

# Univers énergétiques



Le schéma de réflexion de l'AES pour  
l'approvisionnement énergétique de la Suisse en 2035





# Univers énergétiques

Le schéma de réflexion de l'AES pour  
l'approvisionnement énergétique de la Suisse en 2035

# Table des matières

	Résumé .....	6
	Quatre univers, quatre sièges .....	9
1.	Introduction/motivation .....	11
2.	La vision de l'AES pour le secteur énergétique.....	12
3.	Univers énergétiques .....	15
3.1	Développement des univers énergétiques.....	16
3.2	Le gaz dans les univers énergétiques .....	18
3.3	Le pétrole dans les univers énergétiques.....	19
3.4	<b>Trust World</b> .....	<b>20</b>
3.4.1	Contexte historique	20
3.4.2	Accentuations	21
3.4.3	Modèle de marché	24
3.4.4	Modèle d'affaires	24
3.5	<b>Trade World</b> .....	<b>26</b>
3.5.1	Contexte historique	26
3.5.2	Accentuations	27
3.5.3	Modèle de marché	30
3.5.4	Modèle d'affaires	30
3.6	<b>Local World</b> .....	<b>32</b>
3.6.1	Contexte historique	32
3.6.2	Accentuations	32
3.6.3	Modèle de marché	35
3.6.4	Modèle d'affaires	37
3.7	<b>Smart World</b> .....	<b>39</b>
3.7.1	Contexte historique	39
3.7.2	Accentuations	39
3.7.3	Modèle de marché	44
3.7.4	Modèle d'affaires	45
3.8	L'essentiel du chapitre 3 .....	47

4.	Ordres de grandeur des univers énergétiques .....	49
4.1	Données de référence .....	49
4.2	Comparaison des univers à l'aune des cinq dimensions ....	50
4.3	L'essentiel du chapitre 4 .....	55
5.	«Tendance 2035 de l'AES» .....	57
5.1	Introduction .....	57
5.2	Description de la «Tendance 2035 de l'AES» .....	57
6.	Conclusions et perspectives .....	63
6.1	Conclusions.....	63
6.2	Perspectives .....	65
7.	Tableau des abréviations .....	67
8.	Bibliographie.....	68
9.	Liste des figures et des tableaux.....	69
10.	Annexe – Hypothèses relatives au mix de production et à la demandee .....	70

# Résumé

L'économie énergétique va au-devant de changements profonds. Le rôle des principaux fournisseurs d'énergie est remis en question, les prix de l'électricité sont historiquement bas. Les nouvelles technologies numériques offrent des possibilités totalement inédites, tout en mettant en péril les secteurs d'activités traditionnels.

Dans cet environnement incertain, les consommateurs finaux, les entreprises énergétiques et les acteurs politiques se doivent de penser à l'avenir. Il leur faut anticiper les évolutions possibles, sonder les possibilités, répertorier les risques existants et identifier les opportunités. Pour appuyer ce processus, l'Association des entreprises électriques suisses (AES) a initié le projet «Univers énergétiques».

D'une part, ce projet constitue

- un instrument d'analyse pour l'Association;

mais d'autre part, il peut aussi

- permettre de formuler des recommandations à l'intention du législateur;
- proposer une base d'évolutions stratégiques pour les entreprises membres;
- servir de guide aux acteurs politiques et à l'opinion publique intéressée.

## Vision

---

La vision de l'AES offre un portrait idéal de l'économie énergétique de demain. Quelle que soit l'évolution du monde énergétique, l'énergie devra être accessible en quantité suffisante et à des prix abordables, tout comme aujourd'hui. La Suisse devra couvrir une part importante de sa consommation d'électricité à l'aide de sa production nationale. Dans ce contexte, il convient de maintenir l'infrastructure de réseau bien développée pour l'électricité et le gaz. Dans le cadre des échanges avec les pays d'Europe, l'économie énergétique helvétique peut servir d'élément stabilisateur pour l'ensemble du système européen grâce à la flexibilité de sa production d'électricité, à sa position géographique centrale et à son expertise spécialisée. La Suisse peut faire office de pays de transit et de fournisseur de prestations énergétiques sur mesure. L'introduction des nouvelles technologies, en particulier pour accroître l'efficacité énergétique globale, doit conférer un rôle moteur à l'économie énergétique.

## Quatre univers énergétiques éloignés les uns des autres

La réalité pouvant diverger de l'image idéale, l'AES décrit en outre quatre univers énergétiques très éloignés les uns des autres, parfois extrêmes, mais envisageables. Chacun des univers énergétiques se compose de trois éléments: l'accentuation décrite, un modèle de marché qui y est rattaché, et des modèles d'affaires possibles. Aucun de ces univers ne prétend offrir une image exacte de l'avenir. Au contraire, les univers énergétiques offrent une vaste gamme de développement, dans laquelle s'inscrira, selon toute probabilité, l'évolution effective survenant au cours des vingt prochaines années, et qui présente, à titre de repère, les axes «Approvisionnement centralisé/décentralisé» et «Interconnexion EU–CH». Les quatre univers énergétiques se nomment **Trust World**, **Trade World**, **Local World** et **Smart World**.

Dans le **Trust World**, la transformation de l'approvisionnement énergétique est allée trop vite. La sécurité d'approvisionnement en a souffert dans toute l'Europe, devenant ainsi la priorité absolue. Les pays européens décident de renforcer leur autonomie pour reprendre le contrôle sur le réseau électrique national et la production nationale, et éviter ainsi de nouvelles pannes. L'approvisionnement en électricité est largement autonome et se fait principalement en Suisse, au moyen de centrales hydroélectriques et à gaz pilotables. Désormais, le marché de l'électricité est petit et illiquide. La tentative de maintenir un marché qui fonctionne est un échec. Des interventions étatiques sont nécessaires afin que des unités de production puissent être construites et exploitées. L'absence de marché fait que le réseau et la distribution ne sont dissociés ni pour l'électricité, ni pour le gaz naturel. Dans le **Trust World**, le gaz naturel joue un rôle important dans la couverture des besoins en gaz des centrales à gaz. Avec un approvisionnement en énergie organisé presque complètement selon une économie planifiée, la marge de manœuvre entrepreneuriale est limitée.

À la différence du **Trust World**, le **Trade World** est le théâtre d'un négoce important de l'électricité en Europe. Sur tout le Vieux Continent, de nouvelles capacités de production sont construites aux endroits les mieux adaptés, là où les coûts sont les plus faibles. Cette évolution est due à la forte vigilance des consommateurs vis-à-vis des tarifs. Les nombreux systèmes de soutien ont fait augmenter les coûts d'approvisionnement en électricité, qui ont atteint un niveau que les consommateurs ne sont plus disposés à payer. C'est pourquoi les soutiens ont cessé. L'ensemble des évolutions et des mesures vise à améliorer au maximum la rentabilité de l'approvisionnement, tandis que les objectifs de protection du climat demeurent à l'arrière-plan. La réglementation du marché suisse est harmonisée avec celle de l'UE. En tant que

pays de transit ainsi que pour soutenir la stabilité du système, la Suisse assume un rôle important. Tous les consommateurs finaux ont un accès libre à l'électricité et au gaz naturel. Dans le **Trade World**, la concurrence et la pression sur les prix déterminent les modèles d'affaires. Pour pouvoir subsister, les économies d'échelle jouent un rôle déterminant, que ce soit au niveau de la production ou de la vente, tout comme il est utile de disposer de structures commerciales allégées et d'exploiter les niches.

Dans le **Local World**, la population a fait évoluer la transformation du système énergétique en faveur d'un approvisionnement décentralisé, respectueux du climat et issu le plus possible de la production nationale. Pour atteindre cet objectif, elle s'est imposée des prescriptions relatives à la consommation d'énergie et est encline à assumer des coûts élevés. La digitalisation a fait de grands progrès et est largement répandue. C'est pourquoi les villes et villages interconnectés s'approvisionnent largement par eux-mêmes en 2035. Les installations hydroélectriques centralisées fournissent encore les consommateurs qui ne s'auto-approvisionnent que partiellement, voire pas du tout. Elles servent par ailleurs de centrales de réserve afin d'assurer l'approvisionnement de l'ensemble des consommateurs, en particulier l'hiver. Dans le **Local World**, le gestionnaire de réseau de distribution prend en charge l'exploitation du réseau et l'approvisionnement. Dans son réseau, le gestionnaire de réseau de transport/fournisseur coordonne l'infrastructure, les possibilités de stockage pour l'électricité et le gaz, la flexibilité ainsi que la production des unités décentralisées. Analyses de données performantes et algorithmes d'optimisation sont des facteurs importants pour réussir. C'est le marché qui domine entre les exploitants de grandes centrales hydroélectriques et les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs. Un marché très vivant et âprement disputé domine également dans les prestations de services au niveau des consommateurs finaux et des prosumers; les solutions sur mesure pour les clients y sont très demandées.

Dans le **Smart World** aussi, la digitalisation a connu une forte avancée. Elle s'est accompagnée d'une baisse importante des coûts des technologies de production et de stockage des énergies renouvelables. La part des installations photovoltaïque et éoliennes, couplées aux dispositifs de stockage, est par conséquent élevée. Dans ce contexte, ces installations sont construites aux endroits où les conditions sont les plus favorables, y compris hors de nos frontières. Les pays européens se livrent à un négoce d'électricité intense. Les centrales à accumulation helvétiques revêtent toujours une grande importance systémique, en raison de leurs capacités de stockage saisonnier du courant. Dans le **Smart World**, les besoins en matière de régulation sont faibles. Outre la poli-

tique sur le CO<sub>2</sub>, ils se limitent pour l'essentiel au domaine du réseau. Les consommateurs finaux changent très fréquemment de fournisseur. Grâce au niveau élevé de digitalisation, les informations sur les prix du marché et le réseau sont disponibles rapidement et de manière transparente pour tous les participants au marché. Les prosumers et les producteurs locaux sont nombreux. La création de marchés pour l'électricité, le gaz et la chaleur au niveau des réseaux de distribution a obligé les gestionnaires de réseau de distribution à redéfinir leurs tâches et leurs compétences dans la gestion des réseaux. En outre, de nouveaux modèles d'utilisation du réseau (tarifs dynamiques pour l'utilisation des réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur, p. ex.) ont dû être développés, car la part des consommateurs produisant eux-mêmes est très élevée. Les prosumers soutirent peu d'énergie du réseau, mais continuent d'exiger une forte puissance – en hiver et comme réserve. Dans le **Smart World**, de très nombreux modèles d'affaires sont possibles, et le nombre d'acteurs du marché augmente. La libéralisation de tous les secteurs de l'économie énergétique, à l'exception des réseaux, y contribue fortement. Les technologies numériques constituent un élément central. La spécialisation, la taille ou encore l'occupation de niches ainsi que les processus d'amélioration et d'innovation constantes sont des conditions préalables pour réussir à s'imposer face à la concurrence.

L'AES étaye les quatre univers énergétiques par des données issues d'études existantes. Ces données proviennent de scénarios prévus pour l'année 2035. Dans certains cas, il a même fallu utiliser des données de scénarios prévus pour 2050, afin d'être en phase avec les évolutions des univers énergétiques. Cela montre que certains univers se développent de manière extrêmement dynamique.

### **La Tendence 2035 de l'AES**

---

Quelle sera d'après l'AES la véritable évolution de l'univers énergétique? La «Tendance 2035 de l'AES» décrit l'univers énergétique considéré par l'Association comme le plus plausible, sur la base de l'état actuel des connaissances. Ce document est actualisé chaque année et comparé à la vision. L'AES peut ainsi identifier et traiter les écarts entre l'évolution effective et le portrait idéal.

D'après la «Tendance 2035 de l'AES» (état 2016/2017), l'Association prévoit que la structure de la production sera constituée en 2035 d'un mix de production centralisée et décentralisée. La force hydraulique conservera son rôle clé. La suppression de l'énergie nucléaire ne sera que partiellement

compensée par le développement des énergies renouvelables. La demande augmentera par rapport à aujourd'hui, en raison de la croissance démographique et de l'électrification grandissante dans les domaines de la chaleur et de la mobilité. L'interconnexion avec l'Europe sera essentielle. En effet, la Suisse, surtout en hiver, sera encore plus tributaire des importations qu'aujourd'hui, notamment à cause de la disparition du nucléaire. La digitalisation opérera une forte pénétration sur le marché de l'énergie d'ici 2035 et conduira à de profonds bouleversements de l'économie énergétique.

### **Le rapport 2017 constitue le point de départ**

---

Le projet «Univers énergétiques» montre que l'évolution des éléments suivants sont d'une importance capitale pour le monde de demain:

- Couverture de la demande d'électricité (production décentralisée et centralisée, part des prosumers, convergence des réseaux)
- Financement de la production et du réseau d'électricité
- Collaboration avec l'UE
- Utilisation de la digitalisation dans l'approvisionnement en énergie

L'AES a inclus ces éléments dans sa vision. À présent, la société et les acteurs politiques doivent eux aussi se pencher sur ces thèmes. Il importe non seulement de clarifier la future forme de l'approvisionnement en énergie, mais également de fixer des objectifs réalistes en la matière.

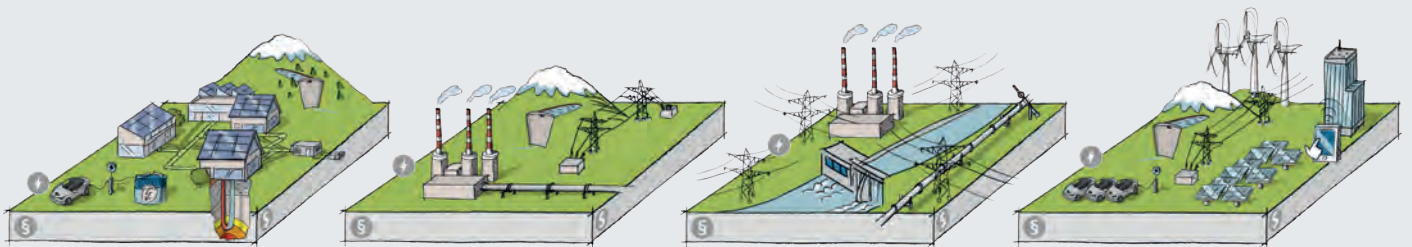
Le présent rapport «Univers énergétiques 2017» ne marque pas la fin des travaux effectués dans ce domaine, il avance plutôt des pistes de départ. D'autres rapports sont programmés, qui comporteront des approfondissements et des élargissements. Dans le cadre du projet, l'AES a entamé une collaboration avec des hautes écoles, des hautes écoles spécialisées et des instituts de recherche, comme p. ex. l'Empa et le SCCER. Les premiers résultats de cette collaboration figureront dans le prochain rapport. Le projet «Univers énergétiques» a été conçu de manière ouverte et évolutive, dans les orientations les plus variées. Il accompagnera l'AES pendant quelques années encore, et doit donc être constamment étoffé.



# Quatre univers, quatre sièges

Le monde énergétique de demain sera fortement marqué par l'innovation technologique, l'environnement économique et les décisions politiques.

L'AES décrit, du point de vue actuel, quatre univers énergétiques extrêmes mais envisageables. La «Tendance 2035 de l'AES» correspond à l'univers énergétique auquel s'attend l'AES pour 2035 en se basant sur l'état actuel des connaissances. Par ailleurs, elle développe une vision hétérogène et fait prendre conscience des conséquences que les décisions d'aujourd'hui auront sur le monde énergétique de demain.



⚡ = Accentuation

§ = Modèle de marché

§ = Modèle d'affaires

Un siège d'avion ou une chaise en bois pour représenter l'approvisionnement énergétique en 2035? Vous vous demandez certainement pourquoi... L'AES vous emmène dans le monde énergétique de demain grâce à son nouveau schéma de réflexion descriptif.

Prenez place et plongez avec nous dans le futur! Que ce soit sur une chaise en bois, sur un siège de haute technologie, dans un fauteuil télé ou dans un siège d'avion, chaque place vous permet d'endosser une position et une perspective différentes. Chacune d'elles représente un univers énergétique extrême mais envisageable. Chaque siège symbolise les principales valeurs de l'univers énergétique correspondant.





# 1. Introduction/motivation

Les conditions-cadre pour le secteur énergétique en Suisse ont fondamentalement changé en l'espace de quelques années. Le projet «Univers énergétiques» de l'AES prend en compte cette évolution et jette un regard qualitatif vers l'avenir (énergétique) de la Suisse.

La rapide mutation des conditions-cadre pour le secteur énergétique est due à différentes évolutions dans l'économie, la société, la technologie, le droit et la politique. L'incertitude augmente. Les modèles d'affaires actuels sont mis sous pression. Les distorsions de concurrence structurelles et les prix du marché – historiquement bas – qui en résultent menacent le parc de centrales existant. Le thème de l'auto-provisionnement en électricité gagne de l'importance dans la politique comme dans la société. On débat sur des mesures pour préserver la capacité de la Suisse à couvrir sa propre demande en électricité. Parallèlement, les prosumers (aussi appelés pro-sommateurs) et l'injection décentralisée mettent toujours plus au défi les gestionnaires de réseau de distribution. En même temps, la Confédération tente de réglementer encore plus fortement le secteur énergétique (Stratégie énergétique 2050, révision de la LAPeI, libéralisation du marché électrique et gazier), sans pour autant avoir clarifié la relation entre la Suisse et l'UE dans un accord correspondant.

En tant qu'association faitière du secteur électrique suisse, dont les membres assurent 90% de l'approvisionnement en électricité du pays, et au vu de ces évolutions, l'AES a lancé à l'été 2015 le projet «Univers énergétiques». Il entend répondre aux trois questions suivantes: Qu'est-ce qui est envisageable à l'avenir? (les univers énergétiques) – Quelles sont les tendances qui se dessinent? («Tendance 2035 de l'AES») – Qu'est-ce qui est souhaitable pour l'avenir? (vision).

Le projet «Univers énergétiques» jette un regard qualitatif vers l'avenir (énergétique) de la Suisse. On a volontairement renoncé à une modélisation quantitative, car au vu des conditions-cadre actuelles, les modèles numériques et les prévisions classiques ont atteint leurs limites. Il faut une vision globale et une vaste gamme de développement. Le projet «Univers énergétiques» se distingue ainsi des rapports quantitatifs établis jusqu'ici par l'AES, qui publie depuis 1963, à intervalles réguliers, ses perspectives pour l'avenir de l'électricité/de l'énergie en Suisse (derniers en date, p. ex.: AES, Septième Rapport des Dix, 1987; AES, Prévision sur l'approvisionnement de la Suisse en électricité, 2006; AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012).

Les univers énergétiques décrivent des éléments qualitatifs extrêmes et exagérés des évolutions possibles, qui ne doivent pas être exclues a priori. Ils ouvrent ainsi une vaste gamme de développement. Le monde énergétique qui existera un jour se développera vraisemblablement au sein de cette gamme. Les univers énergétiques ont été élaborés à l'occasion de plusieurs ateliers avec les spécialistes de l'Association les plus variés. Les univers énergétiques développés qualitativement ont ensuite été plausibilisés quantitativement, et modifiés là où c'était nécessaire (cf. chapitre 4). Pour ce faire, on a eu recours à des études existantes.

L'AES révisera chaque année les tendances principales. Sous le titre «Tendance 2035 de l'AES», l'Association veut montrer quelle direction prend effectivement le monde énergétique de l'avenir en fonction de l'état actuel des connaissances (cf. chapitre 5).

Par ailleurs, le Comité de l'AES a développé une vision pour le secteur énergétique de 2035, par laquelle il entend présenter une voie souhaitable pour le secteur énergétique, de son point de vue (cf. chapitre 2).

Le projet «Univers énergétiques» ne se clôt en aucun cas avec le présent rapport «Univers énergétiques 2017»: ce rapport pose au contraire la première pierre de diverses évolutions futures (cf. également à ce sujet le chapitre 6.2).



## 2. La vision de l'AES pour le secteur énergétique

Il est crucial que le secteur énergétique, en profonde mutation, dresse lui-même un « portrait idéal » de l'avenir et qu'il montre de manière compréhensible ce qu'il défend ainsi que les rôles et les tâches qu'il veut assumer.

En formulant une vision à partir des univers énergétiques, l'AES présente aux décideurs des entreprises, de l'administration et de la politique une voie possible vers l'avenir. L'Association reverra chaque année la «Tendance 2035 de l'AES»; de cette façon, elle pourra percevoir suffisamment tôt les divergences par rapport à sa vision et prendre les éventuelles mesures nécessaires.

Le Comité de l'AES a élaboré des repères pour la vision qu'a l'AES pour le secteur énergétique dans son ensemble, ainsi que son rôle et ses tâches. Font partie du secteur énergétique toutes les entreprises actives dans la production, la distribution et la vente d'énergie et de services liés à l'énergie. Les associations et les organisations de la branche font également partie du secteur énergétique.

L'AES est d'avis qu'une optique limitée à l'électricité n'a pas suffisamment d'effet. C'est pourquoi les repères contiennent des déclarations générales qui concernent le secteur énergétique dans son ensemble. La plupart des déclarations se concentrent toutefois sur les agents énergétiques de réseau que sont l'électricité, le gaz et le chauffage à distance. L'AES demande depuis longtemps une approche intégrale de l'approvisionnement énergétique et une perspective globale de l'énergie, d'autant plus qu'un nombre considérable des membres de l'AES sont également actifs dans l'approvisionnement en gaz et/ou en chauffage à distance.

La vision de l'AES pour le secteur énergétique exprime la situation idéale, au sens large, telle que la voit l'Association pour le secteur énergétique dans le futur. Les rôles et les tâches du secteur énergétique du point de vue de l'AES expliquent ce qui doit être entrepris pour atteindre cette situation idéale.

### La vision de l'AES pour le secteur énergétique

L'énergie est un facteur économique de base. L'énergie est, et continuera d'être, mise à disposition, avec pour objectif de couvrir un besoin fondamental ainsi que de conserver, voire augmenter le bien-être et la qualité de vie. C'est pourquoi, à l'avenir aussi, l'énergie devra être disponible en quantité suffisante et à des conditions acceptables. Cela inclut une intégration appropriée de la production décentralisée, du stockage et de la consommation (flexibilité, efficacité).

La Suisse continuera de disposer d'un auto-approvisionnement élevé en électricité et d'une infrastructure de réseau durable et bien développée (électricité, gaz, chaleur). Les entreprises du secteur énergétique assumeront aussi à l'avenir la responsabilité de la sécurité d'approvisionnement. Elles se considèrent comme particulièrement responsables de la garantie de l'échange suprarégional d'énergie grâce à la construction et à l'exploitation de réseaux (électrique et gazier). Car, malgré la part croissante d'approvisionnement décentralisé, l'échange suprarégional d'énergie continuera d'être nécessaire. La majorité des utilisateurs restent raccordés aux réseaux de distribution (électricité, gaz, chaleur) et assument conjointement les coûts.

Les entreprises d'approvisionnement en énergie (EAE) s'ajustent, et continueront de s'ajuster à l'avenir, aux besoins des clients et, en tant que prestataires de services, veillent au bénéfice et à la satisfaction de la clientèle. Les collaborateurs des EAE sont toujours perçus comme constructifs, fiables et compétents. Les EAE défendent un approvisionnement durable, rentable et sûr, et sont perçues comme telles.

Le secteur énergétique assume un rôle de premier plan dans l'introduction de nouvelles technologies, notamment pour augmenter l'efficacité énergétique globale. Il utilise les nouvelles technologies de manière à ce qu'elles servent un système énergétique global qui soit optimisé quant à la rentabilité, à la sécurité d'approvisionnement et à l'écologie.

Le secteur énergétique suisse prend activement part au marché intérieur de l'énergie de l'UE, sans discrimination et dans un intérêt mutuel. Il continue de jouer un rôle important en Europe, en tant que pays de transit, pour consolider la stabilité du système grâce à la flexibilité de sa production et en tant qu'importateur et qu'exportateur de services énergétiques.

### Rôles et tâches du secteur énergétique du point de vue de l'AES

---

Le secteur énergétique veut réaliser la vision et assumer la responsabilité de la sécurité d'approvisionnement. Il défend des conditions-cadre adaptées. En cela, une réglementation du marché allant dans ce sens doit en particulier permettre un approvisionnement intégré, incluant la convergence des réseaux.

Les EAE endossent alors différents rôles sur le marché. Elles se trouvent à différents postes de la chaîne de création de valeur. Par conséquent, il y a de nombreux intérêts, orientations et stratégies différents au sein du secteur de l'énergie. Pour que le marché de l'énergie fonctionne correctement, il est toutefois indispensable que le secteur de l'énergie mette au point des solutions collectives consensuelles aux problèmes en suspens et qu'il les place efficacement dans le processus politique. Un échange permanent doit avoir lieu à cet effet.

Le secteur énergétique s'engage pour un approvisionnement en énergie et une production d'électricité engendrant peu d'émissions de CO<sub>2</sub> à long terme ainsi que pour des solutions respectueuses de l'environnement. Cependant, il veille aussi à ce que les exigences environnementales ne provoquent pas de distorsions de concurrence.



