



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN
Division Economie

Groupe de travail Technologie 27 mars 2015

Feuille de route suisse pour un réseau intelligent

Pistes vers l'avenir des réseaux électriques suisses



Liste des participants au groupe de travail Technologie dédié à l'élaboration de la Feuille de route

Chef du groupe de travail Technologie:

OFEN, Office fédéral de l'énergie

Matthias Galus

Membres du groupe de travail:

AES, Association des entreprises électriques suisses

Hauke Basse

AES, Association des entreprises électriques suisses

René Soland

Asut, Association Suisse des Télécommunications

Res Witschi

EICOM, Commission fédérale de l'électricité

Markus Bill

EnDK, Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie

Matthias Möller

ESTI, Inspection fédérale des installations à courant fort

Urs Huber

ESTI, Inspection fédérale des installations à courant fort

Beat Kurmann

FEN, Centre de recherche Réseaux énergétiques de l'EPF de Zurich

Turhan Demiray

METAS, Institut fédéral de métrologie

Gregor Dudle

OFEN, Office fédéral de l'énergie

Mohamed Benahmed

OFEN, Office fédéral de l'énergie

Wolfgang Elsenbast

OFEN, Office fédéral de l'énergie

Peter Ghermi

OFEN, Office fédéral de l'énergie

Michael Moser

Représentants des villes et des communes

Georges Ohana

SECO, Secrétariat d'Etat à l'économie

Mathias Spicher

swissgrid

Rudolf Baumann

swissgrid

Marc Vogel

Participants supplémentaires au groupe de travail impliqués dans l'élaboration de la Feuille de route:

ASGS, Association Smart Grid Suisse

Maurus Bachmann

BFC, Bureau fédéral de la consommation

Achim Schafer

DSV, Association faîtière des gestionnaires suisses des réseaux de distribution

Jürgen Knaak

economiesuisse, Fédération des entreprises suisses

Kurt Lanz

economiesuisse, Fédération des entreprises suisses

Sara Frey

IGEB, Communauté d'intérêts des branches fortes consommatrices d'énergie

Dragan Miletic

ISSS, Information Security Society Switzerland

Ursula Widmer

ISSS, Information Security Society Switzerland

Christian Meier

OFCOM, Office fédéral de la communication

Matthias Ziehl

OFEV, Office fédéral de l'environnement

Yves Wenker

OFPP, Office fédéral de la protection de la population

Stefan Brem

PFPDT, Préposé fédéral à la protection des données et à la transparence

Andreas Sidler

Swisscleantech

Christian Zeyer

Swissmig, Association Smart Grid Industrie Suisse

Dieter Maurer

Swissmig, Association Smart Grid Industrie Suisse

Andre Kreuzer

Avec des contributions de:

AWK, Vischer Anwälte, FIR – Haute école de Saint-Gall, Suisse

BET Dynamo Suisse, Zofingen, Suisse

Consentec GmbH, Aachen, Allemagne

**Remarque:**

La Feuille de route est le résultat de travaux basés sur le consensus. Elle ne représente pas l'avis individuel des membres du groupe de travail. Les opinions des associations et des branches peuvent diverger des avis exposés.

Sommaire exécutif

A l'avenir, une production plus décentralisée provenant de sources d'énergie stochastiques (comme le soleil et le vent) induit de nouveaux défis dans les réseaux électriques et dans l'ensemble du système de distribution d'électricité. La présente Feuille de route montre l'importance des réseaux intelligents et présente des pistes pour maîtriser les défis inhérents aux mutations de l'économie énergétique. Elle crée une compréhension fondamentale commune – une vision des réseaux intelligents – tout en présentant les évolutions probables et les développements nécessaires à l'avenir. A cet effet, elle identifie des mesures nécessaires dans divers domaines et sert de guide aux acteurs impliqués. *Mais que faut-il comprendre au juste par «réseau intelligent»?*

Définition des réseaux intelligents en Suisse:

On entend par réseau intelligent («smart grid») un système électrique qui garantit intelligemment, *en recourant aux technologies de comptage et le plus souvent aux technologies d'information et de communication*, l'échange d'énergie électrique entre des sources de divers types et des consommateurs caractérisés par des besoins différents. Un tel système doit tenir compte des besoins de tous les acteurs du marché et de la société. On peut ainsi optimiser et concevoir plus efficacement l'utilisation et l'exploitation du système, minimiser les coûts et l'impact sur l'environnement, tout en assurant un degré élevé et suffisant de qualité et de sécurité d'approvisionnement.

Il s'agit de savoir comment concevoir précisément les réseaux intelligents pour obtenir effectivement une utilité recherchée, et comment les divers acteurs devront s'employer à cet effet. La Feuille de route pour un réseau intelligent contribue à répondre à ces questions. Elle présente une vision des réseaux intelligents où diverses nouvelles technologies, reliées par la technologie de l'information et de la communication (TIC), interagissent dans le réseau. Cependant, le développement des réseaux intelligents se déroule de manière évolutive. Des solutions décentralisées simples, dénuées de technique de communication particulièrement développée, sont à l'origine d'un maillage ultérieur croissant utilisant des solutions de communication. L'interaction, basée sur le marché, de divers acteurs dont certains sont nouveaux, garantit efficacement et à un coût avantageux l'équilibre entre la production et la consommation. Cette interaction assure une disponibilité élevée des réseaux et améliore l'utilisation des capacités d'infrastructure. Des centrales virtuelles, qui relient les producteurs centralisés et décentralisés, lissent les fluctuations de production dans une large mesure. Une gestion intelligente des charges flexibilise la consommation. Des interventions sélectives dans la consommation, le stockage d'électricité et la production permettent de maintenir la sécurité d'exploitation du réseau. La TIC nécessaire à cet effet est protégée contre les abus et des solutions de secours sont disponibles en cas de défaillance.

Fonctionnalités et technologies des réseaux intelligents

Cette vision permet de déduire les fonctionnalités du futur réseau électrique intelligent, qu'il s'agira de réaliser par l'interaction de diverses technologies, sur la base d'une infrastructure TIC. La Feuille de



route identifie et décrit au total 18 fonctionnalités différentes que les futurs réseaux intelligents comporteront probablement. Dix d'entre elles peuvent être tenues pour des fonctionnalités de base des réseaux intelligents, parce qu'elles apportent une contribution directe et importante à la résolution des défis qui se posent, ou qu'elles représentent une base nécessaire à la constitution ou à la faisabilité de fonctionnalités supplémentaires. La figure M1 énumère les fonctionnalités selon les catégories «Informations», «Stabilité du réseau», «Pilotage du système», «Qualité de l'approvisionnement», «Planification du réseau» et «Marché, consommateurs», tout en illustrant les fonctionnalités de base.

			Fonctionnalité de base	Fonctionnalité étendue
Catégorie de fonction "Informations"	A1	Informations sur les éléments actifs du réseau		
	A2	Informations sur l'état du réseau		
	A3	Informations sur la production/consommation pour les gestionnaires de réseau		
	A4	Informations sur la production/consommation pour les auteurs d'injection ou de soutirage		
Catégorie de fonction "Stabilité du réseau", "Pilotage du système" et "Qualité de l'approvisionnement"	B1	Pilotage du flux de puissance		
	B2	Pilotage de la production, du stockage et de la consommation		
	B3	Identification et réduction des pertes techniques		
	B4	Protection adaptative et reconfiguration optimale du réseau après défauts		
	B5	Possibilité de fournir des prestations-système individuelles		
	B6	Cybersécurité et solutions de secours en cas de perte des fonctions TIC		
Catégorie de fonction "Planification de l'exploitation" et "Planification du réseau"	C1	Meilleure base d'information pour planifier l'exploitation des éléments du réseau		
	C2	Modèles prévisionnels pour améliorer l'emploi des infrastructures de réseau		
	C3	Intégration de la flexibilisation temporelle pour optimiser le développement du réseau		
Catégorie de fonction "Marché, consommateurs"	D1	Large participation au marché des consommateurs et des producteurs		
	D2	Solutions visant à influencer le comportement de consommation		
	D3	Simplification du changement de client		
	D4	Interface entre le réseau et l'automatisation des bâtiments		
	D5	Possibilité de marchés locaux de l'électricité		

Figure M1 Fonctionnalités de base et fonctionnalités étendues des réseaux intelligents suisses.

La figure M2 fournit un aperçu des principales technologies permettant de réaliser les fonctionnalités. Les technologies sont attribuées à des domaines de solution techniques, lesquelles se rapportent aux conséquences des défis à relever. Les analyses effectuées permettent d'attribuer les technologies aux fonctionnalités. Une combinaison de diverses technologies permet de réaliser certaines fonctionnalités. La Feuille de route présente également de tels potentiels de substitution ou d'interactions.



Eu égard aux mesures technologiques nécessaires, la Feuille de route note que la palette des technologies requises se situe déjà à maints égards au stade des essais, ou qu'elle est déjà disponible sur les marchés. Toutefois, l'utilisation de ces technologies (leur pénétration) dans les réseaux est encore ténue. Il faut en chercher la raison pour une part dans le manque de retour d'expérience, c'est à dire dans les incertitudes de nature technique, et d'autre part dans les besoins techniques encore limités à ce stade. Nombre de technologies, en particulier celles qui sont importantes pour réaliser de nombreuses fonctionnalités de base (p. ex. les systèmes de mesure intelligents, le stockage d'électricité décentralisé, la gestion de l'injection et certaines solutions nécessaires dans les techniques de communication), seront probablement disponibles dans les réseaux électriques, dans une certaine mesure, d'ici à 2025.

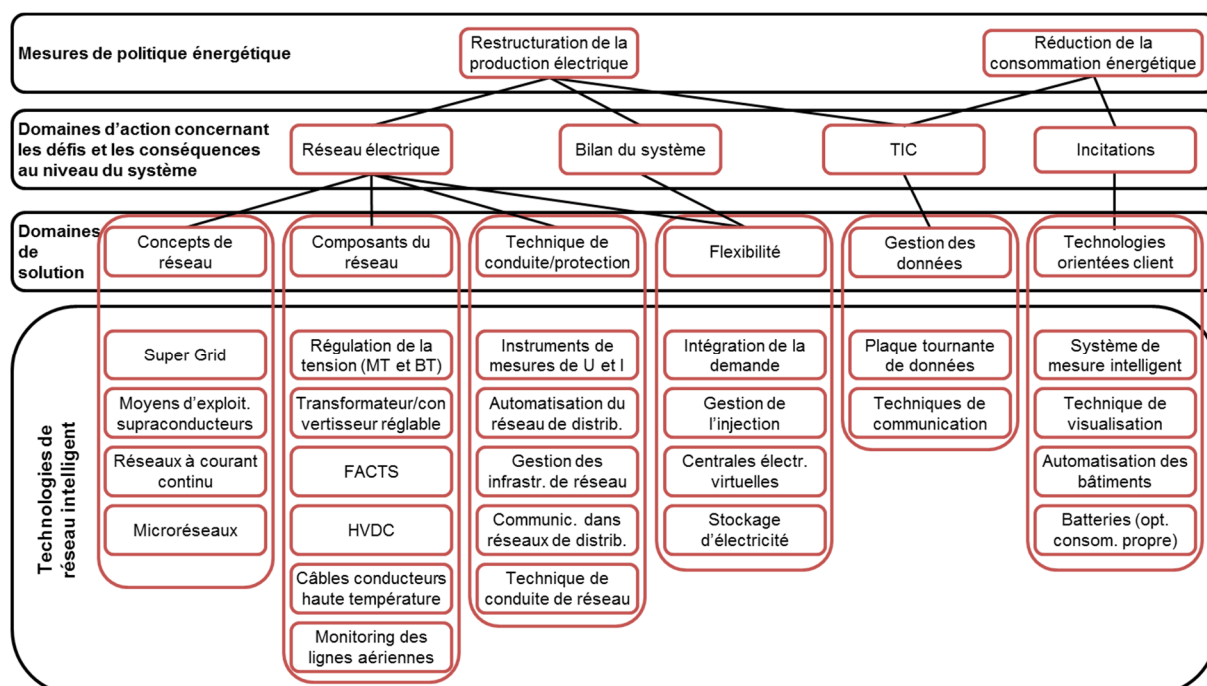


Figure M2 Portefeuille des technologies de réseau intelligent pour la Suisse, assorti de ses délimitations en termes de défis, respectivement de domaines d'action et de domaines de solution correspondants.

Standards, sécurité et protection des données:

Les TIC jouent un rôle important dans les réseaux intelligents, bien que son taux d'utilisation soit disparate selon les cas. A court terme, on peut tabler sur des solutions simples et décentralisées dans un réseau à faible maillage. A long terme, cependant, les technologies seront maillées à un certain degré. La complexité du système s'en trouvera accrue. Il apparaît qu'une large part des flux de données à relever implique soit des données personnelles, dont le traitement est soumis à des directives relevant du droit de la protection des données, soit de données concernant le domaine du réseau, qui doivent être sécurisées pour garantir la qualité de l'approvisionnement. Au total, on peut distinguer quatre catégories de données: les données des systèmes de mesure, les données des consommateurs-producteurs (prosommateurs), les données relatives au raccordement des appareils des bâtiments et les données liées à l'exploitation du réseau électrique. On peut constater un besoin de standardisation ou de sécurisation supplémentaire pour ces catégories. La standardisation supplémentaire nécessaire et sa mise en œuvre dans l'exploitation devraient intervenir sur la base d'une analyse des risques, au cas par cas. Ces analyses devraient être menées, à titre subsidiaire surtout, sous l'impulsion des constructeurs et les utilisateurs. D'ores et déjà, des travaux en vue de nouveaux standards sont en cours au niveau international dans toutes les catégories mentionnées. La Suisse y participe.



En Suisse, la priorité va aux systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final et au traitement des données relatives aux prosummateurs. Des questions non clarifiées dans ce domaine pourraient entraver l'introduction de ces systèmes telle qu'elle est prévue en Suisse. Le domaine de la protection des données présente un parallélisme entre le droit fédéral et le droit cantonal. Pour les systèmes de mesure intelligents, l'uniformité à l'échelle nationale des exigences en matière de protection des données et de sécurité est importante pour assurer l'interopérabilité des systèmes, pour réduire les coûts et pour permettre l'ouverture du marché de l'électricité à l'avenir. La protection des données devrait réglementer uniformément sur le plan national, selon la périodicité voulue et conformément aux objectifs fixés, l'utilisation des données des courbes de charge par les gestionnaires de réseau et les autres acteurs. Quant aux catégories restantes, elles appellent un examen approfondi des cas de mise en œuvre concrets. Pour certaines problématiques d'intérêt public, et si un dysfonctionnement du marché est prévisible, la Confédération peut émettre des directives concernant des exigences et les contrôles correspondants.

Coûts et utilité des technologies intelligentes dans les réseaux

Le rapport coûts-utilité des solutions techniques innovantes (technologies), telles que le réglage de la puissance réactive, les transformateurs réglables ou la gestion de l'injection, apparaît positif par rapport au développement conventionnel du réseau, en particulier lorsque le réseau devrait être développé parce qu'il faut maintenir la tension (soit dans la plupart des cas). La gestion de l'injection (sous forme de lissage des pointes d'injection) est une mesure judicieuse pour les gestionnaires de réseau. Dans la variante de mise en œuvre la plus simple, il n'est guère nécessaire de recourir à la TIC pour réduire le développement conventionnel du réseau. De plus, la production de puissance réactive par des installations de production renouvelable représente une solution tout à fait avantageuse du point de vue des coûts. Les options que constituent le transformateur réglable et le régulateur de départ devraient en outre impérativement faire l'objet d'un examen. La combinaison de diverses solutions novatrices, par exemple la gestion de l'injection et l'installation d'un transformateur réglable peut s'avérer encore plus efficace qu'une solution isolée.

L'utilisation du stockage d'électricité décentralisé (batteries) ne saurait guère constituer, du point de vue du fonctionnement du réseau, une solution économiquement judicieuse. Cependant, s'agissant de stabiliser le système et sous l'angle de l'utilité commerciale et technique, le fait d'éviter des congestions locales peut constituer une contribution supplémentaire à la rentabilité du stockage d'électricité décentralisé. Du point de vue de la planification du réseau, le pilotage des charges soulève un problème de disponibilité (à long terme) aux niveaux de la moyenne et de la basse tension. Le pilotage des charges ne peut que légèrement contribuer à réduire les besoins de développement du réseau voulus par l'intégration des énergies renouvelables. Globalement, la TIC joue donc pour l'heure, au niveau du réseau de distribution, un rôle secondaire pour la sécurité du réseau. Les besoins du réseau proviennent surtout de l'activation de la production décentralisée, des consommateurs et du stockage d'électricité décentralisé.

L'introduction de systèmes de mesure intelligents chez les consommateurs finaux présente également un rapport coûts-utilité positif. De tels systèmes renvoient surtout aux techniques de comptage et de communication auprès des consommateurs finaux ou des prosummateurs. Grâce à leurs nouvelles fonctionnalités, les systèmes de mesure intelligents contribuent à des changements aisés de consommateurs finaux et de locataires tout en simplifiant sensiblement les relevés de compteur d'électricité, notamment concernant de la consommation propre des clients. Dans l'ensemble, il sera beaucoup plus simple pour traiter de la réglementation de la consommation propre. Des réductions de coûts devraient en découler. D'autres fonctionnalités, comme la visualisation de la consommation, soutiennent l'efficacité énergétique et les économies d'énergie. L'interopérabilité et une base technique harmonisée sur le



plan national garantissent la sécurité des investissements et l'innovation tout en soutenant le développement des marchés de services énergétiques. En outre, les systèmes de mesure intelligents permettent d'exploiter les potentiels d'efficacité que recèle la planification de la production et du réseau. Dans le domaine du pilotage, des fonctionnalités sont possibles, mais elles occasionneraient des coûts supplémentaires importants, surtout si elles étaient introduites à grande échelle. Elles ne se justifient et ne seront efficaces qu'au cas par cas, par exemple lors du remplacement d'une télécommande centralisée devenue obsolète.

Le choix et l'utilisation des technologies dépendront des besoins dictés au cas par cas au gestionnaire de réseau, et d'autres facteurs d'influence. Il faut noter que les synergies entre le développement de réseau et un éventuel besoin de rénovation des lignes rendent presque toujours le développement conventionnel du réseau la solution la plus avantageuse. En revanche, les solutions innovantes peuvent être sensiblement plus avantageuses lorsqu'une ligne présente une durée de vie plus longue. De plus, des aspects qualitatifs peuvent actuellement encore plaider en faveur du recours aux technologies conventionnelles, par exemple si les technologies intelligentes ne peuvent être utilisées par manque d'expérience, ou en l'absence de conditions-cadre. En définitive, il faudrait trouver, pour chaque cas concret, la variante (développement de réseau conventionnel ou solution innovante) dont le rapport coûts-utilité est le meilleur.

Domaines d'action réglementaires

Outre les progrès techniques et les travaux de standardisation, le développement des réseaux intelligents est aussi influencé par les conditions-cadre réglementaires. En particulier, la clarification des droits d'accès aux options de flexibilité existantes dans les réseaux de distribution revêt une importance considérable. On peut constater qu'il importe de mieux préciser la délimitation entre le réseau et le marché, notamment quant aux aspects de l'accès aux flexibilités dans le réseau (production, stockage d'électricité décentralisé (p. ex. batteries ou véhicules électriques), charges). La clarification des droits et des devoirs liés aux acteurs impliqués peut améliorer la conception du marché et de nouveaux modèles d'affaires tout en créant de nombreuses utilités pour les consommateurs. La figure M3 illustre d'autres domaines d'action réglementaires. Les thèmes qui s'y trouvent présentés ne sont pas indépendants les uns des autres.

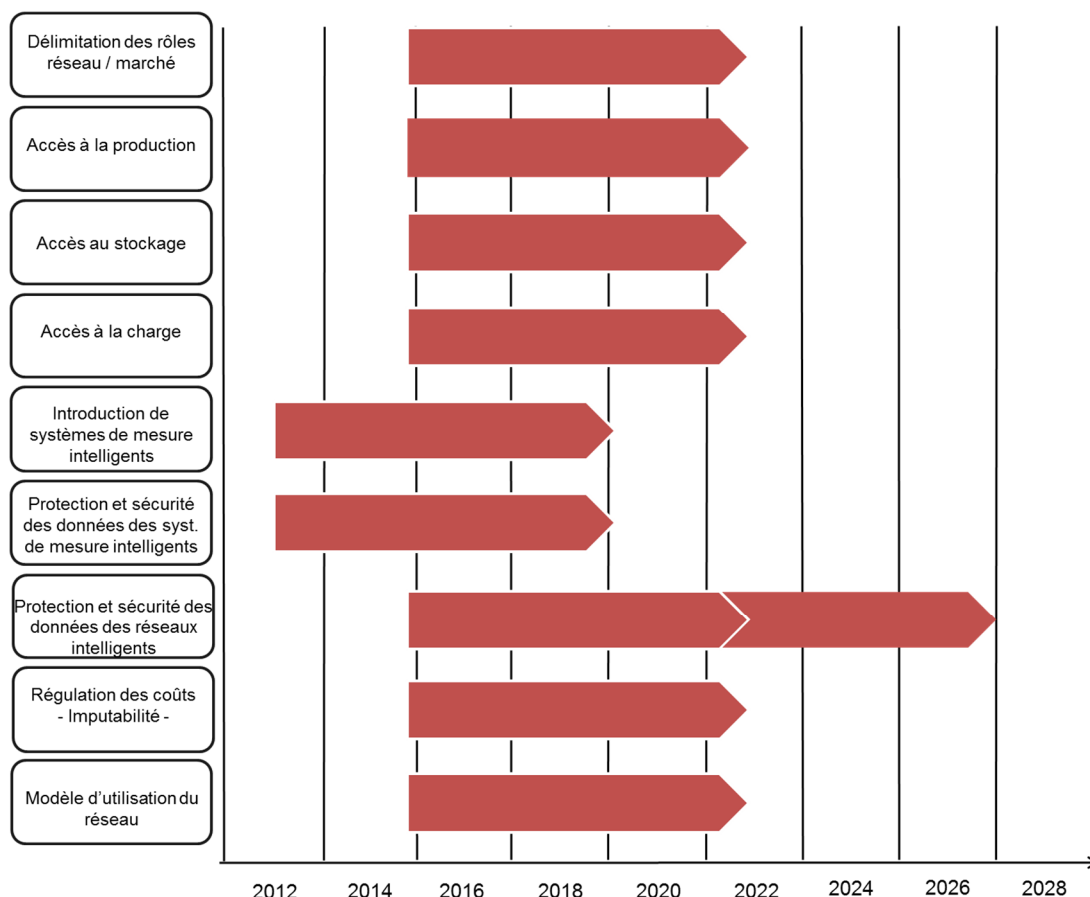


Figure M3 Travaux sur le plan réglementaire destinés à éliminer les entraves aux réseaux intelligents.

Une première étape concrète vers la réalisation des réseaux intelligents a été franchie par plusieurs utilisateurs qui ont introduit des systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final. Toutefois, il faut encore en fixer les conditions-cadre (p. ex. concernant les modalités d'introduction et les exigences techniques minimales). Il paraît pertinent d'harmoniser les exigences relatives à la protection des données dans le domaine des systèmes de mesure intelligents: une telle harmonisation s'inscrit dans la thématique de la standardisation et devrait être traitée sur le plan réglementaire. Il faudra examiner, au vu de cas concrets d'utilisation des fonctionnalités, dans quelle mesure les réseaux intelligents présentent des besoins supplémentaires en termes de sécurité et de protection des données, en plus des besoins relatifs aux systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final. Pour l'essentiel, ces besoins dépendent des modalités de la technologie d'information et de communication requise dans chaque cas concret.

D'autres objectifs (assez fondamentaux), concernant une régulation qui n'entrave pas le développement des réseaux intelligents, résident notamment dans la définition d'incitations adéquates, dans l'utilisation effective de solutions innovantes dans les réseaux, pour ainsi acquérir de l'expérience. Des études montrent que de nombreuses solutions intelligentes présentent d'ores et déjà un rapport coûts-utilité positif. Cependant, d'éventuelles incertitudes quant à l'imputabilité ou à la fiabilité peuvent actuellement freiner l'introduction de telles solutions, car le risque d'investissements échoués existe. C'est pourquoi l'on propose des budgets dits d'innovation, à petite échelle, dans le cadre des travaux réglementaires en cours. A l'avenir, il faudra aussi examiner comment mettre sur pied des incitations adéquates et technologiquement neutres, dans le cadre d'une régulation par les coûts ou d'une régulation incitative, afin de favoriser la pénétration, souhaitable du point de vue économique, des réseaux électriques par des solutions intelligentes.



Table des matières

Sommaire exécutif	3
Table des matières	9
1 Contexte	10
2 Scénarios d'économie énergétique de la Suisse	12
3 Les défis posés aux réseaux comme motivation pour des réseaux intelligents	16
4 Définition et utilité des réseaux intelligents en Suisse	20
5 Objectifs et conditions de la Feuille de route	22
6 Méthodologie d'élaboration de la Feuille de route	27
7 Vision des réseaux intelligents en Suisse	30
8 Fonctionnalités des réseaux intelligents en Suisse	34
9 Fonctionnalités de base des réseaux intelligents	44
10 Technologies dans les réseaux intelligents	47
11 Rapport entre les fonctionnalités et les technologies; besoins de développement	54
12 Sécurité des données, protection des données et standards des réseaux intelligents	60
13 Coûts et utilité de certaines technologies du réseau intelligent	69
14 Domaines d'action réglementaires visant à éliminer les obstacles aux réseaux intelligents	75
15 Aspects environnementaux	85
16 Liste bibliographique	87
17 Liste des abréviations	90
18 Glossaire	91



1 Contexte

Le Conseil fédéral s'est prononcé pour la sortie progressive de l'énergie nucléaire. Il a adopté, le 4 septembre 2013, un premier paquet de mesures visant à mettre en œuvre la Stratégie énergétique 2050¹. Traits d'union entre la production et la consommation d'énergie électrique, les réseaux électriques revêtent en l'occurrence une importance clé dans la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050. L'injection d'énergie électrique toujours plus décentralisée, qui est visée, place les réseaux devant de nouveaux défis. Des adaptations sont nécessaires, puisque l'infrastructure actuelle n'a pas été développée ni construite à l'origine pour ce genre d'approvisionnement électrique. Les études menées prévoient des coûts élevés pour ces adaptations, notamment pour le réseau de distribution. Elles indiquent également que les réseaux intelligents permettraient de réduire ces coûts considérablement.

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a reconnu l'importance des réseaux intelligents pour la Suisse dès un stade précoce. Il a déjà publié en 2010 un document de positionnement sur les réseaux intelligents en Suisse². Ce document fournit, outre une définition des réseaux intelligents, un premier aperçu des technologies pertinentes relatives aux réseaux intelligents. Les points essentiels du document comprennent la réalisation d'une analyse coûts-utilité des systèmes de comptage intelligents (systèmes de mesure intelligents), les activités de recherche dans le domaine des réseaux intelligents et l'élaboration d'une Feuille de route suisse pour un réseau intelligent.

L'évaluation de l'impact du comptage intelligent («Smart Meter Impact Assessment») a été réalisée en 2012. Les effets de cette technologie pour l'économie suisse y sont examinés³. L'étude débouche sur un rapport coûts-utilité positif. Des projets en cours dans le domaine du comptage intelligent et d'autres études menées en Suisse et à l'étranger plaident également en faveur de l'introduction des systèmes de mesure intelligents, qui constituent un élément important du futur réseau intelligent⁴. Le premier volet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 contient les règles légales régissant son introduction.

Les plans directeurs de la recherche énergétique de la Confédération et de l'OFEN soutiennent le développement des réseaux électriques en réseaux intelligents pour la période 2013-2016, en en faisant une priorité⁵. Toute une série de projets sont actuellement en cours dans ce domaine⁶.

En outre, sur mandat du Conseil fédéral, le DETEC élabore la stratégie Réseaux électriques. Elle créera des conditions-cadre claires pour le développement et la transformation en temps utiles et conformes aux besoins des réseaux électriques. La stratégie Réseaux électriques se concentre surtout sur des questions de technique procédurale et sur la création d'instruments de planification transparents. De premières incitations financières à petite échelle sont proposées pour les gestionnaires de réseau, afin d'acquérir de l'expérience quant aux solutions relatives au réseau intelligent.

Dans ce contexte, la Feuille de route pour un réseau intelligent doit être comprise comme un guide thématique qui identifie les mesures nécessaires aux réseaux intelligents en Suisse. Elle doit aussi donner des impulsions à des nouvelles idées de projet de recherche et fournir des indications concer-

¹ Cf. projet de loi et message du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013).

² Cf. «Positionspapier zu Smart Grids» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2010).

³ Cf. «Folgeabschätzung einer Einführung von Smart Metering im Zusammenhang mit Smart Grids in der Schweiz» (Bits to Energy Lab, Ecoplan SA, Weisskopf Partner S.A.R.L., ENCO SA, 2012).

⁴ Cf. «Cost-benefit analyses and state of play of smart metering deployment in the EU-27». (Commission européenne (CE), 2014).

⁵ Cf. entre autres «Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération» (Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), 2012), «Plan directeur de la recherche énergétique 2013-2016 de l'Office fédéral de l'énergie». (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2012).

⁶ Cf. «Rapport du programme de recherche Réseaux». (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013).



nant des thèmes importants. En outre, les travaux de révision de la loi sur l’approvisionnement en électricité (LApEI) reprendront les résultats importants de la Feuille de route. En effet, celle-ci servira de base primordiale pour élaborer les directives légales régissant le futur développement des réseaux électriques intelligents en Suisse.

En bref

- Le Conseil fédéral a reconnu l’importance des réseaux intelligents pour maîtriser les défis que réserve le réseau électrique suisse.
- Le Conseil fédéral soutient d’ores et déjà la recherche sur les technologies et les conceptions de réseau intelligent.
- L’évaluation de l’impact du comptage intelligent («Smart Meter Impact Assessment») réalisée par l’OFEN (2012) débouche sur un rapport coûts-utilité positif des systèmes de mesure intelligents pour l’économie suisse.
- La Feuille de route pour un réseau intelligent constitue le guide des mesures à prendre en vue de développer des réseaux électriques intelligents en Suisse. Elle s’adresse à tous les représentants d’intérêts concernés.



2 Scénarios d'économie énergétique de la Suisse

Les perspectives énergétiques établies par l'OFEN indiquent que la réorientation de la politique énergétique suisse est réalisable, même si elle est exigeante. Cette réorientation ouvre justement la voie aux réseaux intelligents. Les réflexions du Conseil fédéral concernant la Stratégie énergétique 2050 prévoient trois horizons temporels de référence (2020, 2035 et 2050) et de ce fait une mise en œuvre progressive de la Stratégie énergétique. Le premier paquet de mesures de cette stratégie en concrétise la première étape, les scénarios de la demande d'énergie «Poursuite de la politique énergétique actuelle» (PPA), «Mesures politiques du Conseil fédéral» (PCF) et «Nouvelle politique énergétique» (NPE) constituant la base des réflexions qui la sous-tendent. Ces scénarios de la demande sont issus des résultats de la modélisation des perspectives énergétiques de la Suisse à l'horizon 2050⁷. Ils sont utilisés comme une base exogène des futurs développements du système d'approvisionnement énergétique de la Suisse et, ainsi, de la Feuille de route pour un réseau intelligent. La partie desdits scénarios qui concerne l'électricité est en particulier déterminante en ce qui concerne les défis posés aux réseaux électriques et au réseau intelligent de la Suisse. Nous présentons donc ci-après les objectifs fixés dans les domaines de l'efficacité énergétique, de l'efficacité électrique et de l'intégration des énergies renouvelables décentralisées.

Evolution de la demande en Suisse

Le scénario «Mesures politiques du Conseil fédéral» (PCF) décrit les trajectoires de la demande énergétique et de l'offre électrique dans le contexte des mesures décidées par le Conseil fédéral (Office fédéral de l'énergie, OFEN, 2012b). Ces mesures contiennent des améliorations de l'efficacité énergétique, y compris des mesures d'efficacité électrique, une augmentation de la production d'électricité issue de sources renouvelables, le développement autonome d'installations de couplage chaleur-force (installations CCF) et, au besoin, le recours à des centrales à cycles combinés alimentées au gaz (CCC) ou la hausse des importations d'électricité.

Le scénario «Nouvelle politique énergétique» (NPE) est le scénario-cible de la Stratégie énergétique 2050. Il prévoit un objectif d'émission de 1 à 1,5 tonne de CO₂ par habitant en 2050, qui s'inscrit dans une politique énergétique et climatique coordonnée à l'échelle internationale. Ce scénario-cible suppose une baisse de la demande d'agents énergétiques fossiles sur le plan international, un système d'échange de quotas d'émission à l'échelle mondiale et des prix du CO₂ plus élevés que dans le scénario PPA. Globalement, la demande d'électricité dans ce scénario baisse d'environ 1% par rapport à son niveau actuel. Des mesures supplémentaires à celles prévues par le scénario POM restent à définir pour le scénario NPE.

Le premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 comprend une augmentation de l'efficacité énergétique dans les domaines du bâtiment, de l'industrie, des services et de la mobilité. La consommation énergétique globale doit reculer de 16% à 213 TWh dès 2020 par rapport à l'année de référence 2000. Dans ce contexte, la consommation annuelle d'électricité doit se stabiliser à son niveau actuel de 59 TWh.

A partir de 2020, au cours d'une deuxième phase, un système d'incitations devra remplacer progressivement l'actuel système de subvention. Le nouveau système incitatif pourra comporter une taxe sur le CO₂ et une taxe énergétique sur l'électricité. Il sera développé à long terme de manière à ce que la

⁷ Cf. «Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 - Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 - 2050 bis 2050» (Prognos SA, 2012).



consommation énergétique baisse jusqu'en 2050 et que la consommation finale d'électricité corresponde finalement à l'objectif du scénario NPE, soit environ 53 TWh/a. Les effets de ce système pourront aussi influencer les réseaux intelligents en raison des interactions entre les nouvelles énergies renouvelables et la consommation.

Développement de la production électrique en Suisse

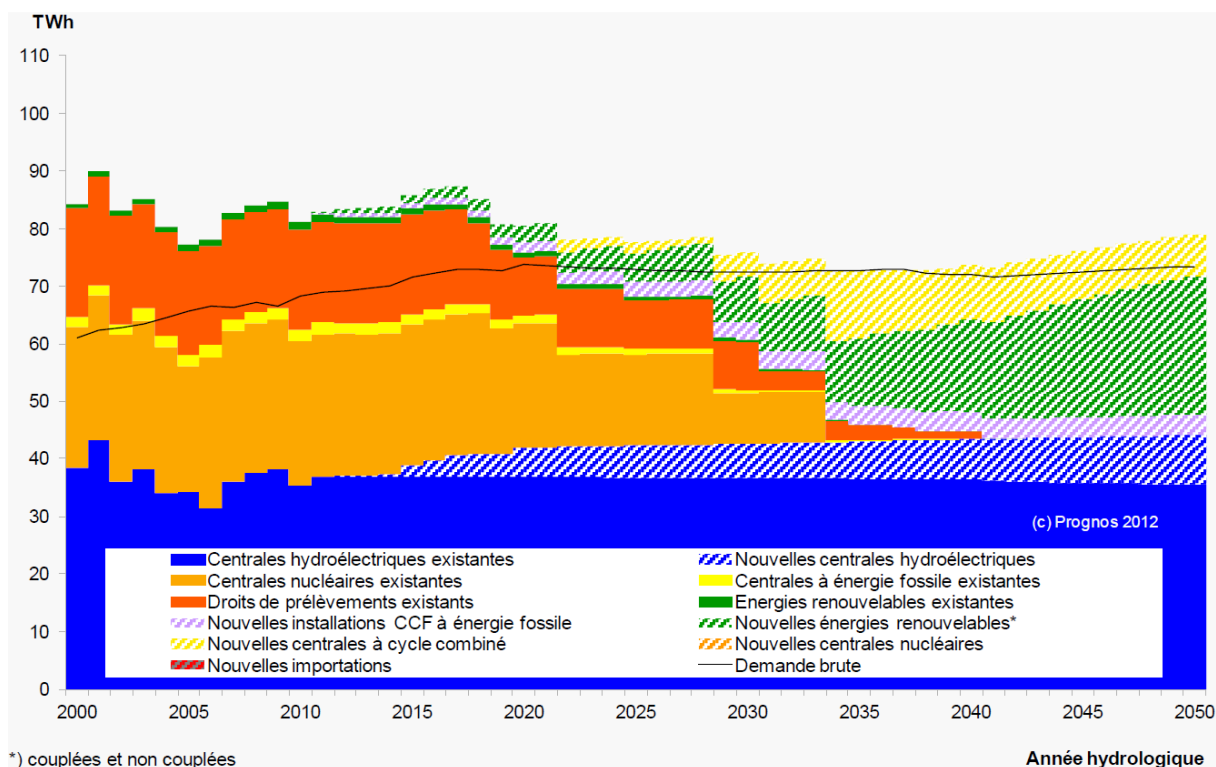
Les scénarios PPA, NPE et PCF comparent les possibilités de production de la Suisse à la demande d'électricité qui leur correspond, afin d'évaluer la sécurité d'approvisionnement. Comme les possibilités de production pourraient, selon le scénario, ne pas suffire à couvrir la demande intérieure dès 2017, diverses variantes sont étudiées pour répondre aux besoins.

C: Les besoins restants sont surtout couverts grâce à de nouvelles centrales à cycles combinés alimentées au gaz (CCC). On appelle aussi cette variante «fossile centralisée»;

C&E: Les besoins restants sont autant que possible couverts par l'augmentation renforcée des technologies de production renouvelable, les besoins résiduels étant satisfaits par de nouvelles centrales à cycles combinés alimentées au gaz (CCC). Cette variante est qualifiée de «fossile centralisée et renouvelable».

E: Les besoins restants sont couverts par des technologies de production renouvelable dans le cadre de leur développement possible, les besoins résiduels étant satisfaits par les importations. Cette variante est qualifiée de «renouvelable».

Dans les variantes C&E et E (pour les scénarios PCF et NPE), outre un développement autonome des installations CCF décentralisées, dont la production prévue est de 1,44 TWh/a, on table sur une augmentation accrue de la production électrique renouvelable (y compris la force hydraulique) d'environ 37 TWh actuellement à 63 TWh en 2050. Le développement des énergies renouvelables sera donc fortement promu jusqu'en 2050. Les besoins de couverture de la demande électrique restés non couverts jusque-là le seront par des centrales à cycles combinés alimentées au gaz (CCC) (variante C&E) ou par des importations (variante E). Le scénario PCF prévoit à cet égard que les CCC assureront une production totale de 2,6 TWh en 2050, et que les objectifs de politique climatique de la Suisse seront atteints.



*) couplées et non couplées

Figure 1 Scénario «Mesures politiques», variante C&E, Perspectives de l’approvisionnement électrique, année hydrologique, en TWh/a.

