'informer le Parlement (Assemblée nationale et Sénat) des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin d'éclairer ses décisions. Il est composé de dix-huit députés et dix-huit sénateurs. Il recueille des informations, met en œuvre des programmes d'études et procède à des évaluations.

PACA

Région Provence Alpes Côte d'Azur.

RÉSEAU DE DISTRIBUTION (D'ÉLECTRICITÉ)

C'est la partie du réseau qui distribue l'électricité en moyenne et basse tension, notamment aux clients résidentiels. Il comprend en France environ 1,3 million de km de lignes.

RÉSEAU DE TRANSPORT (D'ÉLECTRICITÉ)

C'est la partie du réseau qui transporte l'électricité, à haute et très haute tension, depuis les grandes centrales de production vers des postes de transformation « sources » du réseau de distribution. Il comprend en France près de 90 000 km de lignes.

RFF – RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE

C'est l'entreprise publique qui a la responsabilité de l'entretien, du développement, de la cohérence et de la mise en valeur du réseau ferré national.

RTE – RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ

C'est l'entreprise publique qui exploite le réseau de transport d'électricité en France. C'est actuellement une filiale d'Électricité de France.



SGDSN (EX SGDN) –

SECRETARIAT GÉNÉRAL DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ NATIONALE

Il assure le secrétariat du conseil de défense et de sécurité nationale. Présidé par le Président de la République, ce conseil définit les orientations en matière de programmation militaire, de dissuasion, de conduite des opérations extérieures, de planification des réponses aux crises majeures, de renseignement, de sécurité économique et énergétique, de programmation de sécurité intérieure concourant à la sécurité nationale et de lutte contre le terrorisme.

UIT – UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

C'est l'institution spécialisée des Nations unies pour les technologies de l'information et de la communication.

VOIX SUR IP

C'est une technique qui permet de communiquer par la voix sur Internet ou sur des réseaux privés en utilisant un protocole de communication IP (internet protocole).