La vision de l'AES pour le secteur énergétique exprime la situation idéale, au sens large, telle que la voit l'Association pour le secteur énergétique dans le futur. Les rôles et les tâches du secteur énergétique du point de vue de l'AES expliquent ce qui doit être entrepris pour atteindre cette situation idéale.



### 3. Univers énergétiques

Le présent chapitre retrace le développement des univers énergétiques et expose brièvement la prise en compte des agents énergétiques que sont le gaz et le pétrole avant de décrire les quatre univers énergétiques (**Trust World**, **Trade World**, **Local World** et **Smart World**), en détaillant pour chacun d'entre eux le contexte historique, les accentuations, le modèle de marché et le modèle d'affaires (cf. chapitres 3.4 à 3.7). Les auteurs renoncent à proposer une description uniforme systématique pour mettre l'accent sur les thèmes et les aspects caractéristiques des univers.



Figure 1

### Les cinq dimensions des univers énergétiques



- ① **Demande/flexibilisation**  
Soutirage du réseau (électricité/gaz)  
Consommation propre (niveau de la demande)  
Flexibilité (report de charge)
- ② **Approvisionnement centralisé/décentralisé**  
Part de production décentralisée  
Besoins du réseau (électricité/gaz)  
Convergence des réseaux  
Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur
- ③ **Marchés/UE-CH**  
Auto-alimentation CH (électricité/gaz)  
Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)
- ④ **Digitalisation**  
Pénétration des TIC  
Acceptation de l'échange des données
- ⑤ **Régulation/interventions étatiques**  
Promotion des énergies renouvelables  
Prescriptions en matière d'efficacité énergétique  
Interventions sur les prix (électricité/CO<sub>2</sub>)

Le contexte historique a pour but de mettre en évidence les circonstances à l'origine des différents univers énergétiques, tandis que le chapitre consacré à leurs accentuations présente leurs principales caractéristiques, ainsi que leur incidence sur les grands acteurs de la branche.

Dans le cadre des accentuations de chaque univers énergétique sont dépeints les attributs les plus frappants du modèle de marché correspondant. Un modèle de marché décrit les règles régissant la détermination des rôles, responsabilités et compétences des acteurs. Ces règles englobent le cadre réglementaire défini, ainsi que les directives et recommandations des associations de la branche. Les auteurs renoncent à détailler les règles, préférant mettre en exergue les éléments clés spécifiques et expliquer les principales conséquences sur les acteurs concernés.

Les chapitres dédiés aux modèles d'affaires mettent en lumière les possibilités commerciales dans les différents univers énergétiques en traitant les éléments clés que sont l'offre et les clients des divers acteurs, ainsi que les aspects financiers. Les points spécifiques à chaque univers énergétique y sont également détaillés.

### 3.1 Développement des univers énergétiques

Les quatre «univers énergétiques» ont été développés dans le cadre d'ateliers. Dans un premier temps, les accentuations ont été déterminées via l'identification de thèmes susceptibles de modifier sensiblement l'univers énergétique dans les 20 prochaines années («game changers»). Dans un second temps, les experts ont sélectionné parmi cette multitude de facteurs décisifs 14 thèmes qu'ils ont classés en cinq groupes centraux correspondant aux cinq dimensions «Demande/flexibilisation», «Approvisionnement centralisé/décentralisé», «Marchés UE-CH», «Digitalisation» et «Régulation/interventions étatiques».

Ces cinq dimensions ouvrent un espace dans le cadre duquel sont décrits les univers énergétiques envisageables (cf. Figure 1). Les thèmes sont caractérisés par deux accentuations possibles, telles que «nombreux/rares» ou «élevé/faible». Par exemple, le game changer «Pénétration des TIC» peut présenter l'accentuation «faible» ou «élevé». Les cinq dimensions et les 14 thèmes associés ainsi que leurs possibles accentuations sont listés ci-après (cf. Tableau 1).

Les cinq dimensions et leurs deux accentuations respectives fournissent 32 combinaisons possibles, parmi lesquelles quatre univers énergétiques ont été sélectionnés dans une troisième étape, et leur plausibilité vérifiée. Ces univers en soi extrêmes sont tout à fait envisageables: **Trust World**, **Trade World**, **Local World** et **Smart World**. En simplifiant



beaucoup, ces univers énergétiques peuvent être décrits via deux dimensions: «Approvisionnement centralisé/décentralisé» et «Marchés UE-CH» (cf. Figure 2). Dans les contextes historiques des quatre univers énergétiques sélectionnés, il s'agit également d'hypothèses extrêmes.

Selon les conditions-cadre liées à la technologie ainsi qu'à la politique et à l'économie énergétiques, ces quatre univers énergétiques présentés dans les chapitres 3.4 à 3.7 pourraient se concrétiser dans les 20 prochaines années. Leurs descriptions correspondent à des instantanés extrêmes situés en 2035, et bien entendu non à un état final. Au cours des années suivantes, les univers peuvent encore évoluer dans une direction ou dans une autre.

Une fois les accentuations définies, les modèles de marché correspondants ont été développés pour chaque univers énergétique. À cet effet, les conséquences sur les acteurs du marché et les évolutions au niveau de ces derniers ont été étudiés. Dans le domaine de l'électricité, une attention particulière a été accordée au gestionnaire de réseau de transport, aux gestionnaires de réseau de distribution, aux producteurs et aux consommateurs finaux. Pour ces derniers, on a établi une dis-

inction entre les consommateurs classiques, autrement dit sans potentiel de flexibilité, les consommateurs flexibles, autrement dit présentant un potentiel de flexibilité et/ou des batteries sans production propre, et les prosumers (consommateurs flexibles produisant une partie de leur électricité). Dans le domaine du gaz, la priorité a été donnée aux gestionnaires de réseau de gazoducs, aux gestionnaires de réseau de distribution, aux exploitants de centrales à gaz et d'installations CCF, ainsi qu'aux exploitants d'installations power-to-gas. Comme dans le cas des accentuations des univers énergétiques, pour lesquels ont été retenues des valeurs extrêmes mais envisageables, la sélection des modèles de marché comporte les options les plus opposées afin de couvrir le spectre d'hypothèses le plus large possible.

Il convient de préciser que les modèles de marché sont définis en fonction des futures accentuations éventuelles et extrêmes des univers énergétiques et, par conséquent, ne justifient pas les positions de l'AES pour le présent.

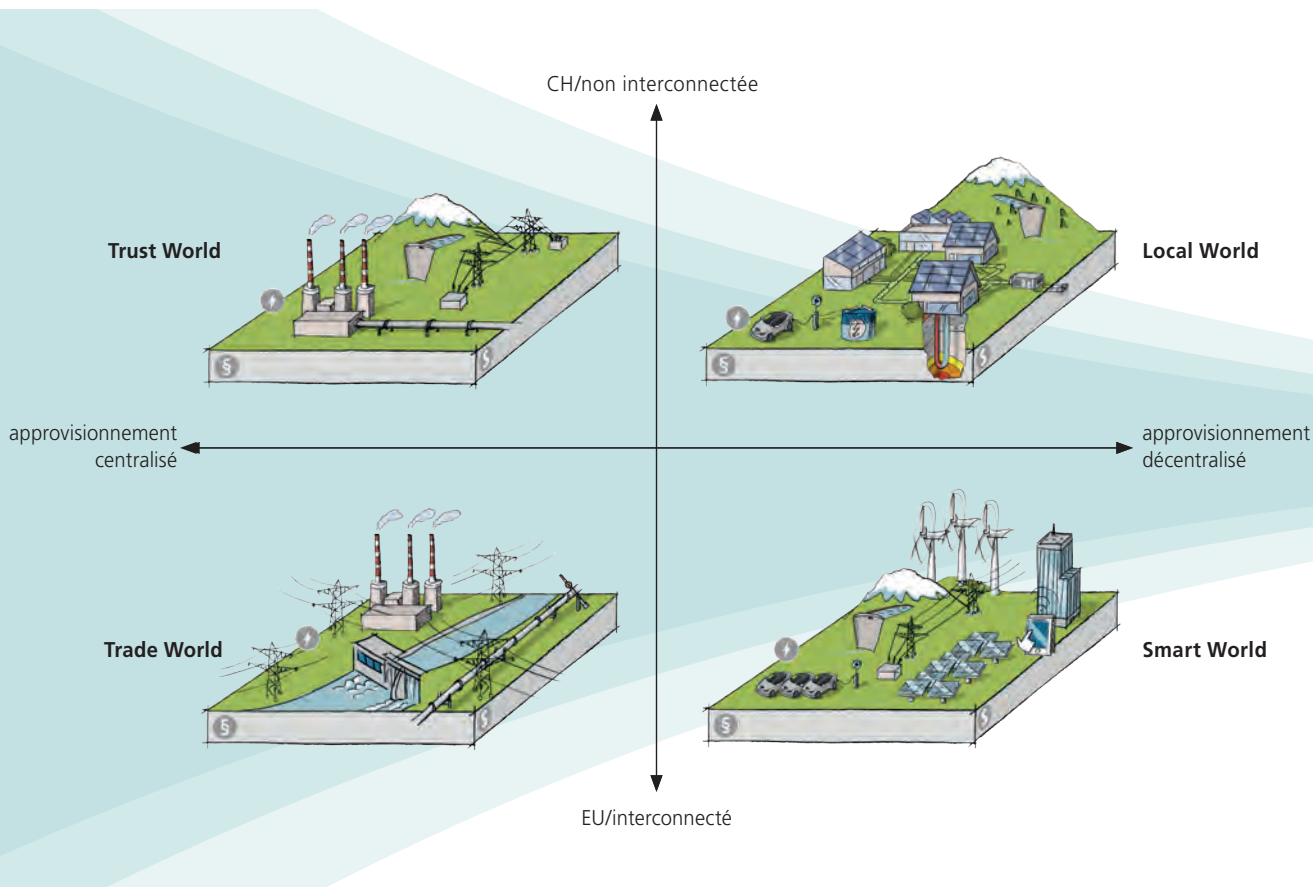
**Tableau 1**

**Cinq dimensions et 14 thèmes («game changers»)**

<b>① Demande/flexibilisation</b>		<b>Accentuations possibles</b>	
1	Soutirage du réseau (électricité/gaz)	Électricité: élevé/faible	Gaz: élevé/faible
2	Consommation propre (niveau de la demande)	Élevée/faible	
3	Flexibilité (report de charge)	Élevée/faible	
<b>② Approvisionnement centralisé/décentralisé</b>			
4	Part de production décentralisée	Élevée/faible	
5	Besoin du réseau (électricité/gaz)		
	RD suisse	Électricité: élevé/faible	Gaz: élevé/faible
	RT suisse	Électricité: élevé/faible	Gaz: élevé/faible
	RT transfrontalier	Électricité: élevé/faible	Gaz: élevé/faible
6	Convergence des réseaux	Élevée/faible	
7	Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	Nombreux/rare	
<b>③ Marchés/UE-CH</b>			
8	Auto-alimentation CH (électricité/gaz)	Électricité: élevé/faible	Gaz: élevé/faible
9	Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)	Électricité: élevée	Gaz: élevée
<b>④ Digitalisation</b>			
10	Pénétration des TIC	Élevée/faible	
11	Acceptation de l'échange des données	Élevée/faible	
<b>⑤ Régulation/interventions étatiques</b>			
12	Promotion des énergies renouvelables	Élevée/faible	
13	Prescriptions en matière d'efficacité énergétique	Nombreuses/rare	
14	Interventions sur les prix (électricité/CO <sub>2</sub> ...)	Prix finaux de l'électricité: élevés/faibles	Prix du CO <sub>2</sub> : élevé/faible

Figure 2

Aperçu des univers énergétiques



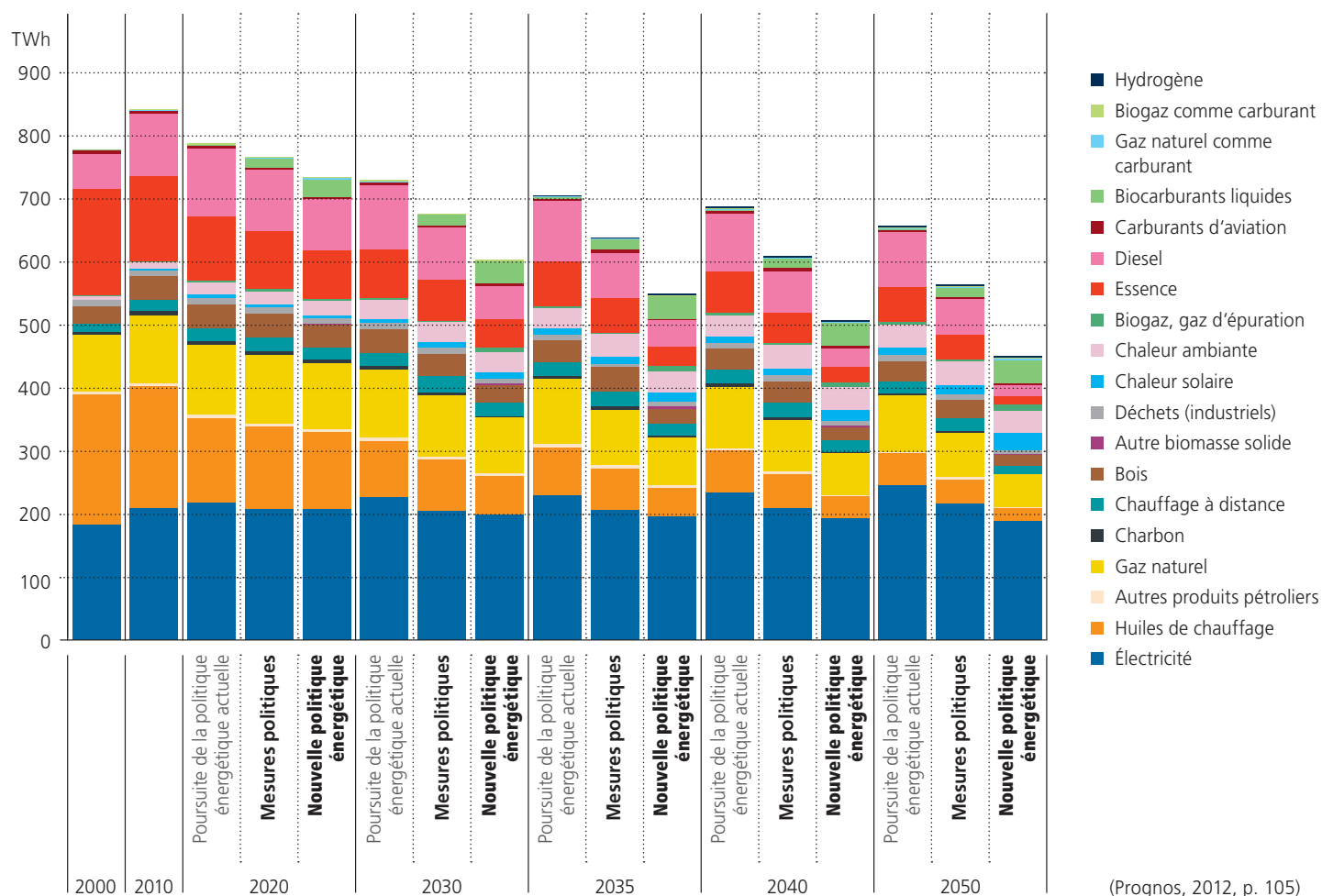
### 3.2 Le gaz dans les univers énergétiques

Le gaz et le réseau de gaz sont appelés à jouer un rôle plus ou moins majeur dans les univers énergétiques. Un échange avec les pays producteurs et de transit concernés revêt par conséquent une importance plus ou moins grande dans la mesure où l'on suppose que la Suisse ne produit pas elle-même de gaz naturel à grande échelle (p. ex. par le biais de la fracturation hydraulique). En revanche, la production de gaz de synthèse renouvelable par les installations power-to-gas joue un rôle croissant dans certains univers énergétiques. La Suisse ne possède actuellement pas de réservoirs de gaz permettant de stocker de gros volumes à long terme, notamment pour le gaz produit à partir d'énergies renouvelables. En l'état actuel, les réservoirs de gaz à l'étranger sont plus rentables.

En vue de l'utilisation de gaz, le raccordement au réseau doit tout d'abord être permis par le gestionnaire de réseau et financé par les bénéficiaires du raccordement. Le modèle d'utilisation du réseau ainsi que le traitement de l'énergie d'ajustement doivent être transparents. Pour le premier, le modèle «entrée-sortie», courant en Europe, est envisageable: le fournisseur injecte du gaz à un point quelconque moyennant rétribution, et le gaz peut être prélevé à un point quelconque, toujours moyennant rétribution. L'industrie gazière définit les conditions techniques de l'utilisation du réseau, p. ex. concernant la qualité du gaz.

Figure 3

Comparaison de la demande d'agents énergétiques finaux en PJ selon les scénarios



### 3.3 Le pétrole dans les univers énergétiques

Les univers énergétiques étant axés sur les agents énergétiques de réseau, il n'est pas procédé à une présentation détaillée du pétrole en qualité de carburant et de combustible (cf. chapitre 2). Le pétrole et les produits pétroliers ne dépendent pas d'un réseau et peuvent être stockés à volonté, à quelques rares restrictions près. Le modèle de marché correspondant est donc bien plus simple.

En outre, tant le **Trust World** que le **Local World** et le **Smart World** supposent une substitution progressive du pétrole par des agents énergétiques émettant moins, voire plus du tout de CO<sub>2</sub>. Ce remplacement s'effectue principalement dans le secteur de la construction, mais aussi dans le domaine de la mobilité. Dans ses perspectives énergétiques 2050 pour la Suisse, l'OFEN prévoit lui aussi une réduction de la consommation d'agents énergétiques fossiles d'ici 2050. D'après le scénario modéré «Poursuite de la politique énergétique actuelle», la demande de produits de mazout diminuerait déjà

de 75% entre 2010 et 2050. Si des mesures de politique énergétique accélérées sont prises, comme c'est le cas dans le scénario de l'OFEN «Nouvelle politique énergétique», cette même demande baisserait de 90% (cf. Figure 3). Cette évolution repose sur la réduction des besoins de chauffage et sur la substitution par d'autres agents énergétiques. La consommation d'essence et de diesel chute de 39% selon le scénario modéré, et de 87% selon le scénario accéléré. Ces prévisions s'appuient sur les valeurs limites plus strictes pour les émissions de substances toxiques applicables aux nouveaux véhicules, sur un transfert de la route vers le rail et des transports privés vers les transports publics, ainsi que sur l'introduction de l'électromobilité. Parallèlement, l'industrie opérera un changement structurel en s'éloignant des activités à forte consommation d'énergie et de chaleur industrielle pour évoluer vers une société des services et du savoir (Prognos, 2012, pp. 105, 143, 153, 163).

«Une production d'énergie sûre, fiable et éprouvée, majoritairement en Suisse»



Dans le **Trust World**, la priorité est donnée à l'auto-approvisionnement. La Suisse, comme tous les autres pays européens, couvre désormais sa demande d'électricité de façon largement autonome. Elle veut avoir la maîtrise de son approvisionnement en électricité, après que la transformation de l'approvisionnement en énergie, largement forcée au niveau européen, a mené à des effondrements de réseau et à des pannes générales dans toute l'Europe. En 2035, l'approvisionnement en électricité est dominé par les centrales hydroélectriques et à gaz pilotables. Si les énergies renouvelables ne sont plus spécifiquement soutenues, les taxes sur les émissions de CO<sub>2</sub> des agents énergétiques fossiles augmentent considérablement. La population est prête à payer des prix relativement élevés pour un approvisionnement sûr.

La demande est plus forte du fait de la croissance démographique et économique ainsi que de la substitution des combustibles fossiles. La pénétration des offres de flexibilisation et de digitalisation reste faible en raison de la mauvaise acceptation de l'échange de données. Quant aux applications intelligentes, elles servent surtout à accroître le confort et sont également utilisées au sein des ménages et dans le domaine de l'électromobilité.

### 3.4.1 Contexte historique

---

Dans les années 2010 et 2020, les centrales de base (centrales nucléaires, au lignite et à la houille) ont été désaffectées dans toute l'Europe du fait de leur vétusté. Les centrales de charge de pointe ont été de plus en plus souvent retirées du réseau en raison de surcapacités et d'un manque de rentabilité. Dans le même temps, les énergies renouvelables se sont largement développées sur tout le Vieux Continent. Il a fallu mettre en adéquation une production de plus en plus irrégulière avec la demande, et donc flexibiliser cette dernière et moduler les charges. Or, ces conditions préalables se sont mises en place lentement. La demande n'a pas gagné en flexibilité, à cause notamment d'une mauvaise acceptation de l'échange des données et d'incidents isolés de cybercriminalité. La transformation de l'approvisionnement en énergie a eu lieu beaucoup trop rapidement. La régulation

des réseaux s'est avérée de plus en plus complexe. Les effondrements de réseau ainsi que les pannes générales se sont multipliés à l'échelle européenne. C'est pourquoi les pays européens ont décidé ensemble de revenir à un approvisionnement en électricité plus centralisé et autarcique. Chaque État a voulu reprendre le contrôle sur ses capacités et ses réseaux nationaux. Ce virage s'est accompagné d'une augmentation des coûts, que l'économie et la population étaient toutefois disposées à supporter.

### 3.4.2 Accentuations

#### 3.4.2.1 Description des cinq dimensions

##### La Suisse assure seule son approvisionnement

Les pays de l'Union européenne et la Suisse décident ensemble d'augmenter leur autonomie respective sur le marché de l'électricité. Cette intervention extrême dans le système, coordonnée avec les pays voisins, vise à ce que les États reprennent la souveraineté sur les capacités et les réseaux électriques nationaux, et à éviter ainsi de futures défaillances. Les acteurs politiques plaident pour un approvisionnement en électricité national autarcique et mettent en place des prescriptions ad hoc.

L'auto-approvisionnement de la Suisse augmente; l'interconnexion européenne diminue fortement sur le marché de l'électricité. Le marché européen de l'électricité perd en importance, rétrécit et devient illiquide. Sur le marché du gaz, en revanche, l'interconnexion transfrontalière est maintenue dans la mesure où les transports de gaz naturel ne présentent aucune irrégularité et demeurent efficaces.

##### Une taxe sur le CO<sub>2</sub> convenue internationalement

La promotion des énergies renouvelables est suspendue. La politique d'encouragement cède toutefois la place au durcissement des taxes sur le CO<sub>2</sub>: face aux impacts climatiques croissants dans le monde entier, les acteurs politiques nationaux et européens s'engagent collectivement en faveur d'une mise en œuvre systématique de la politique climatique, ce qui entraîne une forte hausse du prix du CO<sub>2</sub> et partant, un renchérissement considérable des agents énergétiques fossiles et leur éviction progressive du marché. Les secteurs du chauffage et de la mobilité connaissent alors une transformation vers davantage d'énergie électrique. Conséquence: les besoins en électricité augmentent. Les acteurs politiques ne formulent aucune prescription à l'intention des consommateurs finaux en matière d'efficacité énergétique et d'adaptation du comportement de consommation. Ce comportement doit être guidé par le prix du CO<sub>2</sub> et de l'électricité.

##### Hausse de la demande d'électricité et de gaz naturel

La sécurité d'approvisionnement est prioritaire. En contrepartie, la population est disposée à supporter une augmentation des prix. La demande reste peu flexible, car les consommateurs refusent toujours de rendre leurs données exploitables. De plus, avec la centralisation de l'approvisionnement, la flexibilité joue un rôle mineur.

La demande d'électricité augmente. D'une part, la consommation propre stagne suite à l'arrêt de l'encouragement des énergies renouvelables, notamment des installations photovoltaïques. D'autre part, la substitution des agents énergétiques fossiles progresse en raison du prix élevé du CO<sub>2</sub>, principalement dans les domaines du chauffage et de la mobilité: les véhicules utilisant des carburants sont remplacés par des véhicules électriques, tandis que les chaudières à mazout cèdent la place aux pompes à chaleur.

La demande de gaz naturel croît également. Cela s'explique par la construction de centrales à gaz, dont les émissions de CO<sub>2</sub> relativement faibles permettent une exploitation rentable.