La figure 1 présente l’évolution de la production électrique par rapport à la demande, jusqu’en 2050, dans le scénario PCF et selon la variante C&E. L’offre actuelle d’électricité peut couvrir la demande d’électricité jusqu’en 2022. La part de l’électricité produite par les centrales nucléaires (orange) diminue progressivement après 2020. Elle est remplacée jusqu’en 2050 en particulier par les nouvelles énergies renouvelables. A cet effet, le premier paquet de mesures fixe des objectifs de développement quantitatifs pour les énergies renouvelables. La production annuelle moyenne des nouvelles énergies renouvelables doit atteindre 4,4 TWh en 2020. A cette fin, la promotion des énergies renouvelables s’intensifiera et la rétribution à prix coûtant de l’électricité (RPC) évoluera vers une commercialisation directe. La production croîtra fortement, surtout aux alentours de 2030. En 2050, les nouvelles énergies renouvelables devront fournir quelque 24,2 TWh/a d’électricité.

La figure 2 illustre le développement prévu des nouvelles énergies renouvelables. Le photovoltaïque, en particulier, doit considérablement gagner en importance (jaune): alors que le photovoltaïque produisait encore quelque 0,5 TWh/a en 2020, il augmente progressivement pour atteindre une production de 4,4 TWh/a en 2035, respectivement d’environ 11 TWh/a en 2050. En postulant un nombre avoisinant 1000 heures de pleine charge par année, cette production correspondrait à l’injection décentralisée et fluctuante d’électricité issue de l’énergie solaire équivalent à une puissance installée de quelque 11 GW dans le réseau électrique. La production électrique issue de la biomasse (vert et brun) de même que celle provenant de l’énergie éolienne (bleu clair) croîtront également. On table sur une production d’électricité éolienne d’environ 4,3 TWh/a d’ici à 2050. Enfin, la production devrait aussi progresser dans le domaine de la géothermie (bleu foncé). A partir de 2030, la contribution de la géothermie à la production électrique augmentera: son objectif est d’environ 4,4 TWh/a en 2050.

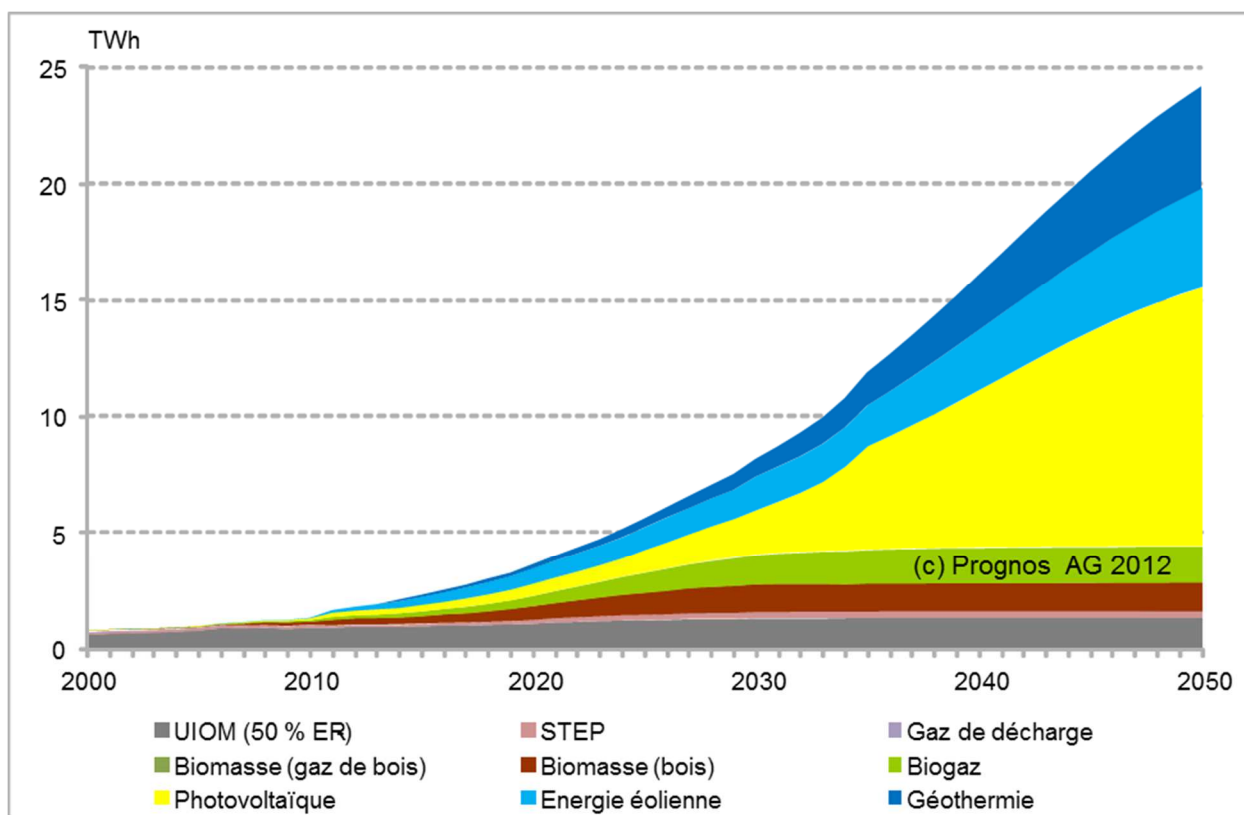


Figure 2 Production électrique issue des nouvelles énergies renouvelables (sans la force hydraulique).

En bref

- La mise en œuvre de la Stratégie énergétique est exigeante, mais réalisable.
- L'un des objectifs consiste à stabiliser la consommation annuelle d'électricité à son niveau actuel (53 TWh) en améliorant l'efficacité énergétique.
- A l'avenir, la production issue des énergies renouvelables se substituera toujours plus à la production des centrales nucléaires.
- La production issue d'énergies renouvelables décentralisées couvrira une part importante de l'approvisionnement en électricité d'ici à 2050. La part du photovoltaïque, en particulier, augmentera fortement dans l'approvisionnement en électricité.



3 Les défis posés aux réseaux comme motivation pour des réseaux intelligents

Initialement, le système d’approvisionnement en électricité et les réseaux étaient conçus pour la production électrique dans de grandes centrales, qui injectent l’électricité produite dans les lignes à haute ou à très haute tension. L’énergie produite est transportée sur de longues distances par les réseaux électriques, fortement maillés en Suisse. Des niveaux de réseau présentant des niveaux de tension moins élevés (réseaux de distribution), situés en aval du niveau de très haute tension, acheminent et distribuent l’électricité aux consommateurs⁸.

Une production à l’avenir plus décentralisée, issue de sources d’énergie stochastiques, de moindres dimensions et raccordées aux niveaux de réseau inférieurs (réseaux de distribution), induit une multitude de nouveaux défis. Le développement historique du réseau électrique et le système d’approvisionnement électrique, ne sont pas prévus pour une telle multiplication de l’injection. En fonction de la production issue de sources d’énergie décentralisées, il sera nécessaire d’accroître les capacités des infrastructures, éventuellement à plusieurs niveaux de réseau, selon les circonstances. En outre, nombre d’injections décentralisées ne sont normalement pas pilotables ou l’incitation à prévoir un tel pilotage n’existe pas encore à ce jour. Ces injections stochastiques sont dépendantes du soleil et du vent, et de l’énergie électrique est également produite lorsque cela n’est pas nécessaire. Ainsi, le développement de la demande correspondant aux scénarios présentés (PPA, PCF ou NPE), couplé au développement de la production électrique (C, C&E ou E), est à l’origine des défis décrits plus précisément ci-après. Ces défis sont attribués aux domaines d’action «Réseau électrique», «Bilan du système», «TIC» et «Incitations», de manière à permettre ultérieurement une meilleure délimitation des solutions techniques qui leur seront apportées.

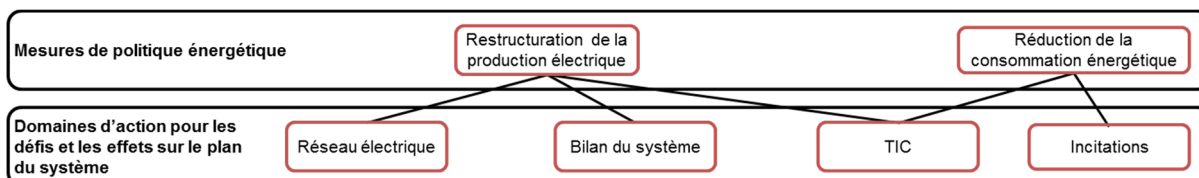


Figure 3 Rapport entre les mesures de politique énergétique, les défis à relever et les domaines d’action au niveau du système.

Défi 1 Capacité du réseau et perturbations de réseau: domaine d’action Réseau électrique

La capacité des réseaux électriques peut être insuffisante pour absorber la production provenant des sources d’énergie décentralisées. Le nombre et le type de sources d’énergie ainsi que la puissance de l’injection détermineront si la capacité doit être augmentée. Un développement du réseau sera souvent nécessaire. Un tel développement est induit par des mesures de maintien de la tension ou par les limites de charge des infrastructures, par exemple des lignes. En règle générale, une élévation de la tension survient. Selon la situation de consommation, la tension peut augmenter excessivement au point que la

⁸ Selon l’AES (Association des entreprises électriques suisses; www.strom.ch), les divers niveaux de réseau se définissent comme suit. Le niveau à très haute tension comprend les réseaux électriques exploités à une tension égale ou supérieure à 220 kV. L’exploitation de lignes à 380 kV de tension maximale est actuellement le standard. On désigne aussi ce niveau par «niveau de réseau 1». Le niveau à haute tension (niveau de réseau 3) comprend les réseaux exploités à une tension supérieure à 36 kV et inférieure à 150 kV. Le niveau à moyenne tension (niveau de réseau 5) désigne les réseaux dont la tension d’exploitation est comprise entre 36 kV et 1 kV. Enfin, le niveau à basse tension (niveau de réseau 7) correspond aux réseaux dont la tension d’exploitation est inférieure à 1 kV (niveau de réseau 7). La tension standard y est de 230 V ou de 400 V. Les niveaux de réseau 2, 4 et 6 désignent les niveaux de transformation (sous-centrales, sous-stations, stations de transformateurs (stations de réseau local)).



plage de fluctuation de la tension permise dans le réseau de distribution⁹ ne peut plus être respectée. Mais l'injection peut aussi produire une situation où le maximum de courant injecté ne peut pas être transporté par l'infrastructure disponible. Les limites thermiques de l'infrastructure seraient dépassées et celle-ci pourrait être endommagée. Dans les deux cas, la capacité du réseau doit être accrue et il faut développer le réseau. Ce besoin de développement concerne typiquement les niveaux de réseau 5 et 7, mais on l'observe aussi au niveau de réseau 3. Les niveaux de transformation des niveaux de réseau 4 et 6 sont aussi concernés.

De plus, des perturbations se produisent sur le réseau, et affectent sa qualité (fluctuations de tension de durées différentes, p.ex. des effets de papillonnement, des surtensions ou des harmoniques). Plus les injections décentralisées gérées par une électronique de puissance sont nombreuses, plus les effets de différents types sont importants et plus la qualité de la tension et du courant est dégradée.

Défi 2 Défauts du réseau et concepts de protection: domaine d'action Réseau électrique

La technique de protection doit minimiser les effets d'un défaut du réseau tout en ne déconnectant qu'un tronçon aussi petit que possible lors de l'identification et du traitement des défauts (sélectivité de la protection), car les défauts doivent être séparés de toutes les sources d'alimentation en énergie. Outre le réseau électrique en amont, les sources d'alimentation en énergie sont aussi de plus en plus des installations de production décentralisées, ce qui pose de nouveaux défis lors de la conception et de la mise en œuvre des concepts de protection. Le déclenchement sélectif, par les dispositifs de protection, des tronçons de réseau comportant un défaut, est compliquée par le fait que la production décentralisée peut orienter le flux d'énergie et le courant de court-circuit non pas (comme autrefois) des transformateurs vers les points de soutirage, mais aussi de ces derniers vers le réseau situé en amont. De ce fait, il peut arriver que les appareils de protection se déclenchent de manière non sélective. C'est pourquoi des dispositifs de protection doivent être installés ou adaptés correctement non seulement dans le réseau, mais aussi dans les installations de production décentralisées d'une certaine taille. En outre, les installations de production décentralisées dotées d'une puissance élevée doivent être capables de participer au soutien dit dynamique du réseau. En cas de chute de tension due à un défaut en amont dans le réseau à haute et très haute tension, elles doivent soutenir le réseau et contribuer à empêcher un effondrement à grande échelle de celui-ci. Ces solutions, techniquement complexes, doivent être adaptées en fonction du nombre et de la répartition des installations de production décentralisées.

Défi 3 Equilibre de la production et de la consommation: domaine d'action Bilan du système

La stabilité du système d'approvisionnement en électricité requiert – ce point est essentiel – que la production et la consommation s'équilibrent en tout temps. Un tel équilibre est difficile à conserver en raison de la dépendance croissante de l'injection stochastique et fluctuante. Comme la consommation est globalement assez statique jusqu'ici, les fluctuations croissantes de l'injection ont des effets énormes qui entravent le maintien de l'équilibre nécessaire de tout le système et la garantie d'une fréquence stable du réseau. La demande de flexibilité à l'échelle du réseau augmente, alors que l'offre peut être tenue pour constante, puisqu'elle est généralement assurée par des centrales conventionnelles. Il est dès lors plus difficile et plus risqué de garantir l'équilibre et la stabilité du système. Par ailleurs, en cas de déséquilibre à très court terme entre la production et la consommation, de nombreuses sources d'énergie stochastiques ne réagissent pas de manière comparable aux centrales électriques conventionnelles en raison du paramétrage des composants de leur électronique de puissance.

⁹ La norme DIN EN 50160 est une norme européenne qui définit et spécifie les caractéristiques essentielles de la tension du réseau au point de raccordement avec celui-ci dans des conditions d'exploitation normales; cf. EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems (CENELEC, 1994).



Sur le long terme, ces effets peuvent réduire la stabilité de l'ensemble du système (stabilité du réseau), ce qui diminue en définitive la qualité de l'approvisionnement.

Défi 4 Relevé, traitement et gestion des données: domaine d'action TIC

Il est nécessaire d'améliorer la connaissance du système si l'on veut introduire de nouvelles solutions pour améliorer la planification et l'utilisation des capacités du réseau, améliorer sa protection, optimiser l'équilibre du système dans le sens d'une efficacité accrue et soutenir l'efficacité énergétique. Il s'agit pour commencer de relever, de traiter, de sauvegarder et de gérer un supplément considérable de données. La complexité et les coûts du système s'en trouvent accrus. La mise en réseau des communications devient toujours plus importante. Il faut des nouvelles solutions, en particulier dans la gestion des données, pour en tirer une utilité efficace. Il convient aussi, notamment, d'assurer la protection des données et la sécurité de ces systèmes de traitement des données mesurées.

Défi 5 Efficacité énergétique: domaine d'action Incitations

Bien que la production et la consommation coïncident souvent, on verra plus souvent, en raison de la diminution globale de la consommation électrique, la production décentralisée d'électricité excéder la consommation électrique locale. Il en résultera une inversion plus fréquente du flux d'énergie dans le réseau, ce qui entraînera conséquemment des répercussions sur la capacité de celui-ci. Ainsi, la réduction de la consommation, associée au développement simultané de la production décentralisée, accentuera les défis décrits ci-dessus, dans une mesure que la planification des réseaux n'a pas intégrée au préalable.

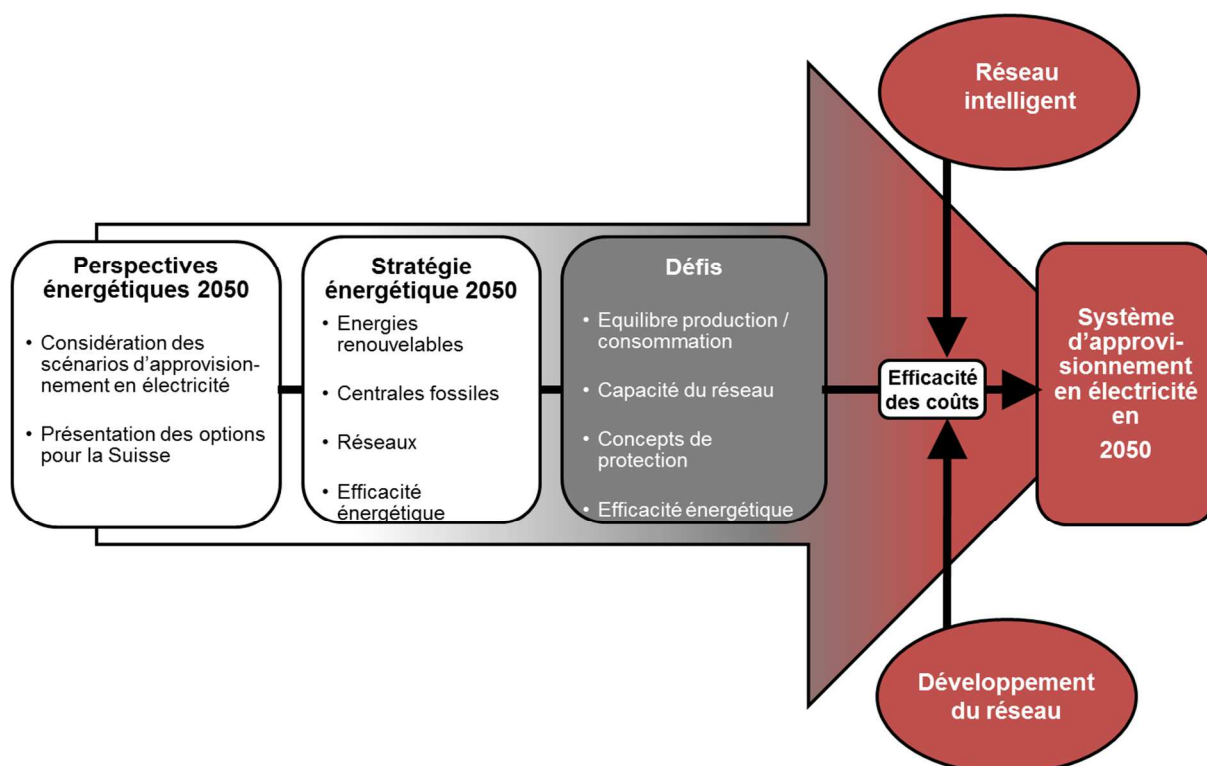


Figure 4 Rôle futur des réseaux intelligents: les défis posés au réseau par la transformation du système d'approvisionnement en électricité seront traités par la transformation des réseaux en réseaux intelligents, grâce à la Feuille de route, et par leur développement.



La figure 4 illustre les forces interactives dans la formation des réseaux intelligents. Développer le réseau est une manière conventionnelle de maîtriser nombre des défis cités. Des études portant sur le réseau suisse montrent que les coûts de développement des réseaux de distribution pourraient atteindre 12,6 milliards de francs d'ici à 2050 selon le scénario de demande d'électricité et les modalités de production électrique¹⁰. Ces coûts sont surtout dus à l'intégration de sources d'énergie décentralisées. L'utilisation de technologies innovantes¹¹ dans les réseaux peut réduire substantiellement ces coûts à environ 4,5 milliards de francs d'ici à 2050. D'autres économies ou avantages semblent possibles¹². D'autres études réalisées en Suisse et à l'étranger confirment les économies potentielles anticipées¹³. C'est pourquoi la transformation des infrastructures électriques en réseaux intelligents est judicieuse et importante, même si le développement conventionnel du réseau reste justifié.

En bref

- L'augmentation de la production électrique (fluctuante) stochastique du fait de l'injection décentralisée d'énergies renouvelables induit des défis dans le réseau électrique suisse, en particulier dans ses réseaux de distribution d'électricité.
- L'injection décentralisée entrave le maintien de valeurs techniques limites dans le réseau électrique. Elle menace le maintien de la tension, accroît la charge et les besoins de capacité du réseau. Cette situation, qui est susceptible de dégrader la qualité de la tension ou du courant au niveau des clients finaux, entraîne nécessairement un développement supplémentaire du réseau.
- La modification de la topologie du réseau et l'injection décentralisée peuvent nécessiter l'adaptation des équipements de mesure et des concepts de protection.
- La consommation, qui n'est traditionnellement guère gérée dynamiquement, et la production - stochastique - issue des énergies renouvelables, compliquent l'équilibrage du système. Celui-ci requiert une flexibilité accrue du système au niveau de la production, de la consommation et du réseau lui-même.
- La réduction de la consommation électrique, induite par les mesures d'efficacité énergétique, accentue les défis posés par le maintien de la tension et par le changement de direction du flux énergétique causé par la décentralisation de la production dans le réseau.
- Rôle des réseaux intelligents dans le futur: les défis posés au réseau par la transformation du système d'approvisionnement en électricité sont traités par la transformation des réseaux en réseaux intelligents et par leur développement.

¹⁰ Cf. «Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der dezentralen Erzeugung auf die Schweizer Stromnetze» (Consentec GmbH, 2012).

¹¹ <http://www.strom.ch/fr/lassociation/themes/technique.html> (Consentec GmbH, 2012).

¹² Surtout grâce à d'autres solutions techniques telles que la gestion de la consommation par l'intégration de la demande (réponse à la demande, gestion de la demande) ou par les enclenchements automatisés et les changements topologiques des réseaux de distribution. Les solutions domotiques, qui tiennent compte des incitations utiles au réseau, font aussi partie des solutions envisagées en l'occurrence. Cf. chap. 9 et (Consentec GmbH, 2012).

¹³ Cf. «Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur» (Association des entreprises électriques suisses (AES), 2012) <http://www.strom.ch/fr/lassociation/themes/technique.html> et «Ausbau - und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030». (DENA, 2012).



4 Définition et utilité des réseaux intelligents en Suisse

Pour approfondir la notion de «réseau intelligent», prenons pour référence de base la définition que l'OFEN en donne dans son document de travail¹⁴:

Définition du «réseau intelligent» en Suisse:

Un réseau intelligent («smart grid») est un système électrique qui garantit intelligemment, grâce aux *technologies de mesure*, associées dans la plupart des cas aux *technologies d'information et de communication*, les échanges d'énergie électrique entre diverses sources et des consommateurs ayant les profils de besoins différents. Un tel système doit tenir compte des besoins de tous les acteurs du marché et de la société. L'utilisation et l'exploitation du système sont optimisées et conçues pour gagner en efficacité, les coûts et l'impact sur l'environnement sont réduits et un niveau suffisamment élevé de qualité et de sécurité d'approvisionnement est assuré.

Le réseau intelligent se développe à partir du réseau électrique, dont l'équipement est complété par des techniques de mesure, d'automatisation, de pilotage, de communication numérique, et par d'autres technologies innovantes. Ces équipements permettent aussi de nouvelles fonctionnalités qui confèrent au réseau son intelligence. Ces fonctionnalités permettent d'utiliser efficacement toutes les ressources à disposition dans les réseaux électriques pour mieux intégrer la production issue de sources d'énergie décentralisées et pour améliorer l'efficacité électrique. Cependant, le développement des réseaux intelligents est évolutif: des solutions décentralisées simples, démunies de technique de communication particulière, constitueront le point de départ à un maillage ultérieur grâce à la mise en réseau croissante des solutions de communication.

Utilité des réseaux intelligents

A partir d'une certaine pénétration de la production décentralisée, les réseaux intelligents sont nécessaires, parallèlement au développement conventionnel du réseau, pour garantir l'exploitation efficace et techniquement sûre du réseau. Ils contribuent à une *sécurité d'approvisionnement électrique stable*¹⁵ et génèrent des utilités supplémentaires:

Utilité: substitution au développement conventionnel du réseau (utilité écologique et économique)

Contribution face aux défis [1, 2, 3]: domaine d'action Réseau électrique

Les capacités physiques des réseaux électriques sont mieux utilisées en flexibilisant les ressources d'exploitation, la production stochastique et la consommation, non pilotable jusqu'à ce stade. Il est ainsi possible de réduire les pointes de production et de consommation qui affectent le dimensionnement et de respecter les normes techniques dans le domaine du réseau. Le développement du réseau et l'utilisation territoriale s'en trouvent réduits.

¹⁴ Cf. «Positionspapier Smart Grids» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2010)

¹⁵ Pour la définition de la sécurité d'approvisionnement électrique, cf. le rapport «Grundlagen Energieversorgungssicherheit». (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2012) et le glossaire. Comme cette définition vise un approvisionnement ininterrompu, la qualité, respectivement la fiabilité de l'approvisionnement est aussi concernée.



Utilité: équilibrage de l'injection stochastique (utilité économique)

Contribution face aux défis [3]: domaine d'action Bilan du système

Dans les réseaux intelligents, la production fluctuante croissante issue de sources d'énergie stochastiques peut être mieux équilibrée, le cas échéant à un coût plus avantageux grâce à des possibilités de pilotages flexibles, aux solutions de stockage (p. ex. batteries ou véhicules électriques) et à d'autres mesures sur le réseau. La stabilité du réseau et, finalement, un approvisionnement de haute qualité, sont ainsi garantis.

Utilité: réduction des coûts du réseau grâce à des gains d'efficacité (utilité économique)

Contribution face aux défis [1, 2, 3]: domaine d'action Réseau électrique

Les processus dans les domaines de la planification, de l'exploitation et dans l'ensemble du système d'approvisionnement peuvent être conçus plus efficacement grâce aux informations supplémentaires disponibles. On ne se limitera plus à miser sur le développement du réseau, car des nouveaux types d'interventions et des nouveaux processus seront aussi pris en compte dans les concepts de planification et d'exploitation. Au final, on économisera sur les coûts.

Utilité: incitations à des décisions de consommation efficaces en termes de coûts (utilité écologique et économique)

Contribution face aux défis [4, 5]: domaine d'action Incitations

Les signaux de prix du marché de gros seront transmis plus simplement aux consommateurs d'électricité. Ces informations plus transparentes constituent des incitations à prendre des décisions de consommation plus efficaces. A cet égard, les systèmes de mesure intelligents, qui font partie des réseaux intelligents, apportent une contribution importante. A long terme, la consommation sera réduite et l'efficacité électrique augmentera.

Utilité: renforcement des réseaux intelligents / encouragement de la concurrence (utilité économique)

Contribution face aux défis [4, 5]: domaine d'action Incitations

Les coûts de transaction d'un changement de fournisseur d'électricité sont réduits, ce qui stimule la concurrence sur le marché de l'électricité. De nouveaux marchés, comprenant de nouveaux acteurs, deviennent possibles. Des relations plus individuelles à la clientèle permettent de fournir de nouveaux services, liés ou non à l'énergie. Les effets de regroupement permettent des économies d'échelle sur les coûts fixes de participation aux divers marchés. Sous cet angle également, les systèmes de mesure intelligents et les informations qu'ils relèvent y contribuent de multiples façons.

En bref

- Définition sommaire: les réseaux intelligents («smart grids») sont des réseaux électriques qui garantissent efficacement et intelligemment les échanges d'énergie électrique en recourant aux infrastructures de mesure, d'information et de communication.
- L'utilité des réseaux intelligents apparaît notamment dans le maintien plus efficace de l'équilibre entre la production et la consommation, dans la réduction des congestions du réseau, dans la diminution du développement conventionnel du réseau et dans des gains d'efficacité au niveau de la planification du réseau. Des incitations en faveur des décisions de consommation efficaces quant aux coûts sont mises en place, et la concurrence est encouragée.



5 Objectifs et conditions de la Feuille de route

Les définitions des réseaux intelligents sont généralement peu spécifiques et comportent une large marge d'interprétation. Les réseaux intelligents concernent une multitude d'acteurs de diverses branches, qui participent à leur développement tout en ayant une compréhension disparate de ce qu'est un réseau intelligent. C'est pourquoi l'élaboration d'une feuille de route vise pour commencer à établir une compréhension de base uniforme des termes et des représentations liés aux réseaux intelligents, et à s'entendre fondamentalement sur les possibilités technologiques, les interdépendances et l'utilité de tels réseaux. Cette base, élaborée en coopération avec les groupes d'intérêts importants, est utile à la diffusion des connaissances et au soutien des acteurs concernés par la mise en œuvre de décisions d'investissement efficaces et de solutions innovantes.

Objectif de la Feuille de route suisse pour un réseau intelligent:

La Feuille de route pour un réseau intelligent réunit des connaissances techniques et fournit une compréhension de base commune de la notion de réseau intelligent pour les acteurs concernés en Suisse. Elle constitue donc pour eux une orientation lors de l'introduction de nouvelles solutions techniques. Une procédure coordonnée est ainsi lancée parmi ces acteurs, et un transfert efficace de connaissances, générateur de synergies, devient possible. L'uniformité terminologique facilite les interactions entre les acteurs.

La Feuille de route définit des fonctionnalités de base générales qui, lors du développement de réseaux intelligents, créent une utilité maximale pour l'économie. Elle aide à s'orienter dans la réalisation technique de ces fonctionnalités tout en esquissant les défis qui restent à relever dans les domaines de la technologie, des données et de la régulation, non sans prévoir un agenda. Les acteurs peuvent ainsi utiliser les marges de manœuvre entrepreneuriales, afin de réaliser des solutions aussi efficaces que possible. La Feuille de route donne des impulsions à la recherche appliquée, par exemple dans le cadre de projets pilotes et de démonstration.

Les feuilles de route sont un instrument de gestion de la technologie et de l'innovation. Des feuilles de route visant des réseaux intelligents ont été établies avec des objectifs semblables dans d'autres pays (p. ex. en Irlande, en Autriche et en Corée) ou se trouvent encore en cours d'élaboration¹⁶. La figure 5 illustre l'effet de la Feuille de route pour un réseau intelligent.

¹⁶ Cf. «Smart Grids Roadmap Austria» (Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie (FEEL), 2011) ou «Smart Grid Roadmap». (Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI), 2012).

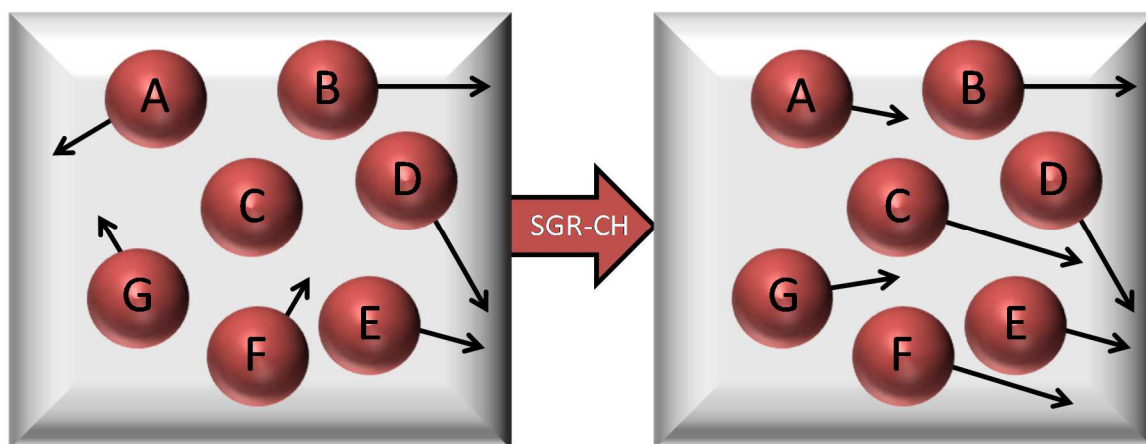


Figure 5 De la compréhension hétérogène à la vision uniforme des réseaux intelligents en Suisse.

Conditions de la Feuille de route suisse pour un réseau intelligent:

Public cible

La Feuille de route pour un réseau intelligent s'adresse surtout aux entreprises d'approvisionnement en énergie, aux gestionnaires de réseau électrique, aux entreprises et fabricants des branches de l'électricité, de l'information et de la communication, aux associations environnementales, aux associations de consommateurs, au régulateur, à la Confédération et aux cantons de même qu'aux partis politiques.

Délimitation du système

La limite du système de la Feuille de route pour un réseau intelligent englobe le *domaine de la production, du transport, de la distribution et de la consommation d'électricité*. D'autres agents énergétiques y jouent un rôle secondaire. Si cela est pertinent, les *interfaces* sont présentées. L'état visé du système d'approvisionnement électrique est fixé par la Stratégie énergétique 2050. Les activités spécifiquement suisses liées au développement des réseaux électriques sont coordonnées avec les procédures internationales, notamment européennes. Les limites géopolitiques constituent le cadre de planification restreint.

Délimitation thématique

Les obstacles et domaines d'action des divers thèmes pertinents sont présentés, ordonnés dans le temps et, si possible, liés aux acteurs. *Les rôles, responsabilités et interfaces* d'un réseau intelligent sont esquissés. La Feuille de route n'offre pas le cadre d'une analyse de rentabilité approfondie ni celui de directives techniques ou autres.

Rapport aux marchés intelligents et à la maison intelligente

Des services liés à l'énergie font souvent l'objet de discussions en rapport avec les réseaux intelligents. Les quantités d'énergie et les produits dérivés de l'énergie peuvent être négociés entre divers acteurs et des nouvelles prestations peuvent être proposées sur la base des fonctionnalités qu'un réseau intelligent met à disposition. Ce domaine est très largement appelé «marchés intelligents» («smart markets»). Dans ce contexte, les consommateurs au niveau des ménages sont souvent concernés. Il faut à cet effet que la maison dispose des techniques de mesure et de pilotage: c'est la «maison intelligente» («smart home»). Les systèmes de mesure intelligents y contribuent aussi pour une part. La Feuille de route pour un réseau intelligent n'approfondit ni les marchés intelligents ni les maisons intelligentes, mais elle présente les liens transversaux qui les concernent.



Digression sur les marchés intelligents:

De nouveaux acteurs seront actifs dans les marchés intelligents, en plus des acteurs déjà établis tels que les producteurs, les fournisseurs et les consommateurs. Parmi ces nouveaux acteurs, on trouvera par exemple des acteurs qui associent la production et la consommation ou des «agrégateurs» qui réunissent de nombreuses entités pilotables de petites taille (entités de consommation et/ou de production) pour former une grande entité. Toutefois, les réseaux intelligents et les capacités disponibles imposent aux marchés intelligents des conditions physiquement déterminées. Il s'agit donc d'harmoniser les réseaux intelligents avec les marchés intelligents. La figure 6 illustre le couplage inhérent aux réseaux intelligents et aux marchés intelligents: ensemble, ils forment le système d'approvisionnement électrique de l'avenir, appelé système énergétique intelligent («smart energy system»). A l'avenir également, on pourra tabler sur une convergence croissante des agents énergétiques tels que l'électricité, la chaleur, le gaz et le froid dans l'approvisionnement énergétique. Les systèmes énergétiques intelligents et les organisations envisageables des marchés intelligents ne font pas l'objet d'une discussion finale au stade de la Feuille de route.

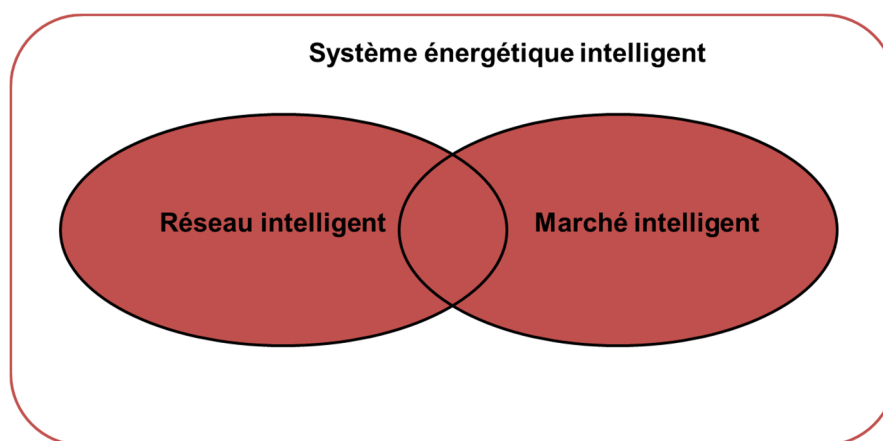


Figure 6 Les réseaux intelligents et les marchés intelligents ne sauraient être complètement dissociés, car ils font partie d'un système énergétique intelligent de rang supérieur.

Contenu de la Feuille de route suisse pour un réseau intelligent:

La Feuille de route répond, sur un plan abstrait et général, à la question de savoir comment un réseau intelligent peut être conçu en Suisse. Elle identifie les fonctionnalités d'un futur réseau intelligent qui réalise la vision des réseaux électriques. La Feuille de route présente, en les ordonnant dans le temps, les possibilités technologiques d'organisation à cet effet, les développements technologiques et réglementaires nécessaires et, le cas échéant, les besoins supplémentaires de standardisation. Dans ce contexte, les fonctionnalités de base sont identifiées et classées comme prioritaires, afin de donner des incitations dynamiques à l'innovation et aux développements. Enfin, la Feuille de route décrit un agenda, défini sur une base consensuelle, qui fait état des obstacles, des mesures nécessaires et des options d'action.

Un premier ajustement des intérêts sur le plan national favorise la mise en œuvre ciblée, dans les réseaux électriques, de solutions intelligentes et efficaces du point de vue économique. Dans la perspective des expériences internationales, un ajustement à ce niveau lors de l'élaboration de la Feuille de route garantit l'actualité, la compatibilité et une procédure efficace.



La figure 7 présente le contenu de la Feuille de route pour un réseau intelligent. Diverses possibilités de développement sont indiquées par des flèches et les phases temporelles (trois au total), dans lesquelles les commentaires s'y rapportant sont toujours plus incertains, sont suggérées. L'entonnoir représente la probabilité décroissante des affirmations relatives aux possibilités de développement identifiées. La Feuille de route n'a pas l'ambition de présenter toutes les options. Elle n'indique pas une voie de développement résolue et ne prescrit rien: elle réunit les solutions possibles, actuellement disponibles ou envisageables à l'avenir, susceptibles d'accroître l'intelligence des réseaux électriques.

L'introduction des réseaux intelligents relève de l'économie de réseau, respectivement des fabricants et des acteurs du marché. L'Etat n'exerce une activité régulatrice que dans les cas où des obstacles entravent une solution économiquement efficace. Il apparaît judicieux de contrôler et de corriger éventuellement la Feuille de route à intervalles réguliers¹⁷. Toutefois, la réunion de nombreux acteurs concernés au niveau national permet d'assurer la couverture compétente des domaines thématiques importants en garantissant un regroupement des connaissances. La Feuille de route pour un réseau intelligent revêt donc une importance stratégique pour les décideurs de l'industrie, de la recherche et de la politique.