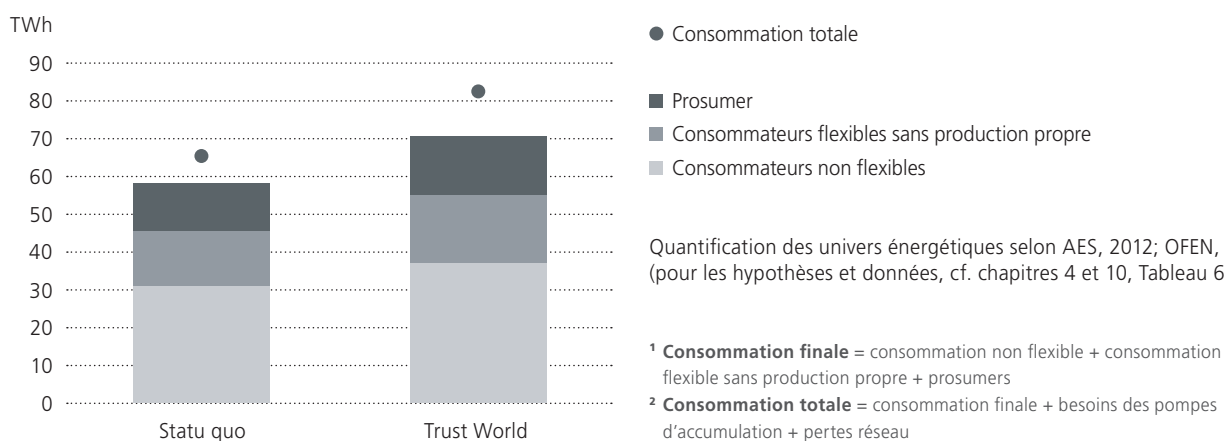
##### Domination des centrales hydroélectriques et à gaz

La Suisse agrandit ou construit de grandes installations centralisées telles que des centrales hydroélectriques et à gaz présentant de faibles émissions de CO<sub>2</sub>. Actuellement, 6 à 8 sites adaptés aux centrales à gaz sont à disposition. Le **Trust World** nécessite environ huit blocs de 400 MW, lesquels requièrent à leur tour une puissance de gaz supplémentaire de quelque 8000 MW. Les centrales à gaz déterminent le prix. Le prix élevé du CO<sub>2</sub> gonfle également celui de l'électricité, ce qui rend à l'énergie hydraulique sa compétitivité.

La Suisse dispose de capacités de production et de réglage suffisantes assurées par l'énergie hydraulique, les nouvelles centrales à gaz et la centrale nucléaire encore conservée en 2035. Les consommateurs finaux sont disposés à payer un prix relativement élevé pour un approvisionnement sûr.

Figure 4

Consommations finale<sup>1</sup> et totale<sup>2</sup>, *Trust World* vs *statu quo*



Les énergies renouvelables ne sont plus soutenues. Les exploitants d'énergies non pilotables sont en outre tenus de participer aux coûts élevés de l'énergie de réglage. Par conséquent, le développement des énergies renouvelables (hors hydraulique) stagne, voire régresse légèrement.

La technologie en matière de batteries a certes le vent en poupe grâce à l'électromobilité en pleine expansion, mais elle est essentiellement utilisée dans ce secteur et par les prosumers restants. La faible part de consommation propre est maximisée car l'injection dans le réseau n'est pas rentable.

### Rôle mineur de la digitalisation

L'acceptation de l'échange de données reste faible. Les services intelligents de régulation de charge et d'ajustement du comportement de la clientèle ne sont quasiment plus nécessaires dans la mesure où les centrales hydroélectriques et à gaz, nouvelles ou agrandies, assurent une capacité pilotable et une réserve de réglage suffisantes dans le pays. Les applications intelligentes sont principalement utilisées dans le cadre de l'électromobilité et du smart home.

### 3.4.2.2 Conséquences sur une sélection d'acteurs

#### Producteurs

Le nombre de producteurs décline nettement. La production centralisée prend son essor au détriment de la production décentralisée. Malgré le prix élevé des émissions de CO<sub>2</sub>, les centrales à gaz efficaces sont intéressantes car des capacités de production supplémentaires sont nécessaires en sus des installations hydroélectriques pour couvrir la demande.

#### Gestionnaires de réseau de transport

Le réseau de transport national joue un rôle crucial pour l'approvisionnement centralisé, tandis que l'interconnexion internationale perd en importance. Le transport de gaz naturel transfrontalier et national, de même que le transport vers les sites de production des centrales à gaz, sont maintenus.

Le gestionnaire de réseau de transport remplit une mission plus exigeante qu'aujourd'hui dans la mesure où il doit assurer la stabilité du réseau avec moins de moyens. En outre, des réserves supplémentaires doivent être prévues dans le système, notamment en cas de déconnexion imprévue d'une tranche majeure d'une centrale. Dans l'ensemble, les coûts de gestion de réseau sont par conséquent plus élevés qu'à l'heure actuelle.

#### Consommateurs finaux

L'économie énergétique nationale autarcique et les prix élevés du CO<sub>2</sub> ont pour conséquence une forte croissance des coûts totaux de l'énergie. Cependant, les pannes de courant survenues en amont du **Trust World** ainsi que les problèmes climatiques relèguent le prix à l'arrière-plan. Après que les pannes ont infligé d'importantes pertes économiques à tous les pays, les consommateurs sont disposés à s'acquiescer d'un prix élevé. Grâce à son importante part de centrales au fil de l'eau, la Suisse s'en tire toutefois à meilleur coût par rapport aux États présentant une grande part de production d'électricité fossile, du moins en été.

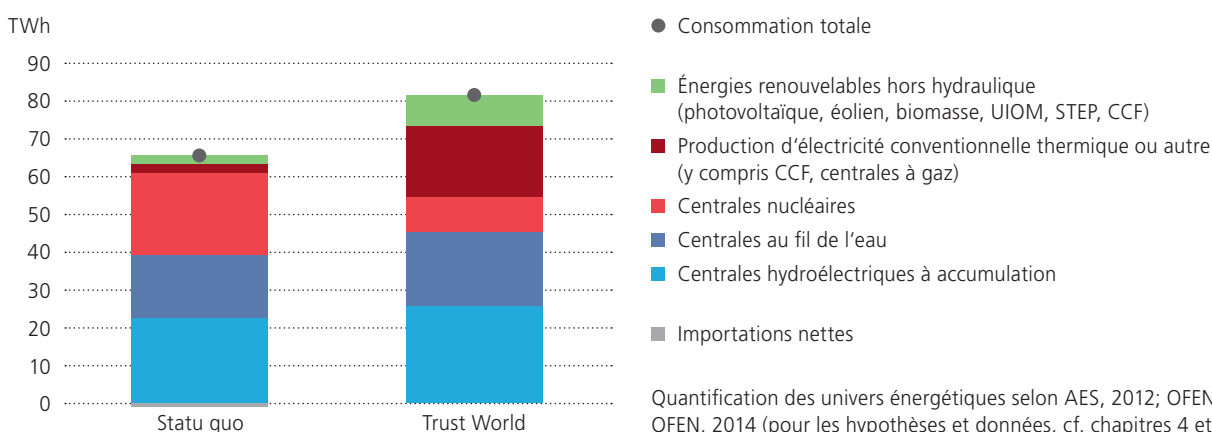
Dans le cadre de la politique climatique, les consommateurs sont responsabilisés via le prix du CO<sub>2</sub>. À part cela, il n'existe aucune prescription politique en matière d'efficacité énergétique ou d'ajustement du comportement des consommateurs.

#### Autres secteurs liés à l'économie énergétique

Dans le **Trust World**, la politique climatique stricte rend la substitution des agents énergétiques fossiles rentable. L'industrie automobile mise de plus en plus sur les véhicules électriques, ce qui entraîne l'amélioration de la technologie de stockage et la réduction de ses coûts. Les fournisseurs et les exploitants d'infrastructures de charge connaissent eux aussi un élan. Les transports publics sont développés et intégralement électrifiés. Enfin, le secteur du chauffage évolue également vers des technologies efficaces neutres en CO<sub>2</sub> ou à faibles émissions de CO<sub>2</sub>.

Figure 5

#### Mix de production, *Trust World* vs *statu quo*



### 3.4.2.3 Tableau 2

#### Trust World – les cinq dimensions et leurs accentuations

Thème	Accentuation	Raison
<b>① Demande/flexibilisation</b>		
Soutirage du réseau (électricité/gaz)	Élevé	Fort soutirage du réseau. La demande d'électricité est stimulée par la substitution des énergies fossiles. L'électromobilité se généralise, tandis que le chauffage évolue vers des dispositifs neutres en CO <sub>2</sub> ou à faibles émissions de CO <sub>2</sub> . Le volume de gaz soutiré du réseau est plus important, principalement du fait des centrales à gaz efficaces.
Consommation propre (niveau de la demande)	Faible	La consommation propre est faible en raison du déclin de la production à partir d'énergies renouvelables (installations photovoltaïques, p. ex.).
Flexibilité (report de charge)	Faible	La demande présente un faible besoin de flexibilité dans la mesure où cette dernière est assurée au stade de la production.
<b>② Approvisionnement centralisé/décentralisé</b>		
Part de production décentralisée	Faible	Abandon de la production décentralisée, arrêt du subventionnement des énergies renouvelables.
Besoin du réseau (électricité/gaz) RD suisse RT suisse RT transfrontalier	Électricité: besoin élevé du réseau national, besoin faible du réseau transfrontalier Gaz: besoin élevé des réseaux national et transfrontalier, besoin faible pour la distribution fine	Les échanges d'électricité transfrontaliers n'ont plus lieu. Les réseaux de transport en Suisse et la distribution fine sont toutefois importants. Les centrales à gaz nécessitent des importations suffisantes de gaz en provenance de l'étranger jusqu'aux centrales.
Convergence des réseaux	Faible	Faible besoin.
Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	Rares	Les technologies de stockage s'améliorent, mais sont essentiellement utilisées dans l'électromobilité. Le besoin de dispositifs de stockage décentralisés est faible.
<b>③ Marchés/UE-CH</b>		
Auto-approvisionnement CH (électricité/gaz)	Électricité: élevé Gaz: faible	La Suisse dispose de capacités suffisantes, y compris l'hiver. Des importations de gaz sont requises pour les centrales à gaz nationales.
Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)	Électricité: nulle Gaz: élevée	L'autonomie d'approvisionnement en électricité des différents pays augmente à dessein. Par conséquent, le marché européen de l'électricité est petit et illiquide. L'intégration au marché international du gaz reste souhaitée en raison des centrales à gaz.
<b>④ Digitalisation</b>		
Pénétration des TIC	Faible	La pénétration des TIC est faible dans le domaine de la régulation de charge et du pilotage de la consommation dans la mesure où elle n'est ni nécessaire, ni souhaitée. Les applications TIC sont utilisées dans le secteur de l'électromobilité et dans de rares smart homes.
Acceptation de l'échange des données	Faible	Elle demeure faible, et n'est plus pertinente.
<b>⑤ Régulation/interventions étatiques</b>		
Promotion des énergies renouvelables	Aucune	Les énergies renouvelables ne sont plus soutenues. L'État mise sur des technologies de production centralisées à faibles émissions de CO <sub>2</sub> .
Prescriptions en matière d'efficacité énergétique	Aucune	Les taxes élevées sur le CO <sub>2</sub> entraînent une hausse de l'efficacité. Tant que la production d'électricité est suffisante, aucune prescription en matière d'efficacité n'est introduite.
Interventions sur les prix (électricité/CO <sub>2</sub> ...)	Aucune intervention sur les prix de l'électricité Prix du CO <sub>2</sub> élevé par le biais d'interventions	La problématique du CO <sub>2</sub> fait l'objet d'une action internationale sérieuse, car des catastrophes majeures et une crise climatique mondiale induites par le réchauffement de la planète se profilent de plus en plus concrètement.

### 3.4.3 Modèle de marché

---

#### Producteurs

Dans le **Trust World**, les producteurs d'électricité sont peu nombreux et centralisés, et le marché est petit et illiquide en raison du manque d'échanges avec l'UE. La tentative de façonner un marché qui fonctionne avec peu d'acteurs, incitant notamment à réaliser de nouveaux investissements et des investissements de remplacement, s'est avérée très fastidieuse et n'a pas été couronnée de succès: lorsqu'une grande centrale était déconnectée du réseau, cela engendrait de fortes variations de prix et nécessitait l'adoption de mesures d'urgence afin de pouvoir continuer à couvrir la demande. À l'inverse, l'arrivée de chaque nouvelle centrale sur ce petit marché se traduisait par une nette hausse de l'offre, faisant baisser le prix de l'électricité et diminuant ainsi la rentabilité de toutes les centrales.

Dans la mesure où il a été impossible de mettre sur pied un marché qui fonctionne, la solution choisie a consisté à revenir aux monopoles régionaux et à instaurer des tarifs de reprise garantis par l'État, en combinaison avec des appels d'offres visant à créer de nouvelles capacités de production. Dans le **Trust World**, l'État observe attentivement l'approvisionnement en énergie par les agents énergétiques de réseau et l'organise selon les principes d'une économie planifiée et en faisant preuve d'anticipation. Les procédures liées à la construction de centrales ont été accélérées, afin de pouvoir réagir rapidement aux congestions et d'éviter de recourir aux mesures d'urgence.

Le gaz naturel joue un rôle essentiel pour l'approvisionnement énergétique dans le **Smart World**. Afin de couvrir les besoins des centrales à gaz, un accès sans discrimination au réseau de gaz est garanti. Si une extension de ce réseau est rendue nécessaire par un investissement, les frais correspondants sont à la charge de l'investisseur de la centrale concernée. Pour les cas où la puissance de raccordement ou le fonctionnement de la centrale à gaz sont supérieurs à la capacité de puissance du réseau, des mesures sont prévues, telles que la construction de réservoirs de gaz locaux propres ou le recours à la bi-énergie et à des citernes à mazout. Des incitations visant au développement de l'exploitation bi-énergie auprès des autres utilisateurs de gaz naturel ont par ailleurs été mises en place pour accroître la flexibilité de l'ensemble du système d'approvisionnement en énergie.

La Suisse ne dispose d'aucun réservoir de gaz de grande capacité. Des délestages de clients bi-énergie convenues contractuellement sont d'ores et déjà prévus en cas de pénurie d'approvisionnement en gaz naturel. Les clients bi-énergie ont la possibilité d'utiliser d'autres combustibles que le gaz naturel si nécessaire et bénéficient d'incitations financières pour la mise à disposition de cette flexibilité. Dans l'ensemble, les clients bi-énergie participent ainsi considérablement à la sécurité d'approvisionnement en électricité et en gaz naturel, qui est essentielle dans le **Smart World**.

#### Consommateurs finaux

Dans la mesure où aucun marché de l'électricité qui fonctionne n'a pu être mis en place dans le **Trust World**, tous les consommateurs finaux bénéficient de l'approvisionnement de base. Par ailleurs, le marché du gaz n'a pas non plus été ouvert aux petits consommateurs finaux. Les tarifs pour l'utilisation du réseau et l'énergie sont totalement régulés et font l'objet d'une surveillance par un régulateur. Ils sont conçus de sorte à couvrir les coûts et à pouvoir éviter les congestions sur le réseau et du point de vue énergétique. Le gestionnaire du réseau de gaz gère de façon centralisée la flexibilité potentielle mise à sa disposition par les clients bi-énergie contre rémunération.

#### Gestionnaires de réseau de transport

Afin que les sites des nouvelles centrales à gaz soient sélectionnés de manière à se trouver le plus près possible des consommateurs ainsi que des lignes électriques et de gaz naturel existantes, le financement des éventuels renforcements des réseaux de gaz naturel et d'électricité a fait l'objet d'une réglementation harmonisée.

#### Gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs

Dans le **Trust World**, le réseau et la distribution ne sont pas dissociés, tant pour l'électricité que pour le gaz naturel. Cela signifie que gestionnaire de réseau de distribution et fournisseur ne font qu'un.

### 3.4.4 Modèle d'affaires

---

Avec un approvisionnement en énergie organisé presque complètement selon une économie planifiée, comme c'est le cas dans le **Trust World**, il résulte par nature beaucoup moins de modèles d'affaires que dans un environnement libéralisé. Ce sont surtout les producteurs qui ont une marge de manœuvre stratégique pour les appels d'offres, et les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs pour la fourniture de prestations de services.

#### Producteurs

Pour pouvoir exploiter des centrales, il faut d'abord remporter les appels d'offres correspondants. Afin qu'un producteur puisse participer avec succès à un appel d'offres, il a besoin de disposer de connaissances globales sur les grandes technologies, ainsi que d'une expertise en matière d'approvisionnement en gaz dans le cas des centrales à gaz, et de la capacité d'établir des prévisions les plus exactes possibles.

Il peut acquérir les capacités et connaissances nécessaires en recrutant du personnel adapté, ou établir des coopérations et des partenariats. Les producteurs qui étaient déjà actifs en Europe dans la construction et l'exploitation de centrales à gaz, ainsi que les négociants en gaz peuvent profiter de leurs connaissances. Les exploitants de centrales



hydroélectriques utilisent leurs connaissances spécifiques en matière d'exploitation et de maintenance pour proposer en Europe des prestations de services correspondantes telles que conseils, service et maintenance.

De fait, le producteur se voit attribuer au moyen de l'appel d'offres un mandat d'approvisionnement, à savoir approvisionner en permanence le consommateur final via le gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur.

Le mandat d'approvisionnement est financé dans le cadre de monopoles régionaux et des prix de reprise garantis par l'État. À côté de cela, les producteurs fournissent des services-système aux gestionnaires de réseau de transport.

### **Gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs**

Les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs approvisionnent tous les consommateurs finaux de leur zone de desserte en électricité et en gaz de manière sûre et fiable. Chaque gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur se procure l'énergie pour sa zone de desserte auprès du producteur compétent, dans le cadre du monopole régional, à des prix définis. La confiance perdue auprès des consommateurs finaux est regagnée grâce à une communication ciblée (cf. chapitre 3.4.1). Étant donné qu'il n'y a pas de concurrence autour des consommateurs finaux, aucun effort de marketing n'est fait en la matière.

Dans le domaine des prestations, ce sont avant tout les principaux gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs qui s'engagent. Pour des motifs de protection climatique, cette activité se concentre sur l'électromobilité et sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Dans ce contexte, différents partenariats stratégiques sont conclus. Les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs s'associent par exemple avec des installateurs de systèmes de chauffage, afin de proposer dans le domaine du bâtiment des systèmes intelligents et générant peu d'émissions de CO<sub>2</sub>, avec le pilotage correspondant. De plus, les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs établissent des coopérations avec des constructeurs automobiles pour faire avancer ensemble l'électromobilité. Les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs utilisent alors leur proximité avec les clients dans leurs efforts de marketing et étendent le réseau à des bornes de recharge faciles d'utilisation.

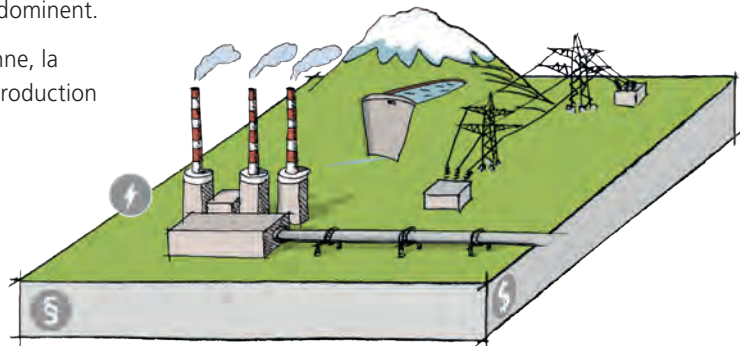
**REPLI** Dans le domaine de l'électricité, les pays européens s'isolent, tout comme la Suisse.

**NÉGOCE DU GAZ** À l'international, le gaz continue d'être négocié.

**TAXE SUR LE CO<sub>2</sub>** Il existe une taxe sur le CO<sub>2</sub> harmonisée internationalement.

**GRANDES CENTRALES** En Suisse, les centrales hydrauliques et désormais aussi les centrales à gaz dominent.

**PRODUCTION CENTRALISÉE** À l'échelle européenne, la production énergétique centralisée prédomine; la production décentralisée ne se développe pratiquement pas.





«Un approvisionnement en énergie fiable et bon marché»

Dans le **Trade World**, l'approvisionnement énergétique repose majoritairement sur des unités de production centralisées, qui se trouvent en Europe là où leur construction et leur exploitation sont les plus rentables. Le négoce européen de l'électricité s'étend donc à grande échelle. Les technologies de production décentralisées ne font plus l'objet que d'un développement ponctuel. Il a été mis fin à l'ensemble des mesures de soutien. Les interventions supplémentaires sur le marché du CO<sub>2</sub> ont elles aussi été stoppées, le prix du CO<sub>2</sub> est bas. Le remplacement des combustibles fossiles par l'électricité ne progresse donc que lentement. Le prix de l'électricité est faible.

Le soutirage depuis le réseau est important, ce qui s'explique en partie par la croissance démographique et économique. Par ailleurs, la part de consommation propre dans la consommation totale stagne. Des accumulateurs décentralisés sont utilisés lorsqu'il y a déjà une production propre. L'installation d'autres dispositifs de stockage décentralisés est faible. La flexibilisation de la demande n'est pas poursuivie dans la mesure où la flexibilité est suffisante côté production (centrales hydroélectriques et à gaz). La digitalisation est largement exploitée, mais elle ne joue qu'un rôle secondaire dans le **Trade World**.

### 3.5.1 Contexte historique

---

Les installations solaires et les centrales éoliennes n'ont guère fait l'objet d'avancées technologiques ni d'évolution des prix dans les années 2020, sans pour autant cesser d'être subventionnées. En raison de la faiblesse persistante des prix du négoce de gros en Europe, il a fallu également soutenir davantage les installations traditionnelles de production d'énergie existantes d'importance systémique, car leur rentabilité n'était plus assurée – sans cette aide, elles auraient été désaffectées. On a ainsi vu apparaître divers systèmes de soutien: ces derniers ont permis de développer des installations solaires et des centrales éoliennes notamment, et d'exploiter les centrales existantes d'importance systémique, p. ex. hydroélectriques et thermiques notamment. Les coûts de redispaching et de renforcement du réseau ont augmenté dans le même temps. On a alors observé une forte hausse des coûts

de l'approvisionnement énergétique. De plus, suite à la progression de la consommation propre, ces coûts ont dû être répartis sur un plus petit nombre de consommateurs finaux sans production propre. En conséquence, les consommateurs finaux soutirant leur courant du réseau se sont opposés à toute nouvelle augmentation de leurs coûts. Les mesures de soutien ont été stoppées dans toute l'Europe et les interventions de l'État réduites à un minimum – laissant le champ libre aux forces du marché.

### 3.5.2 Accentuations

#### 3.5.2.1 Description des cinq dimensions

##### Arrêt des interventions étatiques et des mesures d'encouragement

Le Trade World mise sur les seules forces du marché. Objectif: un approvisionnement énergétique abordable, basé sur le marché. En Europe, il est mis fin aux interventions étatiques et aux mesures d'encouragement sur le marché de l'énergie. Toutes les subventions spécifiques aux différentes technologies ainsi que les marchés de capacité nationaux sont abolis, l'ensemble des agents énergétiques devant être soumis dans le Trade World aux mêmes conditions-cadre sur le marché afin que les différents sites et technologies de production soient en concurrence. Les acteurs politiques tablent désormais sur l'efficacité de l'économie de marché pour assurer un approvisionnement en électricité abordable. Les consommateurs finaux sont libres de choisir leur fournisseur.

La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> joue un rôle mineur. La politique climatique n'est ni durcie, ni mise en œuvre de manière systématique, et les émissions de CO<sub>2</sub> ne font pas l'objet de taxes supplémentaires. Enfin, les prescriptions relatives aux mesures d'efficacité ont elles aussi disparu.

##### Une consommation d'énergie élevée et non flexible

L'électricité est bon marché pour la population comme pour l'industrie. Dans le Trade World, la croissance démographique et économique entraîne une nette hausse de la demande d'électricité. La consommation individuelle augmente également. Eu égard aux prix bas de l'énergie et du CO<sub>2</sub>, la substitution des applications thermiques fossiles, p. ex. dans les bâtiments ou dans le domaine de la mobilité, ne vaut guère la peine. Toujours en raison de la faiblesse des prix, la mise en œuvre des mesures en faveur de l'efficacité énergétique reste elle aussi ponctuelle. La part de consommation propre progresse à peine dans la mesure où le soutirage d'électricité est bon marché sur le réseau. Les prosumers

existants optimisent leur production propre via des dispositifs de stockage – lorsque cela s'avère rentable –, car l'injection dans le réseau n'est pas financièrement intéressante. Dans un contexte de prix faibles, les incitations à recourir à des tarifs d'électricité flexibles demeurent elles aussi rares. Les prix doivent augmenter ou fluctuer pour que le pilotage des consommateurs clés et des dispositifs de stockage présente un intérêt.

##### En Europe, généralisation des installations centralisées peu coûteuses

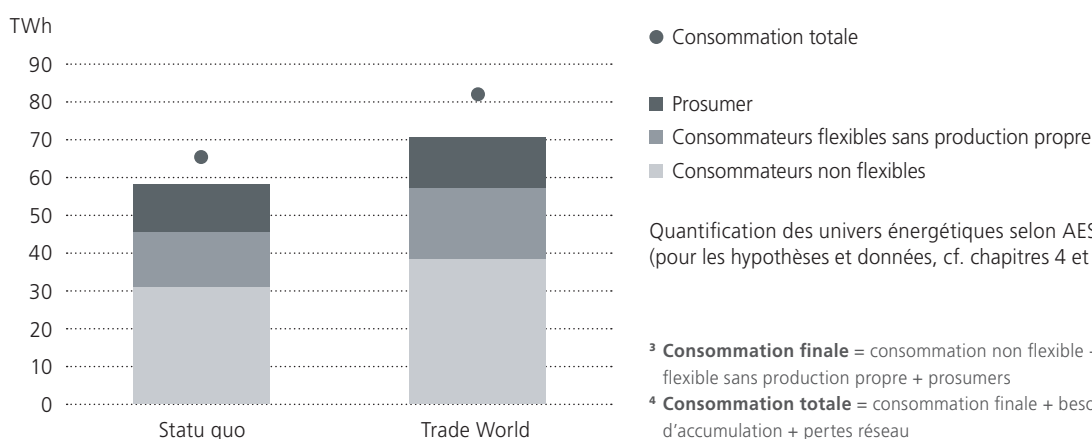
Les technologies de production les plus efficaces et les sites les plus avantageux s'imposent. Il s'agit majoritairement d'unités de production centralisées situées à l'étranger. Dans toute l'Europe, on investit dans des installations centralisées affichant une courte durée d'amortissement et de faibles coûts variables (à l'instar des centrales à gaz). En revanche, rares sont les nouvelles installations présentant une longue durée d'amortissement (telles que les centrales nucléaires et à charbon). La faiblesse des prix de l'électricité et du CO<sub>2</sub> ainsi que l'absence de soutien accentuent également la pression qui pèse sur la production hydraulique.

Dans la mesure où les coûts ne diminuent pas fortement, les installations photovoltaïques ne s'imposent que de manière ponctuelle. L'exploitation rentable d'accumulateurs combinés avec des installations photovoltaïques est sporadique.

Dans un contexte d'approvisionnement énergétique centralisé et très internationalisé, les besoins en réseaux sont élevés à tous les niveaux. Les infrastructures de réseau de transport gagnent en importance pour la compensation énergétique internationale: des investissements ciblés sont réalisés dans des réseaux haute tension à courant continu et des gazoducs. Les développements de réseaux, opérés en fonction de la demande et des sites de production, assurent une distribution efficace et fiable de l'énergie à l'échelle de l'Europe.

Figure 6

Consommations finale<sup>3</sup> et totale<sup>4</sup>, Trade World vs statu quo



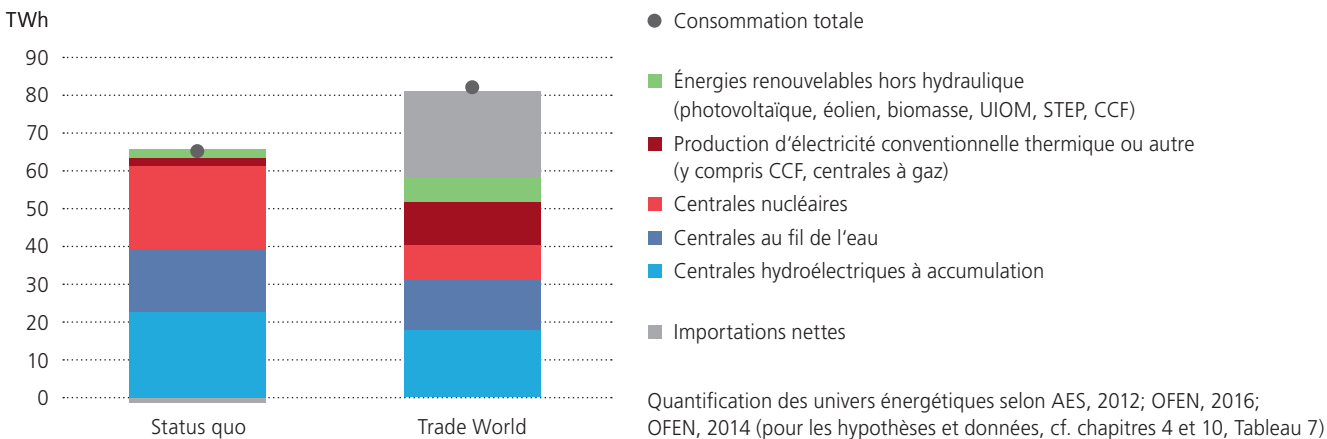
Quantification des univers énergétiques selon AES, 2012; OFEN, 2016 (pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10, Tableau 6 et Tableau 7)

<sup>3</sup> Consommation finale = consommation non flexible + consommation flexible sans production propre + prosumers

<sup>4</sup> Consommation totale = consommation finale + besoins des pompes d'accumulation + pertes réseau

Figure 7

Mix de production, Trade World vs statu quo



La Suisse fortement interconnectée avec l'Europe

La Suisse est pleinement intégrée au marché intérieur de l'énergie européen, avec des droits identiques à ceux des autres pays. Sa politique énergétique est coordonnée avec ses partenaires européens dans des conditions-cadre ad hoc définies de concert par les organes étatiques. Il est admis qu'un marché de l'énergie performant et rentable et le système énergétique physiquement requis à cet effet constituent les conditions essentielles à une maximisation de la prospérité à l'échelle européenne.

L'intégration de la Suisse au marché intérieur de l'UE et l'approvisionnement énergétique suprarégional rendent le négoce européen d'électricité et de gaz naturel d'autant plus important. Les volumes négociés et la diversité des produits sont par conséquent élevés.

La digitalisation du réseau et des compteurs secondaires

La digitalisation du réseau électrique n'est pas prioritaire dans le Trade World. Elle se multiplie toutefois dans les installations (centrales comprises) et dans les bâtiments, ainsi que dans le domaine de la mobilité et de la récupération de chaleur. Le besoin accru d'automatisation en matière d'aération et de climatisation, d'éclairage et d'ombrage, ainsi que les exigences croissantes en termes de pilotabilité d'installations, d'appareils et de dispositifs de protection contre l'effraction stimulent l'intégration de la digitalisation dans le domaine énergétique.

Il n'y a ni développement à grande échelle d'un smart grid, ni installation de compteurs intelligents sur l'ensemble du territoire suisse car les coûts excéderaient les avantages globaux effectifs. Cependant, des dépenses supplémentaires modérées permettent de crypter l'important volume de données existant et de le rendre exploitable pour l'optimisation et la stabilité du réseau.

3.5.2.2 Conséquences sur une sélection d'acteurs

Producteurs

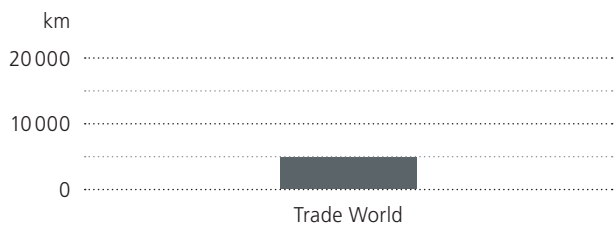
Les producteurs sont soumis à une forte pression sur les prix et se livrent une vive concurrence autour des sites adaptés. Souvent localisées hors de Suisse, les nouvelles installations sont sélectionnées et réalisées dans toute l'Europe sur la base de considérations économiques. Le choix du type et du lieu de production est conditionné par les évolutions technologiques, par la disponibilité de sites adaptés peu coûteux et par les réseaux.

Gestionnaires de réseau de transport

Du point de vue des gestionnaires de réseau de transport, la coopération européenne gagne en importance. Les différents pays doivent accroître les capacités de transport et remédier aux congestions. L'utilisation, l'optimisation et le développement du réseau sont coordonnés à l'échelle de l'Europe.

Figure 8

Développement du réseau de distribution dans le Trade World



Quantification des univers énergétiques selon Consentec, 2012 (pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10)

### 3.5.2.3 Tableau 3

#### Trade World – les cinq dimensions et leurs accentuations

Thème	Accentuation	Raison
<b>① Demande/flexibilisation</b>		
Soutirage du réseau (électricité/gaz)	Électricité: élevé Gaz: à déterminer	Croissance démographique et économique. Consommation individuelle en augmentation.
Consommation propre (niveau de la demande)	Faible	Faible consommation propre dans la mesure où la production décentralisée ne croît pas.
Flexibilité (report de charge)	Faible	Faible flexibilisation car guère nécessaire et financièrement sans intérêt.
<b>② Approvisionnement centralisé/décentralisé</b>		
Part de production décentralisée	Faible	Part importante de production décentralisée. Faible diminution des coûts des technologies de production décentralisée, qui ne sont plus soutenues.
Besoin du réseau (électricité/gaz) RD suisse RT suisse RT transfrontalier	Électricité: besoin du réseau élevé à tous les niveaux Gaz: besoin du réseau à déterminer	Fort besoin de réseaux à tous les niveaux en raison d'un approvisionnement énergétique centralisé et largement suprarégional.
Convergence des réseaux	Faible	Faible importance.
Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	Rares	Coûts réduits, mais pas de subventionnement. Les batteries ne s'imposent que lorsqu'elles sont rentables.
<b>③ Marchés/UE – CH</b>		
Auto-alimentation CH (électricité/gaz)	Électricité: faible (hiver) Gaz: à déterminer	Fortement intégrée au système européen, la Suisse est un importateur net. L'auto-alimentation est faible pour l'électricité comme pour le gaz.
Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)	Marché de l'électricité: élevée Marché du gaz: à déterminer	Convergence croissante des conditions-cadre dans l'ensemble du marché intérieur européen, activités et volumes de négoce importants.
<b>④ Digitalisation</b>		
Pénétration des TIC	Moyenne	La pénétration des TIC n'est pas sciemment visée. Elle est toutefois exploitée lorsqu'elle est existante ou rentable. Les applications intelligentes s'imposent dans les installations, ainsi que dans le domaine du bâtiment, de la mobilité et du chauffage, pour autant qu'elles soient rentables.
Acceptation de l'échange des données	Élevée	Le niveau d'acceptation est élevé.
<b>⑤ Régulation/interventions étatiques</b>		
Promotion des énergies renouvelables	Aucune	Neutralité technologique: les acteurs politiques laissent le marché façonner le parc de production. Les nouvelles installations sont construites sur des sites européens offrant les coûts les plus réduits.
Prescriptions en matière d'efficacité énergétique	Aucune	Aucune prescription. Les mesures rentables d'efficacité s'imposent.
Interventions sur les prix (électricité/CO <sub>2</sub> ...)	Faibles	Les objectifs en matière de CO <sub>2</sub> ne sont pas durcis, les prix restent bas, ce qui met l'énergie hydraulique sous pression.

### 3.5.3 Modèle de marché

#### Consommateurs finaux

Tous les consommateurs finaux disposent d'un libre accès aux réseaux d'électricité et de gaz naturel, et le marché est totalement ouvert. Les consommateurs s'approvisionnent auprès des fournisseurs et des producteurs les moins chers d'Europe. Il n'existe pas d'approvisionnement de base (simple obligation de raccordement au réseau), car le marché permet d'obtenir et de garantir à tout moment un approvisionnement en énergie sûr et économique. Aucune prescription n'est imposée aux consommateurs finaux, qu'il s'agisse de leurs sources d'approvisionnement ou de leur comportement en matière de consommation.

#### Producteurs

L'univers **Trade World** est celui qui correspond le mieux à l'idée d'une structure d'approvisionnement reposant sur le marché et sur une interconnexion internationale, qui sous-tend le modèle de marché actuel. Le commerce de gros du gaz naturel et de l'électricité, ainsi que la centralisation des installations de production en sont les caractéristiques. Les réseaux sont avant tout utilisés dans une direction: de la centrale vers le consommateur final, en passant par les réseaux de transport et de distribution. Les échanges intensifs avec les pays de l'UE pour l'électricité et les importations de gaz naturel ont nécessité une harmonisation de la réglementation du marché avec l'UE. Ainsi, la Suisse puisse accéder au marché intérieur européen et participer à son façonnement. Dans cet univers, le marché de l'énergie («energy only market») suffit à générer des investissements. Aucune mesure supplémentaire ne doit être adoptée pour garantir la sécurité d'approvisionnement.

Dans le **Trade World**, plusieurs centrales hydroélectriques subissent cependant une certaine pression car les émissions de CO<sub>2</sub> ne sont pas taxées à l'échelle européenne. Ce fait est cependant accepté et n'est pas compensé à l'échelle politique par des mesures de soutien.

#### Gestionnaires de réseau de transport

Le gestionnaire de réseau de transport organise un échange européen harmonisé dans le but d'exploiter efficacement les congestions restantes. Pour réguler son réseau, il s'approvisionne auprès des fournisseurs de services-système (SDL) les moins chers en Suisse et à l'étranger, ce qui engendre une pression supplémentaire sur la force hydraulique helvétique. Les coûts liés à la construction, à l'entretien et à l'exploitation du réseau de transport sont répercutés sur les réseaux en aval, puis sur les consommateurs finaux.

### 3.5.4 Modèle d'affaires

Dans le **Trade World**, les économies d'échelle jouent un rôle déterminant, que ce soit au niveau de la production ou de la vente. De grands groupes actifs à l'échelle européenne se constituent par concentration, proposant une large gamme de prestations dans le domaine de l'électricité et du gaz. Des coopérations avec des partenaires adaptés et des participations en Suisse comme à l'étranger génèrent des avantages concurrentiels pour tous les acteurs du marché. Disposer de structures allégées est déterminant pour tous les acteurs afin de pouvoir subsister dans un environnement de forte concurrence.

#### Producteurs

Pour pouvoir approvisionner les consommateurs finaux, les producteurs doivent proposer de l'énergie à des prix compétitifs. C'est la même chose pour les fournitures de services-système aux gestionnaires de réseau de transport.

Par conséquent, pour les producteurs, l'exploitation efficace et rationalisée d'unités de production revêt une importance cruciale afin de pouvoir s'imposer face à la concurrence européenne avec un mix de production performant. L'automatisation et la standardisation, d'une part, et la qualification du personnel, d'autre part, constituent des éléments clés dans cette approche.

#### Gestionnaires de réseau de distribution

Grâce à une gestion des actifs rigoureuse, un réseau d'électricité et de gaz rentable à tous les niveaux est mis à disposition. Des comparaisons d'efficacité strictes, faites par le régulateur, obligent les gestionnaires de réseau à maintenir tous les coûts d'exploitation du réseau à un niveau peu élevé. Les processus tels que les mouvements de clients, la mesure et la facturation sont standardisés et externalisés, en particulier par les gestionnaires de réseau de distribution de petite taille.

Pour ce qui est de la fourniture d'énergie, les gestionnaires de réseau de distribution sont en concurrence avec d'autres fournisseurs. En particulier, les gestionnaires de réseau de distribution de grande taille continuent d'être actifs sur le marché de la fourniture d'énergie et de faire jouer leur proximité avec les clients. De plus, ils font valoir plusieurs atouts tels que les prestations multi-utility. Les gestionnaires de réseau de distribution de petite taille se regroupent, lient leur approvisionnement (pooling) ou se retirent de la fourniture d'énergie et la laissent à des tiers.

## Fournisseurs d'énergie

L'approvisionnement en électricité avantageux, sur le marché libre dans toute l'Europe, au moment approprié constitue la compétence clé de tout fournisseur d'énergie. Pour cela, des analyses de marché supérieures à la moyenne et des prévisions exactes sont des éléments-clés. Pour acquérir les compétences correspondantes, les options suivantes s'offrent notamment aux plus petits acteurs indépendants: établir des coopérations, fonder un pool d'approvisionnement ou externaliser à des prestataires spécialisés.

Un fournisseur d'énergie doit en permanence investir dans la prospection et la fidélisation ciblées des clients. Des concepts de distribution et des modèles de prix innovants, ainsi que l'occupation de niches créent un avantage concurrentiel. Différents segments de clientèle (p. ex. à définir par la consommation, la puissance financière, etc.) sont sollicités en continu via de multiples canaux et traités de manière personnalisée. Pour cela, tous les collaborateurs ayant contact avec l'extérieur doivent donc avoir de vastes compétences de vente et de marketing.

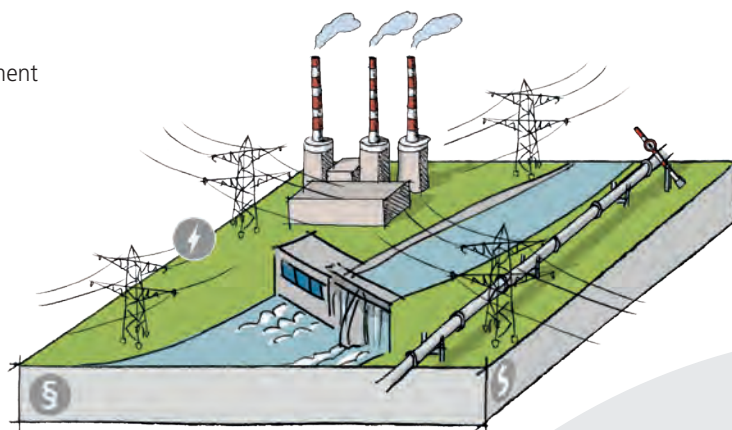
**BON MARCHÉ** L'énergie est produite là où elle coûte le moins cher.

**EUROPE** La consommation d'énergie est élevée et la Suisse est fortement interconnectée avec l'Europe.

**MARCHÉ** Il n'y a ni subventions pour les énergies renouvelables, ni taxe sur le CO<sub>2</sub>.

**SUPPRESSION DES SUBVENTIONS** Le développement des énergies renouvelables stagne.

**RENTABILITÉ** Les grandes installations centralisées s'imposent à l'échelle européenne.



«De l'énergie du quartier,  
pour le quartier»



Dans le **Local World**, la Confédération soutient fortement l'approvisionnement décentralisé. Parallèlement, d'importantes prescriptions s'appliquent en matière d'efficacité et de consommation énergétiques. L'économie énergétique reposant largement sur des unités de production centralisées évolue vers un approvisionnement local. Les installations hydroélectriques centralisées alimentent encore les consommateurs qui ne s'auto-alimentent pas, ou en partie seulement. Elles font également office (notamment en hiver) d'accumulateurs centralisés et de centrales de réserve.

La demande se flexibilise sensiblement, du fait notamment de l'utilisation accrue des TIC dans l'approvisionnement énergétique et de l'intégration des accumulateurs et de l'électromobilité dans le système global. L'électromobilité s'impose en raison de la substitution des combustibles fossiles.

### 3.6.1 Contexte historique

---

La population a témoigné à la fin des années 2010 sa volonté de bénéficier d'un approvisionnement énergétique décentralisé, respectueux du climat et limité le plus possible à l'échelle nationale. Elle a donc accepté des interventions massives de l'État et des prescriptions strictes. L'importation d'énergie grise a cessé progressivement. Les centrales nucléaires ont été retirées du réseau. D'une part, la perte de production corrélative a été remplacée par une forte augmentation des capacités d'approvisionnement décentralisé et, d'autre part, des mesures drastiques de réduction de la demande énergétique ont été prises.

### 3.6.2 Accentuations

---

#### 3.6.2.1 Description des cinq dimensions

---

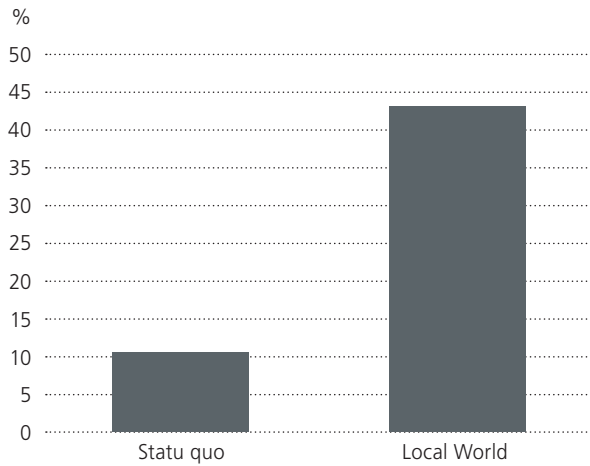
##### **L'État promeut les énergies renouvelables et la consommation propre**

Le système d'approvisionnement énergétique est aiguillé vers un approvisionnement national en électricité décentralisé et indépendant des importations au moyen de contributions publiques et de prescriptions légales. L'État encourage fortement le développement des énergies renouvelables et des solutions locales de stockage à court terme (batteries) à l'aide de subventions. Parallèlement, la consommation propre et l'efficacité énergétique sont stimulées par d'importantes prescriptions. Les mesures de soutien sont financées par des taxes sur l'électricité et sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Des exonérations fiscales favorisent les assainissements énergétiques.



Figure 9

Part de consommation propre<sup>5</sup>, Local World vs statu quo



Quantification des univers énergétiques selon AES, 2012  
(pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10, Tableau 6)

<sup>5</sup> Part de production propre des prosumers dans la consommation totale

### L’approvisionnement local s’intensifie

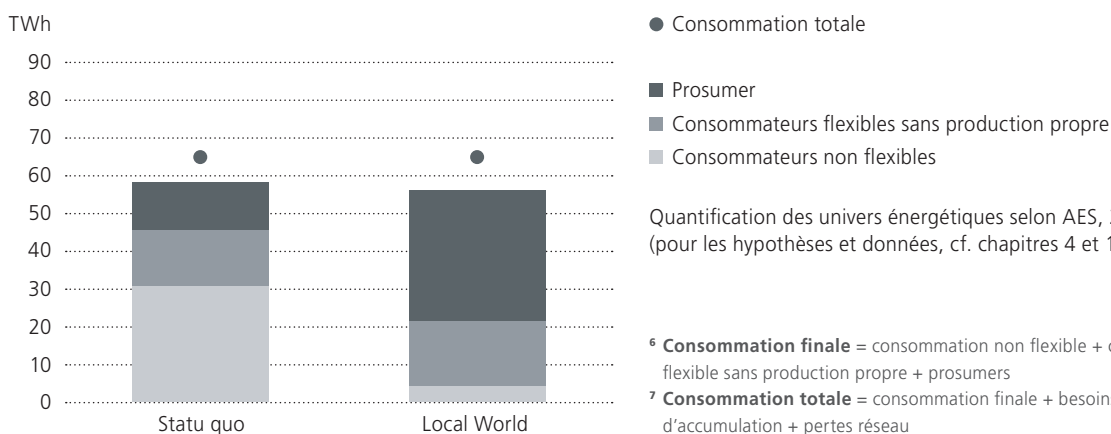
La production et la consommation propres croissent rapidement. Les petits et moyens consommateurs s’auto-fourment, l’approvisionnement local se multiplie et se développe. Les villes et villages sont alimentés en énergie largement locale. En vue d’optimiser la part de consommation propre, l’accent est en outre mis sur les dispositifs de stockage et les mesures de flexibilisation de la demande.

En conséquence, le soutirage d’électricité du réseau régional et suprarégional décline. Les coûts d’utilisation du réseau par kilowattheure d’électricité soutirée augmentent car, d’une part, le nombre de consommateurs dépendants du réseau décroît et, d’autre part, les mesures d’encouragement entraînent des coûts élevés. Dans un premier temps, les consommateurs

sans auto-alimentation totale s’acquittent de ces coûts via les rémunérations pour l’utilisation du réseau. Cela accélère alors le processus d’auto-alimentation. L’approvisionnement local gagne en rentabilité. À moyen terme, il convient toutefois de parvenir à un équilibre entre les coûts de production propre et de soutirage d’électricité du réseau au moyen de nouveaux concepts d’utilisation du réseau. La substitution des applications fossiles bénéficie d’un soutien appuyé. Ainsi, la demande en énergie diminue. Les besoins supplémentaires en courant liés à l’électrification du chauffage et du transport se montent à environ 8 TWh (Andersson, Boulouchos, & Bretschger, 2011). Cependant, la demande globale en électricité baisse également – en raison des importantes prescriptions étatiques.