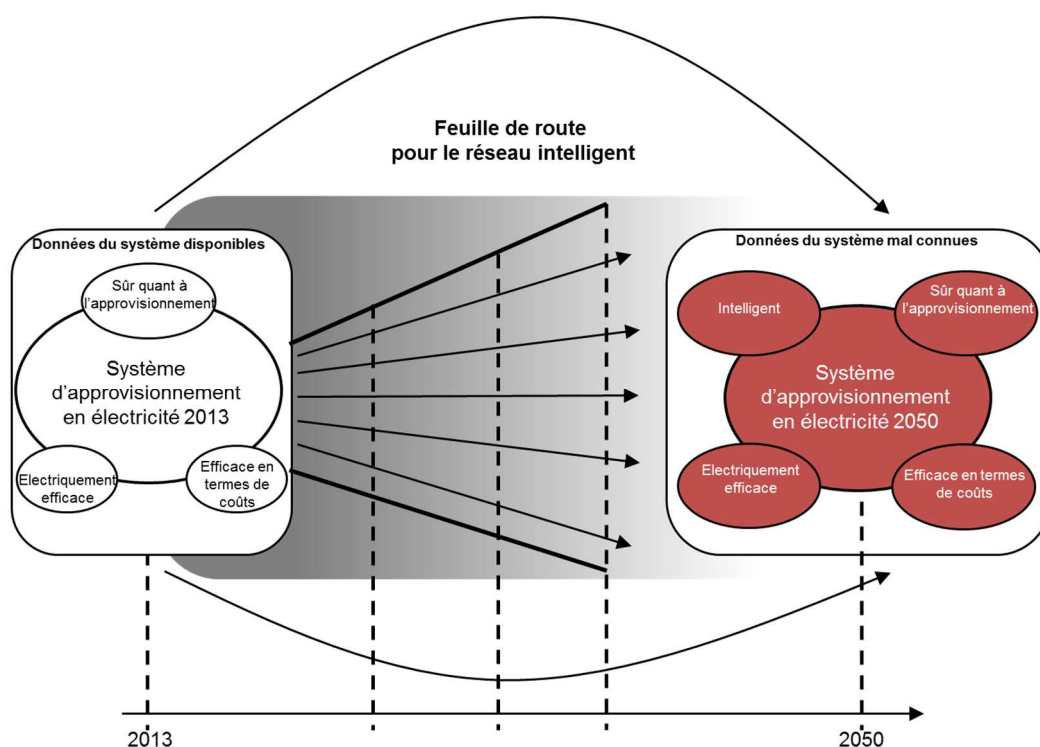


Figure 7 Contenu de la Feuille de route pour un réseau intelligent et des effets qu'elle déploie.

¹⁷ L'ajustement a posteriori et la correction d'une feuille de route font normalement partie d'un tel processus, qui permet d'intégrer les écarts de développement, respectivement les obstacles non encore anticipés qui entravent les solutions élaborées.



En bref

La Feuille de route pour un réseau intelligent

- fournit une compréhension fondamentale uniforme des réseaux intelligents en Suisse;
- constitue un instrument d'orientation pour les acteurs concernés par la réalisation de solutions intelligentes et innovantes;
- concrétise de nouvelles fonctionnalités des réseaux intelligents; elle analyse des domaines d'action dans les secteurs de la technologie, de la régulation, de la protection et de la sécurité des données afin de contribuer à un développement efficace sur le plan économique;
- amorce une procédure coordonnée et permet un transfert de connaissances efficace qui génère des synergies;
- montre quelles liens sont judicieux entre les réseaux intelligents, les marchés intelligents et les maisons intelligentes;
- est établie avec le concours d'un large cercle de parties prenantes, dont le consensus lui confère le poids et l'importance d'une stratégie.



6 Méthodologie d'élaboration de la Feuille de route

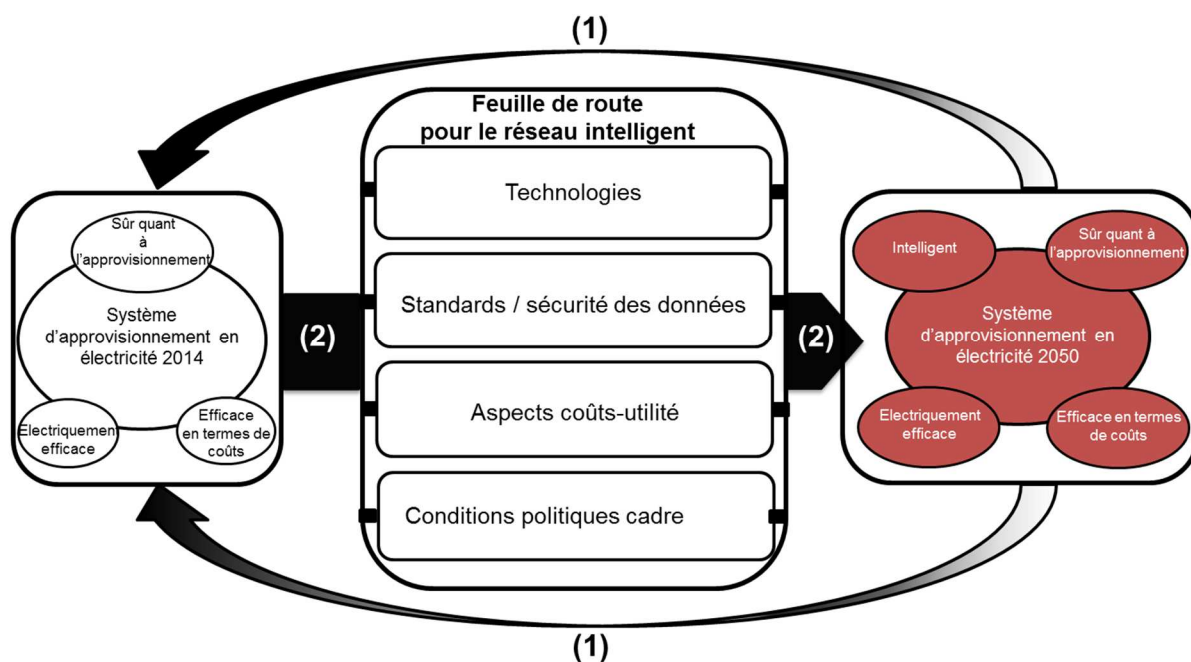


Figure 8 Induction rétroactive («backcasting») visant à établir une Feuille de route suisse pour un réseau intelligent. Les fonctionnalités du futur réseau sont déduites de la vision de réseaux intelligents pour les futurs réseaux électriques et progressivement intégrées dans le réseau électrique.

L'élaboration de la Feuille de route passe par une induction rétroactive («backcasting») illustrée à la figure 8. En considérant un état visé possible, on peut identifier des mesures permettant de transposer l'état actuel dans l'état visé. Les scénarios d'offre et de demande fournis par les Perspectives énergétiques jusqu'à 2050¹⁸ concrétisent les objectifs possibles du système global d'approvisionnement en électricité (chapitre 2). Le réseau électrique – le maillon qui relie la production à la consommation – subit fortement l'impact de ces développements (chapitre 3) et doit se modifier et évoluer en conséquence. L'état visé pour le réseau électrique est représenté dans une «vision» où les défis identifiés trouvent leur solution. Cette vision permet de déduire de nouvelles fonctionnalités des réseaux électriques. Les flèches courbes (1) de la figure 8 illustrent le transfert de fonctionnalités identifiées dans le réseau actuel. L'intégration de ces fonctionnalités est évolutive, c'est-à-dire qu'elle intervient progressivement.

La Feuille de route prévoit un agenda possible pour intégrer les fonctionnalités dans les réseaux électriques. Les mesures nécessaires à cet effet en sont déduites pour les technologies requises, leurs interactions et leur mise en réseau, les standardisations supplémentaires nécessaires et les principes de régulation. La sécurité des données, respectivement l'interaction sûre des technologies et des rôles, joueront un rôle important dans le futur système d'approvisionnement en électricité. De nouveaux rôles et de nouvelles responsabilités pour l'exploitation des technologies seront ainsi éventuellement anticipés et délimités de manière à obtenir une représentation rudimentaire des interactions entre les technologies et les acteurs. La flèche (2) indique la suite du développement sur la base de la Feuille de route et des activités qu'elle induit.

¹⁸Cf. «Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 - Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050» (Prognos SA, 2012).



L'établissement de la Feuille de route se déroule au niveau national et correspond de ce fait aux meilleures pratiques¹⁹. Son élaboration au sein d'un large cercle national se justifie en outre à la lumière des considérations suivantes:

Position politique, organisationnelle et structurelle spécifique au départ

La Suisse présente des structures politiques, organisationnelles et topologiques spécifiques qui influencent le développement de réseaux intelligents. La structure de son réseau (peu de grands centres urbains, de nombreux réseaux ruraux et des conditions extrêmes dans les régions de montagne), qui comporte une multitude de gestionnaires de réseau et d'entreprises d'approvisionnement en électricité très hétérogènes quant à leur structure et à leur taille, constitue un facteur important. Le mix de la production électrique suisse, où la part de la force hydraulique domine, et le rôle du pompage-turbinage sont aussi d'importants facteurs dans la position initiale de la Suisse. En outre, nombre d'entreprises dans le domaine de l'approvisionnement énergétique sont aux mains des pouvoirs publics (villes, communes, cantons). Cette hétérogénéité requiert un judicieux minimum d'harmonisation et de coordination au niveau fédéral pour assurer le lancement d'un développement considérable et bien ciblé visant à accroître l'intelligence des réseaux électriques.

Concentration sur les atouts nationaux

La Suisse dispose d'atouts pertinents dans l'industrie de la technologie électrique et de l'information, de même que dans le domaine de la recherche et du développement. Elle abrite des institutions qui figurent parmi les leaders mondiaux. Les projets de recherche et de développement réalisés ou en voie de réalisation en Suisse (p. ex. dans le cadre de projets pilotes et de démonstration)²⁰, fournissent des éléments de base importants en vue d'introduire des réseaux électriques intelligents. La Feuille de route élaborée donne à cet égard des impulsions à d'autres innovations, l'ajustement aux activités internationales dans le domaine des réseaux électriques intelligents accroissant les effets de ces impulsions.

Prise en compte des processus décisionnels spécifiques en coordination avec les processus internationaux

Le cadre national de la Feuille de route et les étapes du processus d'élaboration franchies mobilisent les participants concernés sur le marché suisse, ce qui garantit un développement autonome en Suisse. Il importe toutefois beaucoup de veiller à la coordination et à l'harmonisation avec les développements dans l'UE et à l'échelle mondiale, afin d'exploiter les synergies et de tirer parti des expériences.

¹⁹ Une feuille de route est un instrument de la gestion technologique et de l'innovation. On dispose d'une vaste expérience et de nombreuses études au sujet de ce processus, par exemple: «Science and Technology Roadmaps». (Kostoff, 2001), «Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution». (R. Phaal, 2003). L'établissement d'une feuille de route nationale pour les réseaux intelligents est recommandé par divers intervenants, cf par exemple: «Energy Technology Roadmaps - a guide to development and implementation». (Agence internationale de l'énergie (AIE), 2010).

²⁰ Cf. <http://www.bfe.admin.ch/cleantech/index.html?lang=de> et «Pilot- und Demonstrationsprogramm – Konzept» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013).



En bref

- L'élaboration de la Feuille de route pour un réseau intelligent passe par une induction rétroactive («backcasting»). A partir de l'état visé (une vision des réseaux intelligents en Suisse), on identifie les fonctionnalités des réseaux électriques qui, nécessaires à l'avenir, doivent être développées.
- La Feuille de route pour un réseau intelligent se concentre dans son contenu sur les nouvelles fonctionnalités des réseaux électriques et les technologies requises à cet effet, sur la sécurité nécessaire des données, sur les aspects du rapport coûts-utilité et finalement sur les conditions politiques cadre indispensables.



7 Vision des réseaux intelligents en Suisse

La figure 9 présente de manière simple la vision des réseaux intelligents décrite ci-après. Des *réseaux électriques* sont en interaction avec des *bâtiments automatisés*, avec une *demande flexible*, avec des *centrales électriques de divers types et de diverses tailles*, et avec des *solutions de stockage décentralisées*. Ces interactions sont soutenues par de *nouvelles fonctionnalités des réseaux*, grâce auxquelles les réseaux électriques sont mieux observables et pilotables, ce qui les rend plus actifs. Le développement de la production électrique issue d'énergies renouvelables et les interventions visant à piloter le réseau doivent être étroitement coordonnés avec les mesures de développement et de transformation du réseau.

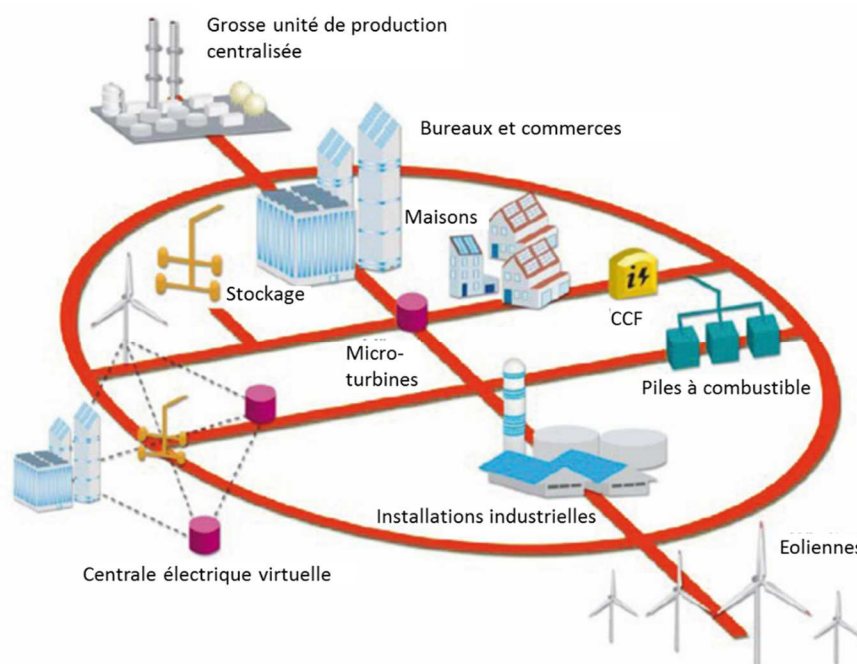


Figure 9 Diverses technologies sont intégrées dans les réseaux intelligents où elles permettent des nouvelles fonctionnalités des réseaux électriques. L'illustration montre les interactions de quelques technologies²¹ (source: Plateforme technologique européenne - PTE).

L'équilibre du système d'approvisionnement en électricité (bilan du système) est assuré dans le réseau électrique par l'interaction flexible, intelligente et basée sur le marché entre les producteurs, les solutions de stockage de tailles diverses implantés sur différents sites, les consommateurs et les prestataires de services. Des centrales électriques virtuelles, raccordées au réseau en divers points du territoire, permettent l'injection coordonnée et conforme au marché de nombreuses petites unités de production décentralisées et pilotables. Ces centrales virtuelles relient les technologies de production centralisées et décentralisées de manière à ce que les fluctuations de la production électrique soient équilibrées et que les centrales produisent de l'énergie électrique conformément au marché et à la demande. Une multitude de solutions de stockage d'électricité de divers types, placés dans le réseau, y contribue. Dans le système d'approvisionnement électrique du futur, les consommateurs jouent un rôle plus actif dans un marché de l'électricité ouvert. Des systèmes d'incitation, basés sur des signaux du marché automatiquement mis à disposition, induisent une adaptation de la consommation en temps et en volume (puissance). Des dispositifs intelligents de pilotage de charge, automatisés et coordonnés, flexibilisent la consommation à petite échelle temporelle. Ceci accroît la capacité de stockage disponible dans le système d'approvisionnement en électricité. De même, la mobilité électrique est liée aux systèmes incitatifs,

²¹ Cf. Plateforme technologique européenne (PTE) sous: www.smartgrids.eu.



à la gestion intelligente de la charge et aux technologies intelligentes de charge des véhicules («vehicle-to-grid»), ces dernières permettant aux véhicules de restituer de l'énergie au système en cas de besoin, à l'instar du stockage décentralisé, et de devenir actifs sur divers marchés.

Il est crucial pour l'interaction des ressources *que les réseaux électriques soient flexibles et actifs*. En permettant les interactions voulues par le marché, ils concourent à un système énergétique sûr, efficace et performant. Les réseaux électriques utilisent à cette fin de nouveaux types d'infrastructures de réseau comme les transformateurs réglables, les dispositifs de pilotage du courant ou de la tension ainsi que des *technologies modernes de mesure, d'information et de communication* (TIC). Des structures centralisées et décentralisées de relevé et de traitement des données et de pilotage se complètent. Toutes les infrastructures de réseaux ou de pilotage ne sont pas organisées de manière centrale ni reliées par les TIC. Les réseaux de distribution, en particulier, permettent de fournir de manière sûre la flexibilité nécessaire à l'ensemble du système et aux marchés. Grâce aux nouveaux types d'infrastructures de réseau et de pilotage, les réseaux sont capables de maîtriser *l'apparition congestions dans le transport de l'électricité*²² et de garantir une protection du réseau adaptée aux besoins spécifiques. On peut remédier aux congestions de réseau qui, limitées dans le temps et dans l'espace, sont prévisibles de manière fiable, par des interventions du gestionnaire du réseau de distribution. Des interventions peuvent dans un premier temps reposer sur l'action du marché. Enfin, des *véhicules électriques, des solutions de stockage fixes* (p. ex. des batteries ou des voitures électriques) qui seront par exemple utilisés sur le marché des services-système ou par les producteurs pour *optimiser la consommation propre, des productions décentralisées, des consommateurs ou des centrales électriques complètement virtuelles* seront pilotés pour faire face aux congestions du réseau. Outre l'action conjuguée de ces solutions (technologies), le *développement conventionnel du réseau* continue d'offrir une solution judicieuse. On obtient ainsi un dimensionnement économiquement optimal des réseaux électriques, les coûts de développement du réseau sont réduits et l'utilité des infrastructures existantes est accrue.

Les réseaux intelligents sont vulnérables en raison de l'utilisation et de la mise en réseau, largement pratiquées, des technologies de l'information et de la communication (TIC). Des concepts d'analyse de cyber-attaques, basés sur les risques, sont appliqués pour protéger les réseaux intelligents: ces concepts permettent d'identifier les mesures (au niveau des TIC ou sur le plan physique) qui réduisent la vulnérabilité du réseau. Les réseaux intelligents disposent de solutions d'urgence appropriées, qui garantissent au moins le maintien d'un approvisionnement de qualité réduite en cas de panne totale ou partielle de l'infrastructure TIC. La résilience des réseaux s'en trouve ainsi globalement augmentée²³.

La régulation des réseaux électriques comporte des incitations à développer efficacement les réseaux électriques en recourant à des technologies innovantes. S'agissant des interactions entre le réseau et le marché, il existe un *dispositif réglementaire institutionnalisé et non discriminatoire* qui garantit la sécurité et la stabilité du réseau. Ces dispositions ne restreignent le marché que légèrement et dans des situations exceptionnelles seulement, par exemple par des interventions sélective au niveau de la production (gestion de l'injection²⁴ ou autres mesures semblables). Des modèles d'affaires et des nouveaux processus se constituent ainsi sur la base de l'infrastructure et du dispositif réglementaire. Les clients finaux pouvant librement choisir leur fournisseur, selon leurs préférences, la concurrence peut jouer sur le marché de l'électricité. Le changement de fournisseurs peut s'effectuer efficacement et sans entrave. Les marchés des services énergétiques sont établis et soutenus par les réseaux intelligents, le dispositif

²² Cf. chapitre 3: défi 1. Les problèmes de maintien de la tension et de surcharge thermique des ressources d'exploitation en aval sont en l'occurrence décrits comme des congestions.

²³ La résilience décrit la résistance d'un système aux perturbations internes ou externes ou la capacité d'un système à retrouver son état initial après une perturbation. Par résilience du réseau électrique, on entend la capacité du réseau à s'adapter à des changements à court terme (p. ex. pannes) ou à long terme (p. ex. topologie du réseau) et la mesure dans laquelle il est possible de maintenir le fonctionnement du réseau.

²⁴ Cf. glossaire, chapitre 10, chapitre 11 ou chapitre 13.



réglementaire institutionnalisé garantissant un compromis entre les exigences opposées à la multiplication des services énergétiques et un développement du réseau efficace en termes de coûts. Par ailleurs, le dispositif réglementaire comprend des directives concernant l'exploitation réduite des réseaux lorsqu'une solution d'urgence doit être activée. Les coûts des réseaux intelligents seront financés, selon le principe de causalité, via un système adapté de rémunération du réseau. La gestion du réseau suit des règles entrepreneuriales, elle assume des risques, fait progresser l'innovation dans les réseaux électriques et oriente la mise en œuvre des réseaux intelligents en fonction des besoins des acteurs du marché.

A long terme, les interactions croissantes entre les réseaux électriques et les réseaux de gaz, de chaleur et de transport permettront d'améliorer l'efficacité systémique. La convergence de ces diverses infrastructures progresse. Les excédents de la production électrique renouvelable qui ne peuvent pas être utilisés, stockés ou commercialisés à l'étranger seront convertis en d'autres formes d'énergie. Par exemple, ces excédents peuvent être utilisés pour la mobilité ou stockés dans un réseau gazier pour être utilisés ultérieurement. Ces processus s'observent notamment dans l'environnement de villes intelligentes («smart cities»), qui mettent en réseau une multitude de services dans le domaine de l'énergie. Les systèmes de mesure intelligents des divers agents énergétiques sont disponibles sur l'ensemble du territoire. Ils fournissent des informations sur le statut des différents réseaux et sur la consommation actuelle. Ils soutiennent ainsi les dispositifs de pilotage du réseau et concourent à l'efficacité énergétique.

Les réseaux de distribution actifs sont raccordés au *réseau de transport suisse*, dont les capacités sont utilisées de manière optimale par les dispositifs de pilotage sur la base des données mesurées. Le réseau de transport, quant à lui, est raccordé au *Super Grid* européen, qui assure efficacement le transport d'énergie électrique provenant de sources très éloignées, notamment renouvelables, et qui contribue à la stabilité de l'ensemble du réseau. A cet effet, diverses technologies de transport complémentaires sont utilisées. Le *transport à haute tension en courant continu* est utilisé pour transporter, en minimisant les pertes, l'électricité provenant de sources d'énergie très éloignées, surtout renouvelables, et pour piloter les flux de puissance.



En bref

Dans la vision du réseau intelligent,

- les informations, les dispositifs de pilotage intelligents et les ressources d'exploitation du réseau permettent d'améliorer la planification du réseau, de réduire son développement et d'accroître l'efficacité de son exploitation tout en apportant de nouvelles possibilités pour le marché;
- l'équilibre entre la production et la consommation à l'intérieur du système d'approvisionnement en électricité (bilan du système) peut être assuré, sur la base du réseau intelligent, par la mise en réseau, intelligente et basée sur le marché, des nouvelles technologies et des acteurs;
- des centrales électriques virtuelles, qui relient les producteurs centralisés et décentralisés, compensent mieux les fluctuations de production et contribuent ainsi à équilibrer le bilan du système;
- un pilotage intelligent de la charge permet de flexibiliser la consommation, ce qui génère de l'utilité sur le marché tout en contribuant à l'équilibre du bilan du système et à la consommation propre;
- un dispositif réglementaire régit les relations entre le réseau et le marché et les rapports entre les acteurs impliqués dans ce domaine et dont les intérêts sont différents;
- l'infrastructure TIC, protégée contre les abus et les attaques, comprend des solutions d'urgence;
- une réglementation apporte, dans le domaine des réseaux électriques, des incitations de large portée à l'utilisation de solutions techniques efficaces et intelligentes;
- la convergence des divers réseaux énergétiques (électricité, gaz, chaleur, eau) s'accroît; l'efficacité de l'ensemble du système est améliorée.



8 Fonctionnalités des réseaux intelligents en Suisse

Les réseaux électriques intelligents comportent des nouvelles fonctionnalités, qui peuvent se déduire de la vision des réseaux intelligents²⁵. Les TIC sont importants pour les fonctionnalités. La figure 10 illustre la constitution des nouvelles fonctionnalités: celles-ci découlent des interactions de diverses technologies innovantes. Les fonctionnalités, représentées par les composants rouges, interagissent. L'action conjointe des technologies, leurs connexions et leurs interactions, représentées par les lignes noires ou rouges, sont soutenues par des TIC performantes. On peut donc considérer que les technologies sont des composantes des fonctionnalités, qui sont elles-mêmes des composantes du réseau intelligent. Les interactions sur les plans technologique et fonctionnel rendent les réseaux intelligents complexes.

Les fonctionnalités des réseaux intelligents sont décrites ci-après. Elles se situent au carrefour d'une production électrique plus décentralisée et plus renouvelable, et d'une amélioration de l'efficacité électrique. Une structuration fine des fonctionnalités permet de décrire les réseaux intelligents aussi concrètement que possible et d'identifier les dépendances des fonctionnalités entre elles. A partir de là, on peut identifier finalement les fonctionnalités de base d'un réseau intelligent. Pour commencer, les fonctionnalités sont considérées de manière abstraite et dissociées des technologies. Elles sont réparties en quatre catégories et concernent prioritairement: 1. la mise à disposition d'information; 2. la stabilité de réseau et le pilotage du système en exploitation; 3. la planification du système ou du réseau et 4. les aspects du marché de l'électricité et des services aux consommateurs. Les quatre catégories de fonction et les fonctionnalités qui s'y rapportent sont énumérées ci-après pour améliorer la vue d'ensemble.

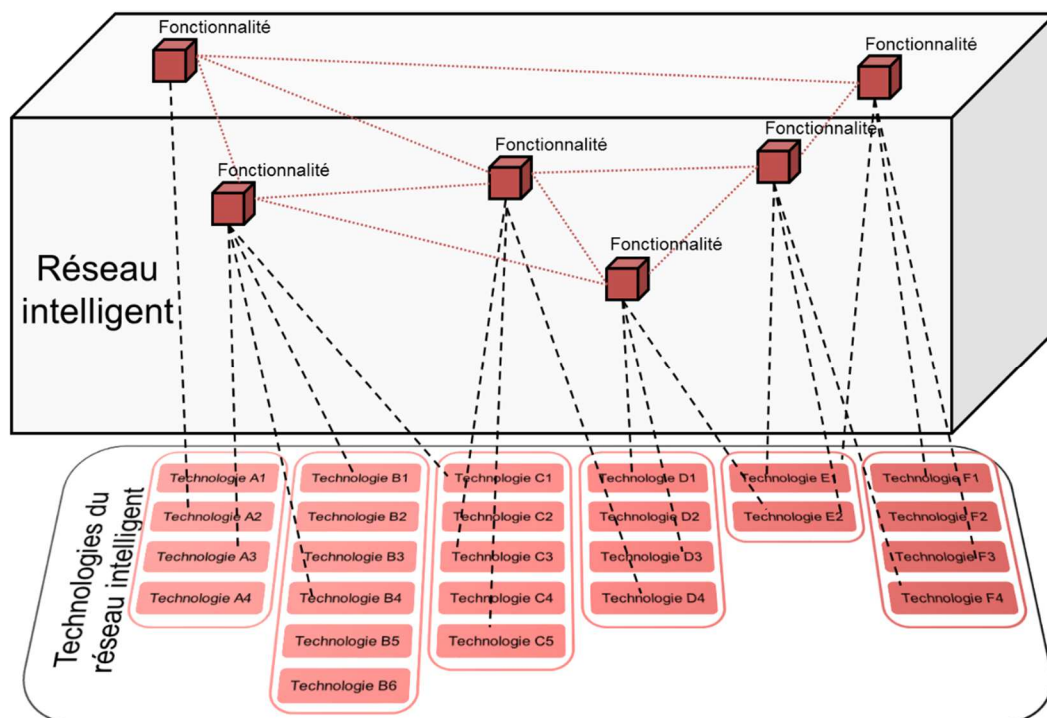


Figure 10 Nouvelles fonctionnalités d'un réseau intelligent permises par les interactions des technologies. Ces fonctionnalités aident à lever de futurs défis dans le domaine du réseau.

²⁵ Cf. «Definition, expected Services, Functionalities and Benefits of Smart Grids». (Commission européenne (CE), 2011), et «Expert Group 1: Functionalities of Smart Grids and Smart Meters - Final Deliverable» (Commission Européenne (EC) Task Force for Smart Grids, 2010).



Catégorie de fonction	Fonctionnalité	
A Mise à disposition d'informations	A1	Informations sur les éléments actifs du réseau
	A2	Informations sur les éléments passifs du réseau et sur son état
	A3	Informations des gestionnaires de réseau sur la production / consommation
	A4	Informations des producteurs / consommateurs sur la production / consommation
B Stabilité du réseau, pilotage du système, qualité de l'approvisionnement et amélioration de l'efficacité dans l'exploitation quotidienne du réseau	B1	Gestion des flux électriques
	B2	Gestion de la production, du stockage, de la consommation aux fins de sécurité du réseau
	B3	Identification et réduction des pertes techniques
	B4	Protection adaptative et reconfiguration optimale après des défauts
	B5	Réalisabilité de services-système de tous types
	B6	Sécurité du système grâce à la cyber-sécurité et aux solutions d'urgence
C Planification améliorée pour l'exploitation et le développement des réseaux	C1	Base d'information pour planifier l'exploitation des éléments du réseau
	C2	Modèles prévisionnels pour l'utilisation des infrastructures de réseau
	C3	Optimisation du développement de réseau par la flexibilisation temporelle
D Marché de l'électricité et services aux consommateurs	D1	Large participation au marché des consommateurs et des producteurs
	D2	Solutions pour influencer le comportement des consommateurs
	D3	Amélioration de la gestion des clients dans le marché
	D4	Interfaces entre le réseau électrique et l'automatisation des bâtiments
	D5	Réalisabilité de marchés locaux de l'électricité

Figure 11 Aperçu des catégories et de leur catégorisation²⁶.

Catégorie de fonction A

Mise à disposition d'informations sur la production, le stockage et la consommation dans le réseau, afin d'intégrer les acteurs présentant de nouvelles exigences

A1: Mise à disposition des informations nécessaires à l'exploitation effective des éléments actifs actuels et futurs du réseau

Les réseaux intelligents comprennent des composants actifs d'un genre nouveau (des organes de commande au sens d'infrastructures actives), qui permettent d'intervenir dans l'exploitation du réseau pour résoudre – isolément ou en association avec d'autres éléments du réseau – divers défis. A cet effet, les informations nécessaires relatives aux éléments actifs du réseau sont relevées. Cette collecte d'informations, automatisée et tournée vers une utilisation pratique, s'effectue à distance à une cadence suffisante. Pour ce faire, les réseaux intelligents recourent à des techniques d'information et de communication de types très variés et à un traitement des données approprié. Les informations mises à disposition se composent notamment de données sur l'état des éléments actifs du réseau (point de fonctionnement, limitations techniques de l'exploitation, etc.). La mise à disposition des informations nécessaires requiert que les éléments actifs du réseau soient dotés d'interfaces standardisées appropriés et qu'ils puissent être intégrés dans la communication.

Exemples: informations sur les éléments destinés au réglage actif de la tension (généralement électronique de puissance), informations sur les éléments de pilotage des flux électriques (généralement électronique de puissance), transformateurs réglables.

²⁶ Les fonctionnalités des réseaux intelligents décrites ci-après recourent largement les exigences, actuellement encore en voie d'élaboration, que la CEI pose aux réseaux intelligents. Cf. les travaux sur la norme CEI 62913 concernant les exigences posées au réseau intelligent (IEC Standards 62913 «Smart Grid Requirements»).



A2: Mise à disposition des informations sur les éléments passifs du réseau, la qualité de l'approvisionnement et la qualité de la tension à tous les niveaux de réseau

Dans les réseaux intelligents, l'état actuel du réseau, c'est-à-dire les valeurs de la tension et du courant, de même que le niveau de charge des éléments passifs du réseau (infrastructures de réseau passives), sont automatiquement relevés à distance, analysés et représentés en fonction de diverses échelles temporelles définies selon l'utilisation visée. Il est ainsi possible de détecter des interruptions ou des interventions ciblées dans le réseau. La qualité de l'approvisionnement et de la tension est de ce fait mesurable à tous les niveaux de réseau. A cet égard, les mesures des paramètres relatifs aux perturbations sur le réseau (p. ex. composantes harmoniques, chutes ou hausses de tension excessives, phénomènes transitoires dans les réseaux électriques, informations sur l'état et données qualitatives) peuvent être communiquées à un système capable de gérer les données et de les préparer à des fins d'analyse et d'intervention.

Exemples: informations sur les lignes aériennes et les câbles (p. ex. charge, température), surveillance des transformateurs passifs (p. ex. charge, température).

A3: Mise à la disposition des gestionnaires de réseau, à une cadence suffisante et avec une granularité des mesures suffisante, d'informations détaillées sur la production, le stockage et la consommation

Dans les réseaux intelligents, la mise à disposition des informations sur les différents producteurs et consommateurs intervient à une cadence et avec une résolution suffisantes pour les applications dans le domaine du réseau. Les mesures s'effectuent à distance et de manière automatisée. Des données de consommation et de production et des informations sur le stockage (p. ex. batteries ou véhicules électriques) sont enregistrées, traitées, sauvegardées et transmises en phase d'injection ou de soutirage, conformément aux besoins, grâce à des dispositifs de mesure adéquatement conçus. Les données mises à disposition comprennent aussi des prévisions réalisées sur la base de données suffisantes. La sécurité et la protection des données sont garanties en tout temps, particulièrement lorsque des tiers sont impliqués lors de la transmission et de la gestion des données. Les données peuvent servir par exemple aux prévisions, aux calculs, aux interventions et à d'autres applications dans le domaine des réseaux.

Exemples: informations sur la production (p. ex. point de fonctionnement, flexibilité pour réguler le réseau), sur le stockage (p. ex. point de fonctionnement, contenu énergétique, flexibilité pour réguler le réseau) et sur la consommation (p. ex. point de fonctionnement, contenu énergétique, flexibilité pour réguler le réseau).

A4: Mise à la disposition des consommateurs et des producteurs d'informations détaillées sur la production, le stockage et la consommation ainsi que d'autres méta-informations

Dans les réseaux intelligents, les données de consommation et de production de même que les données relatives au stockage (p. ex. niveaux de remplissage pour les acteurs ou tiers -prestataires de services, agrégateurs, etc.) sont enregistrées et mises à disposition de manière automatisée et conforme aux besoins. Ainsi, les réseaux intelligents contribuent par exemple à une visualisation des informations sur les interfaces correspondantes auprès des consommateurs et des producteurs. Cette fonctionnalité



peut aussi comprendre des agents énergétiques comme le gaz, la chaleur, etc.²⁷. Les informations enregistrées sont complétées par des méta-informations (p. ex. économies de CO₂, quantité de CO₂ associée à l'électricité consommée ou prix). Dans ce contexte, la sécurité et la protection des données sont garanties en tout temps, en particulier lors de la transmission de données à des tiers qui ne sont ni les propriétaires des données ni les exploitants de l'unité de mesure.

Exemples: informations sur la production (p. ex. point de fonctionnement, prix, flexibilité pour déplacer le point de fonctionnement), informations relatives au stockage auprès des clients (p. ex. point de fonctionnement, contenu énergétique, prix, flexibilité pour déplacer le point de fonctionnement), informations sur la consommation (p. ex. point de fonctionnement, prix, flexibilité pour déplacer le point de fonctionnement, timbre CO₂, signaux incitatifs, potentiel d'économies).

Catégorie de fonction B

Stabilité du réseau, pilotage du système, qualité de l'approvisionnement et amélioration de l'efficacité dans l'exploitation quotidienne du réseau

B1: Pilotage des flux de courant dans les réseaux électriques dotés d'éléments actifs

Les réseaux intelligents comprennent un pilotage actif de l'injection et du soutirage de puissance active et de puissance réactive²⁸ dans le réseau. Les flux de puissance électrique (liés à la charge) dans le réseau s'en trouvent influencés. Les paramètres du transport de l'électricité – le courant, la tension ou la résistance – sont pilotés dans le réseau selon les besoins. Il est possible de régler le pilotage selon diverses échelles temporelles (p. ex. heures ou minutes), ce qui induit des possibilités d'influencer la charge des infrastructures de réseau, à savoir les lignes et les transformateurs.

Exemple: l'électronique de puissance pour réguler la tension et les flux de puissance.

B2: Utilisation de la production, du stockage et de la consommation pour renforcer la sécurité de l'exploitation du réseau

Dans les réseaux intelligents, les unités décentralisées telles que les consommateurs, le stockage d'électricité ou les producteurs, peuvent être utilisées en tout temps comme complément réciproque pour respecter les valeurs techniques limites. Une analyse des informations disponibles permet d'intervenir au besoin dans l'exploitation des réseaux pour piloter la production, la consommation et le stockage d'électricité. Les unités décentralisées sont engagées de manière ciblée et sélective en particulier pour relever les défis localisés dans les niveaux de réseau, sans mettre en péril la stabilité du système, c'est-à-dire l'équilibre entre la production et la consommation dans son ensemble. Dans le but de soutenir le

²⁷ Cette fonctionnalité constitue une interface vers un système énergétique intelligent où l'attention se concentre non seulement sur le courant électrique, mais aussi sur les autres agents énergétiques. La fonctionnalité présentement décrite place toutefois clairement le domaine de l'électricité au centre de l'intérêt.

²⁸ La puissance active est la part de la puissance électrique susceptible d'être utilisée pour convertir l'électricité, dans un laps de temps donné, en d'autres formes d'énergie (p. ex. en énergie mécanique, thermique ou chimique). L'énergie et la puissance doivent être distinguées: l'énergie est une puissance déployée pendant un certain temps. Or, dans le réseau électrique, l'énergie s'écoule souvent en quantités supérieures à celles requises par les consommateurs. On parle alors respectivement d'énergie réactive et de puissance réactive, qui sont nécessaires à la stabilité de l'exploitation du réseau en raison des propriétés de celui-ci et des lois physiques qui régissent le transport de l'électricité. A ce stade, seules les grandes centrales électriques et peu d'éléments de pilotage actifs sont en mesure de réguler l'injection et le soutirage de puissance active et de puissance réactive en grandes quantités.



réseau, le pilotage d'unités décentralisées permet notamment d'empêcher des surcharges locales ou des hausses excessives de tension à court terme. Ce pilotage réduit le nombre et la durée des congestions de réseau localement limitées.

Exemples: réglage ou adaptation du point de fonctionnement de la production décentralisée, sauvegarde des données de consommation selon diverses échelles temporelles afin d'éliminer les congestions de réseau²⁹ (hausses de tension ou surcharges du réseau).

B3: Identification et réduction des pertes techniques

Malgré l'efficacité élevée des réseaux électriques, des pertes techniques sont inévitables. Les réseaux intelligents permettent d'identifier la répartition temporelle et spatiale des pertes de réseau. Cette identification peut, par exemple, s'effectuer grâce à une analyse des flux de puissance dans les divers niveaux de réseau. Les analyses réalisées indiquent des mesures possibles, comme des manœuvres de commutation intelligentes (exécutées sur la base d'optimisations assistées par ordinateur). Ces analyses permettent donc des adaptations flexibles ou dynamiques de la topologie du réseau afin de réduire les pertes.

Exemples: surveillance du réseau dans son ensemble, analyse des flux de courant³⁰ pour minimiser les pertes. Dans ce cadre, la topologie du réseau peut être adaptée ou des éléments actifs du réseau peuvent être pilotés.