Figure 10

Consommations finale<sup>6</sup> et totale<sup>7</sup>, Local World vs statu quo



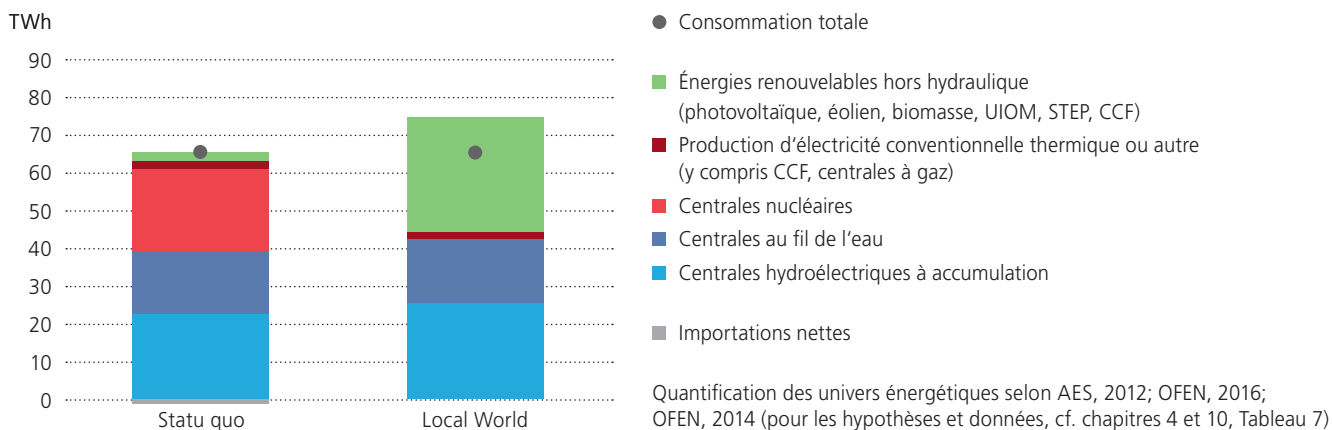
Quantification des univers énergétiques selon AES, 2012; OFEN, 2016  
(pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10, Tableau 6)

<sup>6</sup> **Consommation finale** = consommation non flexible + consommation flexible sans production propre + prosumers

<sup>7</sup> **Consommation totale** = consommation finale + besoins des pompes d’accumulation + pertes réseau

Figure 11

Mix de production, Local World vs statu quo



Les dispositifs de stockage locaux et la convergence des réseaux, fondements du Local World

Dans le Local World, le système d’approvisionnement largement centralisé évolue vers un système de consommateurs de plus en plus souvent producteurs et stockeurs d’énergie, et par conséquent de moins en moins tributaires du système initial. Les dispositifs de stockage journalier et hebdomadaire contribuent à optimiser l’approvisionnement local à court terme. La part d’installations photovoltaïques et CCF, de centrales éoliennes et à biomasse ainsi que d’accumulateurs augmente nettement. Les installations CCF fonctionnent en grande partie à la biomasse et au gaz renouvelable (power-to-gas).

Mais les combustibles fossiles sont encore utilisés de manière ponctuelle. Les installations CCF présentent un potentiel de production pouvant atteindre 6 TWh (AES, 2012), étant donné que le réseau de chaleur local et à distance a également été développé. Le réseau de distribution doit être développé ou renforcé en raison de la répartition spatiale de la production décentralisée (cf. Figure 12).

La production excédentaire estivale de quelque 9 TWh est convertie en méthane ou en hydrogène au moyen d’installations power-to-gas et conservée sous cette forme en prévision de l’hiver. La transformation power-to-gas-to-power entraînant une perte comprise entre 70 et 75%, près de 2 à 3 TWh de l’énergie excédentaire produite aux beaux jours pourraient être récupérés sous forme d’électricité pour la saison froide. La transformation des agents énergétiques que sont le gaz, l’électricité et la chaleur permet ainsi de réagir de manière adéquate aux fluctuations de la production issue des énergies renouvelables. Cette synergie est indispensable à la mise en place d’un approvisionnement majoritairement autarcique et décentralisé. Par conséquent, la convergence des réseaux est vivement favorisée en vue de stabiliser et d’augmenter l’efficacité du système, également

à l’aide de réseaux interconnectés axés sur les services d’électricité, de gaz et de chauffage. Ainsi se constituent des «energy hubs», nécessaires pour assurer la flexibilité et la diversification requises de l’approvisionnement.

Les grandes installations hydroélectriques décentralisées conservent un rôle majeur dans le système, que ce soit pour les consommateurs qui ne s’auto-approvisionnent pas encore complètement, en tant que dispositif de stockage ou comme centrale de réserve. Afin d’assurer la couverture de la demande sur toute l’année, les centrales hydroélectriques à accumulation doivent encore être développées.

Promotion des applications et réseaux intelligents

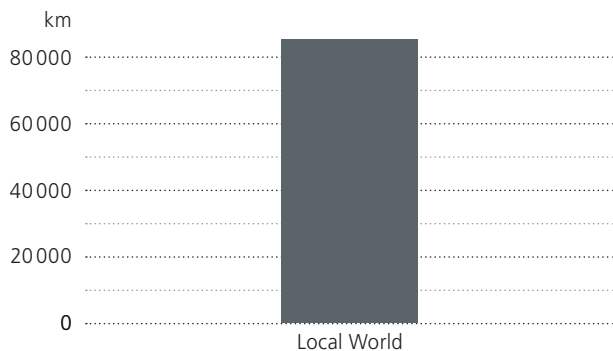
La digitalisation du système énergétique (y compris des appareils utilisateurs) fait l’objet d’efforts soutenus. Elle participe largement à la régulation et à l’optimisation des flux énergétiques entre producteurs, dispositifs de stockage et consommateurs locaux et régionaux. L’acceptation de l’échange de données est une condition essentielle à l’utilisation d’applications intelligentes. Dans ce cadre, la sécurité et l’anonymisation des données sont prioritaires. Les applications intelligentes telles que les plateformes locales de regroupement de négoce, d’offre et de demande gagnent en importance.

L’interconnexion avec l’étranger diminue

Avec le développement de l’auto-approvisionnement de la Suisse, conforme à la volonté politique, la dépendance vis-à-vis de l’étranger et le négoce transfrontalier d’électricité diminuent: le négoce international d’électricité est limité aux situations de pénurie d’approvisionnement, ce qui fait baisser rapidement le volume négociable. En revanche, le négoce mondial de gaz conserve son importance. L’interconnexion internationale sur le marché du gaz et le stockage de gaz jouent en particulier un rôle majeur pour l’intensification de la convergence des réseaux, notamment dans le cadre de la technologie power-to-gas.

Figure 12

Développement du réseau de distribution dans le Local World



Quantification des univers énergétiques selon AES, 2012 (pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10)

3.6.2.2 Conséquences sur une sélection d'acteurs

Producteurs

Les producteurs locaux s'établissent. Face à une consommation propre croissante, l'importance de la production centralisée et ses exploitants diminue. Il est mis fin aux technologies centralisées telles que l'énergie nucléaire, tandis que l'énergie hydraulique nationale conserve sa position dans le système global.

Gestionnaires de réseau de transport

Dans l'ensemble, l'utilisation du réseau de transport décline, mais les pics de puissance demeurent, notamment en cas de soutirage de courant de centrales hydroélectriques en hiver, lorsque l'auto-alimentation ne suffit plus. L'entretien de l'infrastructure existante est par conséquent poursuivi et aucun démantèlement n'est prévu. Le besoin de transit d'électricité diminue lui aussi dans la mesure où les pays voisins connaissent des évolutions similaires vers un approvisionnement local. En revanche, le besoin de transit de gaz demeure.

Gestionnaires de réseau de distribution

Les réseaux de distribution existants sont régulés par le gestionnaire ad hoc à l'aide des TIC, des unités locales de stockage et CCF et de la demande flexible.

Consommateurs finaux

Si certaines unités d'habitation ou communautés s'autosuffisent d'ores et déjà largement (prosumers), d'autres consommateurs finaux, sans possibilité de production propre, soutirent toujours la totalité de leur électricité du réseau.

Société et économie nationale

La société doit sensiblement réduire sa consommation et gérer raisonnablement ses ressources. Des technologies et services intelligents contribuent à atténuer les restrictions en termes de confort. La société doit également supporter les coûts élevés de la transformation de l'approvisionnement énergétique afin de réaliser les objectifs climatiques.

3.6.3 Modèle de marché

Consommateurs finaux

Dans le Local World, l'objectif consiste à réduire la consommation d'énergie tout en privilégiant le plus possible les sources du pays. Aussi, de nombreuses prescriptions détaillées définissent le comportement en matière de consommation que doivent adopter les clients finaux et seuls les appareils et les installations les plus efficaces sont autorisés.

Le gestionnaire de réseau de distribution assure dans cet univers la fourniture intégrale, en plus de la gestion du réseau. Les prix sont régulés et font l'objet d'un contrôle par un régulateur. Le gestionnaire de réseau de distribution détermine ainsi les tarifs des produits de réseau et d'énergie pour le soutirage et pour l'injection d'énergie, de façon à assurer une utilisation efficace. Il dispose en outre de possibilités d'intervention étendues en matière de consommation, de stockage et de production. Cela est possible car les interventions massives dans la production d'énergie et l'utilisation sont bien acceptées par la société.

Le fournisseur peut ainsi harmoniser et optimiser les ressources disponibles sur son réseau en termes d'infrastructure de réseau, de flexibilité et de possibilités de stockage du courant et du gaz, ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables pour la production d'électricité et de gaz.

Gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs

Lorsque le Local World a vu peu à peu le jour, la dissociation du réseau et de l'énergie, ainsi que la création de marchés morcelés se sont avérées extrêmement coûteuses et, in fine, désavantageuses. Les potentiels de synergies, notamment pour l'utilisation des flexibilités, n'ont pas pu être totalement exploités. Cette séparation a par conséquent été à nouveau levée à l'échelle du réseau de distribution et le gestionnaire assure la fourniture intégrale de courant, de gaz et de chaleur.

Les flexibilités locales de l'industrie, de l'artisanat et des ménages sont organisées par les gestionnaires de réseau pour ce qui relève de l'électricité, du gaz et de la chaleur. Ces derniers proposent aux consommateurs finaux des produits de réseau et d'énergie qui incitent à soutirer de l'énergie lorsque les prix sont bas et les réseaux peu chargés. À l'inverse, les producteurs décentralisés et les prosumers sont incités, via des signaux de prix ad hoc, à injecter du courant, du gaz ou de la chaleur lorsque les besoins sont importants. Ces incitations contribuent notamment à éviter des pics de puissance simultanés.

Le gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur s'est en outre vu confier des compétences et des possibilités d'intervention étendues, dans le but d'optimiser conjointement les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur, et d'exploiter totalement les flexibilités. Dans le Local World, les possibilités de convergence des réseaux en vue de répondre à la demande énergétique peuvent ainsi être gérées et exploitées de façon centralisée. La Suisse ne dispose pas à ce jour de réservoirs

### 3.6.2.3 Tableau 4

#### Local World – les cinq dimensions et leurs accentuations

Thème	Accentuation	Raison
<b>① Demande/flexibilisation</b>		
Soutirage du réseau (électricité/gaz)	Électricité: faible Gaz: faible ou à déterminer	Le soutirage d'électricité du réseau régional et suprarégional est faible et irrégulier. Le gaz est toujours soutiré du réseau, dans lequel sont réinjectés du gaz de synthèse, du méthane ou du biogaz.
Consommation propre (niveau de la demande)	Élevée	La consommation propre est vivement encouragée. Par conséquent, les consommateurs, et notamment les ménages, sont majoritairement autosuffisants. L'approvisionnement local s'impose.
Flexibilité (report de charge)	Élevée	Le besoin de flexibilité est élevé en raison de la part importante de l'approvisionnement décentralisée et de l'injection fluctuante.
<b>② Approvisionnement centralisé/décentralisé</b>		
Part de production décentralisée	Élevée	Des mesures d'encouragement favorisent la production décentralisée. Les centrales hydroélectriques continuent d'alimenter les clients de réseau restants et assurent les capacités de réserve et de stockage. Les centrales nucléaires ont été désaffectées.
Besoin du réseau (électricité/gaz) RD suisse RT suisse RT transfrontalier	Électricité: faible à tous les niveaux Gaz: élevé ou à déterminer	Le besoin de réseaux de distribution augmente avec la hausse de la production locale. Les réseaux de transport, certes sensiblement moins sollicités, restent nécessaires pour les derniers consommateurs sans auto-approvisionnement, de même qu'en hiver et à des fins de réserve. Les réseaux de transport transfrontaliers perdent en importance pour la Suisse.
Convergence des réseaux	Élevée	Les «energy hubs» et le power-to-gas s'imposent.
Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	Nombreux	Les solutions de stockage décentralisées sont fortement encouragées. Les consommateurs sont équipés d'accumulateurs à court comme à moyen terme et de réservoirs de gaz en vue du report saisonnier via les technologies power-to-gas et CCF.
<b>③ Marchés/UE-CH</b>		
Auto-approvisionnement CH (électricité/gaz)	Électricité: élevé Gaz: à déterminer	La majorité des consommateurs finaux s'approvisionne de manière autonome auprès d'«energy hubs» locaux. Si les importations d'électricité ne sont quasiment plus nécessaires, celles de gaz sont poursuivies.
Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)	Électricité: nulle Gaz: à déterminer	Le négoce international d'électricité disparaît. L'intégration au marché international du gaz reste importante. L'utilisation transfrontalière des réservoirs de gaz, en particulier, joue un rôle déterminant pour le report saisonnier (été-hiver) grâce à la technologie power-to-gas.
<b>④ Digitalisation</b>		
Pénétration des TIC	Élevée	Les TIC sont profondément intégrées au système énergétique. L'Internet des objets («Internet of things» – IoT) ainsi que des technologies et applications intelligentes sont requis pour optimiser l'offre et la demande.
Acceptation de l'échange des données	Élevée	Un très haut niveau de protection des données est assuré et, partant, l'échange de données est très bien accepté.
<b>⑤ Régulation/interventions étatiques</b>		
Promotion des énergies renouvelables	Forte	Les énergies renouvelables sont vivement soutenues.
Prescriptions en matière d'efficacité énergétique	Oui	L'efficacité énergétique est activement soutenue. De sévères prescriptions s'appliquent en vue de réduire la demande d'énergie, en particulier des ménages.
Interventions sur les prix (électricité/CO <sub>2</sub> ...)	Tarif de l'électricité et prix du CO <sub>2</sub> : élevés	Le tarif de l'électricité et les taxes sur le CO <sub>2</sub> sont élevés. Ils visent à financer les mesures d'encouragement et les objectifs d'efficacité. Des systèmes d'incitation fiscale sont également appliqués.

### 3.6.4 Modèle d'affaires

de gaz suffisamment volumineux pour stocker à long terme l'électricité issue des énergies renouvelables en grande quantité. Du point de vue actuel, les réservoirs situés à l'étranger sont plus rentables. En raison de l'importance secondaire des réservoirs de gaz helvétiques relativement petits, ces derniers sont inclus dans le domaine du réseau régulé au sein du **Local World**, ce qui permet de garantir une exploitation efficace.

#### Producteurs

Dans cet univers, l'État intervient massivement dans la structure de production et la consommation. Pour la production, il agit notamment sur le comportement des investisseurs via des incitations et des prescriptions. Cependant, si la structure de production est majoritairement définie par des subventions publiques, les signaux de marché et de prix peuvent encore influencer – dans le meilleur des cas – sur l'utilisation des centrales, des dispositifs de stockage et de la flexibilité, mais plus sur le comportement des investisseurs.

Dans la mesure où cet univers ne repose pas sur la mise en place d'un marché qui fonctionne, le gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur optimise les ressources disponibles sur son réseau et achète l'énergie manquante pour combler ses besoins via le réseau de transport des centrales hydroélectriques ou d'autres gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs. Les quantités excédentaires d'électricité sont vendues sur le marché, transformées en chaleur et injectées dans le réseau de chaleur à distance ou transformées en gaz par des installations power-to-gas et injectées dans le réseau de gaz – en fonction de la situation d'approvisionnement et sur le marché. Le gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur optimise par conséquent ses réseaux de façon centralisée et dispose d'un accès au réseau et au marché de l'électricité et du gaz. Cet accès au marché est interdit aux producteurs décentralisés au niveau du réseau de distribution. Pour le gaz, cette situation correspond à l'approche «City Gate».

Les producteurs d'électricité issue de la force hydraulique disposent également de l'accès au réseau et au marché. Les mécanismes de capacité dans le cadre de l'approvisionnement en électricité garantissent un niveau d'incitations suffisant pour les nouveaux investissements et les investissements de remplacement, afin notamment de pouvoir passer la période critique du semestre hivernal.

#### Gestionnaires de réseau de transport

L'utilisation du réseau de transport de l'électricité recule globalement, mais les pics de puissance se maintiennent. C'est notamment le cas lorsque de l'électricité est soutirée par les centrales hydroélectriques en hiver, lorsque l'auto-approvisionnement ne suffit plus ou lorsque les excédents des installations photovoltaïques sont injectés en été. L'infrastructure existante est par conséquent toujours entretenue et un démantèlement n'est pas envisagé.

Dans le **Local World**, c'est le marché qui domine entre les exploitants de grandes centrales hydroélectriques et les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs. Ces derniers disposent d'un monopole au sein de leur réseau de distribution, monopole toutefois surveillé par le régulateur. Le marché domine également dans les prestations de services au niveau des consommateurs finaux et des prosumers. Ce marché est très vivant et âprement disputé.

#### Producteurs

Sur le marché de l'énergie et des capacités, les exploitants de centrales hydroélectriques sont en concurrence avec les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs, qui utilisent totalement les possibilités de production et de stockage décentralisés dans leur réseau de distribution. Dans le **Local World**, les fluctuations de prix sont extrêmes pour l'électricité. Pendant le semestre estival, les prix de l'électricité sont bas, en raison de la faible consommation et de la forte injection par les centrales au fil de l'eau et les installations photovoltaïques. Pendant le semestre hivernal, lorsque les centrales au fil de l'eau et les installations photovoltaïques produisent beaucoup moins de courant électrique et que la demande en électricité est au plus haut, les prix sont nettement plus élevés. Par conséquent, les exploitants de centrales à accumulation produisent surtout pendant le semestre hivernal et réalisent alors de fortes marges contributives. Leur participation au marché de capacités leur assure une rentrée supplémentaire de ces marges.

#### Gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs

Les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs sont responsables du système local décentralisé et assurent ainsi également son exploitation. En ce qui concerne la gestion des réseaux, la capacité à traiter de grandes quantités de données, l'établissement de prévisions exactes ainsi que le fait de créer habilement des incitations via les tarifs font partie des compétences clés. Conditions à cela: une digitalisation globale et la capacité de pouvoir traiter de grandes quantités de données en très peu de temps.

Les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs sont aussi chargés, en plus de l'exploitation du réseau, de la coordination de la production, du stockage et de la flexibilité disponible auprès des consommateurs finaux. Pour pouvoir assumer ces tâches rapidement, il faut utiliser des algorithmes d'optimisation efficaces et très rapides.

Ce sont les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs qui assurent l'approvisionnement de base en électricité, en gaz et en chaleur des consommateurs finaux qui sont dans l'incapacité de s'approvisionner par eux-mêmes. Pour ce faire, ils développent une structure tarifaire qui crée des incitations afin d'optimiser l'utilisation des ressources existantes dans le réseau. En outre, ils exploitent des installations qui doivent atteindre une certaine taille critique pour être rentables, comme c'est par exemple le cas pour les installations «power-to-gas».

Par ailleurs, les gestionnaires de réseau de distribution/fournisseurs proposent, en concurrence avec d'autres acteurs, des prestations de services complètes. Cette offre s'étend de l'installation et de la maintenance des installations de production décentralisées jusqu'aux tâches de planification et de conseil, en passant par les solutions de stockage et de chauffage. Pour améliorer l'efficacité énergétique, des analyses de consommation sont proposées en plus des conseils en énergie. Pour fournir efficacement des prestations de services énergétiques, les domaines du chauffage des bâtiments, de la production d'eau chaude, de la réfrigération, de la fabrication de produits, de l'éclairage et de la technique de commande conviennent particulièrement bien. Ces prestations peuvent être mises à disposition via le «contracting». Dans sa principale forme d'application, le contracting fait référence à la mise à disposition ou à la fourniture de chaleur, de froid, d'électricité, de vapeur, d'air comprimé, etc. ainsi qu'à l'exploitation des installations en question.

La diversité des besoins et la complexité des tâches entraînent une hausse des exigences en matière de suivi de la clientèle dans le secteur des prestations de services. Les offres sur mesure et le conseil personnalisé sont des éléments clés pour pouvoir subsister dans cet environnement concurrentiel. Des modèles d'affaires couronnés de succès se distinguent par une forte intégration et une forte interconnexion de (parfois très nombreuses) composantes et prestations différentes. Par conséquent, le client final se voit proposer une solution globale commode et optimisée selon ses souhaits.

Exemple: le remplacement d'un système de chauffage désuet et inefficace par un nouveau système efficace. L'ensemble des étapes commerciales et de vente du processus (de l'acquisition à la conclusion du contrat, en passant par la planification et l'établissement d'offres) se font numériquement, via des processus se déroulant automatiquement à l'arrière-plan.

Dans la mesure où toutes les ressources de chaque gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur ne peuvent être mobilisées pour mener à bien les tâches complexes qui lui sont dévolues, il convient de trouver d'autres solutions. La sélection de partenaires adéquats et l'instauration de coopérations efficaces contribuent à soutenir le gestionnaire de réseau de distribution/fournisseur dans l'exercice de sa mission.

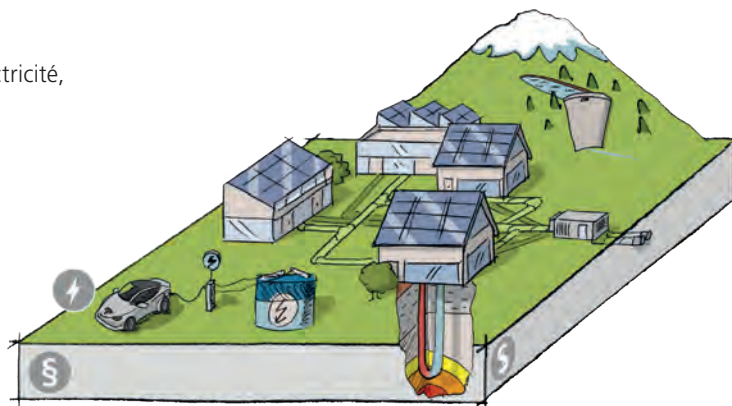
**ENCOURAGEMENT** L'État encourage l'approvisionnement décentralisé et la consommation propre.

**PRESCRIPTIONS** On accepte des prescriptions d'efficacité strictes.

**FLEXIBILITÉ** Les dispositifs de stockage locaux, les réseaux intelligents et l'hydraulique permettent l'approvisionnement décentralisé.

**CONVERGENCE DES RÉSEAUX** Les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur convergent.

**INTERCONNEXION** Les quartiers deviennent des communautés d'autoconsommateurs.



«Les applications et les outils facilitent la vie»



Dans le **Smart World**, le coût des technologies de production et de stockage décentralisées connaît une telle baisse que celles-ci s'imposent sur le marché. Les frontières nationales n'influent aucunement sur les décisions d'investissement. La part d'installations photovoltaïques et éoliennes, couplées à des dispositifs locaux de stockage journalier et à la convergence des réseaux, est élevée. Le stockage rentable du courant en été pour une utilisation en hiver n'étant assuré par les accumulateurs que dans une certaine mesure, les centrales hydroélectriques sont toujours utilisées afin d'assurer une certaine flexibilité et des capacités de réserve. Le négoce transfrontalier d'électricité et de gaz aide lui aussi à faire concorder l'offre et la demande, car l'harmonisation du cadre réglementaire au sein du marché intérieur fait que les mêmes conditions s'appliquent partout.

La demande est soutenue – en raison d'une part de la croissance démographique et économique, et d'autre part du remplacement des combustibles fossiles. La demande, qui est aussi flexible, contribue fortement à compenser les variations au niveau de la production, notamment grâce aux applications smart et à la vaste acceptation de l'échange des données. Les systèmes d'information et de communication intelligents, très répandus, jouent un rôle décisif.

### 3.7.1 Contexte historique

---

Les grandes avancées technologiques (batteries, convergence des réseaux et énergies renouvelables telles que le photovoltaïque et l'éolien) ont fait évoluer les possibilités en matière de fourniture d'électricité. Les prix de ces technologies ont chuté, ce qui a accéléré leur diffusion dans le monde entier dans les années 2020. Parallèlement, les TIC se sont imposées dans l'approvisionnement énergétique, et la communication automatisée croissante entre appareils, installations et réseaux a entraîné une nette flexibilisation de l'offre et de la demande.

### 3.7.2 Accentuations

---

#### 3.7.2.1 Description des cinq dimensions

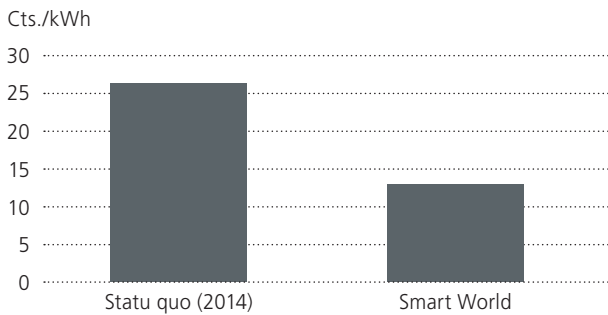
---

##### **Grâce au progrès technologique, les énergies renouvelables et les dispositifs de stockage sont rentables**

La principale caractéristique du **Smart World** est la forte pénétration sur le marché d'applications et de technologies intelligentes à faible coût. La baisse des prix des modules photovoltaïques, des installations éoliennes et des batteries, ainsi qu'une tarification ciblée et efficace des émissions de CO<sub>2</sub> permettent aux énergies renouvelables (photovoltaïque et éolien, p. ex.) de s'imposer face aux grandes unités de production thermiques centralisées, même sans subventionnement étatique.