B4: Evaluation et garantie de la sécurité des installations grâce à la protection adaptative et à la reconfiguration optimale du réseau suite à des défauts (protection dynamique et automatisation)

Les réseaux intelligents permettent d'adapter les concepts de protection du réseau grâce à une analyse de l'état du réseau et à l'adaptation dynamique des paramètres de protection fondée sur cette analyse. Une telle protection adaptative des équipements du réseau permet d'intégrer davantage d'unités décentralisées tout en maintenant la sécurité des installations au même niveau. En effet, les défauts du réseau, comme les courts-circuits, peuvent être décelés plus rapidement en dépit de flux de puissance plus complexes. Les réseaux intelligents permettent d'engager très rapidement des mesures capables de réduire les effets d'un défaut et de supprimer celui-ci automatiquement ou à distance. Il s'agit par exemple de la reconfiguration optimale du réseau au moyen d'éléments de réglage télécommandables. Une reconfiguration de réseau tient compte des conditions techniques des éléments et de l'exploitation du réseau. Autrement dit, elle considère l'état des éléments du réseau (passifs et actifs), les injections décentralisées actuelles et la configuration de la protection pour une nouvelle topologie du réseau. Ainsi, les réseaux intelligents améliorent la qualité, respectivement la fiabilité de l'approvisionnement et la résilience des réseaux.

Exemples: surveillance du réseau dans son ensemble ou analyse des flux de puissance, utilisées dans des algorithmes pour optimiser la topologie du réseau ou pour accroître la capacité de résistance des réseaux. Il peut en résulter des manœuvres de commutation et des interventions de pilotage.

²⁹ Violation de la plage de fluctuation de tension autorisée ou surcharge thermique de ressources d'exploitation dans le réseau. Cf. en particulier le chapitre 3.

³⁰ Une analyse des flux de puissance est réalisée sur la base des éléments du réseau observables grâce au système de monitoring étendu (Wide Area Monitoring System, WAMS).



B5: Tous les consommateurs et producteurs de courant électrique, de même que les agrégateurs, peuvent fournir des services-système de tous types.

Dans les réseaux intelligents, les installations de production et de consommation, de même que le stockage d'électricité décentralisé, qui sont répartis et raccordés à des niveaux de réseau différents, peuvent fournir des services utiles au réseau et au système. Ces prestations peuvent être fournies par n'importe quel acteur, par exemple par des agrégateurs, lesquels réunissent une multitude d'unités réparties. Les acteurs ou agrégateurs opèrent alors à divers niveaux de réseau et dans diverses zones de desserte. D'une part, les services utiles au réseau comprennent les prestations orientées vers le réseau de distribution (p. ex. maintien de la tension, utilisation des flexibilités pour éviter le dépassement de valeurs limites techniques dans les réseaux de distribution). D'autre part, les installations de production et de consommation peuvent également fournir des prestations utiles au système au niveau du réseau de transport (p. ex. réglage primaire, secondaire ou tertiaire³¹). Les réseaux intelligents garantissent que les prestations de services utiles au système et celles orientées vers le réseau de distribution concordent avec les conditions locales techniques du réseau et qu'elles ne s'entravent pas mutuellement. Les gestionnaires des réseaux de distribution et des réseaux de transport se coordonnent à cet effet, de sorte que la qualité de l'approvisionnement reste élevée et que les valeurs techniques limites sont respectées dans le réseau de distribution, tandis que la stabilité du système reste garantie.

Exemples: pilotage de la consommation / de la production pour les services utiles au système, toutes zones de desserte confondues. Pilotage de la consommation / de la production pour les services dans le réseau distribution.

B6: Evaluation et garantie de la sécurité du système grâce à des solutions de sécurité dans le domaine de la sécurité des données (cyber-attaques) et solutions d'urgence en cas de perte des TIC

Les réseaux intelligents permettent, par exemple sur la base d'une analyse des risques, d'estimer dans quelle mesure le système ou le réseau est actuellement menacé par des attaques externes physiques (p. ex. sabotage) ou menées par la voie des technologies de communication. Les réseaux intelligents fournissent une garantie de cyber-sécurité et de sécurité physique axée sur les risques. Sur la base de l'évaluation de la sécurité actuelle du système et des installations face aux attaques, des faiblesses physiques ou virtuelles du système (p. ex. des éléments isolés du réseau) peuvent être identifiées. Sur cette base, afin de renforcer le système, il est possible de définir des (cyber-) mesures relevant de la technique du réseau ou des techniques de communication. Des mécanismes de protection, de défense et de confinement au niveau cybernétique (p. ex. dans le domaine de la sécurité des données) peuvent être identifiés. En cas de défaillance des TIC, les réseaux intelligents permettent aussi de maintenir la qualité de l'approvisionnement grâce à des solutions d'urgence, bien que sous une forme réduite.

Exemples: analyse des risques de l'architecture informatique et de la vulnérabilité physique du système face aux cyber-attaques. Rapports sur les attaques, leur analyse et la consolidation de l'architecture informatique par les logiciels de protection les plus récents.

³¹ Les réglages primaire, secondaire et tertiaire sont des services-système (SS). Cf. glossaire.



Catégorie de fonction C

Amélioration de la planification pour l'exploitation et le développement des réseaux

C1: Prévisions d'exploitation des éléments actifs et passifs du réseau fondées sur une base d'information améliorée concernant la production et la consommation

Grâce aux réseaux intelligents, on peut exploiter la connaissance du déroulement temporel et des volumes produits et consommés pour planifier l'exploitation du réseau à court terme (p. ex. un jour à l'avance). Les prévisions de production et de consommation sont utilisées, à diverses échelles temporelles adéquates et sur une base de données suffisante, dans des modèles de calcul du taux d'utilisation du réseau, afin de garantir l'utilisation la meilleure et la plus sûre des ressources d'infrastructure existantes. La planification de l'exploitation du réseau retient diverses options technologiques pour flexibiliser l'exploitation. Cette planification permet de déceler les congestions de réseau en se référant au comportement connu ou anticipé des acteurs et de les éliminer en recourant sélectivement aux flexibilités.

Exemples: planification et calcul des charges des éléments passifs du réseau, calcul du point de fonctionnement optimal des éléments actifs du réseau.

C2: Meilleure planification de l'affectation des infrastructures de réseau et de l'entretien à l'appui de modèles prévisionnels et de mesures de flexibilisation du réseau

Dans les réseaux intelligents, la mise à disposition des instruments d'analyse et des données relatives aux ressources d'exploitation du réseau apporte une bonne connaissance de l'état d'obsolescence actuel, sur la base du taux d'utilisation passé, du taux d'utilisation futur et, ainsi, du vieillissement à venir des ressources d'exploitation. Sur cette base, l'affectation des ressources d'exploitation est optimisée et les mesures d'entretien sont planifiées en anticipant, conformément aux besoins et en temps utile, tout en tenant compte des taux d'erreur spécifiques. Dans ce contexte, les analyses permettent d'étudier les variations de l'utilisation des infrastructures de réseau en fonction des besoins d'entretien et, par conséquent, d'optimiser leur taux d'utilisation. La planification dans le temps des mesures d'entretien est automatisée. Il est ainsi possible d'anticiper une défaillance des composants du réseau et de prendre à temps les mesures correctives. Les analyses utilisent par exemple des données historiques et des modèles de production, de consommation, d'utilisation du réseau et de flexibilisation pour modifier le taux d'utilisation. Parmi les possibilités de flexibilisation, citons par exemple le pilotage des flux de puissance ou les modifications de la topologie du réseau.

Exemples: analyses assistées par ordinateur de la durée de vie des éléments actifs et passifs du réseau, compte tenu des sollicitations passées.

C3: Optimisation du développement et de la transformation du réseau, compte tenu de la flexibilisation temporelle de la production et de la consommation dans les réseaux

La planification de l'affectation des ressources d'exploitation et de l'entretien influence la planification des investissements et du développement du réseau. Grâce à l'optimisation des mesures d'entretien des infrastructures de réseau, il est possible de remettre à plus tard, si judicieux, une rénovation des



réseaux existants. L'infrastructure actuelle est ainsi utilisée plus longtemps. En outre, la flexibilisation dans le temps de la production et de la consommation permet de retarder ou de réduire un développement nécessaire du réseau. L'intégration de ces options de flexibilisation dans la planification de développement et de transformation des réseaux ainsi que dans la planification correspondante des investissements accroît donc, dans les réseaux intelligents, la durée d'utilisation des infrastructures disponibles. Les modèles technico-économiques pour la planification du développement de réseau concourent à une optimisation en intégrant des informations relatives à la sécurité et à la qualité d'approvisionnement.

Exemples: analyses assistées par ordinateur de la rentabilité du développement des réseaux, compte tenu des états de charge, des prévisions de production et de consommation et de la gestion des éléments actifs du réseau.

Catégorie de fonction D **Marché de l'électricité et services aux consommateurs³²**

D1: Soutien d'une large participation au marché des consommateurs et des producteurs dans le cadre d'une exploitation techniquement sûre du réseau

Les réseaux intelligents permettent la participation intégrale et axée sur les besoins des acteurs actuels et nouveaux sur le marché, tout en garantissant la sécurité des installations et le respect des valeurs techniques limites dans le réseau. L'exploitation techniquement sûre est possible grâce à des interventions sélectives. Les réseaux intelligents intègrent les véhicules électriques, la production centralisée et décentralisée, les consommateurs, le stockage d'électricité (p. ex. batteries ou véhicules électriques) et les centrales virtuelles dans le réseau de telle manière que les produits et services sont proposés ou utilisés par les acteurs, collectivement ou indépendamment l'un de l'autre, sur les différents marchés de l'électricité. Les coûts de transaction sont réduits et de nouveaux modèles d'affaire deviennent possibles. Une utilisation optimale des infrastructures de réseau existantes demeure garantie.

Exemples: les véhicules électriques chargent leurs batteries en fonction du prix, le chargement pouvant être sélectivement arrêté pour éviter des surcharges; les maisons intelligentes réagissent aux signaux du marché.

D2: Mise à disposition de solutions visant à influencer le comportement des consommateurs

Les réseaux intelligents permettent, grâce à des solutions techniques correspondantes du réseau, d'incorporer les consommateurs / prosommateurs dans la planification et l'exploitation du système d'approvisionnement en électricité et de leur donner des incitations pour qu'ils changent leur comportement. Les consommateurs / prosommateur ont alors la possibilité, sur la base des résultats de la planification, d'adapter leur comportement durant l'exploitation ou au préalable de manière avantageuse pour le réseau. A cet égard, les réseaux intelligents soutiennent, outre les tarifs dynamiques pour l'utilisation du réseau, des tarifs énergétiques dynamiques et des incitations pour un comportement de consommation

³² Les fonctionnalités de cette catégorie peuvent être placées aux confins des réseaux intelligents et des marchés intelligents. De fait, ces fonctionnalités constituent principalement des bases de technique de réseau indispensables à des infrastructures utiles aux aspects des marchés intelligents ou qui les rendent possibles.



plus durable. L'état du système et/ou du réseau est automatiquement communiqué aux consommateurs, de sorte qu'ils réagissent en tenant compte de leurs préférences et en faveur du système d'approvisionnement.

Exemples: mise à disposition rapide et dynamique, au bénéfice des clients peuvent ainsi adapter leur comportement de consommation de manière à éviter les congestions de réseau, de signaux incitatifs basés sur le marché, comme les prix; les maisons intelligentes réagissent aux signaux incitatifs et gèrent leur consommation / injection dans le réseau conformément au marché.

D3: Soutien de systèmes améliorés pour une gestion des clients dans le marché

Les réseaux intelligents soutiennent une gestion des clients dans le libre marché, le changement simplifié de fournisseur d'électricité et par conséquent la concurrence. En raison de l'automatisation et du développement du réseau, ils facilitent le système de décompte, le changement de fournisseur pour le client final et la gestion des relations du gestionnaire de réseau à la clientèle. A cet effet, les données de consommation et de production sont gérées et mises à disposition sous une forme permettant leur utilisation. Des modèles de comportement de la clientèle et des prévisions permettent de fournir des nouveaux services aux clients. La protection de la personnalité est maintenue. Les échanges de données nécessaires, automatisés et standardisés, offrent de la flexibilité pour traiter les nouvelles exigences du marché. La sécurité des données est respectée lors de leur mise à disposition et de leur transmission.

Exemples: relevé de données de consommation aux fins de décompte. Offre de services sur mesure pour augmenter l'efficacité électrique et réduire la consommation.

D4: Mise à disposition d'interfaces entre le réseau et les applications domestiques intelligentes

Les réseaux intelligents ménagent des interfaces entre le réseau électrique, ses capteurs et les applications domestiques. Ils permettent ainsi une interaction entre les bâtiments et leur soutirage d'électricité ou d'énergie, et le réseau électrique. Les interfaces se situent entre les compteurs d'énergie, les terminaux de consommation, les moyens de pilotage et les consommateurs eux-mêmes. Leur conception garantit ainsi l'interopérabilité de divers systèmes. Les consommateurs et leurs terminaux sont intégrés et activés dans une exploitation de réseau flexibilisée et dans les marchés de l'électricité et des services.

Exemples: dans le domaine des bâtiments automatisés, les systèmes intelligents réagissent aux signaux provenant du réseau électriques en adaptant la production, le stockage et la consommation sans porter atteinte au confort.

D5: Possibilité de réaliser des marchés locaux de l'électricité

Les marchés de l'électricité ne s'établissent pas seulement sur le plan national, mais aussi au niveau régional. Il est ainsi possible d'ajuster la production et la consommation ou de prévoir certains services pour le réseau dans diverses régions. Les réseaux intelligents sont en mesure de constituer des «micro-réseaux», qui fonctionnent temporairement indépendamment des réseaux en amont et de leurs injections ou soutirages dans ces sous-réseaux. Les réseaux intelligents permettent de réintégrer les micro-réseaux dans le système national d'approvisionnement en énergie en garantissant une sécurité et une qualité d'approvisionnement de bon niveau. La résilience de l'ensemble du système et l'efficacité électrique sont accrues.



Exemples: ajustement de la consommation, de la production et du stockage dans les petites zones de desserte pour en assurer l'indépendance envers le système global; formation de micro-réseaux qui peuvent être réintégrés dans le système (réseau) national d'approvisionnement en électricité.

En bref

- L'articulation fine des fonctionnalités des réseaux intelligents permet de concrétiser la description de ces réseaux et d'identifier les dépendances entre les fonctionnalités. Celles-ci peuvent se classer en quatre catégories (indépendamment de technologies concrètes):
 - A. Mise à disposition d'informations pour le réseau, le marché, les consommateurs et les producteurs
 - B. Stabilité du réseau, pilotage du système, qualité de l'approvisionnement et amélioration de l'efficacité dans l'exploitation quotidienne du réseau
 - C. Planification améliorée pour l'exploitation et le développement des réseaux
 - D. Marché de l'électricité et prestations de services aux consommateurs



9 Fonctionnalités de base des réseaux intelligents

Les développements technologiques dans le domaine des réseaux intelligents sont générés sur le plan international et ne peuvent guère être influencés par la Suisse, son marché étant trop petit. Il est donc probable que les fonctionnalités soient réalisées, pour commencer, sous une forme simple en fonction des disponibilités technologiques du marché international et des besoins effectifs des réseaux suisses avant qu'elles ne soient développées par la suite au fil du temps. Il s'agit toutefois de savoir quelles fonctionnalités, parmi celles identifiées, tendent à jouer un rôle fondamental dans le développement des réseaux intelligents, de manière à ce que les éventuelles entraves soient éliminées. Les fonctionnalités qui devraient être prioritairement introduites dans les réseaux peuvent être qualifiées de «fonctionnalités de base». Leur réalisation transforme un réseau conventionnel en un réseau intelligent, encore que la limite entre «conventionnel» et «intelligent» soit assurément dynamique durant la transition. En simplifiant fortement, on peut affirmer que le réseau est d'autant plus intelligent que le degré de réalisation des fonctionnalités de base du réseau est élevé. Le degré de réalisation constitue donc un critère qualitatif de l'intelligence du réseau. S'agissant de ces fonctionnalités de base, il faudrait aussi tester en priorité des technologies, élaborer des standards et concevoir ou développer encore, de manière subsidiaire, des directives d'application, afin de promouvoir une réalisation rapide. Le soutien étatique sous la forme d'une adaptation adéquate d'éventuelles conditions réglementaires cadre qui peuvent faire obstacle (p. ex. l'élimination d'entraves à l'innovation) peut s'avérer utile au développement efficace de telles fonctionnalités de base. Des fonctionnalités étendues ne seraient intégrées dans les réseaux que dans une deuxième ou une troisième étape.

La figure 12 présente un classement possible en fonctionnalités de base et en fonctionnalités étendues. Elle montre la contribution des fonctionnalités aux utilités des réseaux intelligents déjà identifiés (chapitre 4). Cependant, la classification comme fonctionnalité de base dans le cadre de la Feuille de route ne signifie pas pour autant que des solutions techniques destinées à réaliser cette fonctionnalité seront fondamentalement imputables ni qu'une telle fonctionnalité doit exister dans les réseaux sous une «forme maximale». Une analyse adéquate devrait fournir, au cas par cas, la base de la conception et d'une mise en œuvre efficace.

Les fonctionnalités de base sont déduites de deux critères. Il s'agit premièrement de leur contribution directe à la solution des défis identifiés (chapitre 3). De telles fonctionnalités de base tendent à receler une utilité économique élevée (chapitre 4). Deuxièmement, la nécessité fondamentale de réaliser des fonctionnalités étendues peut transformer celle-ci en une fonctionnalité de base, qui sera alors assimilée ci-après à une utilité indirecte. Cette utilité est représentée qualitativement dans la figure 12.



			Fonctionnalité de base	Fonctionnalité étendue	Contribution à l'utilité				
Légende:					Compensation de l'injection stochastique	Réduction du / substitution au développement conventionnel du réseau	Gains d'efficacité inhérents à l'exploitation/la planification du réseau	Inclinations à optimiser le comportement de consommation	Encouragement de la concurrence
Catégorie de fonction "Informations"	A1	Informations sur les éléments actifs du réseau			↑	↑	↑	→	→
	A2	Informations sur l'état du réseau			↑	↑	↑	↗	→
	A3	Informations sur la production/consommation pour les gestionnaires de réseau			↑	↑	↑	→	→
	A4	Informations sur la production/consommation pour les auteurs d'injection ou de soutirage			↑	→	↗	↑	↑
Catégorie de fonction "Stabilité du réseau", "Pilotage du système" et "Qualité de l'approvisionnement"	B1	Pilotage du flux de puissance			↗	↑	↗	→	→
	B2	Pilotage de la production, du stockage et de la consommation			↑	↑	↑	→	→
	B3	Identification et réduction des pertes techniques			→	↑	↑	→	→
	B4	Protection adaptative et reconfiguration optimale du réseau après défauts			→	↑	↑	→	→
	B5	Possibilité de fournir des prestations-système individuelles			↑	↑	↗	→	↗
	B6	Cybersécurité et solutions de secours en cas de perte des fonctions TIC			→	→	→	→	→
Catégorie de fonction "Planification de l'exploitation" et "Planification du réseau"	C1	Meilleure base d'information pour planifier l'exploitation des éléments du réseau			→	↑	↑	→	→
	C2	Modèles prévisionnels pour améliorer l'emploi des infrastructures de réseau			→	↑	↑	→	→
	C3	Intégration de la flexibilité temporelle pour optimiser le développement du réseau			→	↑	↗	→	→
Catégorie de fonction "Marché, consommateurs"	D1	Large participation au marché des consommateurs et des producteurs			↗	→	→	↑	↑
	D2	Solutions visant à influencer le comportement de consommation			↑	↑	→	↑	↗
	D3	Simplification du changement de client			→	→	→	↗	↑
	D4	Interface entre le réseau et l'automatisation des bâtiments			↗	→	→	↑	↗
	D5	Possibilité de marchés locaux de l'électricité			↑	→	→	→	→

Figure 12 Classement des fonctionnalités des réseaux intelligents en fonctionnalités de base et en fonctionnalités étendues.

La classification de toutes les fonctionnalités de la catégorie A comme fonctionnalités de base se justifie par une utilité forte, mais indirecte, car elles revêtent une importance fondamentale pour le développement d'autres fonctionnalités. Tous les pilotages dans le domaine du réseau ou dans un environnement commercial nécessitent des informations adaptées. La mise à disposition de ces informations permet par exemple de détecter les mesures nécessaires dans le réseau électrique et de procéder aux réglages sélectifs correspondants. Ces informations préparent aussi le terrain aux solutions visant à modifier le comportement de consommation.

Trois fonctionnalités de la catégorie B peuvent être classées comme fonctionnalités de base, parce qu'elles fournissent une contribution directe pour lever les défis que représente l'injection décentralisée et fluctuante (B2, B5) ou qu'elles apportent une importante contribution à la sécurité du réseau électrique (B6). Elles sont étroitement liées à la catégorie A, qui permet ou améliore la sélectivité des interventions. La fonctionnalité B6 est en particulier liée à un approvisionnement de qualité constante et bonne. Dans une certaine mesure, elle garantit la poursuite de l'exploitation du réseau, le cas échéant à un niveau réduite, même si les fonctionnalités de la catégorie A ou celles des TIC font défaut. On peut considérer que les fonctionnalités étendues de la catégorie B se situent en aval, parce qu'elles contribuent de manière plutôt indirecte à résoudre les défis posés. C'est pourquoi il faut partir du principe que ces



fonctionnalités seront développées ultérieurement. Elles aussi sont liées à plus d'un titre aux fonctionnalités de base de la catégorie A. Quant aux fonctionnalités de la catégorie C, elles sont plutôt de moindre utilité. Mentionnons en particulier la fonctionnalité C1, qui pourrait très vraisemblablement se développer avec les fonctionnalités des catégories A et B.

Les fonctionnalités de base de la catégorie D sont à considérer dans le contexte d'une ouverture complète du marché en Suisse, d'une intégration croissante des sources d'énergie décentralisées dans le marché et d'une efficacité électrique accrue. On peut voir la fonctionnalité D1 comme une fonctionnalité transversale, qui permet aux acteurs de participer au marché tout en visant une qualité d'approvisionnement élevée. Dans un marché de l'électricité qui prévoit aussi la commercialisation des nouvelles énergies renouvelables, il s'agit là d'une contribution fondamentale du réseau. Cette fonctionnalité est étroitement liée aux fonctionnalités de la catégorie A et à la fonctionnalité B1. Les fonctionnalités D2 et D3 visent à activer les consommateurs du marché de l'électricité et à accroître l'efficacité énergétique. On relève un besoin de coordination entre les fonctionnalités des catégories B et D, car les fonctionnalités de la catégorie D sont utilisées surtout en fonction du marché et moins en fonction du réseau, de sorte que des intérêts contradictoires peuvent exister selon les circonstances.

En bref

- Les fonctionnalités des réseaux intelligents se répartissent en fonctionnalités de base et en fonctionnalités étendues.
- Les fonctionnalités de base se définissent par leur contribution directe à la résolution des défis identifiés dans le réseau ou par leur nécessité fondamentale pour développer des fonctionnalités étendues qui reposent sur elles. La réalisation des fonctionnalités de base transforment un réseau conventionnel en réseau intelligent.
- Les fonctionnalités de base des réseaux intelligents comprennent:
 - la mise à disposition d'informations sur les éléments actifs du réseau, sur les éléments passifs du réseau (état du réseau), sur la production et la consommation à l'attention des gestionnaires de réseau et sur la production et la consommation à l'attention des producteurs et des consommateurs;
 - le pilotage de la production, de la consommation et du stockage pour le réseau; la possibilité de services-système individuels; la cyber-sécurité et d'éventuelles solutions d'urgence;
 - une large participation des consommateurs et des producteurs; des solutions pour influencer le comportement des consommateurs et la facilitation du changement de client final.
- L'utilisation de nouvelles technologies, l'élaboration et la concrétisation de standards ou d'adaptations réglementaires doivent être axées en premier lieu sur les fonctionnalités de base.



10 Technologies dans les réseaux intelligents

Nous décrivons ci-après des technologies, avec leur mode de fonctionnement, qui sont nécessaires à la réalisation des fonctionnalités³³. Les technologies permettant de réaliser les fonctionnalités décrites ont des propriétés très disparates. Il s'agit de développements techniques de solutions existantes, d'alternatives à certains composants du système, d'équipements de communication et de pilotage partiellement à l'échelle du système, et en partie de concepts d'aménagement et d'exploitation des réseaux actuels et nouveaux. C'est pourquoi ces technologies fonctionnent différemment et poursuivent des buts totalement ou partiellement distincts.

Délimitation des modes de fonctionnement et brève description des technologies des réseaux intelligents

Pour mieux comprendre les modes de fonctionnement des diverses technologies, il est possible de les délimiter adéquatement les unes des autres pour mieux distinguer comment elles fonctionnent. Cette démarche sera ensuite également utile pour montrer les interactions et les potentiels de substitution. La figure 13 illustre une telle délimitation des technologies des réseaux intelligents. Le point de départ consiste en des mesures de politique énergétique. Dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050, il s'agit surtout de la *restructuration de la production électrique* et de la *réduction de la consommation d'énergie*. Parmi les autres mesures dans ce domaine, citons encore l'accès aux marchés internationaux de l'électricité, un raccordement suffisant au réseau électrique international et une intensification de la recherche dans le domaine de l'énergie. Certains défis et, par conséquent, certains domaines d'action découlent des mesures de politique énergétique (cf. chapitre 3). Ces domaines d'action comprennent le *réseau électrique*, le maintien du *bilan du système* (c'est-à-dire l'équilibre entre les injections et les soutirages), les *technologies de l'information et de la communication (TIC)* et les *incitations à réduire la consommation électrique*.

³³ Une description détaillée des fonctions et de l'utilité de toutes les technologies, y compris un grand nombre de références, se trouve dans: «Zustandsanalyse und Entwicklungsbedarf von Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (Consentec GmbH, 2013).

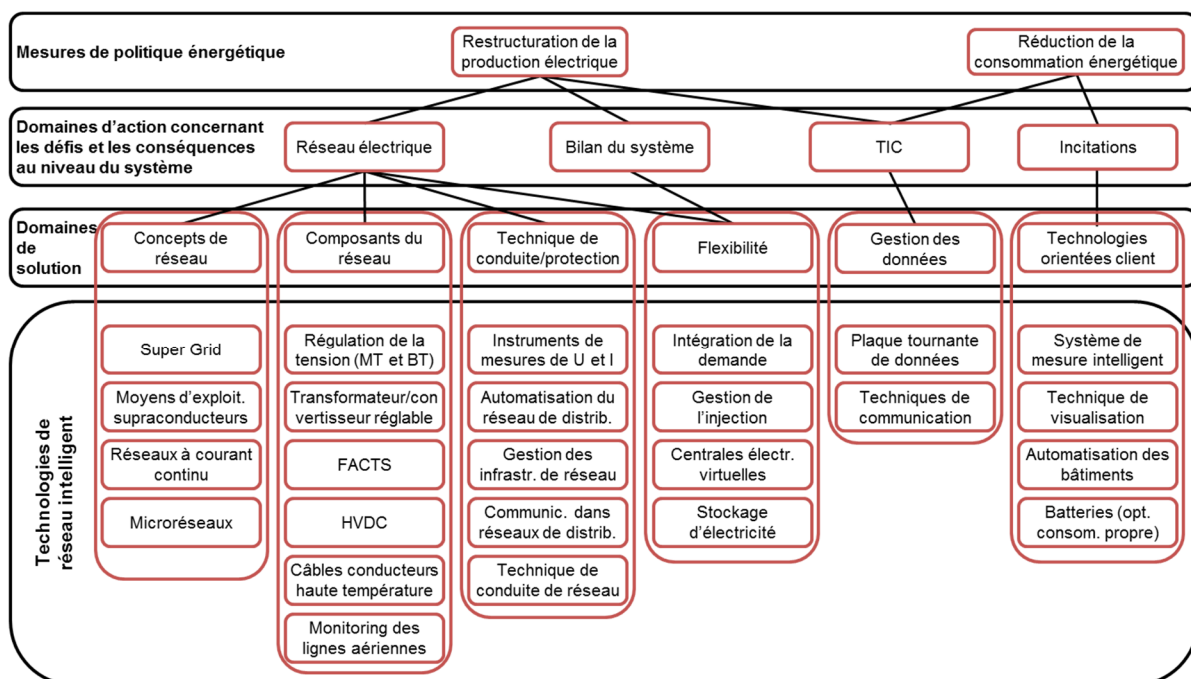


Figure 13 Portefeuille des technologies des réseaux intelligents pour la Suisse, délimitées selon les domaines des défis concernés.

Le domaine des TIC est introduit en l'occurrence comme un nouveau domaine d'action. Il joue un rôle important dans les réseaux intelligents. En raison de la restructuration recherchée de la production électrique, le nombre d'installations de production augmente massivement. Il en résulte une forte croissance des besoins de coordination de ces installations, et ainsi du besoin de garantir l'affectation optimale de toutes les ressources. En outre, un équipement supplémentaire en TIC est une condition pour certains concepts visant la réduction de la consommation d'électricité.

Six domaines de solution au total, comprenant de nombreuses technologies, sont identifiés pour les domaines d'action. Les technologies concernées peuvent être innovantes ou plutôt conventionnelles. Par *concepts de réseau*, il faut entendre fondamentalement, dans le domaine des réseaux intelligents, des approches nouvelles ou complémentaires dans la conception des réseaux. Celle-ci couvre notamment un réseau de tension supérieure (Super Grid), situé au-dessus de l'actuel réseau de transport, qui peut reposer sur une technologie de transport à courant alternatif ou continu et qui peut également contenir divers concepts de pilotage. Elle couvre également l'utilisation de câbles supraconducteurs et de transformateurs visant à transporter le courant (presque) sans perte et éventuellement à économiser des niveaux de réseau. Un changement complet, de l'actuelle technique à courant alternatif en un approvisionnement en courant continu, est en principe envisageable. Cette conception englobe aussi les micro-réseaux dans le domaine de la distribution, dans lesquels diverses ressources interagissent de manière à ce que ces parties de réseaux soient capables de fonctionner, du moins temporairement, indépendamment de l'ensemble du système d'approvisionnement en électricité.

Les technologies qui, pour l'essentiel, servent au remplacement de composants existants du réseau électrique par des composants d'un nouveau type, dotés de meilleures propriétés et/ou de possibilités de fonction supplémentaires, sont regroupées dans le domaine de solution *Composants du réseau*. En font partie les technologies destinées à *régler la tension dans les réseaux de basse et de moyenne tensions*, telles que les transformateurs réglés en tension ou les *convertisseurs des installations de production* elles-mêmes. Ces équipements adaptent la tension sélectivement dans des zones de taille de plus ou moins grande taille de manière à ce qu'elles répondent de nouveau aux normes techniques,



lorsque les valeurs limites ne sont plus respectées en raison de l'injection décentralisée. Les éléments de pilotage basés sur l'électronique de puissance (FACTS) offrent une meilleure gestion des flux de puissance et/ou de la tension grâce au pilotage de la résistance électrique³⁴. Dans le domaine des technologies des lignes et câbles, le domaine de solution comprend le recours à la transmission d'électricité à haute tension en courant continu (HVDC), discuté en lien étroit avec le concept de *Super Grid*, une technologie qui permet de transporter du courant sur de longues distances à moindres pertes. Des technologies telles que le *monitoring des lignes aériennes*, qui permet la surveillance de la charge thermique des lignes, ou le recours à des *câbles conducteurs résistant aux températures élevées*, qui permettent aux lignes aériennes de supporter durablement un flux électrique accru, peuvent être utilisées pour augmenter la capacité de transport des lignes.

Les technologies qui contribuent, dans le cadre de la gestion de l'exploitation du réseau, à une meilleure surveillance et à un pilotage amélioré de l'état du système, et qui sont nécessaires dans certains cas à l'exploitation des composants de réseau cités plus haut, sont regroupées dans le domaine de solution *Technique de conduite*. Il s'agit en l'occurrence de composants des *capteurs* (mesure de la tension et du courant), de la gestion (à distance) des possibilités de couplage (*automatisation du réseau de distribution*) et d'une *gestion des ressources d'exploitation*. Les *possibilités de communication* des réseaux de distribution servent à réaliser les fonctions de surveillance et de réglage, tout en soutenant la *technique de conduite du réseau* utilisée à différents niveaux (unité fonctionnelle, station, poste de commande).

Des *options de flexibilité de nouveaux types* peuvent être surtout attribuées au domaine d'action *Bilan du système*. En font partie des possibilités d'améliorer l'adaptation de la consommation et de la production, telles que l'intégration de la demande (*demand side integration*), qui couvre le pilotage ciblé à distance des installations utilisatrices et les incitations à l'adaptation autonome de la consommation. La *gestion de l'injection* couvre le pilotage / réglage de la production dans les installations utilisant les énergies renouvelables. Dans ce domaine de solutions se trouvent également les *Centrales électriques virtuelles*, lesquelles agrègent et pilotent en fonction du marché nombre de petites installations de production distribuées sur le territoire. Il est possible de combiner des centrales électriques virtuelles, la gestion de l'injection et la gestion du stockage. Le recours à au *stockage d'électricité décentralisé*, utile au bilan du système, peut contribuer de diverses manières à ajuster de manière optimale la production et la consommation, par exemple dans le cadre du réglage de la fréquence ou en optimisant l'affectation des installations de production. Outre leur utilité pour maintenir le bilan du système, les technologies décrites dans ce domaine de solution peuvent aussi être appliquées en faveur du réseau, c'est-à-dire pour éliminer les congestions thermiques du réseau et/ou pour y maintenir la tension.

Le domaine de solution *Gestion des données* réunit des solutions technologiques et conceptuelles. Les technologies utiles à la mise en œuvre physique de la transmission des données (*techniques de communication*) comprennent une multitude de possibilités dont la mise en œuvre, éventuellement combinée, dépend fortement du cas particulier considéré. La conception de la nécessaire transmission des données doit tenir compte de la couverture à long terme de la Suisse en réseaux de communication à très haut débit.³⁵ A long terme, il est prévisible que nombre des technologies actuellement disponibles dans le domaine de la communication viennent compléter la couverture assurée par la technologie à très haut débit. La gestion des données comprend aussi des technologies utiles à la gestion des données saisies et transmises. La gestion des données peut en principe être organisée de manière décentralisée ou plus ou moins centralisée. La notion de *plateforme de données* regroupe ces possibilités.

³⁴ On entend en l'occurrence la résistance complexe (ou impédance), soit la résistance active, également appelée résistance, et la résistance réactive ou réactance.

³⁵ Next Generation Access; <http://www.bakom.admin.ch/themen/technologie/01397/01542/index.html?lang=de>; l'Office fédéral de la communication (OFCOM) et la Commission fédérale de la communication (ComCom) travaillent depuis 2008 déjà à d'importantes problématiques dans ce domaine.



En plus des TIC, d'autres technologies sont nécessaires pour réduire la consommation d'énergie. Elles sont énumérées dans le domaine de solution *Technologies chez le client*. La mesure différenciée de la consommation électrique par des *systèmes de mesure intelligents*, sa *visualisation* et une *automatisation des bâtiments* croissante servent notamment à mettre en œuvre les mesures d'efficacité. De surcroît, ces technologies peuvent constituer la base de l'exploitabilité des flexibilités identifiées chez le client dans le cadre de l'*intégration de la demande* (cf. ci-dessus *demand side integration*) ou dans le cadre d'un marché des services. Le recours à des stocks d'électricité décentralisés (p. ex. batteries ou véhicules électriques) en vue d'*optimiser la consommation propre* joue un rôle particulier. Comparativement aux autres technologies, le stockage décentralisé concoure indirectement à réduire la consommation, puisque l'énergie peut être consommée là où elle est produite. Les pertes causées par le transport de l'énergie issue d'une production décentralisée sur de longues distances peuvent être réduites et les coûts baissent pour le consommateur. Cette technologie sert donc directement le client, qui peut optimiser son utilisation de l'électricité produite par ses propres installations. Le recours au stockage d'électricité permet donc de poursuivre trois stratégies: la première en faveur du réseau, la deuxième en faveur du marché et la troisième en faveur du client. Ces stratégies d'utilisation peuvent se combiner l'une avec l'autre.

Interactions et potentiels de substitution des technologies de réseau intelligent

Il est utile d'observer les interdépendances des technologies. En effet, certains effets ou fonctionnalités visés ne sont produits que par la combinaison de plusieurs technologies. La figure 14 présente, à titre d'exemple, les possibilités de substitution et les principales interactions. Les technologies du réseau intelligent font face aux solutions conventionnelles telles que le développement de réseau et les options conventionnelles de flexibilité (p. ex. centrales électriques de pompage-turbinage ou centrales électriques à accumulation). Il faut décider au cas par cas si une technologie conventionnelle ou une technologie de réseau intelligent est la plus adéquate. Il est donc probable que la voie appropriée pour relever les défis à venir passera par une combinaison d'un développement conventionnel de réseau avec des technologies de réseau intelligent³⁶.

³⁶ Cf. chapitre 13 de la Feuille de route, qui analyse les coûts et les aspects d'utilité de certaines technologies choisies.

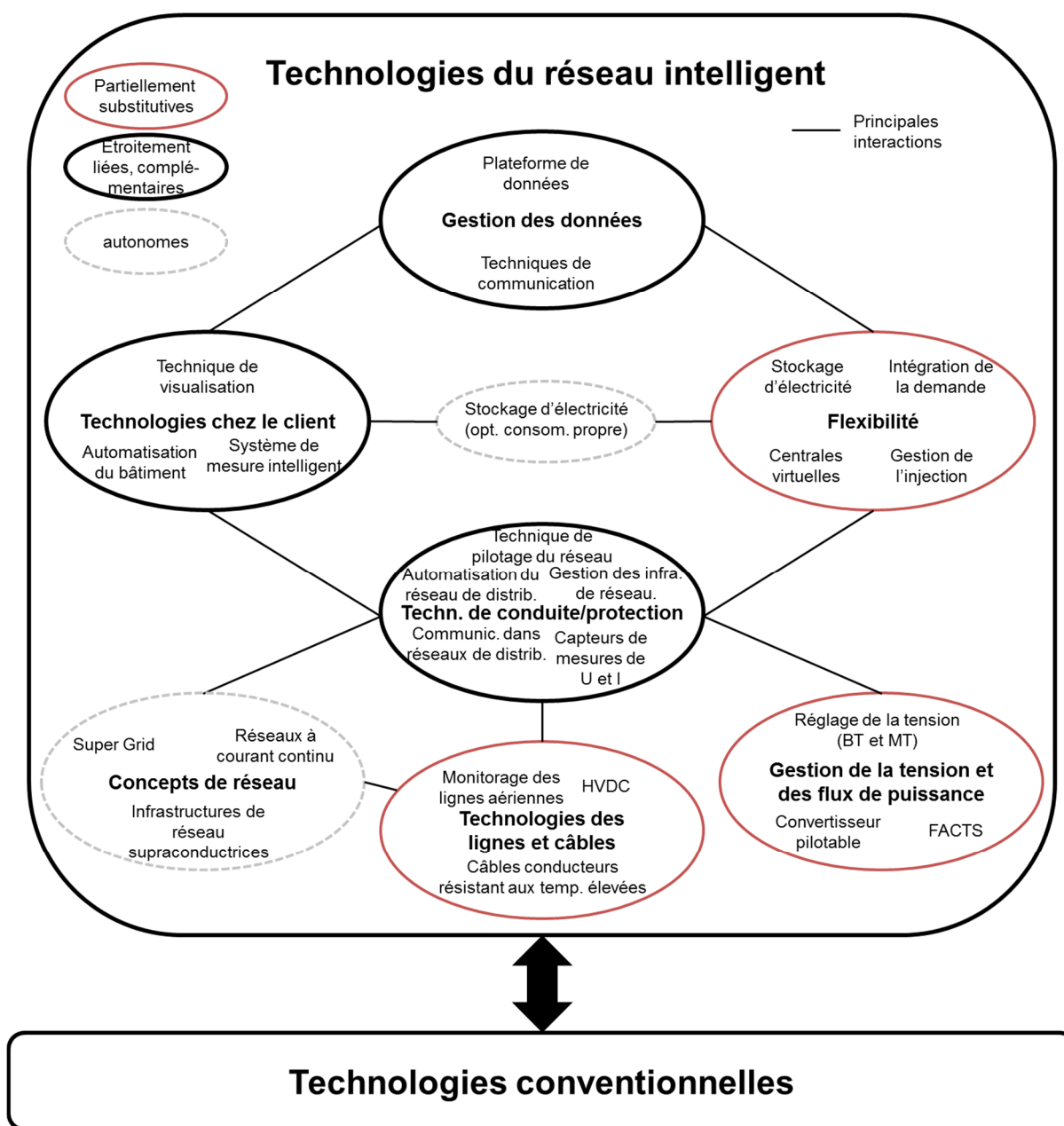


Figure 14 Principales interactions et effets de substitution des technologies dans un réseau intelligent suisse.

Les domaines de solution sont représentés avec les technologies s'y rapportant, le domaine de solution *Composants du réseau* étant toutefois subdivisé, en raison du mode de fonctionnement de certaines technologies, en *Technologies des lignes et câbles* et technologies relatives au *Pilotage de la tension et des flux de puissance*. Les technologies de la sous-catégorie *Technologies des lignes et câbles* se prêtent surtout au transport efficace de l'énergie³⁷, tandis que les autres sont plutôt adéquates pour les opérations de pilotage.

³⁷ La transmission HVDC peut elle aussi fournir une contribution à la gestion de la tension et des flux de puissance, mais cette fonctionnalité est négligée en l'occurrence.



Effets complémentaires et de substitution

La *technique de conduite*, la *gestion des données* et les *technologies chez le client* contiennent certaines technologies qui se complètent mutuellement (bordure noire). Par technique de commande et gestion des données, il faut entendre en particulier les diverses techniques de communication, qui interagissent pour relever les données, et une plateforme de données adéquatement conçue pour traiter, mettre à disposition et éventuellement représenter les données en fonction des besoins. La technique de conduite est une expression générique couvrant les technologies prévues surtout pour l'exploitation du réseau. Les capteurs et les éléments de réglage peuvent être mis en réseau par les TIC. Des interventions sélectives ciblées sur leurs interactions sont possibles en observant comme il se doit les réseaux électriques. On utilise à cette fin des algorithmes dans le cadre d'une automatisation du réseau de distribution. Les *technologies chez le client* ne sont pas nécessairement complémentaires, mais elles sont étroitement liées les unes aux autres. S'agissant de l'automatisation des bâtiments, diverses méthodes de visualisation sont envisageables, par exemple pour représenter la consommation énergétique. Une automatisation de bâtiment peut être en relation avec les systèmes de mesure intelligents

Les technologies entourées d'une ligne rouge peuvent se substituer l'une à l'autre. Par exemple, un réglage de tension dans le réseau peut en principe être obtenu par les convertisseurs pilotables des installations à énergie renouvelable, par des appareils FACTS ou par des transformateurs réglables. On observe aussi divers effets de substitution dans le domaine de solution *Flexibilité*. C'est ainsi que le bilan du système peut être maintenu par la gestion du stockage d'électricité, des consommateurs ou d'unités de production distribuées. En raison du couplage physique via le réseau, ces technologies ont chacune un effet sur le réseau, qui par exemple peut être utilisé en simultanément avec les éléments de réglage de la tension. Les technologies du domaine de solution *Flexibilité* peuvent donc être affectées non seulement aux fins du bilan du système, mais aussi simultanément en faveur du réseau. Compte tenu de ces effets de substitution, il faut, pour prendre une décision d'affectation optimale, soupeser au cas par cas les avantages et les inconvénients des technologies avant d'y recourir éventuellement.

La figure 14 met encore en exergue le rôle particulier du *stockage de l'électricité* (p. ex. *batteries ou véhicules électriques*) dans *l'optimisation de la consommation propre*, en présentant cette technologie en dehors du domaine de solution *Technologies chez le client*. Selon les modalités, le stockage de l'électricité peut s'apparenter aux technologies chez le client ou offrir une option de flexibilité. A son tour, celle-ci peut être affectée plutôt pour le réseau ou plutôt pour le bilan du système. Si elle est intégrée au point de s'apparenter également aux options de flexibilité, des potentiels de substitution apparaissent envers les technologies du *stockage d'électricité* ou de *l'intégration de la demande*. Les concepts de réseau, à l'instar du stockage dans la réglementation de la consommation propre, ne sont qualifiés ni de complémentaires ni de substitutifs, car ils peuvent coexister.

Interactions des technologies des réseaux intelligents

Les technologies des divers domaines de solution peuvent, ou doivent même pour certaines, être connectés l'une à l'autre dans une certaine mesure. Un maillage du réseau tend à accroître leurs effets. Ces interactions sont représentées grossièrement par les lignes noires. Les *techniques de communication*, ou à titre de remplacement la *technique de conduite* et la *gestion des données*, sont placées au centre. Les technologies visant davantage de *flexibilité* dans le système d'approvisionnement en électricité (en particulier dans le marché de l'électricité) et dans le réseau de même que les *technologies chez le client* sont étroitement liées à la *gestion des données* et à la technique de conduite. Tant les technologies chez le client que les technologies visant davantage de flexibilité doivent être gérées, sur le plan de la technique des données, de manière à être utilisables pour les services dans le réseau électrique et pour des interventions basées sur le marché. C'est ainsi que les données de consommation d'énergie mesurées par les compteurs intelligents doivent être mis à la disposition des fournisseurs aux



fins de décompte. La technique de conduite joue un rôle important dans l'intégration de ces technologies. Comme elles sont bien pilotables, les technologies concernées sont toutes, d'une certaine manière, utilisables pour le réseau. A cet effet, elles doivent être conséquemment rendues accessibles pour un pilotage en faveur du réseau, ce qui permet une intégration correspondante dans la technique de conduite. En outre, il existe d'étroites interactions entre la *technique de commande*, les *concepts de réseau*, les *technologies des lignes et câbles* et la *gestion de la tension et des flux de puissance*. Afin que les technologies de ces domaines de solution soient utilisées effectivement, il importe qu'elles soient raccordées et automatisées par les techniques de communication. Seul un tel raccordement permet de procéder à des interventions sélectives et ciblées, et souvent de mieux exploiter les potentiels de ces technologies. Par exemple, sur la base des valeurs correspondantes mesurées dans le réseau, des convertisseurs réglables ou des transformateurs réglables en tension peuvent être utilisés en cas de dépassement des valeurs normales de tension, afin d'y remédier rapidement.

L'*optimisation de la consommation propre* grâce au *stockage d'électricité* joue également un rôle particulier. Des relations aux technologies des catégories *Technique de conduite* et/ou *Gestion des données*, par exemple pour la transmission des informations requises concernant l'état, les signaux de pilotage et/ou les signaux de prix, sont nécessaires pour qu'elles puissent être utilisées à d'autres fins, par exemple pour la mise à disposition de flexibilité.

En bref

- Face aux défis futurs, quatre domaines d'action pour les solutions sont à distinguer: le réseau électrique, le bilan du système, les TIC et les incitations à une efficacité énergétique accrue.
- Les domaines de solution s'articulent en six catégories: concepts de réseau, composants de réseau, technique de conduite/protection, flexibilité, gestion des données et incitations à une efficacité énergétique accrue. Des technologies peuvent être attribuées à ces catégories.
- Les technologies qui contribuent à la réalisation des réseaux intelligents se distinguent fortement quant à leurs formes de mise en œuvre et leurs modes de fonctionnement. Il peut s'agir, selon les cas, du développement de technologies existantes, d'alternatives à certains composants du système, d'équipements déployés à l'échelle du système, de nouveaux concepts d'exploitation de réseaux, existants ou nouveaux.
- Lors de la réalisation des solutions, il faut tenir compte des interactions et des effets de substitution qui prévalent entre les technologies.



11 Rapport entre les fonctionnalités et les technologies; besoins de développement

Sur la base de leurs modes de fonctionnement³⁸ qui ont été mis en évidence, les diverses technologies peuvent être attribuées à des catégories de fonctionnement et à des fonctionnalités³⁹. Notons que chaque technologie n'est pas appelée à fournir une contribution équivalente à la réalisation d'une fonctionnalité dans un réseau intelligent. La figure 15 présente un classement approximatif des technologies et de leur contribution à la réalisation des fonctionnalités des quatre catégories. Le degré de contribution des diverses technologies est indiqué par une couleur. Toutefois, la figure 15 ne doit pas être interprétée comme si toutes les technologies devaient contribuer à raison de leur maximum pour qu'une fonctionnalité se réalise. Il s'agit plutôt de procéder à des pesées pour évaluer la composition d'une solution technique au cas par cas. Dans nombre de cas, la variante de base des technologies suffit dans un premier temps à la réalisation de la fonctionnalité. Il faut toutefois veiller aux interactions et aux effets de substitution.

La figure 15 permet de tirer plusieurs conclusions. En comparaison des autres technologies, la contribution des nouveaux concepts de réseau aux fonctionnalités des réseaux intelligents est assez limitée. Cette situation provient de ce que les défis du réseau électrique se posent surtout aux niveaux inférieurs du réseau. Pourtant, le concept transfrontalier du Super Grid fournit une contribution, qu'il ne faudrait pas sous-estimer, à la sécurité d'approvisionnement et à l'intégration des sources d'énergie renouvelables situées à grande distance des centres de consommation. Les technologies du domaine de solution *Composants du réseau* fournissent une importante contribution à la réalisation de la catégorie de fonction comprenant *la stabilité du réseau, le pilotage du système et la qualité de l'approvisionnement*. Elles soutiennent en outre un marché de l'électricité parce qu'elles permettent d'intervenir dans les processus de marché visant à garantir la qualité de l'approvisionnement et l'utilisation optimale des infrastructures existantes. A ce sujet, citons notamment les éléments de réglage de la tension, les convertisseurs pilotables et les appareils FACTS.

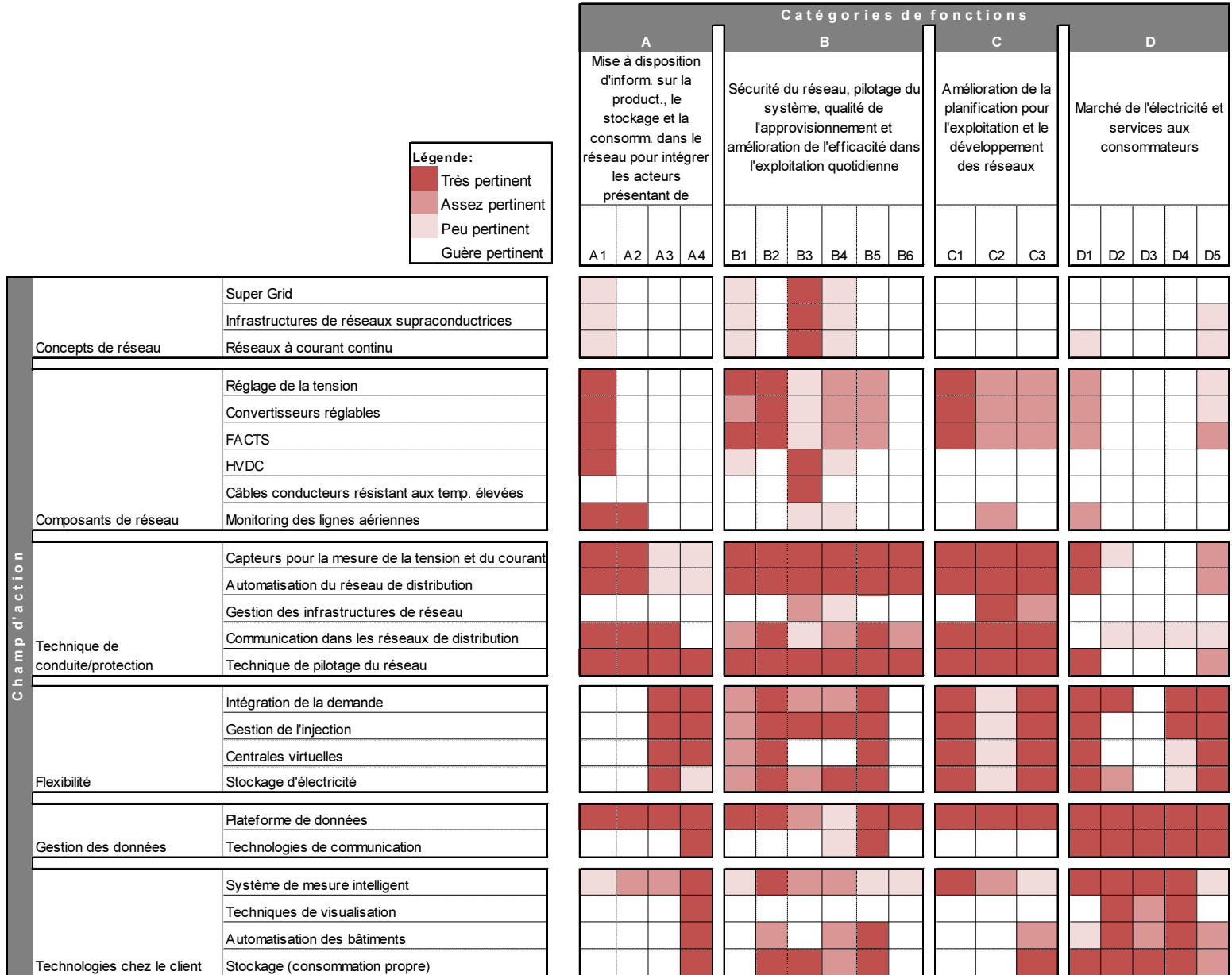
La figure illustre une fois de plus que les capteurs utiles à la mesure de la tension et du courant jouent un rôle important (technique de conduite du réseau). Les technologies de la communication concourent elles aussi, sous diverse formes et conjointement à la gestion des données et à l'automatisation progressive du réseau de distribution, à la réalisation d'une multitude de fonctionnalités. En outre, les technologies de la communication soutiennent la mise à disposition des services aux consommateurs. Une gestion des données adéquatement conçue garantit le traitement des données relevées. Leur mise à disposition en temps voulu et axée sur les besoins est une clé de l'exploitation de nombreuses technologies et, ainsi, de la condition de la réalisation de nombreuses fonctionnalités. Les systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final apportent une grande contribution à la mise à disposition si importante de ces données, et ils jouent un rôle important dans la mise en œuvre de nombreuses fonctionnalités. Dans le domaine des marchés de l'électricité et des services, en particulier, ils peuvent déployer une grande utilité, par exemple grâce à la mise à disposition simple des données et à la visualisation qui peut en découler.

³⁸ Cf. «Zustandsanalyse und Entwicklungsbedarf von Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (Consentec GmbH, 2013).

³⁹ Cf. chapitre 9 de la Feuille de route.



Figure 15 Contribution des technologies à la réalisation des fonctionnalités des réseaux intelligents.



Légende:
 Très pertinent
 Assez pertinent
 Peu pertinent
 Guère pertinent

Champ d'action



Utilisation des technologies et besoins de développement

Les composants techniques sont d'ores et déjà disponibles ou du moins au stade des essais pour la plupart des technologies. Mais de nombreux concepts d'utilisation et de pilotage sont encore en développement ou disponibles uniquement en version propriétaire. Il faut encore élaborer des normes adéquates pour certains domaines, afin d'assurer l'exploitation sûre et efficace des technologies. De ce fait, on ne trouve encore souvent sur le marché aucune solution standard qui offre une interopérabilité avec les autres solutions existantes. La rentabilité de telles technologies face aux solutions conventionnelles, qui est au cas par cas souvent encore incertaine, tend cependant à être atteinte⁴⁰. L'expérience quant à l'exploitation de telles solutions, nouvelles et innovantes, fait donc défaut. On relève d'autres obstacles à la diffusion de l'utilisation de solutions innovantes en raison de conditions réglementaires cadre insuffisamment claires ou inexistantes, par exemple dans le domaine du stockage de l'électricité décentralisé⁴¹. Eu égard à ces obstacles, il n'est pas encore possible de recourir immédiatement aux technologies citées. Mais on peut admettre que, pour une large part de celles-ci, la recherche, le développement et les projets pilotes permettront d'atteindre dans les cinq à dix ans le stade technologique de maturité et d'expérience autorisant leur utilisation pratique, voire l'établissement de certaines technologies comme solutions standard. Une certaine rentabilité de ces solutions face aux solutions conventionnelles devrait donc se dessiner.

La figure 16 présente des considérations quant à la disponibilité et au degré de maturité des technologies et à leur intégration dans les réseaux électriques. L'évolution effective pourra s'en écarter sensiblement selon les connaissances qui restent à acquérir d'ici là. Les plages grises indiquent des phases durant lesquelles la technologie visée, bien qu'en principe disponible sur le marché, se trouve toutefois encore aux premiers stades de maturité. Des solutions propriétaires sont alors disponibles, alors que les standardisations ne sont pas encore achevées. Les périodes marquées en rouge clair désignent des phases transitoires. Les technologies sont alors mises en œuvre sporadiquement dans les réseaux, typiquement dans des projets de démonstration et des projets phares⁴². De premières expériences sont obtenues avec des solutions nouvelles et en principe technologiquement disponibles. La couleur rouge indique une disponibilité complète sur le marché, une rentabilité avérée dans certains cas et une large utilisation dans le réseau. Etablies comme solutions possibles courantes, les technologies sont intégrées et exploitées dans le réseau électrique en toute fiabilité. L'expérience accumulée est suffisante.

Il apparaît que presque toutes les technologies de réseau intelligent sont actuellement techniquement disponibles. Les technologies des domaines de solution *Composants du réseau*, *Technique de conduite* (si l'on se limite aux réseaux à moyenne tension), *Flexibilité*⁴³, *Gestion des données* et *Technologies chez le client* pourraient s'établir à plus brefs délais comme des solutions standard. Les systèmes de mesure intelligents et nombre des technologies qui leur sont liées sont actuellement disponibles sur le

⁴⁰ Cf. chapitre 13 et l'étude conduite sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie «Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid». (BET Dynamo Suisse, 2014).

⁴¹ Cf. chapitre 14 de la Feuille de route, où les domaines d'action réglementaires pour les réseaux intelligents sont expliqués plus précisément.

⁴² Aramis, la banque de données sur les activités de recherche de l'administration fédérale suisse, et le programme Cleantech de l'Office fédéral de l'énergie fournissent un aperçu des projets pilotes, des projets de démonstration et des projets phares en cours. Aramis. <http://www.aramis.admin.ch/?Sprache=fr-CH>, <http://www.cleantech.admin.ch/index.html?lang=fr>

⁴³ Si les conditions technologiques sont réunies pour permettre une application dans le domaine du stockage de l'électricité, les technologies de stockage performantes, en particulier, comme les batteries lithium ion, resteront encore assez coûteuses dans les années à venir, bien que de fortes réductions de coûts soient anticipées pour les dix prochaines années. Cf. «Energiespeicher in der Schweiz; Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050» (Kema Consulting GmbH, 2013). En revanche, l'intégration de la demande se concrétise d'ores et déjà en Suisse dans le cadre de projets phares. Les agrégateurs regroupent de nombreuses charges flexibles et en font usage pour rendre des services utiles au réseau.



marché sous diverses modalités. Des études visant leur introduction sur l'ensemble du territoire et des propositions d'adaptations réglementaires sont disponibles⁴⁴.

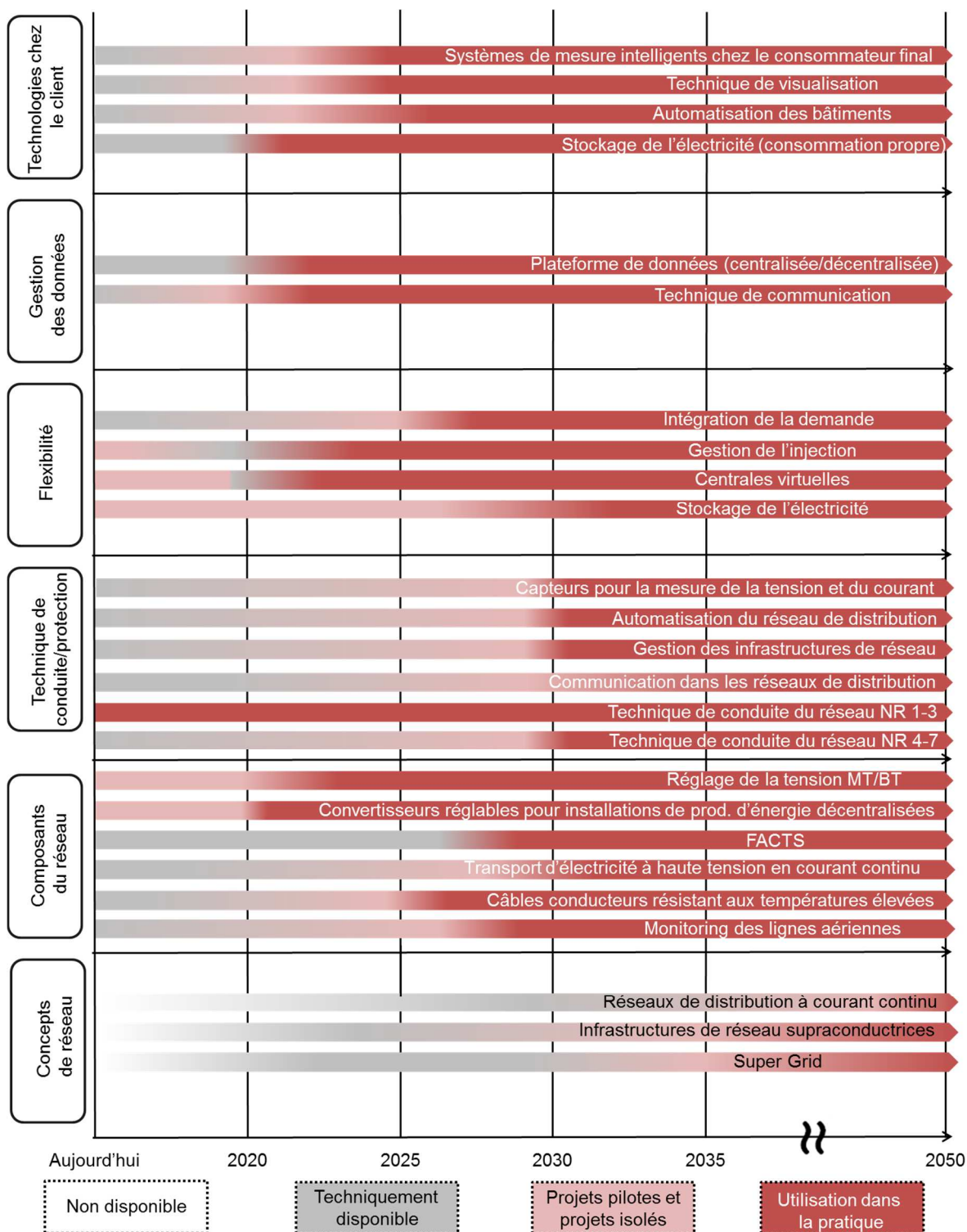


Figure 16 Disponibilités et application dans les réseaux des technologies de réseau intelligent.

⁴⁴ Cf. «Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse: exigences techniques minimales et modalités». (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2014).



Le domaine des composants de réseau comprend aussi nombre de solutions disponibles, mais pour lesquelles les expériences acquises dans le cadre de l'exploitation sont encore insuffisantes. Il manque souvent les standards nécessaires ou un cadre réglementaire adéquat. Les bases techniques nécessaires à une *plateforme de données* et aux possibilités offertes par la technique de conduite dans le réseau basse tension sont elles aussi d'ores et déjà disponibles. L'horizon de temps de leur introduction éventuelle est toutefois plus éloigné de quelques années que celui des technologies mentionnées plus haut. Il faut en chercher la raison dans les évaluations qu'exigent la conception concrète des processus et, fondamentalement, le bien-fondé de ces concepts sous l'angle de l'efficacité des coûts.

L'horizon de temps de la mise en œuvre des Super Grids est plus éloigné, notamment en raison des processus de planification et d'autorisation transfrontaliers qui sont nécessaires. Pourtant, les technologies requises sont en principe techniquement disponibles. Les Super Grids permettent le raccordement efficace de sources d'énergie renouvelables très éloignées et l'intégration croissante des marchés européens de l'énergie en éliminant les congestions physiques. Quant à l'utilisation des supraconducteurs et des nouvelles technologies de stockage, qui en sont actuellement encore à un stade initial de développement (p. ex. stockage d'hydrogène), l'horizon de temps de leur utilisation à grande échelle est lui aussi éloigné. Il faut prévoir, selon les estimations, un horizon de temps encore plus éloigné pour la mise en œuvre de réseaux à courant continu. Si telle ou telle estimation relève que des composants techniques nécessaires à certaines technologies sont d'ores et déjà techniquement disponibles, on ne saurait en déduire que les fabricants et les établissements de recherche n'ont pas de potentiel de développement ultérieur et qu'ils ne sont pas tenus d'agir. S'agissant de la technique de conduite du réseau, on pourrait envisager de l'associer à d'autres technologies. Des modèles, des algorithmes et des procédures d'analyse et d'optimisation assistées par ordinateur, capables de maîtriser la complexité de tels systèmes et, par exemple, de permettre une planification et une exploitation plus efficaces des réseaux, sont nécessaires à cet effet. Dans les cas de solutions propriétaires, il faut développer des concepts et des composants permettant d'élargir leur utilisation à des interfaces standardisées, dans un souci d'interopérabilité. Il en résulte, pour conclure, un vaste champ de solutions techniques et de connexions ou interactions correspondantes qui peuvent être analysées, réalisées et testées, par exemple dans le cadre de projets pilotes et de démonstration⁴⁵.

Potentiel de réalisation des fonctionnalités de base des réseaux intelligents

Une comparaison des fonctionnalités de base identifiées⁴⁶ et des possibilités offertes par les technologies montre l'importance que revêtent, pour la réalisation des premières, les capteurs des réseaux électriques, les systèmes de mesure intelligents, les technologies de communication, une plateforme de données conçue pertinemment et la technique de conduite du réseau. En principe, les technologies visées sont actuellement déjà disponibles à des stades de développement avancés. Elles contribuent à améliorer les possibilités d'observation et permettent ainsi la poursuite de l'automatisation du réseau de distribution, une gestion efficace de l'injection et l'exploitation effective de nouveaux composants actifs du réseau, par exemple les régulateurs de tension ou les onduleurs pilotables. Il est ainsi possible d'effectuer des interventions ciblées dans le réseau ou dans son exploitation. Il s'agit donc, à l'avenir, d'acquérir davantage d'expériences avec ces concepts d'exploitation de nature centralisée ou décentralisée et de les intégrer en conséquence, de plus en plus et selon les besoins, dans les réseaux. Quant aux fonctionnalités de base visant le soutien au marché de l'électricité et les nouveaux services aux consommateurs⁴⁷, il faut relever l'importance du stockage de l'électricité, des centrales virtuelles et de l'intégration de la demande, qui sont déjà disponibles. Au demeurant, les «technologies chez le client»

⁴⁵ Cf. <http://www.bfe.admin.ch/cleantech/index.html?lang=fr> et «Pilot- und Demonstrationsprogramm – Konzept» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013).

⁴⁶ Cf. chapitre 9 de la Feuille de route.

⁴⁷ Cf. catégorie de fonction D des réseaux intelligents, chapitre 9.



revêtent de l'importance pour ces fonctionnalités. Il reste en l'occurrence un potentiel de développement technologique, notamment lié à l'incitation des consommateurs à modifier leur comportement. Les systèmes de mesure intelligents offrent une très bonne base pour tester progressivement et pour intégrer ces technologies.

En bref

- Les diverses technologies contribuent dans des proportions différentes à la réalisation des nouvelles fonctionnalités des réseaux intelligents.
- Nombre de technologies existent déjà à un stade de développement ou sont actuellement testées dans le cadre de projets pilotes et de démonstration. D'autres, déjà disponibles sur le marché, ne sont que partiellement intégrées dans le réseau.
- Les capteurs utiles aux mesures de la tension et du courant, la technique de conduite du réseau, les systèmes de mesure intelligents et les techniques de communication permettent les fonctionnalités de base des réseaux intelligents.
- Les techniques de communication ne constituent toutefois pas une condition fondamentale pour la mise en œuvre des fonctionnalités de base. Les concepts décentralisés suffisent dans nombre de cas comme variante de base. Cependant, le maillage croissant des infrastructures de réseau et des concepts permet des gains d'efficacité supplémentaires.
- Les solutions et technologies organisées de manière décentralisée et sans grand besoin de technique de communication complètent les concepts centralisés.
- La rentabilité de certaines technologies est déjà avérée dans nombre de cas particuliers déterminés, mais elle est encore entachée de fortes incertitudes. Ces technologies font justement l'objet d'analyses approfondies dans la Feuille de route. Cependant, nombre de technologies ne sont pas encore rentables.
- Des conditions réglementaires cadre insuffisamment claires, ou leur absence, peuvent faire obstacle à l'application de solutions innovantes ou réduire leur rentabilité. La Feuille de route souligne l'importance de ménager des incitations à l'innovation dans les réseaux électriques et de veiller à des conditions-cadre claires permettant de nouvelles solutions.



12 Sécurité des données, protection des données et standards des réseaux intelligents

La mise en réseau de technologies par les TIC permet de faire apparaître plus efficacement les nouvelles fonctionnalités. Dans ce contexte, les modalités des TIC se définiront en fonction de la complexité de la réalisation des fonctionnalités. Certaines fonctionnalités peuvent aussi être réalisées simplement avec un apport réduit des TIC, par exemple de manière complètement décentralisée en se fondant sur des valeurs mesurées localement (tel est le cas avec un transformateur réglable). L'échange d'informations permet toutefois souvent d'améliorer l'action conjuguée des technologies et d'accroître leurs effets, tout en générant cependant un certain risque du point de vue de la protection des données et de la sécurité des systèmes. D'une part, en effet, on enregistre les données de consommateurs finaux dont les droits de la personnalité doivent être préservés. D'autre part, on échange des informations et des ordres de pilotage concernant l'exploitation du système d'approvisionnement en électricité qui peuvent être critiques pour la stabilité du système.

Des mesures organisationnelles et techniques doivent garantir, dans l'exploitation, la protection des données (au sens de la protection de données personnelles contre les abus) et la sécurité des données (au sens de la protection des données contre les pertes, les falsifications, les détériorations ou l'effacement). La protection des données implique une sécurité des données suffisante. Pour identifier les mesures nécessaires et leur calendrier dans les domaines de la sécurité et de la protection des données, il faut commencer par examiner quels rôles conduisent à des échanges de données et dans quels buts. A cet effet, des cas («use cases») sont modélisés sur la base des fonctionnalités délimitées l'une par rapport à l'autre⁴⁸. Dans ces cas, des rôles assumés par divers acteurs interagissent⁴⁹. L'attribution de rôles aux acteurs est dépendante de l'organisation du marché, et l'on y renonce dans le cadre de la Feuille de route.

Déduction et concrétisation des mesures nécessaires

Compte tenu des cas et des divers rôles, on déduit pour commencer une architecture de référence de réseau intelligent, conformément aux procédures de meilleure pratique («best practice») et en application des modèles d'architecture de réseau intelligent («Smart Grid Architecture Models», SGAM)⁵⁰. Les rôles peuvent être identifiés sur la base de la structure actuelle du marché. D'autres rôles ont été intégrés en tenant compte des développements actuels du marché (p. ex. un gestionnaire de données ou un prestataire d'automatisation des bâtiments). Notons que l'agrégateur mérite un traitement distinct. Il s'agit d'un nouvel acteur susceptible d'assumer plusieurs rôles. La figure 17 fournit un aperçu des rôles considérés.

L'architecture de référence du réseau intelligent relie la chaîne de création de valeur traditionnelle élargie – production, distribution et consommation – aux composants nécessaires aux catégories de fonction. Il est ainsi possible de concrétiser dans les cas, étape par étape, les catégories de fonction abstraites, les objets d'information qui doivent s'y échanger de même que les ressources de communication⁵¹ et d'infrastructures physiques de réseau nécessaires.

⁴⁸ Cf. l'étude réalisée sur mandat de l'OFEN «Datensicherheit und Datenschutz in Smart Grids» (AWK, 2014). Cette étude décrit les divers cas d'utilisation en détail.

⁴⁹ Le rôle de l'exploitant de la place de mesure implique certains droits et obligations. En Suisse, il est actuellement assumé par les gestionnaires des réseaux de distribution. Cf. en particulier «Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse: exigences techniques minimales et modalités». (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2014) et l'ordonnance du 14 mars 2008 sur l'approvisionnement en électricité (OApEI) (état au 3 juin 2014) [RS 734.71]. Le gestionnaire de réseau de distribution est simultanément un rôle et un acteur.

⁵⁰ Cf. «Datensicherheit und Datenschutz in Smart Grids» (AWK, 2014).

⁵¹ Diverses technologies de communication sont utilisées selon l'objectif et l'environnement. Il s'agit notamment de la communication d'entreprise (WAN, p. ex. MPLS, SDH/PDH/IP), la communication avec le client final (Access, p. ex. WLAN,



Rôle	Description
Prosommateur / consommateur final	<p>Le consommateur final peut être un ménage ou un client industriel, etc. Il consomme de l'énergie électrique et dispose de charges flexibles et statiques. Les charges flexibles peuvent être pilotées par le consommateur final ou par des tiers (p. ex. gestionnaire de réseau de distribution, prestataire de services énergétiques/agrégateur).</p> <p>Le consommateur final se mue en prosommateur s'il possède une installation de production décentralisée reliée au même point de raccordement du réseau et que sa production excède sa consommation à certains moments. Le prosommateur est donc aussi bien injecteur (petite installation décentralisée) que consommateur final (consommateur). Il est normalement raccordé aux niveaux de réseau 4 à 7.</p>
Gestionnaire de données	<p>Le gestionnaire de données constitue l'interface pour les données relatives à l'énergie et/ou au réseau entre le prosommateur et les autres rôles. Il relève, gère, traite et transmet les données aux destinataires pertinents. Selon le cas, les données sont sauvegardées et traitées sous une forme agrégée ou anonymisée. Ce rôle ne doit pas être perçu séparément des autres rôles⁵².</p>
Gestionnaire du réseau de distribution	<p>Le gestionnaire du réseau de distribution est responsable de l'exploitation et de l'entretien du réseau de distribution. Il répond de la qualité de l'approvisionnement dans sa zone de desserte.</p>
Gestionnaire du réseau de transport	<p>Le gestionnaire du réseau de transport est responsable de l'exploitation et de l'entretien du réseau de transport. Il répond de la qualité de l'approvisionnement à ce niveau.</p>
Producteur centralisé / producteur décentralisé	<p>Le producteur centralisé injecte de l'énergie électrique aux niveaux de réseau 1 à 3. Il peut s'agir de centrales hydrauliques, de centrales à gaz à cycles combinés, de centrales nucléaires, de larges parcs éoliens ou d'usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM).</p> <p>Le producteur décentralisé désigne surtout des installations à énergie renouvelable, dont la capacité d'injection est telle qu'elles sont capables d'alimenter les niveaux de réseau 4 à 7, alors qu'elles ne consomment pas ou que très peu. Ces installations injectent en tout temps du courant dans le réseau électrique: leur production dépasse donc toujours leur consommation. La notion de «producteur», sans autre précision, désigne aussi bien le producteur centralisé que le producteur décentralisé.</p>
Responsable des services-système	<p>Le responsable des services-système répond de la planification commerciale et opérationnelle et de l'exécution des services-système. C'est aussi à lui qu'incomberont à l'avenir d'éventuels services individuels axés sur le réseau de distribution. Il est responsable de répartir en conséquence l'énergie de réglage nécessaire aux services-système entre les installations concernées. Ce rôle est aujourd'hui typiquement assuré par des producteurs centralisés ou par des négociants d'énergie. Mais il sera également assuré, dans un délai prévisible, par les agrégateurs d'installations de production plus modestes ou par les consommateurs.</p>
Fournisseur d'énergie	<p>Le fournisseur d'énergie est responsable de l'achat d'énergie sur le marché et de la livrer à ses clients finaux. Ceux-ci peuvent être de simples consommateurs finaux ou des prosommateurs.</p>
Prestataire d'automatisation des bâtiments	<p>Le prestataire d'automatisation des bâtiments représente un rôle futur, éventuellement capable de proposer l'automatisation des bâtiments.</p>
Autres partenaires de marché	<p>La notion générique de «partenaires de marché» regroupe les acteurs capables de proposer toutes autres prestations à l'avenir. Il n'est pas possible d'évaluer actuellement la multitude des services futurs. Le responsable de groupe-bilan en est un exemple actuel.</p>

Figure 17 Rôles importants et anticipés, qui interagissent dans les cas en raison de la constitution de réseaux intelligents.

GSM/UMTS/LTE, DSL, FTTH, PLC) ou le domaine interne (LAN, p. ex. Ethernet/WLAN, LAN domestique, communication sérielle).

⁵² Actuellement, le rôle du gestionnaire de données est normalement assuré par le gestionnaire de réseau de distribution. On trouve toutefois des exceptions, lorsque le gestionnaire du réseau de distribution mandate un prestataire sans que la sécurité du réseau n'en soit menacée (qualité de l'approvisionnement). Cette situation ne doit pas forcément rester inchangée à l'avenir. Il est essentiel que les données requises soient à disposition sans discrimination.