**Figure 13**

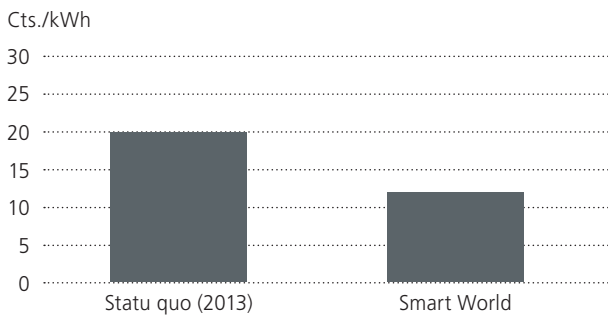
**Coûts de revient de l'énergie photovoltaïque CH dans le Smart World**



Quantification des univers énergétiques selon AES, Électricité photovoltaïque et solaire thermique, 2015

**Figure 14**

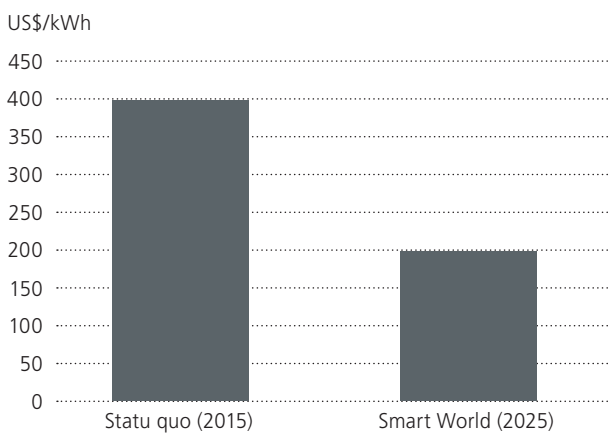
**Coûts de revient de l'énergie éolienne CH dans le Smart World**



Quantification des univers énergétiques selon AES, Énergie éolienne, 2015

**Figure 15**

**Coût des batteries dans le Smart World**



Quantification des univers énergétiques selon Agence internationale de l'énergie, 2015

Le parc de centrales suisse du **Smart World** comporte une forte proportion d'installations photovoltaïques. Les centrales hydroélectriques meilleur marché participent également au mix électrique. De nouvelles centrales à gaz sont construites si les conditions en termes de besoin et de rentabilité sont remplies. Les importations contribuent elles aussi à l'approvisionnement. En particulier l'hiver, lorsque les équipements photovoltaïques helvétiques produisent peu et que la production des centrales au fil de l'eau est limitée, une part importante de l'électricité nécessaire pour couvrir les besoins en électricité de la Suisse est importée de pays européens.

L'été en revanche, une grande partie de la consommation électrique est couverte par les installations photovoltaïques. Parallèlement, le développement technologique soutenu et la multiplication des dispositifs locaux de stockage journalier (batteries, réservoirs de gaz et accumulateurs de chaleur) ainsi que la flexibilisation de la demande permettent de compenser les fluctuations quotidiennes. Les dispositifs de stockage saisonnier tels que les bassins d'accumulation et le power-to-gas sont eux aussi déterminants dans le **Smart World**. Par ailleurs, les pays voisins contribuent à compenser les fluctuations saisonnières de la production.

Le parc de centrales européen est dominé par les énergies renouvelables telles que les technologies photovoltaïque et éolienne. Les installations à gaz se sont également imposées. En raison du prix élevé du CO<sub>2</sub>, nombre de centrales de base, en particulier les centrales au lignite et à la houille, reviennent très cher et sont pour la plupart désaffectées.

On observe la formation ponctuelle de prix de pénurie d'électricité. Cela vaut surtout pour les heures où, malgré la gestion de la charge, la demande est forte et les injections des installations éoliennes et photovoltaïques sont faibles. Ces prix de pénurie ainsi que le niveau élevé de ces prix et de celui du CO<sub>2</sub> permettent aux grandes centrales flexibles de réaliser un rendement et ainsi d'amortir progressivement leurs investissements. La succession de prix de pénurie et de prix bas (en cas de vent ou d'ensoleillement soutenu) fait fluctuer les prix du négoce de gros et les écarts tarifaires, ce qui renforce la rentabilité du pompage-turbinage.

**Forte demande et flexibilité élevée**

La digitalisation croissante et la tarification souple de l'électricité contribuent à flexibiliser et à optimiser la demande (report de charge). Étant donné que la flexibilisation de la demande et les taux de consommation propre sont élevés, l'application de mesures d'efficacité politiquement motivées n'est guère nécessaire. Seules les actions rentables sont mises en œuvre. Les consommateurs dont la demande n'est pas modulable doivent s'attendre à des prix de pénurie.

La croissance économique et démographique soutenue qu'affiche l'ensemble de l'Europe nourrit une demande en hausse constante. Cependant, le prix élevé du CO<sub>2</sub> stimule avant tout la demande de nouvelles applications électriques dans un contexte de remplacement des combustibles fossiles



par l'électromobilité ou les pompes à chaleur. Le besoin de réseaux nationaux et transfrontaliers pour l'électricité et le gaz est important. La Suisse reste fortement interconnectée avec l'Europe.

### Régulation faible et rares interventions étatiques

Dans le **Smart World**, ni l'efficacité énergétique, ni le pilotage de la demande, ni la composition technologique du parc de centrales ne font l'objet de prescriptions politiques. Le marché de l'électricité est lui aussi exempt d'interventions réglementaires telles que l'introduction de plafonds tarifaires. Le développement du parc de centrales s'effectue ainsi en fonction de critères purement économiques. Le seul instrument politique appliqué en Suisse comme à l'international est le rattachement au strict marché européen du CO<sub>2</sub> mis en œuvre de manière systématique (SEQE-UE). Ce dernier permet d'internaliser les coûts externes causés par les émissions de CO<sub>2</sub>.

### Les TIC ont pénétré tous les domaines

Les rapides progrès technologiques entraînent une forte intégration des TIC et de l'Internet des choses («Internet of things» ou IoT) dans le système énergétique. Cela permet de piloter l'approvisionnement, qui repose sur une production diversifiée parfois très fluctuante, sur les possibilités de stockage et sur une consommation flexible. Grâce au très haut niveau de protection des données, la population et les acteurs économiques acceptent de généraliser l'utilisation de systèmes d'information et de communication et de participer à un échange de données intensif. Parallèlement, les solutions intelligentes facilitent grandement la formation de «local energy hubs» permettant de convertir et de distribuer divers agents énergétiques.

Figure 16

#### Mix de production dans le Smart World

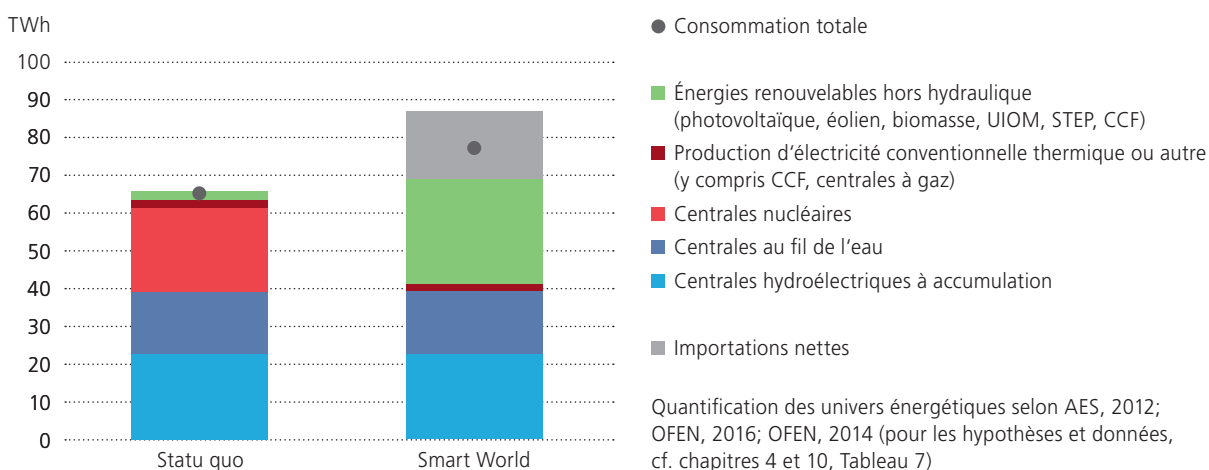


Figure 17

#### Consommations finale<sup>8</sup> et totale<sup>9</sup>, Smart World vs statu quo

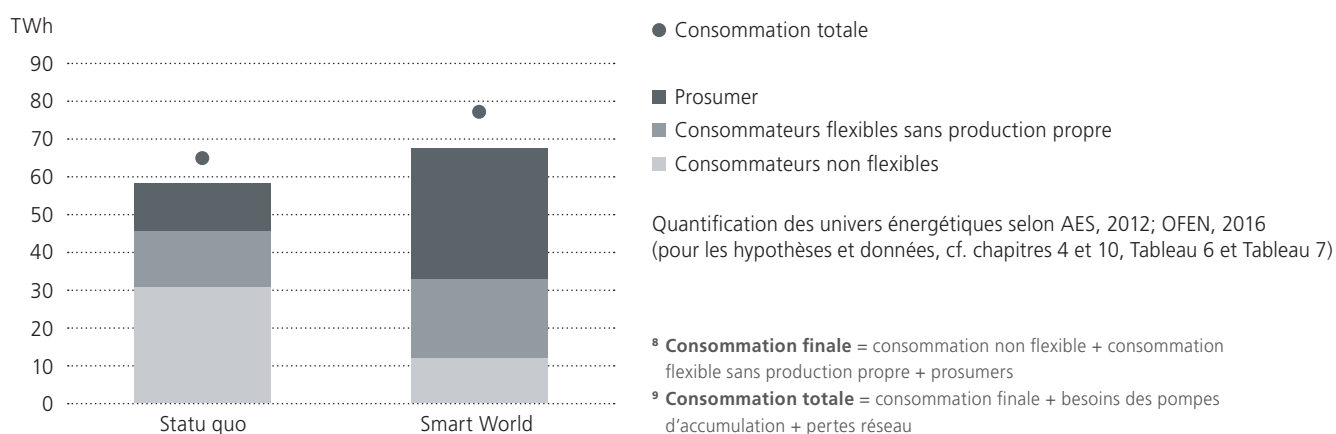
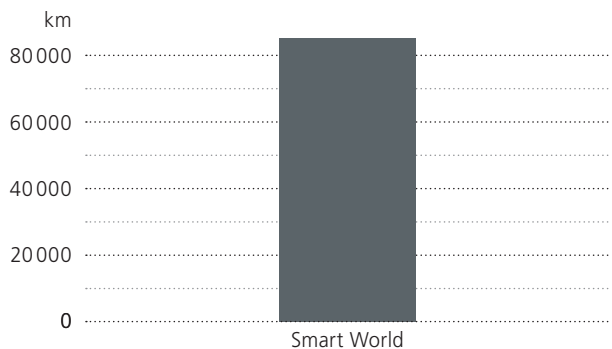


Figure 18

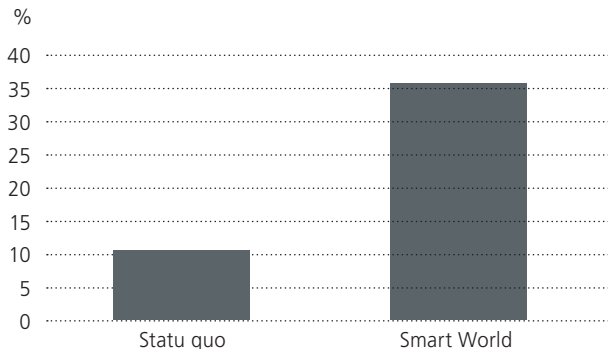
Développement du réseau de distribution dans le Smart World



Quantification des univers énergétiques selon Consentec, 2012 (pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10)

Figure 19

Part de consommation propre<sup>10</sup> dans le Smart World



Quantification des univers énergétiques selon AES, 2012 (pour les hypothèses et données, cf. chapitres 4 et 10, Tableau 6 et Tableau 7)

<sup>10</sup> Part de production propre dans la consommation totale des prosumers

3.7.2.2 Conséquences sur une sélection d'acteurs

Producteurs

Étant donné que les coûts baissent nettement, les technologies locales de production et de stockage percent véritablement, tandis que la production électrique des grandes installations perd en importance. Les centrales d'envergure sont principalement utilisées pendant la saison froide. De plus, elles font office d'unités de réserve pour les situations où les installations éoliennes et photovoltaïques ne sont pas en mesure de couvrir la demande (longue période de mauvais temps, sécheresse, forte chaleur ou grand froid).

Gestionnaires de réseau de transport

Le Smart World soumet les gestionnaires de réseau à des exigences élevées: énorme part d'électricité produite localement, hausse exponentielle du recours à des dispositifs locaux de stockage, réinjections irrégulières dans le réseau, interconnexion des installations, des appareils et des acteurs du marché ainsi que formation d'«energy hubs». Conséquence: les réseaux de distribution de l'électricité et du gaz assument un rôle clé dans le système énergétique. Le défi réside dans le fait de réceptionner et de traiter en continu les flux d'informations du réseau de distribution afin d'assurer à tout moment la stabilité du réseau d'approvisionnement. À cet effet, des investissements sont réalisés dans des systèmes intelligents de communication, de pilotage et de surveillance (notamment smart grids, smart meter, etc.). Ces technologies permettent d'optimiser les réseaux. Les réseaux de distribution doivent toutefois être développés ou renforcés en raison de la répartition spatiale des unités de production décentralisées.

La formation d'«energy hubs» optimisant l'approvisionnement énergétique d'un bâtiment ou d'un site requiert la mise en place de coopérations entre divers fournisseurs d'énergie

(p. ex. entre les fournisseurs de chaleur et de froid, les fournisseurs d'électricité et de gaz et les exploitants de dispositifs de stockage).

Consommateurs finaux

Les ménages et l'artisanat affichent certes une forte production propre, mais aussi une consommation propre élevée. L'utilisation répandue des solutions de stockage, associée à des prix finaux fluctuants et dynamiques, fournit aux consommateurs finaux une marge de manœuvre pour optimiser les coûts de leur consommation et piloter la demande en fonction de la situation de pénurie.

Nouveaux acteurs

Dans le Smart World, la production centralisée cède la place à une production décentralisée. Parallèlement, on observe une convergence de l'électricité, du gaz et de la chaleur (convergence des réseaux). Le Smart World compte un nombre d'acteurs nettement plus élevé qu'aujourd'hui. Divers prestataires de services-système (gestion énergétique, regroupement et efficacité énergétique) ou prestataires de services pour les installations décentralisées de production et de réseau évoluent sur le marché. Grâce à la multiplication des nouveaux investissements, les planificateurs, fournisseurs et sociétés d'entretien d'installations et de réseaux réalisent un volume d'affaires considérable.

Dans le Smart World, les exploitants d'installations décentralisées, d'applications et de technologies intelligentes sont en concurrence avec les producteurs et distributeurs d'électricité traditionnels. La mise en place de systèmes énergétiques intégrés (équipements photovoltaïques, dispositifs de stockage, appareils électriques pilotables, etc.), la progression de l'électromobilité et la multiplication des stations de charge

### 3.7.2.3 Tableau 5

#### Smart World – les cinq dimensions et leurs accentuations

Thème	Accentuation	Raison
<b>① Demande/flexibilisation</b>		
Soutirage du réseau (électricité/gaz)	Électricité: élevé Gaz: à déterminer	La demande (principalement d'électricité en hiver) est importante en raison de nouvelles applications électriques (substitution des énergies fossiles par l'électromobilité et les pompes à chaleur) ainsi que de la forte croissance économique et démographique.
Consommation propre (niveau de la demande)	Élevée	La consommation propre est élevée grâce à la généralisation des dispositifs de stockage et équipements photovoltaïques décentralisés.
Flexibilité (report de charge)	Élevée	Le besoin de flexibilité est élevé en raison de l'injection fluctuante. Des applications intelligentes apportent leur aide dans ce domaine.
<b>② Approvisionnement centralisé/décentralisé</b>		
Part de production décentralisée	Élevée	La production décentralisée est rentable et augmente fortement.
Besoin du réseau (électricité/gaz) RD suisse RT suisse RT transfrontalier	Électricité et gaz: besoin élevé à tous les niveaux	Le besoin de réseaux est présent à tous les niveaux pour permettre l'interconnexion des productions décentralisée et centralisée ainsi qu'une forte intégration aux marchés internationaux.
Convergence des réseaux	Élevée	La convergence des réseaux est rendue possible par les rapides progrès technologiques. La solution power-to-gas participe au report saisonnier de la forte injection estivale.
Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	Nombreux	La baisse des coûts des dispositifs de stockage contribue à faire progresser la consommation propre.
<b>③ Marchés/UE-CH</b>		
Auto-approvisionnement CH (électricité/gaz)	Faible	L'auto-approvisionnement est faible en hiver car le parc de production suisse compte de nombreuses installations photovoltaïques générant peu d'électricité pendant la saison froide. Le volume de gaz importé est également élevé.
Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)	Élevée	L'infrastructure d'électricité et de gaz est développée sur les sites les plus adaptés. Des unités de production centralisées en Suisse et à l'étranger font office de capacités de réserve. Les importations comme les exportations de gaz (dans des réservoirs étrangers) sont importantes.
<b>④ Digitalisation</b>		
Pénétration des TIC	Élevée	Forte intégration des TIC dans le système énergétique. L'évolution technologique et la diffusion de l'Internet des choses («Internet of things» – IoT) sont très avancées.
Acceptation de l'échange des données	Élevée	Très haut niveau de protection des données.
<b>⑤ Régulation/interventions étatiques</b>		
Promotion des énergies renouvelables	Aucune	Les installations photovoltaïques et éoliennes, les centrales à énergie totale équipée et les dispositifs de stockage sont rentables sans subventionnement.
Prescriptions en matière d'efficacité énergétique	Aucune	L'État n'intervient pas.
Interventions sur les prix (électricité/CO <sub>2</sub> ...)	Aucune intervention sur les prix de l'électricité, mais intervention sur les prix du CO <sub>2</sub>	Les interventions visent le CO <sub>2</sub> , avec le rattachement à un SEQUE-UE, géré de manière systématique. Autrement, aucune intervention n'est nécessaire. Si une grande part de la production renouvelable présente de faibles coûts marginaux, le prix élevé du CO <sub>2</sub> renchérit la production fossile. Par conséquent, les prix du courant sont également plus volatils. Des prix de pénurie peuvent apparaître sur le marché de l'électricité.

nécessaires, la digitalisation et la gestion d'énormes volumes de données, entre autres, diversifient significativement les acteurs du marché.

### **Société et économie nationale**

Les systèmes d'information intelligents interconnectent un système électrique fractionné à fortes interactions. Ce dernier affiche une fragilité à tendance croissante, par exemple à travers la cybercriminalité, dans la mesure où l'interconnexion élevée complique l'endiguement d'une panne ou d'une attaque. D'autre part, la structure technologiquement diversifiée et relativement locale assure de larges appuis à la production, ce qui réduit les répercussions en cas de défaillances d'installations de production.

Si la baisse des coûts dispense la société du subventionnement des énergies renouvelables, les émissions de CO<sub>2</sub> et les coûts y afférents sont à sa charge. La poursuite systématique des objectifs climatiques en Suisse comme sur le plan international au moyen de la tarification du CO<sub>2</sub> aboutit à des coûts plus proches de la réalité au sein du système énergétique. Cela permet de réaliser des solutions énergétiques plus efficaces d'un point de vue macroéconomique, avec des effets positifs sur le niveau de prospérité sociale.

### **3.7.3 Modèle de marché**

#### **Société et économie nationale**

Dans le **Smart World**, le recours massif aux TIC est largement accepté et touche chaque aspect de la vie quotidienne. Les ressources disponibles dans le domaine énergétique, telles que la production, le réseau, les dispositifs de stockage et les flexibilités, sont optimisées via le marché et les signaux de prix à l'aide des TIC et de l'échange de données en continu. L'importance croissante de ces technologies dans le **Smart World** permet d'aborder activement les questions de la protection des données et de la lutte contre la cybercriminalité et de mettre en place une réglementation en la matière ne constituant pas un obstacle pour le marché ou pour l'accroissement de l'efficacité énergétique globale.

#### **Consommateurs finaux**

Dans le **Smart World**, la priorité est donnée au marché et les besoins en matière de régulation sont faibles. Ils se limitent pour l'essentiel au domaine du réseau. L'obligation relative à l'approvisionnement de base disparaît notamment. Les consommateurs finaux choisissent leur fournisseur et leurs sources d'énergie en fonction des informations exhaustives existantes et en changent fréquemment. Grâce au niveau élevé de digitalisation, tous les acteurs du marché ont accès rapidement et en toute transparence à des informations relatives aux prix de l'énergie, ainsi qu'à la situation sur les réseaux. Les signaux de prix en temps réel pour l'énergie (courant, gaz et chaleur), ainsi que les tarifs dynamiques et actualisés pour l'utilisation du réseau déterminent, de façon combinée, aussi bien les investissements que le comportement en matière de production, de stockage, de consumma-

tion propre, de recours à la flexibilité et d'utilisation du réseau. Le consommateur final peut par conséquent adapter en permanence son comportement aux signaux de prix.

#### **Producteurs**

Il existe de très nombreux producteurs et prosumers locaux, au détriment de la centralisation. Dans le cadre d'un approvisionnement en énergie reposant majoritairement sur des structures locales, il était impératif de mettre en place une organisation de marché intégrant les acteurs au niveau du réseau de distribution. L'obligation de reprise et de rétribution pour l'injection de courant et de gaz a par conséquent été supprimée.

#### **Gestionnaires de réseau de distribution**

La création de marchés pour l'électricité, le gaz et la chaleur au niveau des réseaux de distribution a nécessité la redéfinition des tâches et des compétences des gestionnaires desdits réseaux. Pour accroître la production propre et l'injection à un niveau de tension inférieur pour le courant et à un niveau de pression inférieur pour le gaz, il a en outre fallu mettre au point de nouveaux modèles d'utilisation du réseau, ne serait-ce que pour éviter que les consommateurs non flexibles sans possibilités de production propre ou de stockage ne soient pénalisés par rapport aux prosumers, avec un modèle dans lequel les rémunérations pour l'utilisation du réseau sont calculés par rapport à la consommation d'électricité. Les prosumers sollicitent en effet bien moins le réseau et paient donc moins cher son utilisation, tout en conservant la possibilité de s'en servir comme réserve, à titre d'assurance. Or, les coûts d'utilisation du réseau ne dépendent pas du volume d'énergie transporté, mais de la puissance fournie. Le gestionnaire de réseau de distribution est toujours responsable de la sécurité du réseau. Les compétences nécessaires lui ont donc été attribuées. Il peut p. ex. recourir aux flexibilités disponibles auprès des consommateurs finaux en cas de congestion ou de risque d'effondrement du réseau ou empêcher l'injection d'un volume d'énergie important par les installations photovoltaïques ou éoliennes.

Les modèles d'utilisation du réseau se trouvent dans une zone de tension entre différentes exigences telles que l'équité des coûts, l'allocation efficace des ressources, mais également les objectifs politiques comme l'efficacité énergétique ou le subventionnement de la production décentralisée. Dans la mesure où il n'existe aucun objectif politique en matière d'efficacité énergétique, de gestion de la demande ou de composition technologique du parc de centrales dans le **Smart World**, le modèle d'utilisation du réseau est axé sur une exploitation efficace.

Les tarifs dynamiques d'utilisation du réseau récompensent les comportements favorables au réseau, p. ex. pour éviter les pics de consommation ou d'injection ainsi qu'un développement du réseau. Ces tarifs incitent notamment à prévenir les pics de charge sur le réseau en cas d'injection et de soutirage importants, respectivement en été et en hiver. Ainsi, les acteurs dynamiques disposant de la possibilité de

piloter la production, la flexibilité ou le stockage assument une plus grande responsabilité eu égard à la sécurité et à la stabilité d'exploitation du réseau, c'est-à-dire au système dans son ensemble.

Les règles applicables à l'électricité, au gaz et à la chaleur doivent être harmonisées entre elles, notamment pour ce qui relève de l'obligation de raccordement, de l'utilisation et du financement du réseau ainsi que du degré d'ouverture du marché. Il convient pour cela de tenir compte des différences physiques et du contexte concurrentiel (le gaz est substituable dans toutes les utilisations). Les acteurs intéressés par la construction d'installations de couplage chaleur-force et power-to-gas peuvent p. ex. bénéficier d'un raccordement au réseau et d'une utilisation du réseau non discriminatoires pour le courant et le gaz.

### **Gestionnaires de réseau de transport**

En vertu de son rôle, le gestionnaire du réseau de transport est obligé de garantir l'interconnexion internationale sur le plan technique et d'assurer la sécurité d'exploitation du réseau. Dans ce contexte, il peut recourir à un marché important composé de différents fournisseurs de services-système en Suisse et à l'étranger.