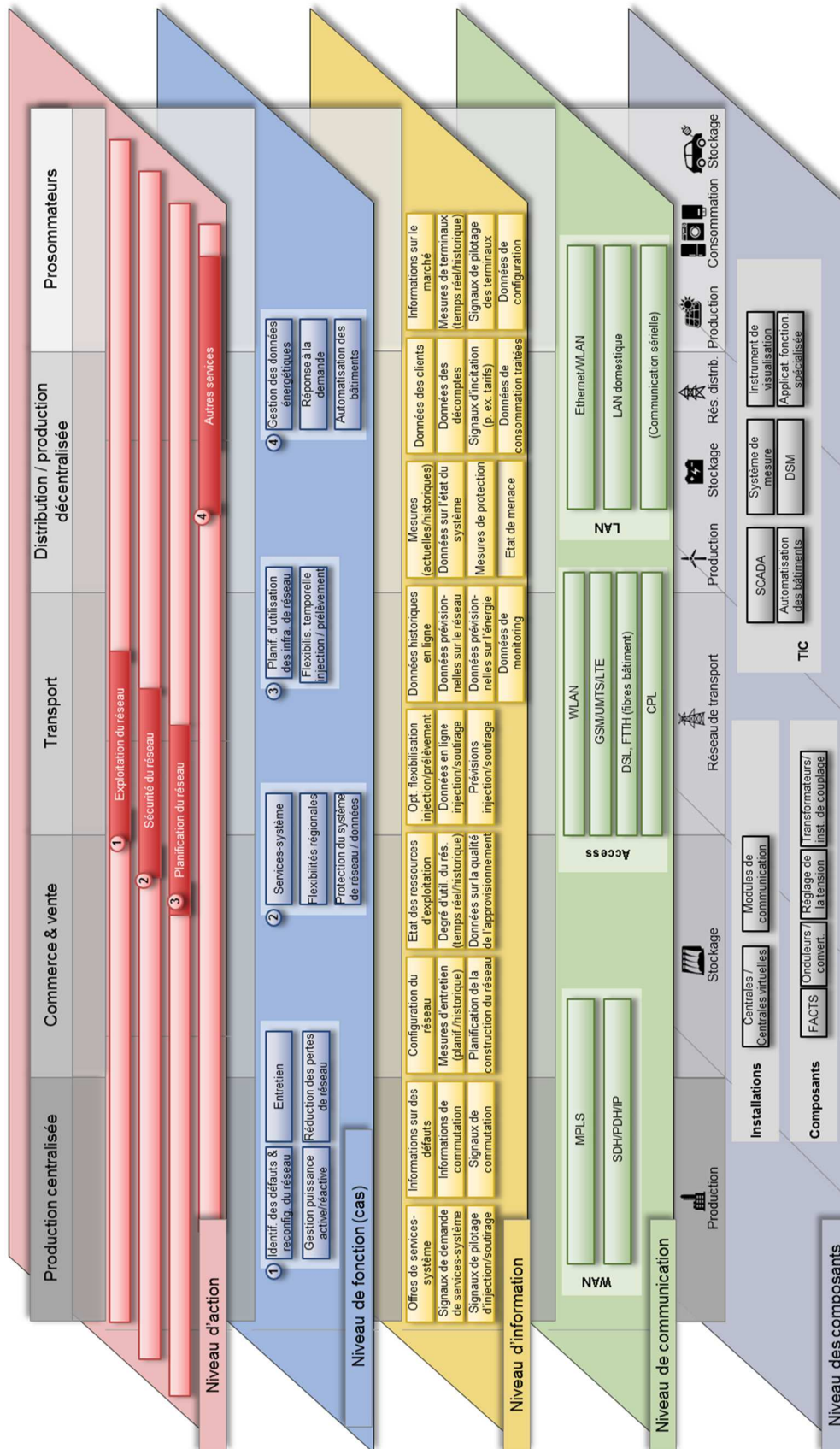


Figure 18 Application des modèles d'architecture de réseau intelligent (SGAM) pour identifier les données nécessaires qui relient les rôles et les technologies, permettant ainsi de réaliser les fonctionnalités.



La figure 18 illustre l'architecture de référence du réseau intelligent, qui fournit une base aux étapes suivantes visant à déduire les besoins de protection et de sécurité des données. Elle relie les catégories de fonction du réseau intelligent aux différents cas, aux objets d'information requis et aux composants physiques nécessaires dans le réseau⁵³. A partir de cette architecture de référence, en passant par une étape intermédiaire⁵⁴, il est possible de classer par rôles les objets d'information transmis. On peut ensuite analyser ces objets d'information quant à leur fiabilité (C), leur intégrité (I), leur disponibilité (A) et leur traçabilité (N)⁵⁵. Cette analyse, qui permet une évaluation qualitative des données quant à leur protection et à leur sécurité, envisage le pire des scénarios et, par conséquent, le déploiement maximal des fonctionnalités et des TIC nécessaires à cet effet. Il en résulte des besoins de sécurisation des données, d'une part sous l'angle de la qualité de l'approvisionnement et d'autre part pour protéger les données à caractère personnel. En ce qui concerne la qualité de l'approvisionnement, il peut être nécessaire que les objets d'information soient continuellement et correctement mis à la disposition du rôle qui les utilise. De tels objets d'information comprennent par exemple l'état de commutation du réseau, la topologie actuelle ou le taux d'utilisation du réseau. S'agissant de la protection des données, les objets d'information peuvent concerner des données sensibles de particuliers ou d'entreprises. Ces données comprennent par exemple des offres de services-système sur la base de la disponibilité de la centrale, ou les profils de personnalité d'individus.

L'analyse indique que, dans le domaine des données de consommateurs finaux, surtout la protection des données et dans une moindre mesure seulement la sécurité des données sont pertinentes. Cette situation s'explique par le fait que les données enregistrées n'ont en l'occurrence pas de grande influence sur la qualité de l'approvisionnement. Quant au domaine du réseau, la sécurité des données doit surtout être garantie pour des raisons relevant de la technique d'approvisionnement. Les mesures nécessaires dépendent de la configuration concrète des cas particuliers. Il est encore difficile d'anticiper cette configuration et une identification ou une concrétisation définitive des mesures nécessaires n'est de ce fait guère possible. Il faut en l'occurrence commencer par mener des travaux d'approfondissement sur les cas et sur les données dont ils ont besoin. Une première estimation permet de regrouper les objets d'information pertinents en divers types de catégories de standardisation, qui comprennent les systèmes de mesure, les données des bâtiments, les données des consommateurs et les données de conduite du réseau. La figure 19 présente, pour ces catégories de standardisation, les rôles concernés et les standards disponibles à l'heure actuelle. Une base de standards nationaux et internationaux dans les domaines de la sécurité des données et de la protection des données est déjà disponible. Cependant, il reste à poursuivre la configuration et la concrétisation des standards, lesquels laissent une certaine marge de manœuvre et ne couvrent qu'insuffisamment les nouveaux objets d'information et leur utilisation. Une harmonisation des standards est également utile. Des travaux sont actuellement déjà en cours sur le plan européen dans le domaine de la standardisation visant les réseaux intelligents et les exigences qu'ils posent⁵⁶.

Le thème traité dans la catégorie de standardisation des systèmes de mesure est la sécurité de l'exploitation des systèmes de mesure et la gestion des objets d'information qui y sont relevés. L'analyse CIA indique que les données comprises dans cette catégorie peuvent être qualifiées de critique quant à la confidentialité et à l'intégrité. Il s'agit en l'occurrence généralement de données personnelles. La

⁵³ On trouvera aussi des détails concernant des liens dans le rapport «Datensicherheit und Datenschutz in Smart Grids» (AWK, 2014).

⁵⁴ Cette étape intermédiaire est constituée par une architecture TIC du réseau intelligent; cf. «Datenschutz und Datensicherheit in Smart Grids» (AWK, 2014).

⁵⁵ Il s'agit en l'occurrence d'une procédure de «meilleure pratique» qui vise à déterminer les besoins de sécurité des données. Cette analyse est aussi appelée «analyse CIAN» (C pour «confidentiality», I pour «integrity», A pour «availability» et N pour «non-repudiation»). Relevons qu'une qualification critique de la traçabilité découle directement du caractère critique des trois premiers critères.

⁵⁶ Cf. par exemple les travaux de standardisation visant les standards IEC 62055-1-0 (Electricity metering systems – Part 1-0: Interoperability framework for payment systems), voire IEC 62913 (Generic Smart Grid Requirements).



disponibilité peut être qualifiée de non critique pour tous les objets d'information, car ils sont peu pertinents en ce qui concerne la qualité de l'approvisionnement. Malgré l'existence de standards, surtout dans le domaine de la sécurité des données, des mesures apparaissent nécessaires. Il faut en outre veiller à une coordination avec les travaux menés dans la catégorie de standardisation des données relatives aux prosommateurs.

Les standards et directives de la catégorie des données de prosommateurs régissent la gestion de ces données chez les gestionnaires de réseau et chez les partenaires de marché. La gestion et la sécurisation dépendent du degré de détail des informations enregistrées qui, sont nécessaires à d'autres rôles et sont traitées et sauvegardées par ceux-ci. L'établissement des réglementations visant la gestion des données doit être largement indépendante de la source de ces objets d'information (système de mesure, automatisation des bâtiments, etc.). Les réglementations peuvent notamment contenir des directives concernant la sauvegarde, l'utilisation et la retransmission des données. Les analyses montrent que ces objets d'information sont critiques quant à la confidentialité et l'intégrité. Leur disponibilité peut être qualifiée de non critique. Le besoin d'agir, en l'occurrence, concerne surtout la protection des données et l'harmonisation.

La catégorie de standardisation concernant le raccordement des appareils domestiques comprend les standards et les directives régissant les interfaces entre l'automatisation des bâtiments, qui pilotent les appareils de la maison, et les autres rôles, qui requièrent les données ou un accès à l'automatisation du bâtiment. Les objets d'information liés à la mise à disposition de données pour les futurs services sont surtout concernés par la protection des données. Ainsi, les objets d'information peuvent être jugés critiques quant à leur confidentialité et à leur intégrité, alors que l'aspect de leur disponibilité peut être qualifiée de non critique. Dans ce domaine également, on dispose d'ores et déjà de premiers standards, mais il faut en poursuivre le développement.

Les standards et directives qui régissent la gestion des objets d'information concernant la gestion du réseau visent par exemple l'automatisation et l'optimisation de l'exploitation du réseau, la régulation du réseau ou la gestion des actifs. Sont concernés les objets d'information qui interviennent dans les rôles suivants pour la gestion du réseau: gestionnaire de réseau de distribution, gestionnaire de réseau de transport, producteur et responsable des services-système. Cette catégorie de standardisation contient déjà des standards établis et éprouvés. Les objets d'information sont au moins partiellement critiques quant à la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité (p. ex. les objets d'information SCADA «Supervisory Control And Data Acquisition») ou les signaux de commutation et de pilotage. A l'avenir, il faudra coordonner davantage les travaux visant les standardisations dans cette catégorie avec les travaux des autres catégories, car les cas identifiés à ce stade indiquent un maillage et un échange de données croissants.



Catégorie de standardisation	Rôles concernés	Lois / standards techniques existants
Systèmes de mesure	Prosommateur	<ul style="list-style-type: none"> ISO/IEC 27002: standard international «Technologies de l'information – Techniques de sécurité – Code de bonne pratique pour le management de la sécurité de l'information» NISTIR 7628: directives des Etats-Unis pour la sécurité des données dans le réseau intelligent «Guidelines for Smart Grid Cyber Security» ISO/IEC TR 27019: «Technologies de l'information – Techniques de sécurité – Lignes directrices de management de la sécurité de l'information fondées sur l'ISO/CEI 27002 pour les systèmes de contrôle des procédés spécifiques à l'industrie de l'énergie»
Données de prosommateurs	Gestionnaire de données Fournisseur d'énergie Prestataire d'automat. des bâtiments Autres partenaires de marché	<ul style="list-style-type: none"> Loi fédérale sur la protection des données (LPD) Loi fédérale sur les télécommunications (LTC) Diverses réglementations cantonales
Raccordement des bâtiments	Prosommateur	<ul style="list-style-type: none"> ISO/IEC 27002: standard international «Technologies de l'information – Techniques de sécurité – Code de bonne pratique pour le management de la sécurité de l'information» ISO/IEC 60870: standard international pour la technique de pilotage du réseau «Matériels et systèmes de téléconduite» ISO/IEC 14908 (automatisation du bâtiment): standard international «Technologies de l'information – Protocole de réseau de contrôle» comprenant les parties: 1. Pile de protocole; 2. Communication de pair torsadée; 3. Spécification de canal de courants porteurs; 4. Communication IP DIN EN 50438 – Allemagne: exigences posées au raccordement de petites génératrices au réseau public à basse tension («Anforderungen für den Anschluss von Klein-Generatoren an das öffentliche Niederspannungsnetz») IEEE 1547: standard international visant l'interconnexion par les réseaux électriques des ressources réparties sur le territoire. NISTIR 7628: directives aux Etats-Unis pour la sécurité des données dans le réseau intelligent («Guidelines for Smart Grid Cyber Security»)
Données relatives à la gestion du réseau	Gestionnaire du réseau de transport Gestionnaire du réseau de distribution Producteur Responsable des services-système	<ul style="list-style-type: none"> ISO/IEC 27002: standard international «Technologies de l'information – Techniques de sécurité – Code de bonne pratique pour le management de la sécurité de l'information» IEC 60870: standard de communication pour l'automatisation des infrastructures (techniques de commutation, d'intervention à distance et de pilotage de réseau) IEC 62351: sécurité des données pour l'exploitation du réseau et la production (actuellement en voie de perfectionnement selon le mandat M490 de l'UE dans la perspective des nouveaux défis posés par l'environnement du réseau intelligent) IEC 61850: protocole de transmission général visant les techniques de commande et de protection dans les installations de commutation électriques à moyenne et haute tension (automatisation des stations)

Figure 19 Catégories de standardisation, rôles principalement concernés par les standards, et standards techniques importants actuellement disponibles.



Conclusions concernant la standardisation dans les domaines de la protection et de la sécurité des données

Un besoin de standardisation supplémentaire demeure dans les domaines de la protection et de la sécurité des données. Il s'agit de progresser à cet égard surtout en fonction des cas d'application encore à concrétiser dans les catégories identifiées. Afin de garantir à moyen et long termes la sécurité et la protection des données en termes de confidentialité (C), d'intégrité (I) et de disponibilité (A), il y a lieu de distinguer, conformément à la figure 20, certaines exigences que les systèmes TIC doivent satisfaire. Une analyse des risques au cas par cas (probabilité de survenance et ampleur des effets) est pertinente pour arrêter les mesures concrètes et adéquates par domaine et par catégorie de standardisation. Les résultats peuvent ensuite servir à concrétiser certains standards déjà existants en vue de leur utilisation en Suisse et à mettre en œuvre des solutions flexibles, efficaces et pragmatiques pour chaque cas et pour les TIC concernées. Il incombe avant tout aux fabricants et exploitants de promouvoir ces mesures. Outre les exigences mentionnées dans le tableau, il faudrait prendre en compte certaines exigences générales d'exploitation et d'autres exigences visant à garantir la traçabilité, lesquelles sont actuellement recommandées sur le plan européen⁵⁷. Vu l'hétérogénéité des gestionnaires de réseau en Suisse, la mise en œuvre des standards variera selon la taille du gestionnaire.

Domaine	Exigences posées par la protection et la sécurité des données
Confidentialité (C)	<ul style="list-style-type: none">• Enlèvement des composants du système• Gestion des comptes• Protection des accès• Accès à distance protégé• Séparation de réseau• Communication sûre
Intégrité (I)	<ul style="list-style-type: none">• Gestion de la configuration• Maintenance des composants et des systèmes• Sécurité des données (protection contre les attaques de l'extérieur)
Disponibilité (A)	<ul style="list-style-type: none">• Exploitation sans interruption• Systèmes de communication en cas de panne

Figure 20 Exigences posées à la standardisation en cours dans les domaines de la sécurité et de la protection des données dans les réseaux intelligents, selon l'analyse CIA.

En outre, la Suisse connaît un parallélisme du droit fédéral et du droit cantonal dans le domaine de la protection des données. La législation fédérale régissant la protection des données⁵⁸, qui comporte aussi des dispositions visant leur sécurité, ne prévoit pas de règle sectorielle, mais des règles générales dont l'application au cas par cas fait appel, dans certaines circonstances, à une marge interprétative considérable. Outre la loi fédérale sur la protection des données, applicable entre privés et envers les autorités fédérales, les cantons disposent eux aussi de lois propres sur la protection des données, qui s'appliquent si les autorités cantonales sont impliquées. Comme la majeure partie des gestionnaires de réseau font partie de l'administration cantonale au sens large (entreprises électriques cantonales), ces gestionnaires sont soumis aux lois de leur canton. Ce parallélisme du droit fédéral et du droit cantonal entraîne, s'agissant notamment de l'exploitation des systèmes de mesure intelligents, des insécurités juridiques pour les gestionnaires de réseau, pour les tiers concernés et pour les consommateurs⁵⁹. Cette fragmentation du droit, en particulier quant à la granularité et à l'utilisation des données de courbes de

⁵⁷ Cf. «Appropriate security measures for smart grids» (ENISA, 2012).

⁵⁸ Cf. Loi fédérale du 19 juin 1992 sur la protection des données (LPD) (état au 1^{er} janvier 2014) [RS 235.1].

⁵⁹ L'analyse de la loi sur la protection des données se trouve dans le rapport «Datenschutz und Datensicherheit in Smart Grids» (AWK, 2014). Sa conclusion consiste à recommander une réglementation uniforme et sectorielle à l'échelle de la Confédération.



charge, est susceptible de réduire l'utilité des systèmes de mesure intelligents. Il peut également en résulter à long terme des insécurités pour les réseaux intelligents.

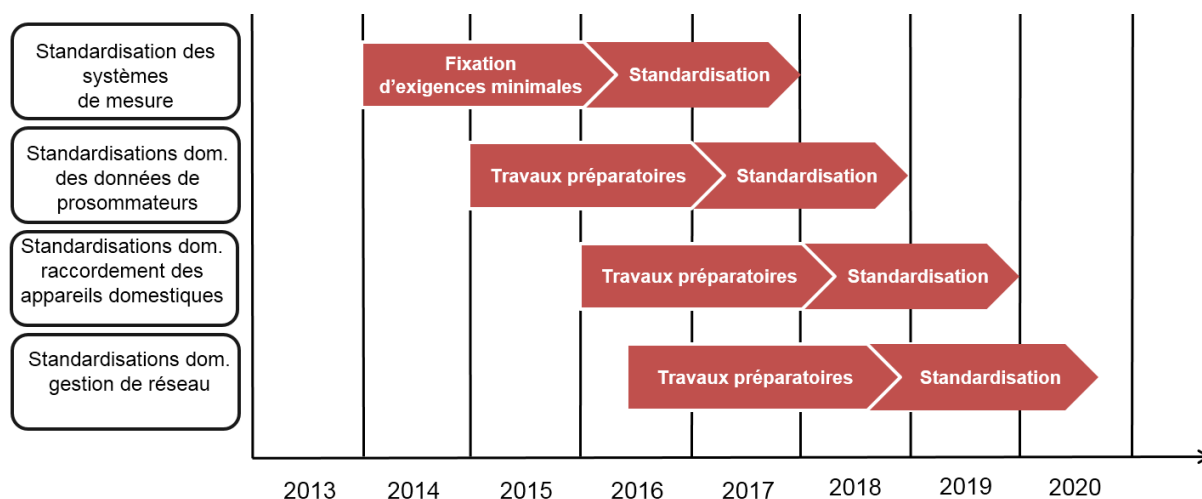


Figure 21 Calendrier estimatif des travaux à venir dans les catégories de standardisation des réseaux intelligents.

Ces considérations permettent de déduire approximativement un calendrier estimatif pour les travaux de standardisation à venir en Suisse dans le cadre des réseaux intelligents (cf. figure 21). La priorité ira aux travaux dans le domaine des systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final et à la gestion des données de prosommateurs qui y sont relevées. S'agissant justement de la gestion de ces données, des mesures sont nécessaires dans le domaine de leur protection en raison de la fragmentation du droit qui a été constatée. Les questions non clarifiées entraveraient l'introduction de systèmes de mesure intelligents⁶⁰ et il ne serait plus possible, le cas échéant, de tirer toute l'utilité de ces systèmes. L'harmonisation des réglementations nationales dans ces deux catégories de standardisation doit être tenue pour prioritaire, car elle apporterait des avantages dans le marché de l'électricité, surtout en cas de son ouverture complète. Il importe de clarifier les questions relatives à l'enregistrement, à la granularité et à l'utilisation des données de courbes de charge. Cette clarification devrait garantir une disponibilité raisonnable des données selon les cas, qui permettrait d'en tirer l'utilité correspondante. En aval, dans les autres catégories, il faudra réaliser en Suisse les travaux adéquats. A cet égard, il faudrait identifier les cas pour lesquels les standards éventuellement disponibles seront concrétisés ou nouvellement élaborés, surtout dans le domaine de la sécurité des données, afin de remplir les exigences de la figure 20. Il importe de disposer de standards ou de procédures homogènes à l'échelle de la Suisse. Le processus correspondant doit être mené subsidiairement sous l'impulsion des gestionnaires et les fabricants. La Confédération pourrait apporter son concours quant aux aspects d'intérêt public ou en cas de défaillance prévisible du marché.

Il faut considérer les travaux de standardisation en Suisse dans le contexte des travaux internationaux en cours sur le plan européen dans toutes les catégories mentionnées. C'est ainsi que les organisations de standardisation européennes⁶¹ traitent actuellement les mandats M441⁶² et M490⁶³ de la Commis-

⁶⁰ Cf. projet de loi et message du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013) et le rapport «Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final en Suisse: exigences techniques minimales et modalités» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2014).

⁶¹ Ces organisations comprennent le CEN, le CENELEC et l'ETSI.

⁶² Cf. «Standardisation mandate to CEN, CENELEC and ETSI in the field of measuring instruments for the development of an open architecture for utility meters involving communication protocols enabling interoperability» (Commission européenne, 2009).

⁶³ Cf. «Standardisation mandate to european standardisation organisations (ESO) to support european smart grid deployment» (Commission européenne, 2011).



sion européenne. Le mandat M441 demande une standardisation afin d'assurer une architecture ouverte pour les appareils de mesure dans le domaine de l'approvisionnement en énergie et de garantir l'interopérabilité voulue. Le mandat M490 demande que les organisations de standardisation européennes soutiennent le développement des réseaux intelligents à l'échelle européenne. En outre, un processus de standardisation continu a été mis en place et des recommandations fondamentales visant la sécurité des données dans le domaine des réseaux intelligents ont été émises. Les travaux menés en Suisse devraient s'inspirer de ces ébauches de solution. Des standards totalement spécifiques à la Suisse n'apparaissent pas pertinents.

En bref

- Des mesures sont nécessaires en ce qui concerne les exigences, encore à définir, dans le domaine de la sécurité des données et des standardisations supplémentaires pour les réseaux intelligents. A cet effet, il faut commencer par concrétiser à titre subsidiaire des cas pertinents des qui utilisent les fonctionnalités des réseaux intelligents.
- Les standards disponibles sur le plan international, pour les cas concrets, doivent être autant que possible repris et adaptés aux conditions suisses.
- Les domaines de la sécurité des données et de la protection des données sont entachés d'insécurité juridiques quant aux systèmes de mesure intelligents. Des réglementations fédérales et cantonales existent, mais des dispositions uniformes font encore défaut. Ceci concerne notamment les données des courbes de charge.
- Il convient d'œuvrer, sur le plan national, à une harmonisation des règles de protection des données visant la gestion des données des systèmes de mesure intelligents (catégorie de standardisation des systèmes de mesure) et des données de prosommateurs.
- Il faut concevoir uniformément et pragmatiquement la sécurité des données des systèmes de mesure intelligents (catégorie de standardisation des systèmes de mesure) et des données de prosommateurs. Les exigences, les processus et les standards doivent être élaborés selon le principe de subsidiarité et par la Confédération.
- Sur le plan international, les travaux de standardisation progressent activement. En Suisse, il s'agirait en premier lieu de reprendre et d'adapter les standards pour les domaines des systèmes de mesure intelligents et des données de prosommateurs (protection des données).



13 Coûts et utilité de certaines technologies du réseau intelligent

Les réseaux intelligents offrent aux gestionnaires de réseau nombre de possibilités technologiques pour faire face aux défis identifiés. La question se pose de savoir si, outre le développement conventionnel du réseau, des technologies intelligentes⁶⁴ pourraient être d'ores et déjà économiquement judicieuses, dans le contexte des fonctionnalités de base identifiées (chapitre 9), pour soutenir l'intégration de nouvelles énergies renouvelables dans les réseaux électriques. Une analyse a permis d'examiner les coûts et à les utilités globalement attendues des technologies sélectionnées⁶⁵. Cette étude compare, dans des situations typiques, diverses options d'intégration de la production décentralisée dans les réseaux à basse et moyenne tensions. La comparaison de coûts quantifiables est complétée par d'autres aspects de l'utilité ou de l'évaluation économique. L'utilité essentielle est générée par l'intégration d'une quantité d'installations de production décentralisées dans les réseaux de distribution, les situations d'exploitation critiques du point de vue du maintien de la tension ou de la charge thermique devant être évitées et les coûts d'opportunité devant être réduits. L'utilité peut être obtenue soit par des solutions intelligentes, soit par un développement conventionnel du réseau. Les situations typiques reflètent des cas de défis concrets aux niveaux de basse et de moyenne tension et d'éventuelles solutions. Les quantités supposées de courant injecté issu de la production décentralisée est déduit, dans les différentes situations, des objectifs de politique énergétique⁶⁶. On admet que le développement de la production à partir de sources d'énergie renouvelables surviendra soudainement. Un retard dans le développement a été négligé. Le rapport coûts-utilité des technologies indique finalement dans quelle mesure les technologies innovantes et conventionnelles peuvent contribuer efficacement, sous l'angle des coûts, à résoudre les défis relevant de la technique de réseau. Il en résulte un calcul économique en faveur des solutions intelligentes.

Les technologies innovantes considérées comprennent les transformateurs réglables, les régulateurs de départ, la mise à disposition de puissance réactive de la part d'installations de production décentralisées, le stockage d'électricité décentralisé (batteries), la gestion de l'injection et la gestion des charges. Ces technologies représentent, selon le cas d'espèce, une alternative ou un complément à la maîtrise de situations de congestion concrètes par le développement conventionnel de réseau sous forme de renforcements de lignes (illustrés par des câbles à la figure 22). Cependant, les transformateurs réglables, les régulateurs de départ et la mise à disposition de puissance réactive de la part d'installations de production décentralisées déploient leurs effets seulement en cas de violation des limites de tension autorisées, tandis que les autres technologies interviennent aussi en cas de surcharge thermique.

⁶⁴ Cf. chapitre 10 de la Feuille de route et «Zustandsanalyse und Entwicklungsbedarf von Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (Consentec GmbH, 2013).

⁶⁵ Cf. rapport «Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (BET Dynamo Suisse, 2014), établi sur mandat de l'OFEN.

⁶⁶ Cf. chapitre 3 de la Feuille de route ou projet de loi et message du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013).

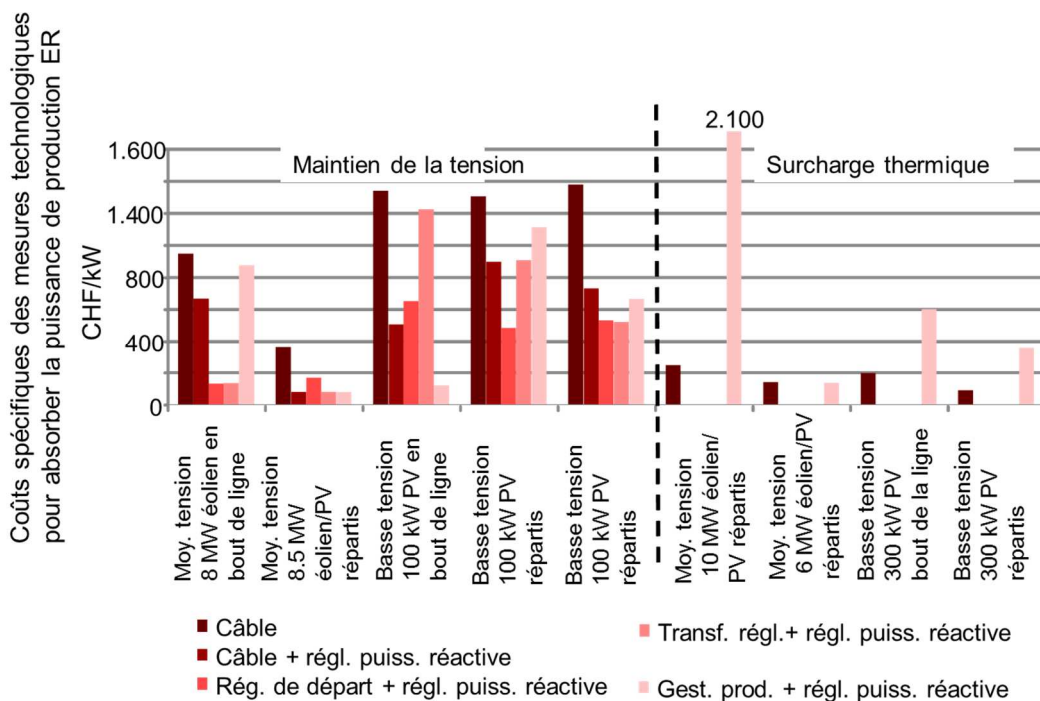


Figure 22 Comparaison des coûts des technologies utiles à la résolution de 9 situations typiques de congestion susceptibles de se produire lors de l'intégration dans le réseau d'une production issue de sources d'énergie renouvelables.

La figure 22 distingue donc les situations de congestion dues à la tension de celles causées par la chaleur. La comparaison met en relation, dans la situation de congestion envisagée, les coûts de la mesure visée et le supplément de puissance intégrable issue de la production renouvelable. Les technologies qui, à un moindre coût, permettent d'absorber dans le réseau une certaine quantité de la production issue de sources d'énergie renouvelables, sont avantageuses. Les situations de congestion typiques se répartissent entre le niveau de réseau à moyenne tension et le niveau de réseau à basse tension. Les situations diffèrent selon le niveau de tension, la puissance d'injection absolue de la production issue de sources d'énergie renouvelables, leur répartition sur la ligne (en bout de ligne ou tout au long de celle-ci) et selon le type de ligne (longueur ou section). Les études ont admis un scénario de coût de tendance favorable pour le développement conventionnel de réseau par câble et un scénario plutôt défavorable pour la gestion de l'injection⁶⁷.

La comparaison met en évidence que la technologie la plus avantageuse en termes de coûts aussi bien que le classement des technologies à choisir varie selon les différentes situations de congestion (dus à la tension ou à la température). Les observations tendent à montrer qu'il se trouve souvent une technologie alternative au développement conventionnel du réseau, c'est-à-dire une variante plus intelligente qui entraîne de moindres coûts ou du moins des coûts comparables. Cette situation permet d'affirmer ce qui suit: il n'est pas possible de qualifier d'efficace en termes de coûts un développement de réseau tel que chaque kilowattheure soit injecté en tout temps dans le réseau électrique (absorption complète de la puissance d'injection). La gestion de l'injection – en la forme d'un écrêtage des pointes d'injection – est une mesure judicieuse pour le gestionnaire de réseau, car l'injection maximale ne survient que durant quelques rares heures par année et que l'écrêtage ne prive que de faibles quantités

⁶⁷ On trouvera des détails quant aux hypothèses de cette comparaison de coûts dans l'étude «Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (BET Dynamo Suisse, 2014).



d'énergie. L'utilisation des TIC pour gérer l'injection en sa forme la plus simple n'est guère nécessaire, mais elle peut accroître l'effectivité des solutions. Le pilotage, qui peut être effectué de manière décentralisée par la prescription de valeurs caractéristiques, est donc relativement peu coûteux. Le caractère avantageux de la gestion de l'injection dépend essentiellement du tarif adopté pour l'énergie de réglage, c'est-à-dire de savoir si et à quel montant elle est rétribuée et ce que coûte sa fourniture par une centrale électrique conventionnelle. Toutefois, même en supposant un taux de rétribution élevé de cette énergie, la gestion de l'injection apparaît toujours comme une option judicieuse.

S'il est nécessaire de maintenir la tension, la mise à disposition de puissance réactive par les installations de production à énergie renouvelable apparaît dans un premier temps la solution la plus simple et clairement la plus avantageuse en termes de coûts. Le gestionnaire de réseau devrait donc en principe évaluer cette mesure lors du raccordement de la production, et en particulier dans toute situation de congestion⁶⁸. Il en va de même pour l'utilisation de transformateurs réglables et de régulateurs de départ. Notons toutefois que si le besoin est largement répandu dans les réseaux à basse tension, les avantages du transformateur réglable sont encore accrus du fait de ses effets dans l'ensemble de la zone de desserte ou dans la ligne en dérivation considérée. En cas de répartition asymétrique de l'injection dans le réseau, l'effet est certes réduit, mais le bien-fondé d'une utilisation demeure souvent. En principe, du fait de la dissociation des niveaux de réseau en aval sous l'angle de la régulation de la tension, le transformateur réglable apporte une flexibilité accrue à un coût comparable, même pour les niveaux de réseau supérieurs.

Les dépenses liées aux TIC sont relativement faibles pour la variante de base d'un transformateur réglable. Dans sa variante de base, il peut aussi, à l'instar de la gestion de l'injection, être exploité dans une variante décentralisée, car il ne doit relever, pour la régulation, que des mesures locales de l'état du réseau (tension, courant). Selon les circonstances, une telle régulation de la tension peut aussi survenir dans une variante centralisée plus complexe, ce qui accroît encore l'effectivité. La variante décentralisée d'une régulation du réseau par les transformateurs réglables est globalement la solution qui, tout en étant la plus avantageuse en termes de coûts, permet de résoudre nombre des défis posés. Relevons que la combinaison des diverses solutions innovantes n'a pas fait l'objet d'un examen. Cependant, les résultats d'autres études indiquent que la combinaison d'une gestion de l'injection par des transformateurs réglables, déjà capable de résoudre nombre des défis posés, et d'une régulation de la puissance réactive peut être encore plus effective que le recours aux solutions isolées⁶⁹.

L'utilisation du stockage d'électricité (batteries) décentralisés aux seules fins de fonctionnement du réseau ne saurait guère constituer une solution économiquement intéressante, eu égard aux structures de coûts actuelles. Cependant, pour répondre au besoin de stabiliser le système et sous l'angle de l'utilité commerciale et technique, le fait d'éviter localement des congestions peut constituer une contribution supplémentaire à la rentabilité du stockage d'électricité décentralisé. Les TIC jouent un rôle important dans la gestion du stockage d'électricité, car elles permettent de les utiliser en fonction du marché. Des solutions TIC relativement simples permettent, tout en répondant au marché, de respecter les conditions techniques cadre du réseau qui sont absolument impératives.

⁶⁸ Techniquement, selon les modalités retenues, elle peut toutefois entraîner davantage de flux de puissance réactive dans les niveaux de réseau supérieurs. Mais, jusqu'à un certain point qu'il appartient au gestionnaire de réseau de fixer, la mise à disposition de puissance réactive est utile et très facile à réaliser. Les conditions de raccordement de certains gestionnaires de réseau suisses ou les dispositions réglementaires de certaines centrales prévoient déjà de telles réglementations, cf. notamment «Distribution Code Suisse. Règles techniques pour le raccordement, l'exploitation et l'utilisation du réseau de distribution» (Association des entreprises électriques suisses (AES), 2011) et «Recommandation Raccordement au réseau (pour toutes les personnes raccordées au réseau de distribution)» (Association des entreprises électriques suisses (AES), 2013).

⁶⁹ Le chapitre 10 de la Feuille de route fournit des indications sur les interactions et les synergies entre les diverses solutions. En outre, certaines synergies sont quantifiées dans l'étude «Moderne Verteilernetz für Deutschland», qui a été réalisée à la demande du Ministère fédéral allemand de l'énergie et de l'économie (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014).



Le pilotage de la charge soulève, du point de vue de la planification du réseau, un problème de disponibilité (à long terme) pour les niveaux de basse tension et de moyenne tension. Dans de nombreuses situations de congestion, la capacité d'injection intégrable excède plusieurs fois la charge flexible, de sorte que, le potentiel de pilotage de la charge des clients résidentiels tendant à être faible⁷⁰, le pilotage de la charge n'a guère pour effet de réduire le développement local du réseau. Simultanément, les coûts de l'infrastructure TIC sont actuellement assez élevés par rapport à ce potentiel⁷¹. Pour certains clients industriels, le potentiel est nettement plus élevé. Toutefois, en plus de devoir se situer à proximité de l'endroit de la congestion, se pose la question de la rétribution demandée par le client pour participer au pilotage de la charge.

Le choix et l'utilisation des technologies dépendent toujours des besoins individuels du gestionnaire de réseau dans la situation donnée ainsi que d'autres facteurs d'influence. Il n'est guère possible de restituer par des généralisations, tout en restant fidèle à la réalité, l'hétérogénéité des réseaux et les nombreux facteurs d'influence à prendre en compte lors d'une décision d'investissement. Les synergies du développement du réseau lié à d'éventuels besoins de rénovation actuels n'ont pas été prises en compte. Dans de tels cas, le développement de réseau est presque toujours la variante la plus avantageuse sous l'angle des coûts. En revanche, les solutions innovantes peuvent s'avérer nettement plus avantageuses si un câble n'en est qu'au début de sa durée de vie. De ce fait, les situations de congestion étudiées ne remplacent pas une analyse complète au cas par cas. Outre les avantages économiques, il faut encore relever une meilleure utilisation des capacités actuelles du réseau et une mise en œuvre plus rapide des mesures.

D'autres aspects de l'utilité ne peuvent être évalués que qualitativement. Les effets externes et les conflits potentiels (p. ex. un droit d'accès non réglementé) peuvent être pris en compte lors d'une décision concernant l'emploi d'une technologie. Dans un tel contexte également, il apparaît souvent positif d'utiliser des solutions et des infrastructures de réseau intelligentes. Cependant, les aspects qualitatifs peuvent aussi tout à fait plaider en faveur d'un recours croissant aux technologies conventionnelles, en particulier si les technologies intelligentes ne sont pas encore prêtes à l'emploi, par exemple parce que les retours d'expérience manquent ou que les conditions-cadre nécessaires ne sont pas encore réunies. En ce qui concerne l'utilisation du stockage d'électricité décentralisé et à la gestion de l'injection et de la charge, des synergies apparaissent entre une exploitation utile au réseau et une exploitation conforme au marché. De telles synergies soulèvent des questions de coordination.

Finalement, l'évaluation des technologies innovantes pose aussi la question de la répartition des coûts et des utilités. Il faudrait garantir en l'occurrence, lorsque les solutions sont globalement avantageuses, que les utilités ne soient pas bloquées dans leur mise en œuvre en raison d'inconvénients économiques que subissent des groupes d'intérêts isolés. Il incombe en définitive au gestionnaire de réseau de décider quelle technologie sera utilisée dans la situation concrète et compte tenu de ses principes de planification⁷². S'agissant des composants de réseau: transformateur de réseau local réglable, régulateur de départ ou régulation de la puissance réactive, le gestionnaire de réseau doit assumer les coûts, qu'il répercute toutefois sur les consommateurs finaux. Au final donc, le gestionnaire de réseau regroupe les coûts et les utilités, puisque les énergies renouvelables peuvent être introduites à moindres coûts dans

⁷⁰ Le potentiel dépend fortement de la composante temporelle: plus le besoin de gestion date, plus faible est le potentiel disponible. Inversement, plus une intervention dans la consommation est brève, plus le nombre de charges disponibles est important.

⁷¹ Cette situation est susceptible de changer en relation justement avec l'augmentation de la consommation propre de certains ménages liée à l'automatisation des bâtiments. De ce fait, le rapport coûts-utilité pourrait devenir positif à l'avenir, particulièrement si les coûts de l'électricité augmentaient (tarif de l'énergie). Cette situation n'a toutefois guère à voir avec les cas de pénurie du réseau et la suppression de ses congestions.

⁷² Des principes uniformes de planification du réseau peuvent s'avérer utiles à cet égard. Les technologies innovantes devraient être intégrées d'emblée dans la planification du réseau, afin d'optimiser la conception des infrastructures. Cf. la discussion dans l'étude «Moderne Verteilernetze für Deutschland» (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014), les propositions formulés dans «Vertiefungsstudie zur Strategie Stromnetze im Hinblick auf die Erarbeitung einer Vernehmlassungsvorlage» (e-Netz AG, Fichtner Management Consulting AG, 2014) et le projet de loi, destiné à la consultation, concernant la stratégie Réseaux électriques.



le réseau. La même argumentation prévaut pour les coûts de gestion de l'injection. Tel n'est pas le cas du recours au stockage d'électricité et à au pilotage de la charge, qui génèrent des utilités commerciales considérables pour les gestionnaires

Les systèmes de mesure intelligents constituent une autre technologie des réseaux intelligents. Ces systèmes ont également fait l'objet d'une analyse coûts-utilité approfondie spécifique⁷³. Leur introduction auprès des consommateurs finaux en Suisse présentent un rapport coûts-utilité positif sur une période de vingt ans. Les systèmes de mesure intelligents consistent surtout en techniques de mesure et de communication installées chez le consommateur final, respectivement chez le fournisseur. Ils permettent certaines des fonctionnalités des réseaux intelligents présentées plus haut et contribuent à simplifier le changement de consommateur final et de locataire, tout en facilitant grandement les relevés de compteur d'électricité, notamment chez les clients consommant en propre. Ils sont justement extrêmement utiles pour traiter les cas de consommation propre et garantir un décompte précis, car ils simplifient des processus complexes qui sont nécessaires. C'est pourquoi il faut s'attendre à des réductions de coûts à long terme, en particulier parmi les fournisseurs soumis au régime des consommateurs propres. D'autres fonctionnalités, telles que la visualisation de la consommation, encouragent l'efficacité énergétique et les économies d'énergie. L'interopérabilité et une base technique harmonisée sur le plan national garantissent la sécurité des investissements et l'innovation tout en permettant le développement de marchés des services énergétiques. Les coûts de transaction peuvent être considérablement réduits et l'innovation est soutenue sur le marché ouvert de l'électricité. De plus, les systèmes de mesure intelligents mettent en valeur des potentiels d'efficacité dans la planification de la production et la planification du réseau.

Les fonctionnalités du domaine du pilotage sont possibles avec ces systèmes. Des modules supplémentaires sont toutefois nécessaires et les exigences posées aux systèmes des gestionnaires de réseau et à la sécurité des données du système global en sont accrues. Il en résulte des coûts supplémentaires non négligeables, en particulier si les solutions visées sont introduites à grande échelle. Dans certains cas toutefois, ces coûts supplémentaires sont justifiés et correspondent à des investissements efficaces, par exemple lors du remplacement d'une télécommande centralisée qui arrive à la fin de sa durée d'exploitation.

⁷³ Cf. «Folgeabschätzung einer Einführung von "Smart Metering" im Zusammenhang mit "Smart Grids" in der Schweiz» (Bits to Energy Lab, Ecoplan SA, Weisskopf Partner S.A.R.L., ENCO SA, 2012).



En bref

- Les technologies de réseau intelligent permettent d'adapter le réseau efficacement en termes de coûts pour accroître l'intégration des énergies renouvelables. Elles offrent des alternatives ou des compléments au développement conventionnel du réseau et permettent d'économiser sur les coûts.
- Eu égard à l'hétérogénéité des réseaux et à une multitude de facteurs d'influence, le recours à une technologie doit toujours être décidé sur la base de la situation concrète dans le réseau.
- Dans la plupart des situations de congestion, la mise à disposition de la puissance réactive par les producteurs, les transformateurs réglables et la gestion de l'injection constituent les solutions les plus avantageuses, car ces solutions sont les plus efficaces en termes de coûts. Une combinaison permet encore plus d'effectivité.
- Les solutions qui recourent au stockage de l'électricité (batteries), dans le seul but d'être utiles au réseau, seront sensiblement plus coûteuses que les autres technologies de réseau intelligent dans un avenir proche.
- Les systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final présentent un rapport coûts-utilités positif. Ils simplifient le changement de client final (ou de locataire) et les relevés de compteur d'électricité, induisent des économies d'électricité, permettent d'effectuer des mesures efficacement et à un coût avantageux et facilitent la gestion de la consommation propre. Ils exploitent des potentiels d'efficacité dans la planification du réseau.
- Les conditions politiques et réglementaires cadre doivent garantir que des incitations (technologiquement neutres) soient prévues pour que les solutions les plus efficaces économiquement soient mises en œuvre. Il incombe finalement au gestionnaire de réseau de choisir la technologie dans une situation concrète en tenant compte des incitations prévues par les instruments de régulation.



14 Domaines d'action réglementaires visant à éliminer les obstacles aux réseaux intelligents

L'examen des futures fonctionnalités, des solutions techniques qu'elles requièrent et du rapport coûts-utilité indique que de nombreuses solutions nécessaires sont déjà techniquement disponibles dans le domaine du réseau électrique et qu'elles paraissent économiquement rentables dans certains cas⁷⁴. Cependant, on ne trouve pas à ce stade d'utilisation à large échelle des solutions intelligentes. Actuellement, on mise encore plutôt sur le développement de réseau conventionnel. Cela peut être dû à ce que la part des sources d'énergie renouvelables dans la production rapportée à la consommation totale est encore relativement faible, ou à ce que des obstacles s'opposent aux investissements dans les technologies innovantes. En outre, les situations de congestion ont été jusqu'ici en nombre assez faible, ce qui a limité le nombre de cas dans lesquels l'utilisation des technologies de réseau intelligent aurait pu apporter des avantages économiques⁷⁵. Seul le domaine Bilan du système permet d'observer les prémises de solutions innovantes, par exemple les agrégateurs dans le domaine de l'intégration de la demande, les centrales virtuelles ou le stockage d'électricité décentralisé.

En principe, s'agissant de l'utilisation de technologies innovantes, on constate que des incertitudes de nature technique sont liées aux nouvelles solutions techniques, lesquelles accroissent la complexité du réseau et de son exploitation. Dans le contexte de la qualité de l'approvisionnement, la sécurité de l'exploitation du réseau revêt une haute importance et la complexité croissante constitue donc un nouveau défi. Cette situation impacte la mise en œuvre des innovations: même si une innovation technique promet un avantage sur les coûts, on tendra à l'estimer de manière conservatrice, par exemple en invoquant le manque d'expérience et l'aversion au risque relatif à sa fiabilité.

De plus, les incertitudes techniques gagnent en importance, de même que les incertitudes réglementaires qui leur sont liées. S'agissant de la mise en œuvre de solutions innovantes, il faut donc aussi tenir compte de l'environnement réglementaire, outre les obstacles commerciaux aux technologies de réseau intelligent et la standardisation qui se poursuit. Des questions demeurent ouvertes à propos de l'interface entre le marché et le réseau. A cet égard, il semble qu'un conflit d'objectifs oppose les gains d'efficacité réalisables d'un marché et les coûts des extensions d'infrastructure nécessaires à cet effet. Nous donnons ci-après un aperçu des obstacles possibles dans l'environnement réglementaire actuel, avant de présenter synthétiquement les éventuels domaines d'action réglementaires pertinents.

Statu quo réglementaire

A ce stade, la Suisse connaît une régulation des réseaux électriques axée sur les coûts (régulation cost-plus), qui prend la forme d'un examen ex-post effectué par le régulateur, la Commission fédérale de l'électricité (EiCom). Cet examen doit garantir que les coûts sont imputés aux coûts de réseau, pour autant qu'ils concourent à un réseau sûr, performant et efficace⁷⁶. Comme les réseaux intelligents n'ont

⁷⁴ Cf. chapitre 13 de la Feuille de route et «Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (BET Dynamo Suisse, 2014) et «Moderne Verteilernetze für Deutschland» (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014).

⁷⁵ Généralement, dans de telles situations de congestion, le renforcement du réseau passe par des solutions conventionnelles. Le raccordement au réseau de producteurs, en vertu des art. 7, 7a et 7b de la loi sur l'énergie (LEne; RS 730.0), peut nécessiter des renforcements du réseau à partir du point d'injection, lesquels font alors partie des services-système de la Société nationale du réseau de transport (Swissgrid), conformément à l'art. 22, al. 3, de l'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEI; RS 734.71). Swissgrid indemnise les gestionnaires de réseau sur la base d'une autorisation de l'EiCom (art. 22, al. 4 et 5 OApEI). Depuis 2009, 151 demandes d'autorisation de renforcement de réseau ont été soumises à l'EiCom au total, dont 91, représentant 18,5 millions de francs, ont été acceptées à ce jour (Commission fédérale de l'électricité (EiCom), 2014).

⁷⁶ A cet égard, il faut considérer le défi fondamental concernant la régulation que représente l'asymétrie d'information entre un exploitant de réseau et un régulateur. Celle-ci implique qu'il n'est en particulier pas simple de garantir l'efficacité, dans la mesure où les contrôles de coûts ne sont pas complets ou que les systèmes d'incitation ne sont pas adéquats.



guère percés à ce stade, on peut se poser la question de savoir si la pratique actuelle de reconnaissance des coûts suffit⁷⁷ et si elle nécessite un examen supplémentaire, ce qui dépasserait le présent cadre. Notons, fondamentalement, qu'un système de régulation des coûts peut mettre sur pied des incitations manquantes pour optimiser les coûts et stimuler l'innovation, à la condition qu'il n'en découle pas des avantages économiques immédiats par rapport à la pratique actuelle. Ainsi, au besoin, les coûts de développement conventionnel sont réputés clairement imputables, ce qui n'est pas a priori le cas des technologies de réseau intelligent qui, en raison des incertitudes qu'elles présentent⁷⁸, constituent un risque d'investissement. De plus, les investissements en capital sont rétribués avec leurs coûts d'opportunité par le CMPC (coût moyen pondéré du capital), tandis que les coûts d'exploitation ne sont que transférés. Cette situation favorise les solutions qui mobilisent beaucoup de capital, et ainsi développement de réseau conventionnel. Il n'y a guère d'incitations à une optimisation temporelle entre les coûts d'exploitation et les coûts de capital^{79,80}.

Le domaine du pilotage de la charge (nouvelle flexibilité du réseau) fournit un exemple de l'influence des conditions réglementaires cadre. S'agissant du pilotage de la charge, on ne sait dans quelle mesure des tiers peuvent guider des consommateurs pour des affaires commerciales, par exemple dans le marché des services-système, et à partir de quel point les questions de réseau ont la priorité. On ne sait pas clairement non plus dans quelle mesure il est possible d'utiliser les synergies entre le marché et le réseau, par exemple en recourant au stockage d'électricité décentralisé⁸¹. Du reste, il n'est pas possible à ce stade d'accéder à la production décentralisée issue de sources d'énergie renouvelables, bien qu'un tel accès recèle un potentiel considérable de réduction des coûts de développement de réseau rendus nécessaires par l'injection décentralisée⁸².

Importants domaines d'action pour les réseaux intelligents

Le rapport coûts-utilité de nombreuses solutions innovantes apparaît avantageux⁸³ dans une majorité des cas⁸⁴. Il y a donc lieu de se demander dans quelle mesure certaines adaptations réglementaires amélioreraient la diffusion des technologies visées.

Un marché étendu

Le développement du marché peut jouer un rôle dans la diffusion des solutions de réseau intelligent, pour autant qu'il encourage de nouveaux modèles d'affaires et qu'il entraîne des incitations à innover. Le marché suisse de l'électricité est partiellement libéralisé. Seuls les grands clients, dont la consommation finale atteint au moins 100 MWh par an, ont la possibilité de choisir librement leur fournisseur⁸⁵.

⁷⁷ En particulier s'agissant du traitement des renforcements de réseau (Commission fédérale de l'électricité (EiCom), 2012).

⁷⁸ En ce qui concerne la fiabilité, la durée de vie, les coûts réels en exploitation et les coûts des mesures d'entretien.

⁷⁹ Cf. partie consacrée à la régulation et à l'innovation de l'étude «Ausbau - und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030» (DENA, 2012) et «Moderne Verteilernetze für Deutschland - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)» (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014) et notamment «Stellungnahme zur Evaluierung der Anreizregulierung» (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW), 2014) et recommandations d'eurelectric in: «Regulation for Smart Grids» (The Union of the Electricity Industry (EURELECTRIC), 2011).

⁸⁰ Position en l'occurrence divergente de l'AES: toutes choses étant égales par ailleurs, il est usuel et judicieux, du point de vue entrepreneurial, d'évaluer avec de retenue les variantes entachées d'incertitudes. Au demeurant, un engagement de capital excessif (effet d'Averch-Johnson) n'intervient que si le taux d'intérêt réglementaire est supérieur au taux d'intérêts conforme au marché et au risque. Tel n'est actuellement pas le cas.

⁸¹ «Energiespeicher in der Schweiz; Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050» (Kema Consulting GmbH, 2013).

⁸² Cf. chapitre 13 et les études «Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (BET Dynamo Suisse, 2014) et «Moderne Verteilernetze für Deutschland» (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014).

⁸³ Cf. (BET Dynamo Suisse, 2014) et des éléments d'information en provenance d'Allemagne (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014),

⁸⁴ On pense en l'occurrence à des situations de congestion du réseau causées par l'intégration d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables.

⁸⁵ Ces grands consommateurs pèsent en Suisse pour environ 50% des quantités, mais ils ne forment que 2% bien comptés de l'effectif des participants au marché.



Les consommateurs finaux de plus petite taille sont liés à leur entreprise locale d'approvisionnement en énergie et à son offre. L'entrée en vigueur d'une libéralisation, qui concerne surtout les livraisons d'énergie aux clients finaux, est actuellement prévue pour 2018. Mais cette libéralisation, qui doit encore être votée par le Parlement, est soumise au référendum facultatif.

L'ouverture totale du marché prévue, qui ne concerne que le domaine de l'énergie, apporte en principe également des incitations à l'innovation dans le domaine du réseau. De nouveaux services sur le marché, par exemple le pilotage de la consommation ou la gestion du stockage décentralisé, peuvent aussi placer les réseaux face à de nouvelles exigences qu'il s'agira de maîtriser efficacement du point de vue des coûts. L'introduction prévue de systèmes de mesure intelligents auprès des consommateurs finaux concourra à la liquidité du marché de l'électricité tout en fournissant de nombreuses autres utilités et possibilités aux innovations, également dans le domaine du réseau⁸⁶⁸⁷. Le comptage intelligent soutient donc l'ouverture du marché.

Introduction de systèmes de mesure intelligents chez le consommateur final sous garantie de protection et de sécurité des données

Bien que de tels systèmes de mesure intelligents ne soient pas une condition fondamentale de l'existence d'un réseau intelligent, ils apportent une utilité au réseau, au marché de l'électricité et au marché des services énergétiques⁸⁸. Ils permettent ou soutiennent une meilleure planification du réseau, la réduction des coûts de transaction dans les processus de changement, ou des mesures destinées à accroître l'efficacité énergétique. Afin d'éviter des barrières techniques, il est nécessaire d'harmoniser un minimum les systèmes de mesure intelligents à l'échelle de la Suisse. Afin de fixer des exigences minimales uniformes, une norme de délégation à l'attention du Conseil fédéral est proposée dans la loi sur l'approvisionnement en électricité⁸⁹. Cependant, les directives à ce niveau doivent se borner à permettre une action conjuguée des composants de réseau nécessaires et à éviter des coûts ultérieurs irrécouvrables pour les gestionnaires de réseau. Il faut viser une harmonisation, déjà discutée au chapitre 12 et qu'il s'agit d'aborder en particulier sous l'angle réglementaire, des exigences techniques et de la protection des données à l'échelle de la Suisse⁹⁰. Les propriétés techniques des systèmes ou des autres applications que les exigences techniques minimales identifiées⁹¹ doivent être laissées au marché. Celui-ci peut fournir des services TIC de manière à permettre l'innovation et à réduire les coûts de transmission et de gestion des données. Le surcroît d'informations disponibles sur le marché favorise justement l'innovation, notamment dans le domaine du réseau (p. ex. en ce qui concerne la planification ou l'exploitation du réseau, afin d'optimiser l'utilisation des capacités disponibles).

⁸⁶ Cf. en particulier «Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse exigences techniques minimales et modalités» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2014).

⁸⁷ Position divergente de l'AES: un pilotage accru de la consommation et des stocks décentralisés n'est que peu lié à une ouverture du marché ou à ses conséquences. L'apport des systèmes de mesure intelligents au soutien du marché de l'électricité est lui aussi plutôt faible.

⁸⁸ «Folgeabschätzung einer Einführung von "Smart Metering" im Zusammenhang mit "Smart Grids" in der Schweiz» (Bits to Energy Lab, Ecoplan SA, Weisskopf Partner S.A.R.L., ENCO SA, 2012) et le rapport «Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse: exigences techniques minimales et modalités» (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2014).

⁸⁹ Cf. art. 17a LAPeI dans le projet de loi et le message du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2013).

⁹⁰ La protection et la sécurité des données peuvent faire partie des exigences techniques minimales ou des réglementations sectorielles. Une uniformisation des dispositions fédérales et cantonales, régie par un niveau de protection de la personnalité judiciaire, est avantageuse pour éviter les obstacles commerciaux. La sécurité de ces systèmes doit elle aussi être garantie. Il apparaît nécessaire de procéder encore à d'autres travaux de standardisation, qui appellent en conséquence des mécanismes de protection et des processus de maintien du niveau de protection (p. ex. examens de la conformité).

⁹¹ Cf. le rapport «Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse: exigences techniques minimales et modalités». (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2014).



Séparation

Le degré de séparation entre le réseau et le domaine du marché exerce une grande influence sur les incitations. Actuellement, une séparation de la comptabilité et des flux d'information des entreprises d'approvisionnement en énergie intégrées verticalement est pour le moins nécessaire⁹². Du point de vue réglementaire, il ne s'agit là que d'une forme possible de séparation, qui évite de perdre les avantages considérables de l'interconnexion entre le réseau et le marché⁹³, spécialement pour les petits gestionnaires de réseau. D'un autre côté, une telle séparation peut freiner le développement du marché dans des domaines associés au réseau.

La question de la poursuite de la séparation des entreprises suisses se pose surtout dans le contexte de la conclusion de l'accord sur l'électricité avec l'UE. En effet, l'UE demande une forme de séparation plus prononcée en fonction de la taille des entreprises. La complexité de la discussion sur le degré adéquat de séparation des entreprises suisses interdit de l'approfondir dans le présent cadre. Il faut toutefois noter que les intérêts d'entreprises d'approvisionnement en énergie complètement séparées se présentent différemment que dans la situation présente. Les acteurs tiers du marché de l'électricité, tels que les prestataires énergétiques, les prestataires de mesures ou les agrégateurs, en sont particulièrement affectés. Il s'agit d'effectuer une pesée entre les avantages de la séparation et ceux de l'intégration verticale.

Activation et accès aux flexibilités des réseaux de distribution: pilotage de la charge, stockage, gestion de l'injection

La flexibilité dont le réseau dispose grâce aux installations pilotables (production, consommation et stockage décentralisé de l'électricité) joue un rôle important dans le développement des marchés intelligents. Divers groupes d'intérêts, sommairement regroupés par rôles⁹⁴, ont un intérêt économique à faire usage de ces flexibilités. La figure 23 illustre la situation. Les gestionnaires de réseau, qui visent un approvisionnement bon marché et de qualité élevée, ont intérêt à ce que les flexibilités bénéficient au réseau. D'autres rôles ont surtout des intérêts générés par le marché, alors que les aspects du réseau ne les concernent pas au premier chef. Les entreprises d'approvisionnement en électricité (EAE) non intégrées font état de plus amples intérêts. Les intérêts étant divergeants, on doit donc se demander comment résoudre adéquatement les conflits d'intérêts entre une intervention plutôt orientée vers le marché et une intervention davantage axée sur le réseau.

⁹² Cf. art. 10 de la loi fédérale du 23 mars 2007 sur l'approvisionnement en électricité (état au 1^{er} juillet 2012) [RS 734.7].

⁹³ Ces avantages sont inhérents notamment à la réduction de la charge administrative et à une simplification de la comptabilité.

⁹⁴ Cf. en particulier le chapitre 12 de la Feuille de route.

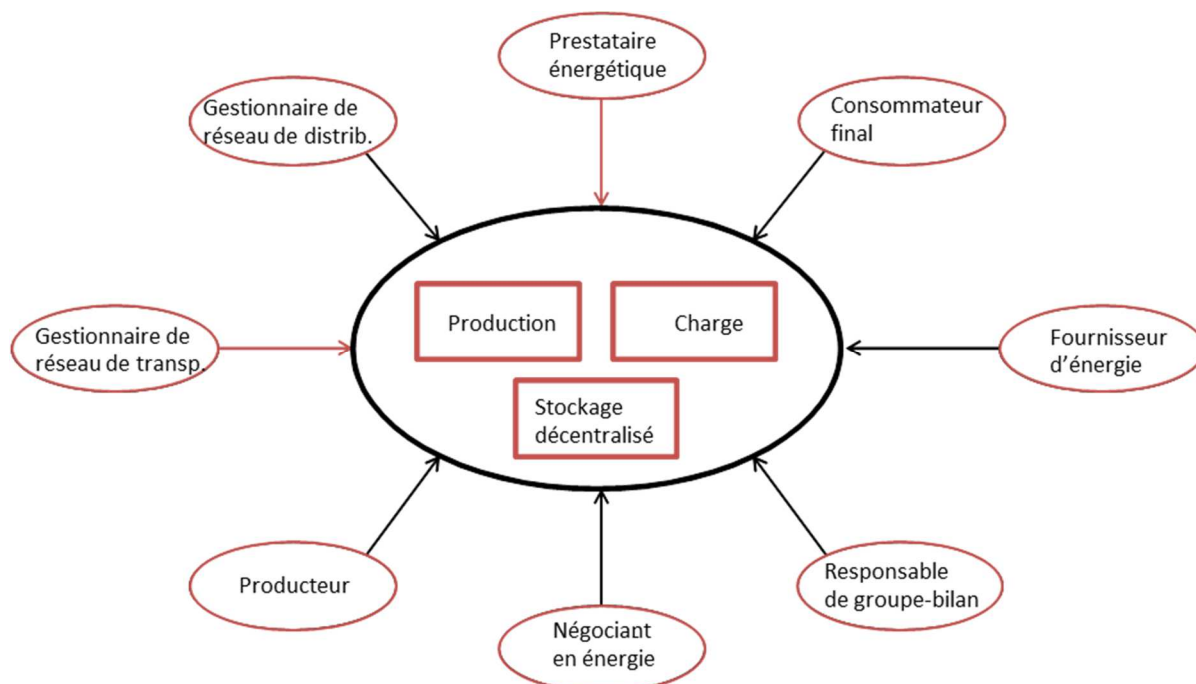


Figure 23 Ressources du réseau électrique et rôles susceptibles de trouver intérêt à y recourir.

Intérêts du réseau

Du côté du réseau, les gestionnaires de réseau de distribution ont un intérêt à pouvoir influencer directement les charges, par exemple afin d'éviter des problèmes de tension ou une surcharge des lignes ou des transformateurs. Outre ces aspects techniques dans le contexte de la qualité de l'approvisionnement, citons aussi des raisons économiques. Le pilotage de la charge permet d'éviter la formation de pointes de charge, ce qui autorise à réduire (donc à optimiser économiquement) le développement du réseau. A certaines conditions, on peut aussi réduire la répercussion des coûts liés à l'utilisation des réseaux en amont. Le gestionnaire du réseau de transport a un intérêt à influencer les charges par des mécanismes du marché et à les piloter indirectement de manière à maintenir la stabilité du système ou à obtenir plus de possibilités de redispatching. Les intérêts liés à l'utilisation du stockage d'électricité sont les mêmes dans une large mesure.

S'agissant de la production décentralisée, le gestionnaire de réseau de distribution est intéressé à un taux d'utilisation de son réseau aussi proche que possible de l'optimal, c'est-à-dire à l'utilisation de la capacité de son réseau dans le respect des valeurs techniques limites. Dans de nombreux cas, intervenir dans la production en gérant l'injection n'apparaît nécessaire que quelques heures par année seulement, pour prévenir ou éviter localement le non-respect de valeurs limites dans le réseau et pour améliorer l'utilisation des infrastructures. Les analyses coûts-utilité montrent que de telles interventions éliminent les problèmes de réseau à un coût avantageux⁹⁵.

Intérêts du marché

Du côté du marché, la gestion des charges intéresse une multitude de rôles, par exemple: les prestataires énergétiques, les agrégateurs, les fournisseurs d'énergie et les consommateurs finaux. Parmi les consommateurs finaux, ceux qui font état d'une production propre (les prosummateurs) ont un intérêt

⁹⁵ Cf. «Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid» (BET Dynamo Suisse, 2014) et «Moderne Verteilernetze für Deutschland - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)» (E-Bridge, IAEW, Offis, 2014).



spécial à la gestion des charges, qui peut s'avérer avantageuse, par exemple pour augmenter le taux de consommation propre dans le cadre de la réglementation de la consommation propre. Les consommateurs finaux peuvent transférer leur flexibilité à d'autres rôles du marché, qui la proposent par exemple sur les marchés des services-système ou qui l'utilisent pour optimiser le portefeuille de distribution ou d'achat. En outre, de nouveaux services peuvent être proposés sur la base de cette flexibilité. Divers acteurs ont des intérêts comparables à l'utilisation du stockage de l'électricité. Quant à la production décentralisée, son utilisation flexible dans toute la mesure du possible, et sa disponibilité intéressent surtout (du point de vue du marché) les producteurs, les consommateurs finaux et les prestataires énergétiques. Ceux-ci pourraient bénéficier davantage d'une commercialisation directe et d'autres opportunités. Les prestataires énergétiques ou les agrégateurs pourraient, s'ils conquéraient d'autres marchés en plus de la commercialisation directe, générer une plus-value en exploitant des centrales virtuelles.

Conclusion

En raison des interactions entre les rôles, la gestion des charges par le rôle du marché se répercute sur d'autres rôles et inévitablement sur le réseau électrique. Une multiplication des interventions induites par le marché pourrait entraîner, surtout dans le réseau de distribution, des problèmes techniques qui resteraient toutefois d'étendue limitée. Les larges interventions de tiers en faveur du marché complexifient donc le système et poussent à se demander à partir de quel point le réseau jouit d'une priorité sur le marché et comment il convient de fixer la valeur des flexibilités. En ce qui concerne le stockage de l'électricité, il faut clarifier dans quelle mesure leur utilité sur le marché et pour le réseau pourraient être fixée globalement et si des synergies sont exploitables. A ce stade, la plupart des utilités fournies par le stockage d'électricité décentralisé ont été identifiées pour le marché, mais seule l'utilité supplémentaire pour le réseau contribue à un rapport coûts-utilité positif⁹⁶. Enfin, une gestion complète de l'injection peut accroître le potentiel économique considérable de réduction des coûts liés au développement du réseau. Jusqu'à présent, la totalité de la production issue des nouvelles énergies renouvelables doit être absorbée par le réseau, dans la mesure où elle est injectée sous une forme adaptée au réseau, c'est-à-dire tant qu'elle ne menace pas sa sécurité. Cette situation a empêché jusqu'ici une utilisation des potentiels de réduction.

Les conflits d'intérêts économiques dans les domaines de la gestion des charges, du stockage de l'électricité et de la gestion de l'injection exigent des conditions-cadre claires qui permettent de les résoudre intelligemment. A cet effet, il faut garantir un accès non discriminatoire aux potentiels des flexibilités disponibles, par exemple en précisant la définition des rôles dans le marché et dans le réseau, et en tarifant ces flexibilités en se fondant autant que possible sur le marché⁹⁷. Dans ce cadre, il faut envisager le calcul économique dans son ensemble: prévoir plus de marché est judicieux tant que les coûts de préparation et les autres coûts de transaction ne deviennent pas trop importants. Le principe dit des « feux de signalisation » pourrait offrir une amorce de solution⁹⁸. Des critères clairs pour les droits d'accès des gestionnaires de réseau aux flexibilités peuvent être fixés. Dans ce contexte, la valeur attribuée à la flexibilité, respectivement sa rétribution, joue un rôle particulier. Outre de telles conditions-cadre,

⁹⁶ Cf. «Energiespeicher in der Schweiz; Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050» (Kema Consulting GmbH, 2013).

⁹⁷ Position divergente de l'AES: l'accès non discriminatoire au stockage sera préjudiciable aux investissements dans ceux-ci, car l'investisseur est limité dans l'utilisation de cette ressource d'exploitation. Il peut en résulter une évaluation conservatrice et une mise à disposition insuffisante du stockage.

⁹⁸ Cf. «BDEW Roadmap – Realistische Schritte zur Umsetzung von Smart Grids in Deutschland» (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW), 2012). Les feux de signalisation représentent trois phases de l'exploitation des flexibilités: 1) vert, pas de problème dans le réseau: on peut laisser le marché jouer totalement; 2) jaune, des problèmes sont prévisibles: le gestionnaire peut demander l'accès aux flexibilités et doit les rétribuer; 3) rouge, des problèmes de réseau sont imminents: le gestionnaire de réseau peut rendre toutes les mesures nécessaires. Toutefois, il reste à examiner la forme que devrait prendre un tel concept.



une gestion de l'injection pertinemment conçue peut, avant toute autre mesure, contribuer considérablement à la réalisation des potentiels d'économies. En effet, la gestion de l'injection fournit pour l'avenir un potentiel de flexibilisation considérable dans la perspective du dimensionnement du réseau, mais aussi dans l'optique de la commercialisation directe sur le marché. Pour terminer, s'agissant du stockage d'électricité décentralisé, il faut aussi créer un espace de solutions qui permette d'exploiter l'utilité tant pour le marché que pour le réseau, sans toutefois violer les principes de séparation.

Incitations à l'efficacité et à l'innovation

Une réglementation axée sur les coûts apporte des sécurités financières et, par conséquent, des incitations à tester de nouvelles solutions une fois que la reconnaissance de leurs coûts est assurée. Si, dans un système de régulation, le développement du réseau exige d'importants apports en capitaux, mais que ce développement apparaît économiquement plus intéressant que l'utilisation accrue d'innovations aux coûts d'exploitation élevés, il est possible de favoriser les solutions conventionnelles. Cette incitation contraire est de plus étayée par la plus grande complexité technique des solutions de réseau intelligent, une complexité en raison de laquelle, le cas échéant, le risque d'une intervention est jugé trop élevé, ce qui fournit des arguments à son encontre. En principe donc, pour stimuler implicitement l'innovation, il peut être intéressant de disposer d'une régulation incitative qui, adéquatement dimensionnée, laissera suffisamment d'espace aux investissements efficaces⁹⁹. Il s'agira d'examiner comment donner des incitations adéquates et technologiquement neutres, dans le cadre d'une régulation axée sur les coûts ou sur les incitations, en faveur d'une percée économiquement souhaitable des réseaux électriques dotés de solutions intelligentes.¹⁰⁰ La régulation «Sunshine»¹⁰¹, actuellement envisagée, permet d'accomplir des progrès et des incitations à l'innovation, et de promouvoir l'efficacité dans le développement du réseau en incitant à l'approfondissement des analyses de coûts.

Plus généralement, selon le projet de loi concernant la stratégie Réseaux électriques¹⁰², les innovations doivent être encouragées dans ce cadre plus restreint, mais plus en détail. Des «budgets d'innovation», c'est-à-dire des montants alloués aux mesures innovantes dans le réseau, doivent être introduits. L'objectif est de permettre de tester, dans les réseaux, de nouvelles technologies dont le rapport coûts-utilité apparaît en principe attractif¹⁰³. Les gestionnaires de réseau pourront ainsi mettre en œuvre des mesures innovantes, individuellement et sans grandes charges administratives, tout en engrangeant d'importantes expériences concernant l'efficacité et la fiabilité des technologies. Cependant, les bénéficiaires de ces budgets seront tenus de rendre publics les résultats des concepts d'exploitation et de planification, de leur réalisation et de ses effets, et notamment de les mettre à la disposition des autres utilisateurs. Ce dispositif pourra favoriser la diffusion des solutions intelligentes en Suisse¹⁰⁴, mais il faut le distinguer fondamentalement des programmes destinés aux projets pilotes et de démonstration (P&D), qui revendiquent des critères de positionnement uniques. De tels projets, importants du point de

⁹⁹ Cf. «Internationale Regulierungssysteme - Vergleich von Regulierungsansätzen und -erfahrungen. Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur (BNetzA) (E-Bridge, ETA Energy, AF Mercados EMI, THEMA Consulting Group, 2014).

¹⁰⁰ Position divergente de l'AES: les incitations aux solutions de réseau intelligent doivent être envisagées indépendamment du modèle de régulation.

¹⁰¹ Dans le cadre d'une régulation «Sunshine», les données structurelles des gestionnaires de réseau sont relevées et publiées. Ces publications peuvent constituer des incitations à s'améliorer et à approfondir l'analyse des coûts.

¹⁰² Cf. projet de loi, destiné à la consultation, concernant la stratégie Réseaux électriques sous: www.bfe.admin.ch.

¹⁰³ Des directives ou des procédures concrètes visant l'analyse de tels projets ont déjà été développées et constituent une éventuelle procédure standardisée à cet effet. Cf. «Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of smart grid projects» (Joint Research Center (JRC) - Institute for Energy and Transport, 2012).

¹⁰⁴ Les régulateurs européens sont aussi en quête d'incitations légales adéquates destinées aux gestionnaires de réseau, afin d'intégrer davantage les technologies innovantes dans les réseaux. Cf. «Smart Grids Position Paper - Conclusion Paper» (Groupe de régulateurs européens pour l'électricité et le gaz (ERGEG), 2010) et «CEER Status Review on European Regulatory Approaches Enabling Smart Grids Solutions ("Smart Regulation")» (Conseil des régulateurs européens de l'énergie (CEER), 2014). Cf. également la régulation exercée par certains Etats comme la Grande-Bretagne en faveur de l'innovation dans le domaine des réseaux électriques in: «Revenue = Incentives+ Innovation+ Outputs (RIIO) Model» (Office of Gas and Electricity Markets (ofgem), 2013).



vue de l'encouragement de l'innovation, interviennent plus tôt dans le développement de solutions innovantes. Les «budgets d'innovation» sont consacrés à la diffusion de solutions testées préalablement, le cas échéant dans le cadre de programmes P&D.

Protection et sécurité des données dans les réseaux intelligents

Les réseaux électriques sont au nombre des infrastructures critiques. Des manipulations (p. ex. l'introduction de signaux de pilotage erronés) peuvent entraîner des pannes ou endommager des ressources d'exploitation. La protection et la sécurité des données revêtent une haute importance pour la diffusion de solutions intelligentes. Elles doivent être garanties à un niveau adéquat dans l'ensemble du réseau intelligent. Un niveau de sécurité judicieux, qui permet la confidentialité, l'intégrité, la disponibilité et la traçabilité des données, peut être défini à partir d'une analyse de risques. Dans nombre de cas d'utilisation des fonctionnalités de réseau intelligent identifiées, le relevé des valeurs mesurées et la transmission d'informations aux fins d'analyse et de pilotage sont essentiels. Si le pilotage de la production, du stockage de l'électricité ou des charges sont assurés à l'aide des TIC, ils peuvent constituer un risque systémique. Des directives et exigences claires peuvent aider à réaliser des analyses approfondies et accélérer la réalisation du niveau de sécurité nécessaire en assurant la sécurité du droit et donc la sécurité des investissements. Cependant, les exigences devraient être conçues de manière à rester flexibles, car les TIC évoluent rapidement.

Le modèle d'utilisation du réseau: une équité supérieure selon le principe de causalité

En définitive, le développement du réseau est aussi influencé par l'allocation des coûts. Une équité élevée conforme au principe de causalité dans la rémunération de l'utilisation du réseau garantit que quiconque engendre des coûts de réseau les paie. Ce principe, qui élève le niveau de conscience des coûts, donne des incitations en faveur d'un comportement efficace tout en exerçant un effet de pilotage important. A cet égard, la conception des prix de l'énergie d'une part et des prix des services d'autre part est fondamentale, tout comme leur pondération et leur différenciation temporelle et spatiale.

Les pointes de charges sont une cause essentielle du développement des réseaux et, donc d'importantes inductrices de coûts. Le prix de la puissance prend surtout en compte le rapport entre la charge de pointe et les coûts du réseau. Le prix du kWh tient compte des coûts dépendant de l'énergie. Une différenciation des tarifs en fonction de l'utilisation du réseau dans le temps prévoit des majorations supplémentaires de prix en période de forte demande du réseau: elle internalise la demande d'infrastructure et finalement les coûts afférents selon le principe de causalité. Les coûts fournissent une incitation à étaler dans le temps la sollicitation du réseau et, de ce fait, une incitation à homogénéiser les profils de consommation et de production. Une composante spatiale est suivie du même effet: elle apporte des incitations tarifaires pour choisir l'emplacement de nouvelles installations de production et pourrait atteindre une efficacité allocative supérieure.

Un modèle adapté d'utilisation du réseau est donc susceptible de fournir des incitations au pilotage, intelligent et favorable au réseau, de la production, du stockage d'électricité décentralisé et de la consommation. Il faut toutefois, à cet effet, une coordination et une communication entre les besoins du réseau et les flexibilités. L'objectif est d'obtenir un meilleur taux d'utilisation des infrastructures actuelles, de réduire le supplément de capacités de réseau requises et de limiter ainsi la progression des coûts de réseau à une légère augmentation. On note en l'occurrence une interdépendance avec l'activation discutée des flexibilités. Une autre conception des prix, entre les tarifs de l'énergie et ceux de la puissance, peut améliorer les incitations en répercutant plus directement les inducteurs de coûts.