#### **3.7.4 Modèle d'affaires**

De tous les univers énergétiques présentés dans ce rapport, c'est le **Smart World** qui présente le plus de modèles d'affaires. La libéralisation de tous les secteurs de l'économie énergétique, à l'exception des réseaux, y contribue fortement. Les étapes de création de valeur sont divisées en différents marchés partiels. Ainsi, l'accès à l'économie énergétique est facilité pour de nouveaux participants au marché. La digitalisation va accélérer la tendance à la fragmentation de l'économie énergétique. En particulier, les entreprises du secteur technologique, de la construction, des télécommunications et de l'automobile réussissent à s'imposer dans l'économie énergétique afin d'étendre ainsi leurs modèles d'affaires. Le nombre des acteurs du marché augmente considérablement.

Les technologies numériques marquent l'économie énergétique, du regroupement d'installations décentralisées en centrales virtuelles jusqu'au changement de fournisseur via une application, en passant par la commercialisation. La concurrence entre de nombreux nouveaux acteurs est intensive; la spécialisation et la taille, ou encore l'occupation de niches représentent alors des stratégies possibles. De nouvelles évolutions basées sur les TIC telles que les chaînes de blocs («blockchain») font également leur apparition dans l'économie énergétique et créent de nouveaux marchés avec de nouvelles règles du jeu. La chaîne de blocs est une banque de données publique qui enregistre toutes les transactions d'un réseau décentralisé de manière infalsifiable. Ces transactions n'ont pas besoin de médiateur centralisé. Les TIC deviennent le moteur principal de la réduction des coûts, du développement commercial et de la croissance.

### **Producteurs**

Dans le **Smart World**, les frontières entre producteurs et consommateurs finaux disparaissent du fait de la décentralisation et de la progression de la consommation propre. Le consommateur final traditionnel, c.-à-d. le consommateur final non flexible, disparaît de plus en plus, et la plupart des consommateurs deviennent eux aussi des acteurs du marché, en tant que producteurs (prosumers) ou fournisseurs de prestations de stockage ou de flexibilité. Le couplage serré avec l'Europe ouvre de nouveaux débouchés. Les fluctuations au niveau de la production ou les pénuries d'approvisionnement offrent aux centrales de pompage-turbinage et aux autres fournisseurs de prestations de stockage et de flexibilité des opportunités de réaliser les rendements correspondants.

Pour réussir, les fournisseurs doivent avoir la possibilité de pouvoir effectuer des prévisions exactes malgré une hausse de l'injection et de la consommation fluctuantes. Les méthodes d'analyse de données performantes (big data) sont des conditions préalables importantes. Les fusions et les regroupements d'unités de production décentralisées ou de prosumers en centrales virtuelles constituent une possibilité de pouvoir se maintenir et agir avec succès sur ce marché complexe.

### **Gestionnaires de réseau de distribution**

La stabilisation des réseaux est devenue plus compliquée en raison de la hausse de l'injection décentralisée. La majeure partie du courant produit doit être reprise et distribuée via les réseaux de distribution. Pour cela, les réseaux ont d'abord dû être rénovés et adaptés.

En se basant sur des données en temps réel, les gestionnaires de réseau de distribution assurent une exploitation du réseau fiable et efficace au moyen de systèmes de communication, de pilotage et de surveillance intelligents. Les gestionnaires de réseau de distribution fixent des tarifs d'utilisation du réseau dynamiques, couvrant leurs coûts et récompensant les comportements favorables au réseau, ce qui limite leurs interventions aux situations d'urgence. Ainsi, tous les acteurs contribuent de manière essentielle à la stabilité du réseau, en se basant sur le marché.

Le nombre croissant de microgrids, c.-à-d. la constitution de réseaux de faible envergure, entraînera la dissociation de toujours plus de quartiers et de petites zones de desserte, alors exploitables par eux-mêmes, par le gestionnaire de réseau de distribution ou par un fournisseur de services.

En outre, les gestionnaires de réseau de distribution proposent des services exhaustifs aux acteurs du marché au niveau du réseau de distribution. Le niveau élevé de technicité assure une demande diversifiée. À l'instar de tous les autres acteurs, les gestionnaires peuvent notamment intervenir comme fournisseur énergétique ou comme prestataire de stockage. Les services englobent la production, le stockage (journalier et saisonnier), le pilotage, la commercialisation, ainsi que la planification, le conseil et le financement.

De plus, les gestionnaires de réseau de distribution peuvent devenir des gestionnaires de données et des exploitants de plateformes de données et d'énergie, notamment pour pouvoir couvrir le besoin croissant de flexibilité et de données. Sur ces plateformes, les participants au marché peuvent proposer et fournir leurs produits et prestations de flexibilité.

### Fournisseurs de services énergétiques

La maîtrise de diverses technologies constitue un atout de la plus haute importance pour tous les acteurs. Du fait de l'intense digitalisation, le nombre de ces derniers se multiplie. Dans le **Smart World**, les fournisseurs qui s'imposent sont ceux qui identifient les premiers les technologies d'avenir, qui anticipent les dernières tendances et qui apportent avec eux les collaborateurs ad hoc. Ces compétences doivent être développées en permanence pour s'inscrire dans cette grande dynamique. Des processus d'amélioration et d'innovation hautement efficaces et constants sont nécessaires pour suivre le rythme des technologies. Par ailleurs, les coopérations avec des start-up sont de plus en plus recherchées car ces entreprises peuvent garantir une longueur d'avance sur la concurrence («first mover»). Pour réussir, il faut maîtriser le «grand écart» entre sévères économies de coûts et investissements dans les innovations. La surveillance et l'adaptation permanentes de la structure des TIC et des processus dans ce domaine constituent un moyen éprouvé de pouvoir répondre à ces deux défis de manière efficace.

Le nombre de fournisseurs de services énergétiques est en hausse. Là aussi, les rôles des acteurs n'étant pas fermement assignés, les frontières sont moins nettes ou ne sont que de nature temporaire. Compte tenu de la diversité des besoins

et de la complexité des tâches, les exigences en matière de suivi de la clientèle s'accroissent pour tous les acteurs. Les offres d'un seul tenant, déchargeant le client de multiples opérations ou facilitant les décisions de marché et réduisant ainsi la complexité, répondent à un besoin. Il n'est plus possible d'atteindre la plupart des clients qu'à travers des offres pouvant être traitées facilement via les médias numériques.

Pour satisfaire aux exigences et se maintenir sur le marché, il convient de recourir aux canaux de communication appropriés ainsi qu'à différents concepts de commercialisation et d'acquisition. L'activité de prestations de services est âprement disputée. Les avantages et les innovations technologiques jouent un rôle de premier plan dans un contexte de concurrence coûteuse: des contrats de gestion ou de maintenance à long terme ou des modèles de contracting novateurs créent des revenus planifiables (sur le contracting, cf. 3.6.4). Les fournisseurs de services énergétiques qui possèdent une participation dans les installations des clients (installations photovoltaïques, batteries) s'assurent un accès futur aux clients et ont de bonnes perspectives d'autres mandats tels que les travaux de maintenance et d'exploitation. Par ailleurs, les fournisseurs de services énergétiques ont la possibilité de développer des activités avoisinantes telles que la gestion de biens immobiliers (Smart Home) et/ou l'électromobilité.

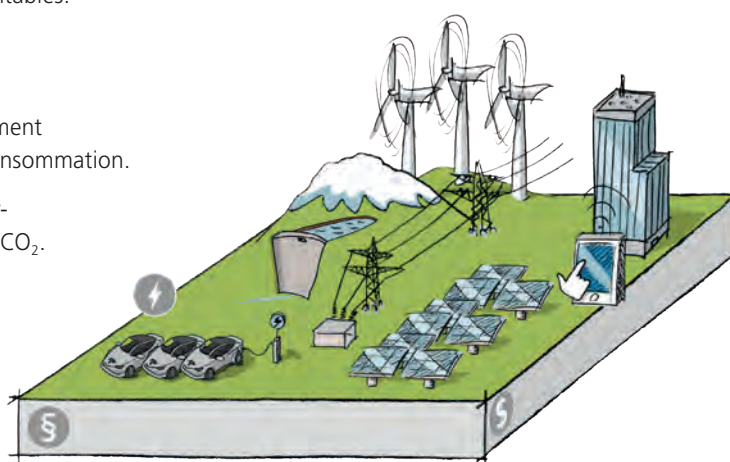
**PÉNÉTRATION DES TIC** Les technologies de l'information et de la communication s'emparent de tous les domaines de la vie.

**INNOVATION** Grâce au progrès technologique, les énergies renouvelables et les dispositifs de stockage sont rentables.

**RENTABILITÉ** L'énergie est produite sur les sites les plus appropriés.

**FLEXIBILITÉ** Les TIC permettent un approvisionnement décentralisé et flexible, ainsi qu'un contrôle de la consommation.

**INTERCONNEXION** La Suisse reste fortement interconnectée avec l'Europe et prélève des taxes sur le CO<sub>2</sub>.



## 3.8 L'essentiel du chapitre 3

---

Les «univers énergétiques» traités affichent des accentuations très diverses et, partant, des modèles de marché et d'affaires également très différents. Le régime international des émissions de CO<sub>2</sub>, le niveau des échanges d'électricité avec les pays de l'UE et le taux de production décentralisée déterminent fondamentalement le caractère des «univers énergétiques».

Le **Trust World** et le **Local World** présentent un marché de l'électricité petit et illiquide, car limité à la Suisse. Des interventions étatiques sont nécessaires à la construction et à l'exploitation des unités de production d'électricité. En revanche, le **Trade World** et le **Smart World** démontrent qu'un marché commun de grande taille incluant les pays voisins peut créer les conditions requises pour une liquidité suffisante ainsi que des incitations à investir. Sur un marché énergétique fonctionnant sans intervention étatique, le fait que la production de courant à partir d'énergies renouvelables soit centralisée ou décentralisée dépend essentiellement du régime des émissions de CO<sub>2</sub> qui prévaut et des progrès technologiques en matière de production et de stockage d'électricité et de gaz issus de sources renouvelables. Dans une pure économie de marché sans tarification du CO<sub>2</sub> et avec des énergies fossiles à bas prix, les centrales hydroélectriques helvétiques sont mises sous pression, comme l'illustre surtout le **Trade World** de façon éloquente.

Plus les importations de courant en provenance de l'UE sont importantes, plus il est nécessaire d'harmoniser durablement les règles du marché avec l'UE (**Smart World**, **Trade World**). L'auto-provisionnement en électricité prend beaucoup d'importance s'il est impossible de créer un marché commun de l'électricité qui fonctionne, soit d'une taille suffisante et permette d'effectuer des importations illimitées, notamment pendant le semestre hivernal. Plus cet impératif d'auto-provisionnement est élevé, plus il est urgent pour la Suisse d'élaborer un modèle de marché approprié (**Local World**, **Trust World**).

Toutefois, une nette réduction, voire l'arrêt des échanges d'électricité avec les pays voisins, réduit le marché et, par conséquent, sa liquidité – ce qui a tendance à renchérir l'approvisionnement en électricité. L'objectif d'un auto-provisionnement le plus élevé possible dans des structures les plus décentralisées possibles peut requérir des mesures supplémentaires difficilement conciliables avec un marché (**Local World**). Si l'État intervient sévèrement dans l'économie énergétique au moyen de prescriptions de politique énergétique, des structures pilotées et régulées de manière centralisée (notamment au niveau du réseau de distribution) peuvent se révéler plus efficaces pour un modèle de marché que des efforts soutenus en vue de créer de petits marchés en fin de compte illiquides.

Les réseaux (électricité, gaz et chaleur) représentent une infrastructure précieuse dans tous les «univers énergétiques». Associé à la convergence des réseaux, le gaz offre des possibilités supplémentaires de diversification et de flexibilité, notamment dans les «univers énergétiques» visant un degré élevé d'auto-provisionnement en électricité. En fonction du niveau d'approvisionnement énergétique décentralisé, les réseaux de transport ou de distribution gagnent en importance. En conséquence, la gestion et le financement du réseau requièrent une observation particulière dans chacun des «univers énergétiques», et doivent être axés sur les besoins spécifiques de ces derniers.

Les quatre «univers énergétiques» présentés correspondent plus ou moins à la vision de l'AES (cf. chapitre 2), qui comprend une économie énergétique interconnectée s'inscrivant dans une dynamique d'échange avec l'UE, dans le cadre de laquelle de nouvelles technologies accroissent l'efficacité énergétique globale et réduisent durablement les émissions de CO<sub>2</sub>. La population suisse et l'économie disposent de volumes d'énergie suffisants à des conditions abordables. Sous cet angle, le **Smart World** est le scénario se rapprochant le plus de la vision de l'AES pour l'univers énergétique de demain.





## 4. Ordres de grandeur des univers énergétiques

Le présent chapitre vise à plausibiliser quantitativement les univers énergétiques. Il s'agit là d'une approche arithmétique et non d'univers modélisés à cet effet. La quantification a pour unique but de faire apparaître des ordres de grandeur.



### 4.1 Données de référence

La plausibilisation quantitative des univers énergétiques se fonde sur les scénarios des travaux suivants: «Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur» (AES, 2012), l'étude de Consentec publiée par l'AES consacrée aux répercussions de l'injection décentralisée sur les réseaux de distribution en Suisse (Consentec, 2012) et «Réseau stratégique 2025» (Swissgrid, 2015).

À partir de ces études, les univers énergétiques, situés en 2035, se sont vus associer des scénarios envisageables en 2035, hormis pour les thématiques des univers énergétiques présentant une évolution très rapide – p. ex. la forte chute des prix dans le **Smart World**, le subventionnement massif de l'approvisionnement décentralisé ou encore la réduction importante de la demande dans le **Local World**. Ces thématiques ont été dotées des scénarios ad hoc prévus pour l'an-

née 2050 par les études susmentionnées, sans adaptation spécifique des chiffres de chaque univers énergétique. Par ailleurs, étant donné qu'aucune des études disponibles ne traite le cas d'une Suisse disposant d'un degré élevé d'autarcie, les hypothèses quantitatives relatives aux univers auto-suffisants (**Trust World** et **Local World**), notamment concernant le développement des réseaux (de distribution), sont très sommaires. Le chapitre 10 détaille les scénarios des études affectés aux différentes thématiques des univers énergétiques.

Les paragraphes suivants fournissent une comparaison des univers énergétiques entre eux et avec le statu quo. Les chiffres relatifs à ce dernier cas se basent sur la Statistique suisse de l'électricité 2015 (OFEN, 2016 ainsi que sur la *Statistik erneuerbarer Energie*, OFEN, 2014).

## 4.2 Comparaison des univers à l'aune des cinq dimensions

### Demande/flexibilisation

La demande d'électricité augmente dans tous les univers à l'exception du **Local World** (Figure 20, Tableau 6). Dans ce dernier, la consommation d'électricité est maîtrisée au moyen de prescriptions restrictives, lesquelles sont nécessaires pour réduire la consommation électrique totale – malgré la substitution des énergies fossiles – d'au moins 2 TWh par an (3%). Sans injonctions massives, la faible consommation d'électricité prévue dans le **Local World** ne peut être atteinte dès 2035. Dans les autres univers énergétiques en revanche, la consommation croît à près de 68–71 TWh (Figure 20, Tableau 6) en raison du fort développement des applications électriques, notamment au détriment des énergies fossiles, et de leur utilisation généralisée. La croissance économique et démographique stimule également cette hausse de la consommation.

Les consommateurs finaux sont classés en trois catégories: les consommateurs non flexibles (ou classiques), les consommateurs flexibles sans production propre et les prosumers (consommateurs flexibles avec production propre).

Les prosumers s'auto-approvisionnent dans une large mesure. Toutefois, surtout pendant les mois d'hiver, ils soutirent encore une part de l'électricité du réseau. Dans la situation actuelle (statu quo), les prosumers génèrent d'ores et déjà environ 6 TWh d'électricité. Il s'agit principalement d'entreprises industrielles. Au sens large, les CFF constituent également un autoproducteur (OFEN, 2016). Ils s'auto-approvisionnent en électricité à 75%, en utilisant leur propre fréquence (16,7 Hz), et distribuent ou utilisent leur électricité sur l'ensemble du réseau suisse basse tension. Le courant ferroviaire est inclus dans les 6 TWh. Outre l'électricité qu'ils produisent, les prosumers consomment un volume soutiré du réseau que l'on estime équivalent à leur production, de sorte que la consommation totale des prosumers en 2015 se montait à quelque 12 TWh (Tableau 6).

Dans le **Local World** et le **Smart World**, la part des prosumers croît fortement. Par ailleurs, on observe un transfert partiel de l'autoproduction des secteurs industriel et ferroviaire vers les ménages et le commerce. La consommation totale des prosumers représente plus de 50% de la consommation (cf. Figure 20, Tableau 6). À l'échelle d'une année, on estime qu'ils produisent environ 70% et soutirent du réseau quelque 30% de leur consommation. Dans le **Trust World** et le **Trade World**, en revanche, l'autoproduction stagne. Elle est toutefois plus élevée qu'en l'état actuel, car la part des prosumers a légèrement progressé avant 2035 (cf. contexte historique de chaque univers au chapitre 3).

Dans la mesure où la flexibilité de la demande contribue largement à l'approvisionnement dans le **Local World** et le **Smart World**, la part des consommateurs flexibles sans production propre y augmente également. Elle reste au niveau du statu quo dans le **Trust World** et le **Trade World**, bien qu'en valeur absolue, elle croisse légèrement en raison de la hausse de la demande. Dans ces deux derniers univers, les consommateurs flexibles ne participent guère à la flexibilité; dans le **Trust World**, elle est obtenue via une production pilotable, dans le **Trade World**, via les possibilités d'importation et d'exportation.

Figure 20

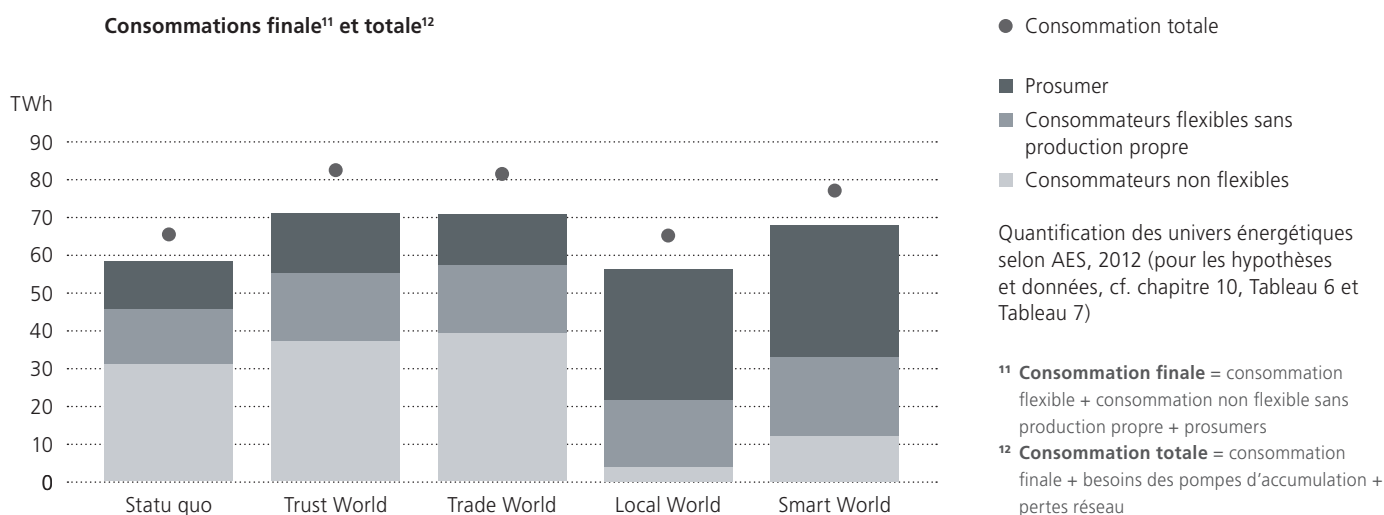


Tableau 6

Consommation finale

	Statu quo		Trust World		Trade World		Local World		Smart World	
	en TWh	Part de la consommation finale	en TWh	Part de la consommation finale	en TWh	Part de la consommation finale	en TWh	Part de la consommation finale	en TWh	Part de la consommation finale
Consommateurs non flexibles <sup>13</sup>	31,2	53,6 %	37,3	52,7 %	39,5	55,8 %	4,2	7,4 %	12,2	18,0 %
Consommateurs flexibles sans production propre <sup>14</sup>	14,6	25,1 %	17,9	25,2 %	17,9	25,2 %	17,4	31,0 %	21,0	31,0 %
Prosumers <sup>15</sup>	12,4	21,3 %	15,7	22,1 %	13,5	19,0 %	34,6	61,6 %	34,6	51,1 %
Production propre	6,2	10,7 %	11,0	15,5 %	9,4	13,3 %	24,2	43,1 %	24,2	35,7 %
Soutirage réseau	6,2	10,7 %	4,7	6,6 %	4,0	5,7 %	10,4	18,5 %	10,4	15,3 %
<b>Consommation finale</b>	<b>58,2</b>		<b>70,9</b>		<b>70,9</b>		<b>56,1</b>		<b>67,7</b>	

<sup>13</sup> **Consommateurs non flexibles:** La consommation des consommateurs non flexibles correspond à la différence entre la consommation finale et la consommation des prosumers et des consommateurs flexibles sans production propre.

(AES, 2012; OFEN, 2016)

<sup>14</sup> **Consommateurs flexibles sans production propre:**

– Statu quo: la part flexible de la consommation pour les groupes de consommateurs (> 100 MWh et < 100 MWh) est tirée de Klobasa (2007) et d’Ernst Basler et al. (2012).  
 – Univers énergétiques: dans le Trust World et le Trade World, le potentiel de flexibilisation reste inchangé. Dans le Local World et le Smart World, le potentiel de flexibilisation des consommateurs < 100 MWh s’accroît. Le potentiel de flexibilisation des consommateurs > 100 MWh a déjà été exploité dans le statu quo (tiré de Klobasa (2007) p. 105, scénario « forte flexibilité»). On suppose également que la part des consommateurs > 100 MWh et < 100 MWh dans la demande totale reste inchangée par rapport au statu quo.

<sup>15</sup> **Prosumers:**

– Le tableau présente à la fois la consommation de la production propre et le soutirage depuis le réseau des prosumers.  
 – Statu quo: hypothèse selon laquelle les prosumers couvrent eux-mêmes 40 à 60 % de leurs besoins et soutirent du réseau la part restante (OFEN, 2016).  
 – Univers énergétiques: hypothèse selon laquelle les prosumers couvrent eux-mêmes 70 % de leurs besoins et soutirent du réseau les 30 % restants.

Marchés/UE-CH

La Suisse du **Smart World** et du **Trade World** est fortement interconnectée avec ses voisins. Dans un univers comme dans l’autre, on table sur une hausse des capacités d’importation de 4 à 5 GW de manière à atteindre près de 12 GW et ainsi à permettre l’acheminement de plus grands volumes d’électricité, en hiver notamment (Figure 21 et chapitre 10). Pour le **Smart World** comme pour le **Trade World**, on est partis d’un développement similaire de la capacité d’importation.

Pour des raisons d’ordre géographique et juridique, le développement du réseau de transport transfrontalier peut se révéler plus rentable que des investissements dans de nouvelles capacités à l’intérieur du pays.

Dans le **Trust World** et le **Local World**, la Suisse s’auto-provisionne largement en électricité, mais maintient les échanges avec les pays voisins sur d’autres marchés tels que celui du gaz.