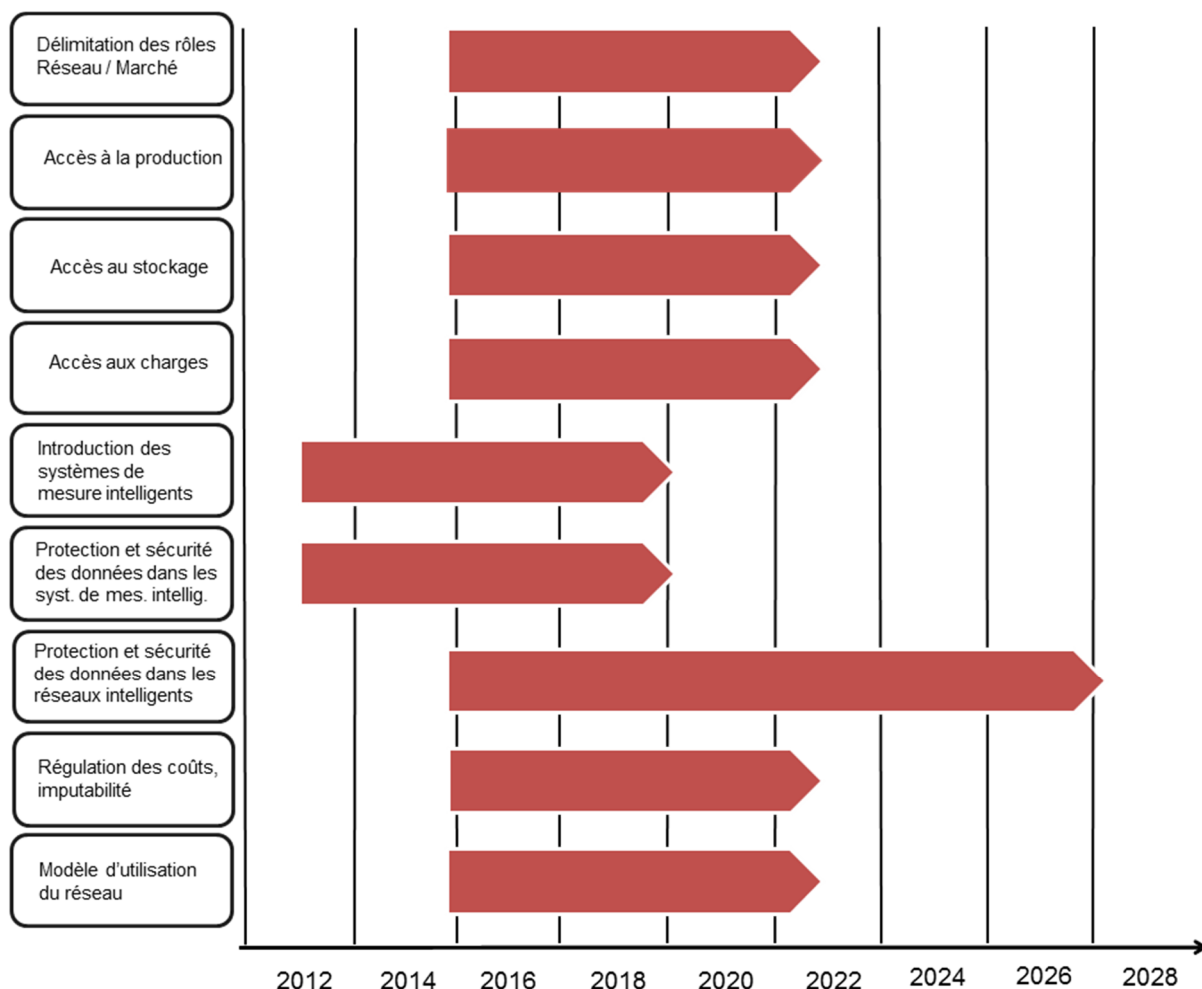


Figure 24 Travaux visant à éliminer les obstacles réglementaires aux réseaux intelligents.

Conclusions relatives aux mesures réglementaires nécessaires

La figure 24 illustre les domaines d'action en ce qui concerne la réglementation. Elle présente un calendrier estimatif des travaux visant une réglementation propice ou non défavorable au développement du réseau intelligent. Ainsi, il faudrait examiner prochainement, dans le contexte de la Stratégie énergétique 2050, l'amélioration des délimitations du réseau et du marché et les aspects de l'accès à la production, au stockage de l'électricité et aux charges. Des réglementations ont déjà été proposées par anticipation, dans le cadre du premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050, afin d'introduire des systèmes de mesure intelligents chez les consommateurs finaux. Les travaux visant une ordonnance correspondante doivent comporter des réflexions concernant les modalités d'introduction des systèmes de mesure intelligents, les exigences techniques minimales, une protection adéquate des données et la sécurité des systèmes¹⁰⁵. En raison notamment d'incertitudes quant à la définition des cas de mise en œuvre et vu les standards qui restent à développer sur le plan international, la sécurité des données pour les réseaux intelligents s'inscrit dans le long terme. A cet égard, il faut clairement

¹⁰⁵ L'Office fédéral de l'énergie conduit actuellement des travaux, en coopération avec des groupes d'intérêts concernés, afin d'identifier des amorces de solution pragmatiques.



différencier les cas d'utilisation concernant les systèmes de mesure intelligents installés chez le consommateur final. Dans la stratégie Réseaux électriques, le Conseil fédéral a proposé de premières incitations pour un accroissement de l'innovation dans le réseau.

En bref

- Il importe d'examiner et de constituer un ensemble de règles visant l'accès aux flexibilités dans le réseau de distribution (production, stockage de l'électricité, consommation), afin d'ajuster efficacement tant les besoins du réseau que ceux du marché. Une délimitation plus nette des rôles peut y contribuer.
- Des réglementations claires peuvent s'avérer nécessaires pour le stockage d'électricité décentralisé, afin d'exploiter la synergie entre le réseau et le marché. La question reste ouverte.
- Le recours effectif à des technologies innovantes dans le réseau promeut globalement le développement des réseaux intelligents. L'utilisation de transformateurs réglables ou d'autres éléments de réglage dans le réseau sont des exemples d'incitations judicieuses.
- Une gestion de l'injection (écrêtage de la puissance) n'est pas réalisable actuellement. Il faut examiner les possibilités de la concevoir judicieusement dans la perspective de réduire les coûts des réseaux de distribution.
- La libéralisation du marché de l'électricité et la concurrence qui s'y développe de plus en plus augmentent le potentiel d'utilité des systèmes de mesure intelligents. Ceux-ci sont capables de stimuler l'innovation dans le domaine du réseau.
- Le modèle d'utilisation du réseau doit comporter des incitations adéquates visant la consommation et/ou la production, afin de répartir les coûts de réseau conformément au principe de causalité. Dans ce contexte, il faut tenir compte des effets du rapport entre le prix de l'énergie et le prix de la puissance.



15 Aspects environnementaux

L'un des objectifs importants de la nouvelle politique énergétique consiste à orienter l'approvisionnement en énergie et en électricité de manière plus respectueuse de l'environnement. Il s'agit donc de considérer les réseaux intelligents et leurs solutions intelligentes dans le contexte des aspects de politique environnementale. Les réseaux intelligents soutiendront le changement de paradigme voulu par la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral mais ils ont, tout comme les solutions conventionnelles, un impact sur l'environnement. Nous décrivons approximativement ci-après les principaux de ces effets.

Effets sur les émissions de gaz à effets de serre et sur le climat

Les réseaux intelligents peuvent réduire les émissions de gaz à effets de serre et les déchets de la technique nucléaire s'ils contribuent à mieux intégrer les (nouvelles) énergies renouvelables dans le système de manière à diminuer les besoins de la production électrique fossile. Par ailleurs, pour des raisons physiques, des pertes en ligne surviennent lors du transport de l'électricité dans le réseau. Les réseaux intelligents peuvent contribuer à réduire ces pertes, puisqu'ils permettent de produire davantage d'électricité à l'endroit même où elle est simultanément consommée. L'intégration de la demande peut y contribuer, par exemple par pilotage des charges visant à accroître la consommation propre¹⁰⁶, qui peut elle-même réduire un stockage provisoire parfois nécessaire, mais entaché de pertes.

Rayonnement non ionisant (RNI)

Les réseaux intelligents, qui permettent de réduire les pointes de puissance à transporter, réduisent de ce fait également les charges de pointe causées par les champs magnétiques. Ils peuvent en outre améliorer la capacité d'intégration des installations de production électrique décentralisées. Si les voies de transmission sont plus courtes, les champs magnétiques diminuent globalement dans l'environnement. Cependant, la production électrique (p. ex. les installations photovoltaïques) se rapproche des lieux de séjour prolongé, ce qui peut entraîner une augmentation locale de l'exposition aux RNI.

Protection du paysage et du sol

La visibilité des réseaux de distribution est nettement moins frappante que celle des réseaux de transport, notamment parce que les réseaux de distribution se composent de lignes électriques plus petites et qu'ils sont de plus en plus enterrés, en fonction de la tension (le taux de câblage est d'autant plus élevé que la tension est basse)¹⁰⁷. Cependant, les réseaux intelligents permettent surtout de réduire ou de différer le développement du réseau au niveau des réseaux de distribution. Ils ont le potentiel de réduire les atteintes au paysage causées par le tracé des lignes et de modérer à l'avenir les dommages aux terres cultivables, de forte valeur, et à l'espace en réduisant les besoins d'infrastructure de réseau. En particulier, des sols de valeur seront ainsi sensiblement moins sollicités, puisque les câbles et les conduites bétonnées qui leur sont nécessaires y seront moins nombreux, de même et les installations de compensation, de taille non négligeable, qui doivent être aménagées et qui impactent le sol.

Consommation des ressources

Les réseaux intelligents permettent d'économiser indirectement des matières premières comme le gaz, le charbon, le pétrole et des métaux. Les réseaux de transport, tout comme les réseaux de distribution, sont gourmands en matériel. Des métaux peuvent être économisés en réduisant globalement le développement des réseaux. Les infrastructures TIC des réseaux intelligents requièrent quant à elles davantage de terres rares. Toutefois, l'avantage d'économiser des agents énergétiques primaires devrait pouvoir être supérieur à l'inconvénient d'une consommation supplémentaire de métaux rares pour les TIC.

¹⁰⁶ Cf. chapitre 10 de la Feuille de route.

¹⁰⁷ La plupart des lignes (env. 80% des kilomètres de conduite) des réseaux de distribution sont câblées (Commission fédérale de l'électricité (ElCom), 2014).



La production électrique décentralisée, combinée au réseau intelligent, peut toutefois aussi conduire à une augmentation de la consommation des ressources (installations PV, électronique, etc. dont les cycles de vie sont plus courts). Indirectement, les réseaux intelligents peuvent contribuer à ce que les régimes d'écoulement soient réglés plus durablement dans le cadre de l'utilisation de la force hydraulique

Dangers naturels et gestion intégrale des risques

Garantir la protection des grandes installations, telles que les réseaux de transport ou les grandes centrales électriques, contre les dangers naturels est plus coûteux que de protéger les équipements décentralisés. Toutefois, la probabilité d'un incendie libérant des substances polluantes considérables peut augmenter dans le cadre de la production et de stockage d'énergie décentralisés.

En bref

- Grâce à une meilleure intégration de la production issue de sources d'énergie décentralisées, les réseaux intelligents peuvent contribuer indirectement à diminuer la consommation de matières premières fossiles et, par conséquent, à réduire les émissions de gaz à effets de serre.
- Les réseaux intelligents ménagent l'espace et le sol, puisqu'ils réduisent le développement du réseau.



16 Liste bibliographique

- Agence internationale de l'énergie (AIE). (2010). *Energy Technology Roadmaps - a guide to development and implementation*. Paris, France.
- Association des entreprises électriques suisses (AES). (2011). *Distribution Code Suisse. Règles techniques pour le raccordement, l'exploitation et l'utilisation du réseau de distribution*. Aarau, Suisse.
- Association des entreprises électriques suisses (AES). (2012). *Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur*. Aarau, Suisse.
- Association des entreprises électriques suisses (AES). (2013). *Recommandation Raccordement au réseau (pour toutes les personnes raccordées au réseau de distribution)*. Aarau, Suisse.
- AWK, Vischer - Anwälte, FIR - Hochschule St. Gallen. (2014). *Datensicherheit und Datenschutz in Smart Grids*. Berne, Suisse.
- BET Dynamo Suisse. (2014). *Kosten, Nutzen und weitere Effekte von ausgewählten Technologien für ein Schweizer Smart Grid*. Berne, Suisse.
- Bits to Energy Lab, Ecoplan SA, Weisskopf Partner S.A.R.L., ENCO SA. (2012). *Folgeabschätzung einer Einführung von "Smart Metering" im Zusammenhang mit "Smart Grids" in der Schweiz*. Berne, Suisse: Etude sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). (2012). *BDEW Roadmap – Realistische Schritte zur Umsetzung von Smart Grids in Deutschland*. Berlin, Allemagne.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). (2014). *Stellungnahme zur Evaluierung der Anreizregulierung*. Berlin, Allemagne.
- CEN, CENELEC, ETSI Smart Grid Coordination Group. (2012). *Smart Grid Reference Architecture*. Bruxelles, Belgique.
- CENELEC. (1994). *EN 50160 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems"*. Bruxelles, Belgique.
- Commission européenne (CE). (2011). *Definition, expected Services, Functionalities and Benefits of Smart Grids*. Bruxelles, Belgique.
- Commission européenne (CE). (2014). *Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27*. Bruxelles, Belgique.
- Commission Européenne (EC) Task Force for Smart Grids. (2010). *Expert Group 1: Functionalities of Smart Grids and Smart Meters - Final Deliverable*. Bruxelles, Belgique.
- Commission européenne. (2009). *Standardisation mandate to CEN, CENELEC and ETSI in the field of measuring instruments for the development of an open architecture for utility meters involving communication protocols enabling interoperability*. Bruxelles, Belgique.



- Commission européenne. (2011). *Standardisation mandate to european standardisation organisations (ESO) to support european smart grid deployment*. Bruxelles, Belgique.
- Commission fédérale de l'électricité (EiCom). (2012). *Directive 4/2012 de l'EiCom relative aux renforcements de réseau*. Berne, Suisse.
- Commission fédérale de l'électricité (EiCom). (2014). *Rapport d'activité de l'EiCom 2013*. Berne, Suisse.
- Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE). (2012). *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013-2016*. Berne, Suisse.
- Conseil des régulateurs européens de l'énergie (CEER). (2014). *CEER Status Review on European Regulatory Approaches Enabling Smart Grids Solutions ("Smart Regulation")*. Bruxelles, Belgique.
- Consentec GmbH. (2012). *Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der dezentralen Erzeugung auf die Schweizer Verteilnetze*. Berne, Suisse: Etude sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.
- Consentec GmbH. (2013). *Zustandsanalyse und Entwicklungsbedarf von technologien für ein Schweizer Smart Grid*. Berne, Suisse.
- DENA. (2012). *Ausbau - und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030*. Berlin, Allemagne.
- E-Bridge, ETA Energy, AF Mercados EMI, THEMA Consulting Group. (2014). *Internationale Regulierungssysteme - Vergleich von Regulierungsansätzen und -erfahrungen. Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur (BNetzA)*. Bonn, Allemagne.
- E-Bridge, IAEW, Offis. (2014). *Moderne Verteilernetze für Deutschland - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Berlin, Allemagne.
- e-Netz AG, Fichtner Management Consulting AG. (2014). *Vertiefungsstudie zur Strategie Stromnetze im Hinblick auf die Erarbeitung einer Vernehmlassungsvorlage*. Berne, Suisse.
- ENISA. (2012). *Appropriate security measures for smart grids*. Bruxelles, Belgique.
- eurelectric - Distribution Study Committee Group of Experts: Service Quality. (1997). *Availability of Supply Indices*. Bruxelles, Belgique.
- Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie (FEEI). (2011). *Roadmap Smart Grids Austria*. Vienne, Autriche.
- FNN Forum Netztechnik und Netzbetrieb im VDE. (2013). *Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität in Deutschland*. Berlin, Allemagne.
- Groupe de régulateurs européens pour l'électricité et le gaz (ERGEG). (2010). *Smart Grids Position Paper - Conclusion Paper*. Bruxelles, Belgique.



- Joint Research Center (JRC) - Institute for Energy and Transport. (2012). *Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of smart grid projects*. Luxembourg, Luxembourg.
- Kema Consulting GmbH. (2013). *Energiespeicher in der Schweiz; Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050*. Berne, Suisse.
- Kostoff, R. S. (2001). *Science and Technology Roadmaps*. IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 48, nr.2.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2010). *Positionspapier zu "Smart Grids"*. Berne, Suisse: DETEC.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2011). *Überblicksbericht 2011 - Forschungsprogramm Netze*. Berne, Suisse.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2012). *Grundlagen Energieversorgungssicherheit*. Berne.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2012). *Plan directeur de la recherche énergétique 2013-2016 de l'Office fédéral de l'énergie*. Berne, Suisse.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2013). *Pilot- und Demonstrationsprogramm - Konzept*. Berne, Suisse.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2013). *Programme de recherche Réseaux*. Berne, Suisse.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2013). *Projet de loi et message du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050*. Berne, Suisse.
- Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2014). *Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse: exigences techniques minimales et modalités*. Berne, Suisse.
- Office of Gas and Electricity Markets (ofgem). (2013). *Revenue = Incentives+ Innovation+ Outputs (RIIO) Model*. Londres, Grande-Bretagne.
- Prognos SA. (2012). *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 - Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 - 2050*. Berne, Suisse: Etude sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.
- R. Phaal, C. F. (2003). *Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution*. Technology Science and Social Change, vol. 71, S. 5-26.
- Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI). (2012). *Smart Grid Roadmap*. Dublin, Irlande.
- The Union of the Electricity Industry (EURELECTRIC). (2011). *Regulation for Smart Grids*. Bruxelles, Belgique.



17 Liste des abréviations

C	Fossile-centralisée (scénario de production électrique en Suisse)
C&E	Fossile-centralisée et renouvelable (scénario de production électrique en Suisse)
CCC	Centrale à cycles combinés alimentée au gaz
CCF	Couplage chaleur-force
CIAN	Type d'analyse: Confidentiality (confidentialité), Integrity (intégrité), Availability (disponibilité) et Non-Repudiation (traçabilité)
CORE	Commission fédérale pour la recherche énergétique
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
E	Renouvelable (scénario de production électrique en Suisse)
EAE	Entreprise d'approvisionnement en électricité
FACTS	Système de transmission flexible en courant alternatif (Flexible Alternating Current Transmission System) (équipement d'électronique de puissance)
HVDC	Transmission d'électricité à haute tension en courant continu
LPD	Loi fédérale sur la protection des données
LTC	Loi fédérale sur les télécommunications
OFEN	Office fédéral de l'énergie
PCF	Mesures politiques du Conseil fédéral (Scénario de la demande d'énergie en Suisse)
PPA	Poursuite de la politique énergétique actuelle (scénario de la demande d'énergie en Suisse)
PV	Photovoltaïque
NIS	Rayonnement non ionisant
NPE	Nouvelle politique énergétique (scénario de la demande d'énergie en Suisse)
RPC	Rétribution à prix coûtant du courant injecté
TIC	Technologies de l'information et de la communication
UE	Union européenne
UIOM	Usine d'incinération des ordures ménagères
SCADA	Système de contrôle et d'acquisition de données (Supervisory Control And Data Acquisition)
SGAM	Modèle d'architecture de réseau intelligent (Smart Grid Architecture Model)
SS	Services-système



18 Glossaire

Agrégateur

L' «agrégateur» est un nouveau rôle dans les systèmes d'approvisionnement en énergie de l'avenir. Il regroupe une multitude de consommateurs différents auxquels il propose des produits du marché de l'électricité. Il dispose d'informations sur ses consommateurs et peut donc, sur cette base, les influencer dans leur comportement de consommation d'énergie, c'est-à-dire adapter leurs soutirages de puissance en quantité et/ou dans le temps. Les domaines d'utilisation anticipés à ce stade sont les services-système pour le gestionnaire de réseau de transport ou des offres sur un marché central de l'énergie.

Commercialisation directe

La commercialisation directe est un développement du système de promotion des énergies renouvelables. Contrairement au tarif fixe actuellement défini pour l'injection (RPC), davantage de signaux de marché sont transmis aux producteurs d'énergies renouvelables. Dans ce contexte, il est tenu compte de la valeur du courant renouvelable en fonction de la demande au moment de l'injection. Au final, dans un tel système, les producteurs réagissent aux variations de prix du marché, ils organisent leurs injections sur cette base avec plus de flexibilité dans le temps, ils améliorent leurs prévisions et ils proposent en outre davantage de produits conformes au marché.

Compteur intelligent

Les compteurs intelligents mesurent les flux d'énergie électrique effectifs et la durée d'utilisation effective. Ils représentent ces données, les sauvegardent et les diffusent de manière bidirectionnelle via le réseau de communication auquel ils sont raccordés. Ils font partie du système de mesure intelligent.

Consommateur final

Le consommateur final peut être un ménage ou un client industriel, etc. Il consomme de l'énergie électrique et dispose de charges statiques et flexibles. Les charges flexibles peuvent être gérées par lui ou par des tiers, comme le gestionnaire du réseau de distribution ou un prestataire énergétique / agrégateur.

Court-circuit

Les courts-circuits résultent de la connexion de deux ou des trois conducteurs de phase, qui doivent être automatiquement déconnectés en moins de quelques millisecondes.



Défaut à la terre

Ce défaut du réseau est aussi parfois désigné par «court-circuit à la terre». Les *défauts à la terre* sont des connexions entre un conducteur de phase (réseau isolé) et la terre, qui surviennent généralement par l'intermédiaire d'un troisième objet (p. ex. arbre, excavateur) en contact fortuit avec la ligne. Les courants observés dans les réseaux isolés sont en règle générale nettement plus faibles que ceux des courts-circuits. Selon le réseau, les défauts à la terre doivent être localisés et automatiquement déconnectés.

Défaut du réseau

Selon la technique électrique, la connexion involontaire et potentiellement dangereuse de certains des conducteurs de phase, entre eux ou avec la terre, est considérée comme un défaut. En cas de défaut peuvent se former des courants très forts, dont la valeur est démultipliée par rapport à celle du courant d'exploitation normal. Ces courants peuvent menacer la vie des personnes à proximité de l'endroit du défaut. De plus, ces courants sollicitent excessivement les ressources d'exploitation destinées à la production et à la transmission d'électricité, comme les générateurs, les transformateurs, les lignes, les jeux de barre omnibus et les commutateurs, qu'ils peuvent détruire. Les défauts doivent être dissociés de toutes les sources d'énergie alimentant le système.

Éléments de réseau actifs

Les éléments de réseau actifs sont normalement des éléments de réseau capables de modifier leur état de manière autonome ou par télécommande à distance. Il peut s'agir d'éléments d'électronique de puissance, comme un onduleur ou un FACTS, qui peuvent faire l'objet de mesures ou dont on peut changer les paramètres à distance. La modification des paramètres de ces éléments exerce une influence directe sur le réseau ou sur le courant dans le réseau. L'exemple le plus simple est le commutateur activable à distance et qui peut enclencher ou déconnecter une ligne. Un autre exemple est celui du transformateur réglable, qui est capable de régler la tension sur une branche du réseau (automatiquement sur place, sur la base de mesures locales ou à distance, sur la base de valeurs mesurées et d'un algorithme).

Fiabilité de l'approvisionnement

La fiabilité de l'approvisionnement dépend de la disponibilité du réseau. Les principaux facteurs déterminants sont: la fréquence des interruptions, la durée des interruptions, la non-disponibilité, la durée de réapprovisionnement et la livraison de l'énergie en temps voulu¹⁰⁸.

¹⁰⁸ Cf. «eurelectric - Distribution Study Committee Group of Experts: Service Quality». (eurelectric - Distribution Study Committee Group of Experts: Service Quality, 1997), et «Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität in Deutschland». (FNN Forum Netztechnik und Netzbetrieb im VDE, 2013).



Flexibilité (option)

Les options de flexibilité ou de flexibilité générale comprennent une dynamisation d'éléments ou d'acteurs du réseau jusqu'alors statiques. En font en particulier partie les consommateurs qui n'étaient pas ou peu pilotables jusque-là, le stockage d'électricité décentralisé (batteries), les véhicules électriques, des maisons entières ou des installations domestiques (maison intelligente) et notamment les producteurs décentralisés tels que les installations photovoltaïques. A propos des flexibilités, il faut veiller à ce qu'elles puissent être affectées utilement soit au réseau, soit au marché. Mais toutes ne disposent pas du même potentiel de répartition entre le réseau et le marché. Les potentiels diffèrent fortement les uns des autres au cas par cas ou selon l'option de flexibilité elle-même. Certaines flexibilités présentent un potentiel pour le marché et n'ont guère d'importance pour le réseau.

Gestion de l'injection

La notion de gestion de l'injection est utilisée pour les concepts d'utilisation de productions décentralisées au bénéfice du réseau. Une gestion de l'injection est un redispatching aux niveaux des réseaux inférieurs. L'injection est réduite ou réglée, dans une plus ou moins large mesure selon la situation locale du réseau, et elle n'est plus à la disposition du marché. Les modalités de la gestion de l'injection dépendent de la technologie de production concernée (p. ex. photovoltaïque ou CCF)

Granularité des mesures

La granularité des mesures détermine le degré de détail ou la résolution des données mesurées, par exemple la fréquence. Selon la granularité, les données peuvent être disponibles à l'échelle de l'heure, de la minute ou de la seconde.

Harmoniques

Les harmoniques décrivent une distorsion de la forme sinusoïdale de la tension usuelle. Elles dégradent la qualité de la tension fournie par les producteurs (forme sinusoïdale presque parfaite et fréquence constante). Les harmoniques sont principalement causées par les consommateurs, par exemple en raison de l'usage accru de certaines parties du réseau ou parce des appareils sont enclenchés et déconnectés à un rythme rapide.

Induction rétroactive («backcasting»)

La méthode de l'induction rétroactive ou «backcasting» est un instrument fourni par la gestion de la technologie et de l'innovation. Il s'agit d'une approche stratégique pour planifier l'innovation et un développement durable. La première étape consiste à arrêter une vision de l'avenir, un objectif ou un succès. Le cheminement – ce qu'il faut faire – pour atteindre cet objectif est ensuite décrit.



Injection décentralisée

Dans le cas d'une production électrique décentralisée, l'électricité est produite au moyen de petites centrales électriques à proximité du consommateur, par exemple à l'intérieur ou dans le voisinage d'une zone habitée ou d'infrastructures industrielles. Contrairement à ce qui prévaut avec une production centralisée, l'énergie électrique de l'approvisionnement décentralisé en électricité n'est pas injectée dans le réseau à haute tension, mais dans le réseau à basse ou à moyenne tension. L'injection décentralisée provient notamment des nouvelles énergies renouvelables, comme le photovoltaïque ou l'éolien, mais aussi de technologies de production conventionnelles telles que les installations de couplage chaleur-force (CCF), les petites turbines à gaz ou la petite hydraulique.

Installations de couplage chaleur-force (CCF)

Les installations CCF utilisent de l'énergie mécanique, qui est normalement immédiatement transformée en électricité, et de l'énergie thermique aux fins de chauffage (chaleur à distance ou chaleur de proximité) ou pour des processus de production (chaleur de processus). Le rejet de chaleur non utilisée dans l'environnement est très largement évité. Le gaz (conventionnel ou biogaz) est utilisé comme agent énergétique primaire.

Intégration de la demande

On entend par intégration de la demande («demand side integration») l'implication des consommateurs et de leurs appareils dans les tâches de pilotage du système et du réseau. L'intégration de la demande est associée à la gestion de la demande («demand side management», DSM) et à la réponse à la demande («demand side response», DSR). La gestion de la demande désigne des mesures visant à influencer directement la consommation électrique par des possibilités de pilotage adaptées, alors que la réponse à la demande est la réaction du consommateur aux incitations (normalement monétaires) visant à influencer son comportement.

Interopérabilité

En l'occurrence, l'interopérabilité signifie que les appareils de différents fabricants et types, lors de leur installation ou de leur exploitation au sein d'un système de mesure intelligent, peuvent s'insérer dans le système global (compatibilité) et qu'ils sont capables d'exécuter les fonctions conformément aux exigences minimales fixées (interopérabilité). En s'inspirant du Comité européen de normalisation (CEN/CLC/ESTI/TR 50572), on peut définir l'interopérabilité comme la capacité d'un système à échanger des données avec des systèmes d'autres types ou d'autres fabricants. Il ne faut pas confondre l'interopérabilité avec l'interchangeabilité, qui décrit la possibilité d'échanger des composants spécifiques sans perte ni limitation de fonctionnalités.



Maison intelligente

Divers types de bâtiments qui comprennent des unités susceptibles d'être gérées intelligemment. Par exemple, les stores peuvent être automatiquement ouverts et fermés selon les besoins. Les pompes à chaleur, le chauffe-eau, la lumière et les autres installations consommatrices, voire productrices, sont pilotables. Une fonction de la maison intelligente pourrait donc consister à consommer soi-même autant que possible l'énergie produite plutôt que de l'injecter dans le réseau (maximisation de la consommation propre). Le pilotage de ces bâtiments intelligents peut avoir des objectifs très différents, mais elle peut aussi tout à fait intervenir en lien avec le réseau intelligent (p. ex. par le biais du comptage intelligent).

Modèles de communication

Diverses technologies assurent la transmission des informations dans les réseaux intelligents. Pour la communication par le réseau GPRS, les composants du réseau, par exemple les compteurs intelligents, peuvent être équipés de la technologie des courants porteurs en ligne («powerline communication») ou d'un réseau de fibres optique. Les technologies de communication, et aussi leurs possibilités d'utilisation dans les réseaux intelligents, se développent continuellement. Notons toutefois que les réseaux intelligents ne requièrent pas nécessairement leurs propres infrastructures de communication, mais qu'ils peuvent, dans le cas idéal, utiliser des réseaux de communication existants qu'ils partagent.

Papillonnement

Les effets de papillonnement (ou «effets flicker») correspondent à la perception oculaire des fluctuations de la luminosité ou de la distribution spectrale dans le temps. En langage familier, on pourra parler de vacillement ou de clignotement de l'éclairage. Le papillonnement se produit sous l'effet de changements de tension dans le réseau électrique. De tels changements de tension peuvent être causés, entre autres, par de soudaines chutes de tension à l'enclenchement d'un fourneau d'aciérie ou d'un ascenseur. On n'observe aucun papillonnement avec les sources lumineuses dotées de ballast électroniques (p. ex. LED) qui compensent les fluctuations de tension

Photovoltaïque

Transformation directe, au moyen de cellules solaires, de l'énergie lumineuse, généralement d'origine solaire, en énergie électrique.

**Production d'énergie stochastique**

On entend surtout par-là les nouvelles énergies renouvelables, à savoir le photovoltaïque ou l'énergie éolienne. Les capacités de la production énergétique stochastique sont fonction de l'apport du soleil ou du vent, qui connaît de fortes fluctuations et qui est soumis à des facteurs non influençables (p. ex. la force du vent ou la couverture nuageuse).

Projets pilotes et de démonstration

Les projets et installations pilotes et de démonstration sont un élément important d'un programme qui transpose en pratique des résultats de recherche. Cette remarque s'applique tout particulièrement à la première utilisation de nouveaux systèmes et composants. De tels projets constituent un maillon indispensable entre le laboratoire et le marché, tout en permettant l'essai et la démonstration de technologies énergétiques innovantes à une échelle telle que l'on puisse en retirer des indications sur la rentabilité, l'applicabilité, l'efficacité et la faisabilité technique.

Prosommateur

Le consommateur final se mue en prosommateur s'il possède une installation de production décentralisée reliée au même point de raccordement du réseau et que sa production excède sa consommation à certains moments. Le prosommateur est donc aussi bien injecteur (petite installation décentralisée) que consommateur final (consommateur). Il est normalement raccordé aux niveaux de réseau 4 à 7.

Puissance active

La puissance active est la puissance électrique disponible pour procéder à la transformation nécessaire en d'autres formes de puissances. Elle actionne les pompes à chaleur, produit de la lumière et intervient dans de nombreuses autres utilisations.

Puissance réactive

La puissance réactive est une notion empruntée à l'électrotechnique. Dans le réseau électrique d'approvisionnement en énergie, le producteur doit transférer de l'énergie au consommateur. Dans les réseaux exploités en courant alternatif monophasé ou triphasé, l'énergie qui s'écoule entre le producteur (la centrale électrique) et le consommateur d'électricité est plus importante que l'énergie convertie par le consommateur pendant le même nombre de périodes. Ce surplus d'énergie par unité de temps, qui ne contribue pas à l'énergie active, est généralement nécessaire à la stabilité technique du réseau (stabilité de la tension).

Qualité de l'approvisionnement

La qualité de l'approvisionnement est déterminée par les composants: fiabilité de l'approvisionnement, qualité des services et qualité de la tension (cf. aussi qualité du courant). C'est pourquoi la qualité de l'approvisionnement est principalement influencée par les gestionnaires de réseau.



Qualité de la tension	La qualité de la tension se définit par la concordance de la tension mesurée en un point donné avec certaines caractéristiques de la tension prescrites normativement ou convenues contractuellement (p. ex. niveau de tension, papillonnement).
Qualité des services	Qualité des prestations de l'entreprise d'approvisionnement qui dépassent la livraison d'électricité, par exemple l'accessibilité, la qualité de la gestion des doléances et la qualité du conseil.
Qualité du courant	Cette expression tend toujours à être utilisée de manière disparate. On peut lui attribuer diverses acceptions techniques. Dans le cadre du présent document, le standard IEEE 1100-1099 sert de référence. Parmi les atteintes à la qualité du courant, il énumère entre autres: les chocs de tension, les chutes de tension (sous-tensions), les pointes de tension (surtensions), les distorsions de la forme sinusoïdale ou les fluctuations de tension.
Perturbations de réseau	Des perturbations sur le réseau interviennent lorsque des composants intégrés dans le réseau influencent la qualité de l'électricité (p. ex. s'ils causent des fluctuations de la tension, des effets de papillonnement ou des harmoniques). Un nombre croissant de points d'injection décentralisés tend à accroître les impacts sur le marché.
Redispatching	Dans un cas de redispatching, le gestionnaire de réseau intervient dans l'allocation des ressources des centrales électriques: il donne ses instructions à des unités de production pour qu'elles adaptent leur production à la hausse ou à la baisse.
Résilience	La résilience décrit la résistance d'un système aux perturbations internes ou externes ou la capacité d'un système à retrouver son état initial après une perturbation. Par résilience du réseau électrique, on entend la capacité du réseau à s'adapter à des changements à court terme (p. ex. pannes) ou à long terme (p. ex. topologie du réseau) et la mesure dans laquelle il est possible de maintenir le fonctionnement du réseau

**Sécurité de l'approvisionnement**

La sécurité de l'approvisionnement décrit la sécurisation sur le long terme de capacités de production et de transport suffisantes dans les réseaux. La sécurité de l'approvisionnement est garantie si, à tout instant, la quantité d'énergie souhaitée est disponible dans la qualité requise sur l'ensemble du réseau électrique et à un prix convenable. La définition ajoute qu'à l'intérieur des réseaux existants, tous les clients sont raccordés au réseau et sont fournis à des conditions non discriminatoires. L'aspect temporel doit être compris, au sens d'un approvisionnement autant que possible exempt d'interruption. Quant à la qualité, les standards arrêtés doivent être respectés. La sécurité de l'approvisionnement ne comprend pas les facteurs suivants: fiabilité de l'approvisionnement, sécurité du système, respectivement stabilité du système, sécurité des personnes et sécurité des installations.

Sécurité de l'approvisionnement en électricité

La sécurité de l'approvisionnement en électricité signifie que l'électricité demandée est couverte sans discontinuer et en quantité voulue, compte tenu du point de vue économique et de la compatibilité environnementale.

Sécurité du réseau/ sécurité des installations

La sécurité du réseau ne concerne pas directement le fonctionnement du réseau ou la sécurité de l'approvisionnement. La sécurité du réseau ou des installations détermine dans quelle mesure le réseau électrique et les installations correspondantes sont elles-mêmes sûres pour les personnes, pour d'autres équipements ou pour les éléments du réseau.

Sélectivité

En cas de défaut du réseau, la capacité à circonscrire précisément et pertinemment le tronçon de réseau concerné pour le déconnecter est appelée sélectivité.



Services-système

Le réglage primaire, le réglage secondaire et le réglage tertiaire font partie des services-système fournis sur le plan national. Ils sont fournis aujourd'hui déjà, par le gestionnaire du réseau de transport, sur une base de marché. Des centrales électriques flexibles comme les centrales hydrauliques, mais aussi les consommateurs, peuvent fournir des services-système. Ces services-système ont pour fonction de maintenir constamment la consommation et la production en équilibre, de manière à ce que la fréquence dans le système d'approvisionnement en électricité se stabilise à 50 Hz. Un déséquilibre trop important peut finalement conduire à un black-out. La différence entre les trois réglages se situe pour l'essentiel dans le cadre temporel et les domaines de puissance dans lesquels les centrales électriques flexibles adaptent leur production. Tandis que le réglage primaire opère jusque dans le domaine de quelques secondes, le réglage secondaire couvre une plage comprise entre le domaine de quelques secondes et quelques minutes. Le réglage tertiaire intervient quant à lui entre quelques minutes et plusieurs heures.

Stabilité du réseau/stabilité du système

La stabilité du réseau décrit le maintien de la fréquence. C'est la capacité de maintenir la fréquence dans une plage cible déterminée en équilibrant continuellement la production et la consommation. En Europe, la fréquence nominale est par exemple de 50 Hz. Typiquement, la fréquence est régulée au niveau du réseau de transport, à l'échelle du système ou du pays.

Stabilité du système

Cf. stabilité du réseau.

Stockage d'électricité

Un stockage d'électricité désigne la solution représentée par un élément technique capable d'absorber du courant ou de l'énergie électrique et de la restituer ensuite. Le stockage d'électricité décentralisé désigne par conséquent: les volants d'inertie, les condensateurs, les batteries et les véhicules électriques. Dans une acception très courante, le stockage d'électricité décentralisé désigne les batteries et, pour un avenir plus lointain, éventuellement les véhicules électriques.



Système de mesure intelligent

Un système de mesure intelligent est un équipement de mesure intégré dans un réseau de communication et destiné à saisir la consommation d'énergie électrique chez le consommateur final. Ce système mesure les flux d'énergie électrique effectifs, la durée d'utilisation effective et d'autres valeurs encore qui sont mises à disposition par un réseau de communication bidirectionnel. Un système de mesure intelligent comprend un compteur intelligent, une interface de communication bidirectionnelle, placée à l'intérieur ou à l'extérieur du compteur intelligent, un système de communication et un système de gestion des données mesurées. Ce dernier système se présente sous diverses formes, selon les fonctionnalités de l'ensemble du système et du nombre de compteurs intelligents.

Système triphasé

Le transport d'énergie s'effectue presque exclusivement au moyen de *systèmes triphasés*. Un système triphasé se constitue trois conducteurs de courants, les *conducteurs de phase*. Dans le réseau à basse tension, on trouve en outre un *conducteur de mise à la terre* et un *conducteur neutre*.

Topologie du réseau

Par topologie du réseau, on entend la configuration physique des divers niveaux de réseau électrique et de l'actuel état de commutation du réseau électrique (p. ex. lignes déconnectées). La topologie du réseau détermine quels courants s'écoulent dans les différentes lignes. Les topologies typiques sont soit des réseaux configurés radialement au niveau du réseau de distribution, soit des réseaux étroitement maillés (connectés), que l'on rencontre typiquement au niveau du réseau de transport.