Figure 21

Capacité d’importation hivernale

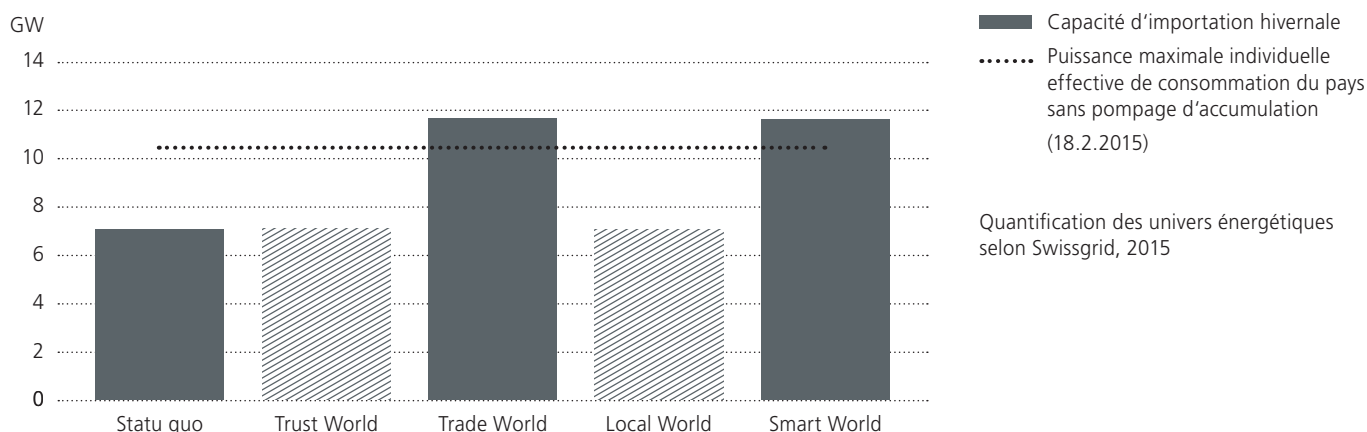
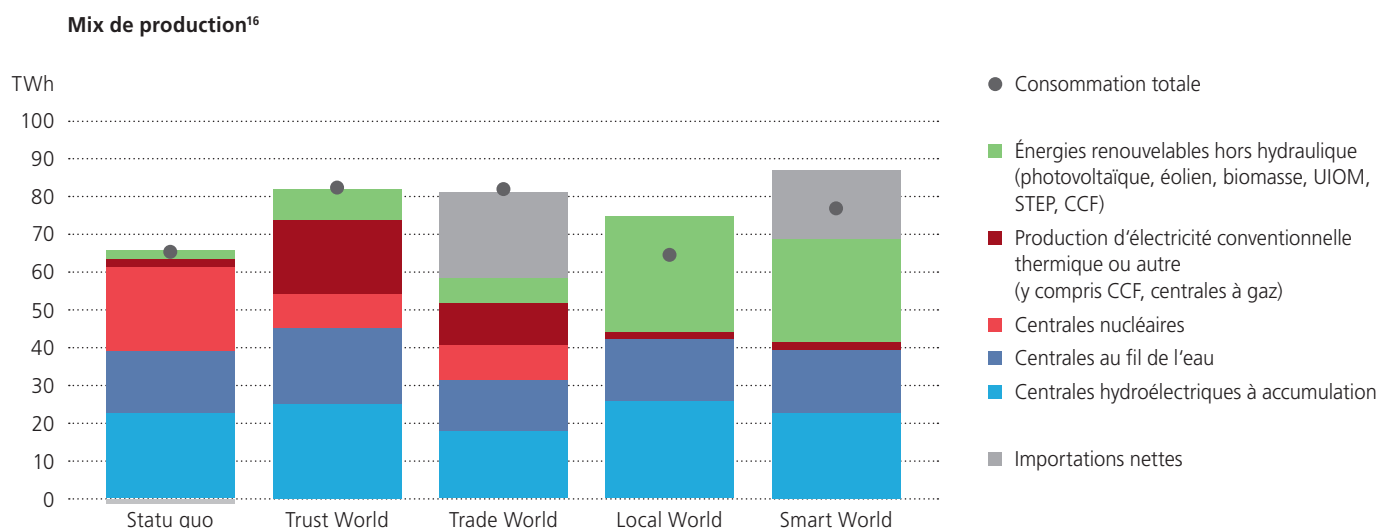


Figure 22



<sup>16</sup> La production excède nettement la consommation totale dans le Local World et le Smart World. Cet excédent est dû aux pertes survenant lors du stockage et de la conversion de l'électricité.

Quantification des univers énergétiques selon AES, 2012; OFEN, 2016; OFEN, 2014 (pour les hypothèses et données, cf. chapitre 10, Tableau 7)

### Approvisionnement centralisé/décentralisé

La Figure 22 met en évidence la production nationale annuelle (production propre incluse) et l'importation dans les différents univers énergétiques et en cas de statu quo. La consommation totale (= consommation finale + besoins des pompes d'accumulation + pertes réseau) y est elle aussi indiquée (pour les références et chiffres, cf. chapitre 10 et Tableau 7). La production excède nettement la consommation totale dans le Local World et le Smart World. Cet excédent est dû aux pertes de plus de 65% survenant lors du stockage saisonnier et de la conversion de l'électricité. Le rendement de la technologie power-to-gas-to-power, notamment, n'atteindra probablement que 25% à peine en 2035, même avec des progrès significatifs. L'énergie hydraulique reste la technologie la plus importante dans les quatre univers. Dans le Trust World, elle est même développée davantage car cet univers largement centralisé mise uniquement sur la production nationale. Grâce à un développement rapide et important, la production basée sur les centrales à accumulation et au fil de l'eau aura augmenté d'environ 6 TWh d'ici 2035 (Figure 22, Tableau 7), petite hydraulique incluse (2 TWh). Malgré la progression de l'approvisionnement décentralisé, le Local World doit également développer l'hydraulique (centrales à accumulation, uniquement) afin d'assurer la couverture de la demande en hiver. Le Trade World présente la plus faible part d'hydraulique dans la production nationale, chiffrée à environ 54% car, en raison des prix bas de l'électricité dans cet univers, certaines centrales hydroélectriques présentent des coûts de revient trop élevés (Figure 22, Tableau 7).

D'autres énergies renouvelables telles que le photovoltaïque, l'éolien, la biomasse et le CCF à partir de gaz renouvelable constituent une part considérable de la production nationale

dans le Local World (environ 41%) et dans le Smart World (quelque 35%) (Figure 22, Tableau 7), soit parce qu'elles sont massivement subventionnées (Local World), soit parce que leur prix baisse fortement (Smart World). Dans le Trust World et le Trade World, elles n'atteignent en revanche que 10 à 11%.

La production des installations photovoltaïques est estimée à près de 15 TWh (soit 21% de la production nationale) dans le Local World et le Smart World, ce qui correspond à un développement de 14 TWh entre 2015 et 2035 (Figure 22, Tableau 7). Pour générer 15 TWh d'électricité photovoltaïque, environ 80% de la surface adaptée doit être exploitée. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) évalue le potentiel des surfaces de bâtiments adaptées en Suisse à quelque 18 TWh (dont 15 TWh sur les toits et 3 TWh sur les façades) (AES, Électricité photovoltaïque et solaire thermique, 2015). Dans le Local World, les installations éoliennes génèrent environ 4 TWh d'électricité, alors que dans le Smart World, l'énergie éolienne est principalement importée des pays voisins présentant un potentiel plus important (Figure 22, Tableau 7): la Suisse ne produit alors qu'environ 1 TWh d'énergie éolienne. La biomasse contribue à hauteur d'environ 4 TWh à la production issue d'énergies renouvelables au sein des deux univers (Figure 22, Tableau 7). Dans les différents univers énergétiques, les installations de couplage chaleur-force (CCF) fonctionnent à la biomasse et, dans une faible mesure, aux agents thermiques conventionnels. Dans le Local World et le Smart World, des installations CCF sont en outre alimentées en gaz renouvelable (part des CCF dans la production renouvelable), obtenu à partir d'électricité renouvelable via le procédé power-to-gas.

Tableau 7

## Le mix de production en chiffres

	Statu quo		Trust World		Trade World		Local World		Smart World	
	en TWh	Part de la production nationale	en TWh	Part de la production nationale	en TWh	Part de la production nationale	en TWh	Part de la production nationale	en TWh	Part de la production nationale
<b>Centrales hydroélectriques à accumulation</b>	<b>22,9</b>	<b>35 %</b>	<b>25,9</b>	<b>32%</b>	<b>18,3</b>	<b>31%</b>	<b>25,9</b>	<b>35 %</b>	<b>22,9</b>	<b>33 %</b>
<b>Centrales au fil de l'eau</b>	<b>16,6</b>	<b>25 %</b>	<b>19,6</b>	<b>24%</b>	<b>13,3</b>	<b>23%</b>	<b>16,6</b>	<b>22 %</b>	<b>16,6</b>	<b>24 %</b>
<b>Centrales nucléaires</b>	<b>22,1</b>	<b>33 %</b>	<b>9,0</b>	<b>11%</b>	<b>9,0</b>	<b>15%</b>	<b>0,0</b>	<b>0 %</b>	<b>0,0</b>	<b>0 %</b>
<b>Production d'électricité conventionnelle thermique ou autre (y compris CCF, centrales à gaz)</b>	<b>1,9</b>	<b>3 %</b>	<b>19,5</b>	<b>24%</b>	<b>11,5</b>	<b>20%</b>	<b>1,9</b>	<b>3 %</b>	<b>1,9</b>	<b>3 %</b>
<b>Énergies renouvelables hors hydraulique (photovoltaïque, éolien, biomasse, UIOM, STEP, CCF)</b>	<b>2,5</b>	<b>4 %</b>	<b>8,0</b>	<b>10%</b>	<b>6,4</b>	<b>11 %</b>	<b>30,5</b>	<b>41 %</b>	<b>27,6</b>	<b>40 %</b>
Photovoltaïque	0,8	1 %	1,6	2 %	1,6	3 %	14,8	20 %	14,8	22 %
Éolien	0,1	0 %	0,8	1 %	0,8	1 %	4,1	5 %	1,2	2 %
Part renouvelable UIOM	1,1	2 %	1,1	1 %	1,1	2 %	1,1	1 %	1,1	2 %
STEP	0,1	0 %	0,1	0 %	0,1	0 %	0,1	0 %	0,1	0 %
Biomasse	0,3	0 %	4,3	5 %	2,7	5 %	4,3	6 %	4,3	6 %
Part renouvelable CCF	0,0	0 %	0,0	0 %	0,0	0 %	6,0	8 %	6,0	9 %
<b>Production nationale</b>	<b>66,0</b>	<b>100 %</b>	<b>82,0</b>	<b>100 %</b>	<b>58,5</b>	<b>100 %</b>	<b>74,9</b>	<b>100 %</b>	<b>69,0</b>	<b>100 %</b>
Importations nettes	-1,0		0,0		22,7		0,0		18,0	
Production, importations nettes incluses	64,9		82,0		81,2		74,9		87,0	
Pertes de transformation (accumulation à court et à long terme)	0,0		0,0		0,0		~ 10,2		~ 10,0	
<b>Consommation totale</b>	<b>64,9</b>		<b>82,0</b>		<b>81,2</b>		<b>64,7</b>		<b>77,0</b>	
Pertes réseau	4,4		5,3		5,3		4,4		5,1	
Consommation due aux pompes d'accumulation	2,3		5,8		5,0		4,2		4,2	

(AES, 2012; OFEN, 2016; OFEN, 2014)

On retrouve la production d'électricité thermique conventionnelle principalement dans le **Trust World**, qui a besoin de centrales à gaz pour compenser la disparition progressive des centrales nucléaires et remplacer les importations. En outre, les centrales à gaz contribuent largement à la nécessaire flexibilisation de l'offre de cet univers en circuit fermé. Le **Trust World** compte quelque huit blocs de centrales à gaz affichant chacune une puissance d'environ 400 MW et contribuant essentiellement – à hauteur de près de 18 TWh – à la production totale d'électricité thermique conventionnelle de près de 20 TWh par an (Figure 22, Tableau 7). Ces huit blocs sont nécessaires pour couvrir la demande sans possibilités

d'importation. Dans le **Trade World**, quatre blocs de centrales devraient être nécessaires, soit près de 10 TWh par an, ce qui porte la production thermique conventionnelle à plus de 11 TWh. Dans cet univers bon marché, les prix bas du gaz et du CO<sub>2</sub> permettent une exploitation rentable des centrales à gaz. En 2035, le **Trust World** comme le **Trade World** exploitent encore une centrale nucléaire (Leibstadt), contrairement au **Local World** et au **Smart World**.

Les quatre univers énergétiques doivent renforcer leurs réseaux de distribution, à des degrés toutefois divers. Dans le **Trust World** et le **Trade World**, le développement est relatif

vement modeste en raison de l'augmentation de la charge. Dans le **Smart World** et le **Local World**, la dispersion géographique des unités de production décentralisées nécessite une importante extension du réseau de distribution, chiffrée à environ 85 000 km au maximum (Figure 23). Un tel agrandissement est nécessaire si aucun dispositif de stockage supplémentaire n'est mis en place. En effet, outre l'éparpillement des centrales, le nombre et la taille des solutions de stockage utilisées influent considérablement sur le besoin d'extension. Dans la mesure où les technologies de stockage sont largement répandues dans le **Local World** comme dans le **Smart World**, le besoin quantifié à la Figure 23 correspond à une valeur maximale. La majeure partie de cette expansion concerne le réseau moyenne tension (environ 55 000 km), qui affiche actuellement une longueur de quelque 70 000 km (Consentec, 2012).

### Régulation/interventions étatiques

Dans le **Trade World**, on renonce aux interventions étatiques et aux mesures d'encouragement, au profit des forces du marché. Par conséquent, les différents marchés sont âprement disputés. Dans tous les autres univers, une politique sur le CO<sub>2</sub> cohérente et à l'échelle européenne est mise en œuvre. Dans une pure économie de marché sans tarification du CO<sub>2</sub> et avec des énergies fossiles à bas prix, les centrales hydroélectriques helvétiques sont mises sous pression, comme l'illustre éloquentement le **Trade World**.

Alors que, dans le **Smart World**, les interventions étatiques se limitent à la politique sur le CO<sub>2</sub>, elles vont bien plus loin dans le **Trust World** et dans le **Local World**. Le **Trust World** et le **Local World** présentent un marché de l'électricité petit et illiquide. Des interventions étatiques sont nécessaires à la construction et à l'exploitation des unités de production d'électricité. Dans le **Local World**, le plus fortement marqué par les interventions étatiques, des prescriptions strictes existent sur les technologies, l'efficacité énergétique et la consommation d'énergie.

### Digitalisation

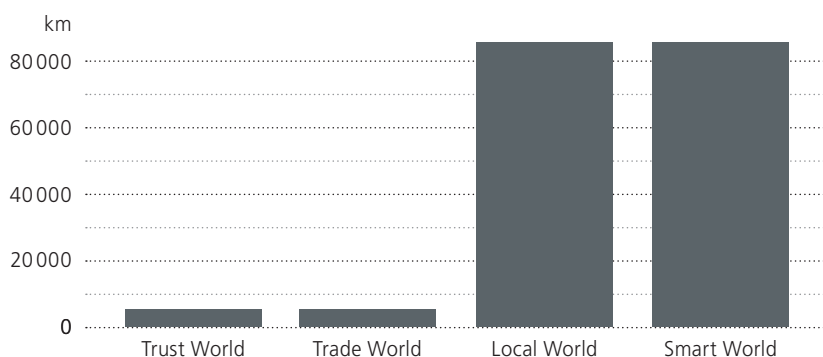
La digitalisation, l'Internet des objets et des analyses de données intelligentes en temps réel poursuivent leur développement à vitesse grand V, indépendamment de la branche de l'énergie. En 2035, ils sont une partie intégrante – et importante – de la société et de l'économie.

Dans le **Smart World** et dans le **Local World**, la digitalisation, les analyses de données performantes en temps réel et les prévisions basées sur la modélisation sont indispensables à l'approvisionnement décentralisé. Ces éléments contribuent à optimiser les flux énergétiques entre les unités de production, de stockage et de consommation en améliorant sensiblement la flexibilité de la demande et la stabilité du réseau, et en intensifiant la convergence des réseaux et l'intégration de l'électromobilité dans le système global. Les réseaux électriques gérés via les TIC permettent une surveillance et un pilotage en temps réel des réseaux ainsi qu'une automatisation renforcée des processus.

La digitalisation fait également son entrée dans le **Trade World**, mais elle ne conditionne pas le bon fonctionnement de l'approvisionnement. En revanche, dans le **Trust World**, l'utilisation de solutions intelligentes dans le domaine de l'approvisionnement en énergie, notamment pour flexibiliser la demande, est sciemment limitée en raison de la possibilité de mieux piloter les systèmes, de la faible acceptation de l'échange de données et de la peur suscitée par la cybercriminalité.

Figure 23

#### Développement nécessaire du réseau de distribution (renforcement inclus) sans dispositifs de stockage



Quantification des univers énergétiques selon Consentec, 2012 (pour les hypothèses et données, cf. chapitre 10, Tableau 6 et Tableau 7)

## 4.3 L'essentiel du chapitre 4

---

Il est possible de plausibiliser les quatre univers énergétiques au moyen de données tirées d'études existantes (potentiels d'agrandissement, prévisions en matière de demande et besoin de réseaux, p. ex.). Pour les univers caractérisés par de fortes évolutions, les projections (scénarios futurs) pour 2050 ont été utilisées afin de satisfaire à la description qualitative de ces univers énergétiques.

La plausibilisation montre qu'aucun des univers n'est réalisable sans une forte part d'énergie hydraulique suisse, même avec une extension parfois importante de nouvelles capacités de production. Sans elle, il n'est guère possible de couvrir la demande, voire impossible dans les univers autarciques. Le financement des centrales hydroélectriques n'est toutefois assuré qu'à certaines conditions: dans le **Trust World**, le **Local World** et le **Smart World**, on présuppose des prix élevés pour le CO<sub>2</sub> et donc pour l'électricité. Dans le **Trade World**, les centrales hydroélectriques sont soumises à la pression sur les prix, et beaucoup d'entre elles ne pouvant continuer à être exploitées de manière rentable, leur part décline.

Les quatre univers énergétiques sont confrontés au défi du report de la production électrique estivale vers la saison froide. Le fonctionnement du **Local World** et du **Smart World** notamment, qui présentent une part très élevée d'installations photovoltaïques, dépend de ce transfert. Ce dernier est soutenu par la convergence des réseaux, des dispositifs de stockage saisonnier efficaces ainsi qu'une forte proportion de production ou de demande flexible. Dans le **Local World** et le **Smart World**, la convergence des réseaux déjà très avancée assure le report été-hiver. Dans le **Trust World**, la part importante de centrales d'utilisation flexible (hydroélectriques et à gaz) garantit l'équilibre. Enfin, le **Trade World** gère cet aspect par des exportations en été et des importations en hiver.

La décentralisation des sites de production dans le **Smart World** et le **Local World** requiert une grande extension des réseaux de distribution (renforcement inclus) par rapport aux univers centralisés (**Trust World** et **Trade World**). Un développement innovant du réseau et l'utilisation de dispositifs de stockage permettent toutefois de réduire le besoin d'expansion et d'investissement.

Dans le **Trust World**, la multiplication des centrales à gaz est nécessaire pour que la demande croissante puisse être couverte par la seule production nationale. La Suisse du **Trade World** et du **Smart World** est très dépendante des pays voisins dans la mesure où la construction de nouvelles capacités nationales n'est que rarement pertinente en termes de rentabilité. Les capacités d'importation doivent être développées en conséquence.

Si la digitalisation se développe indépendamment des autres évolutions dans le secteur énergétique, elle est indispensable au bon fonctionnement des univers à l'approvisionnement décentralisé et une forte flexibilisation de la demande, tels que le **Local World** et le **Smart World**.

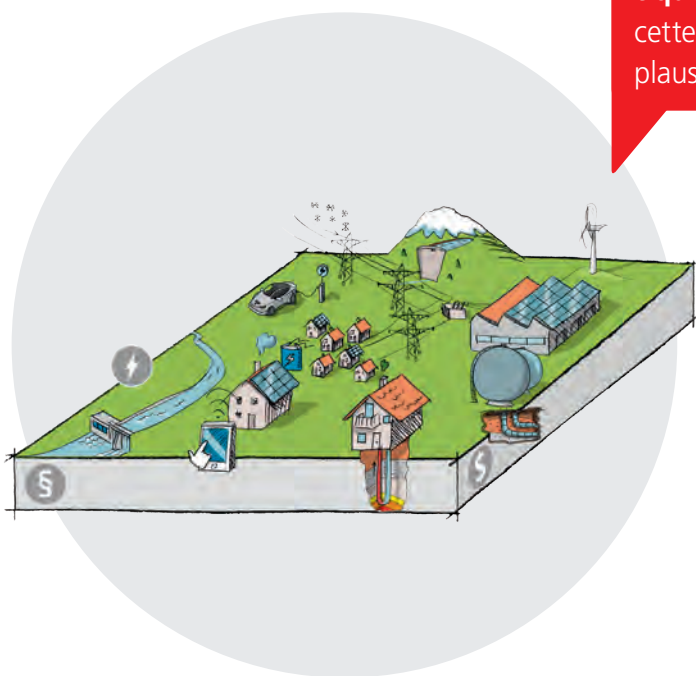
La plausibilisation montre qu'aucun des univers n'est réalisable sans une forte part d'énergie hydraulique suisse, que le report de la production électrique estivale vers la saison froide représentent un défi dans tous les univers énergétiques, et que la digitalisation se développe indépendamment des autres évolutions dans le secteur énergétique.





## 5. Tendance 2035 de l'AES

Le **Trust World**, le **Trade World**, le **Local World** et le **Smart World** décrivent, du point de vue actuel, des univers énergétiques extrêmes mais tout à fait envisageables, qui dessinent un espace de développement possible. **L'AES table en 2035 sur un contexte énergétique combinant des éléments de ces quatre univers:** cette «Tendance 2035 de l'AES» brosse le tableau le plus plausible en l'état actuel des connaissances.



### 5.1 Introduction

Il n'est pas possible d'identifier des tendances suffisamment claires pour la totalité des 14 «game changers» (cf. chapitre 3.5). Par conséquent, le présent rapport ne reprend pas le système de représentation utilisé pour décrire les univers énergétiques et n'aborde donc pas chacun de ces 14 thèmes. Seuls sont décrits les thèmes présentant du point de vue des experts de l'AES des éléments permettant une évaluation suffisamment pertinente de la tendance. De même, aucune appréciation quantitative n'est volontairement livrée dans la mesure où elle ferait figure de prévision, ce qui ne correspond pas à la nature des univers énergétiques. Le rapport n'approfondit pas non plus les modèles de marché et d'affaires envisageables pour la «Tendance 2035 de l'AES».

La «Tendance 2035 de l'AES» doit être revue et actualisée à un rythme annuel.

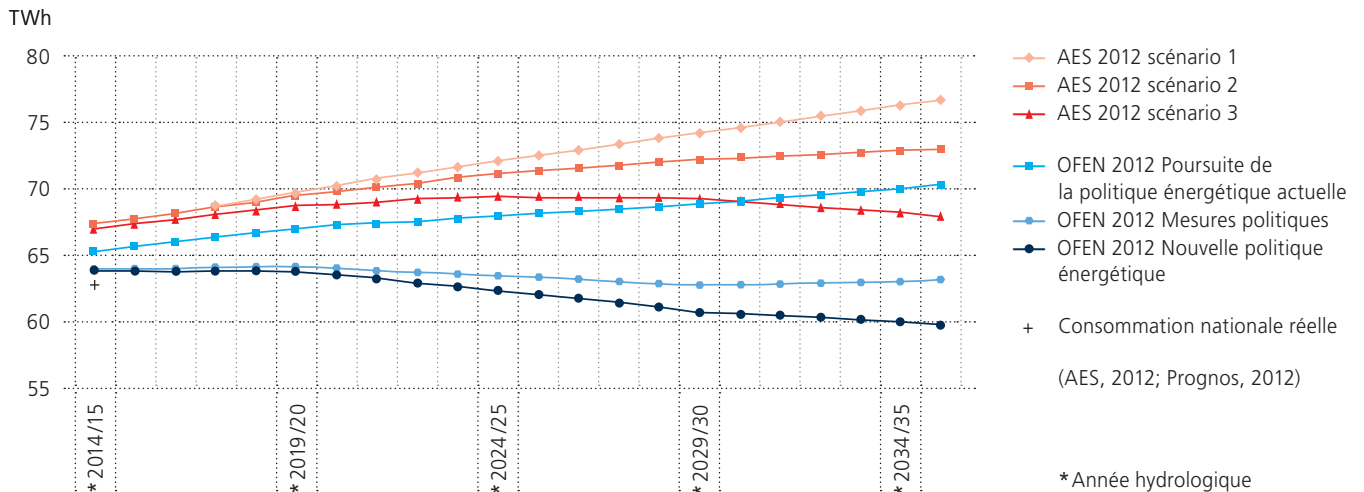
### 5.2 Description de la «Tendance 2035 de l'AES» (état 2016/2017)

#### Hausse de la demande d'électricité

Pour l'année 2035, la demande d'électricité attendue est supérieure à celle de 2015. La croissance démographique et économique ainsi que la substitution des agents énergétiques fossiles, la multiplication des appareils électroniques et leur utilisation accrue augmentent la consommation de courant. Les effets des gains d'efficacité et de la progression de la consommation propre sont ainsi plus que compensés. Quatre des six scénarios de l'AES et de l'OFEN indiquent une élévation de la demande (Figure 24). Les scénarios de l'AES (AES, 2012) mettent en évidence une nette hausse de la demande par rapport à 2015, tandis que l'étude de l'OFEN (Prognos, 2012) prévoit une demande légèrement à nettement plus élevée dans deux scénarios, et plus basse dans un scénario.

Figure 24

Prévisions de la consommation d'électricité en Suisse



Les prévisions relatives à la demande (AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur) pour 2015 sont nettement supérieures aux mesures actuelles (statu quo). L'AES continue néanmoins de nous baser sur ces projections pour la «Tendance 2035 de l'AES» (état 2016/2017) car, dans un contexte de substitution croissante des énergies fossiles, de multiplication des applications électroniques et de croissance démographique et économique, il est impossible d'exclure une hausse significative de la demande d'électricité.

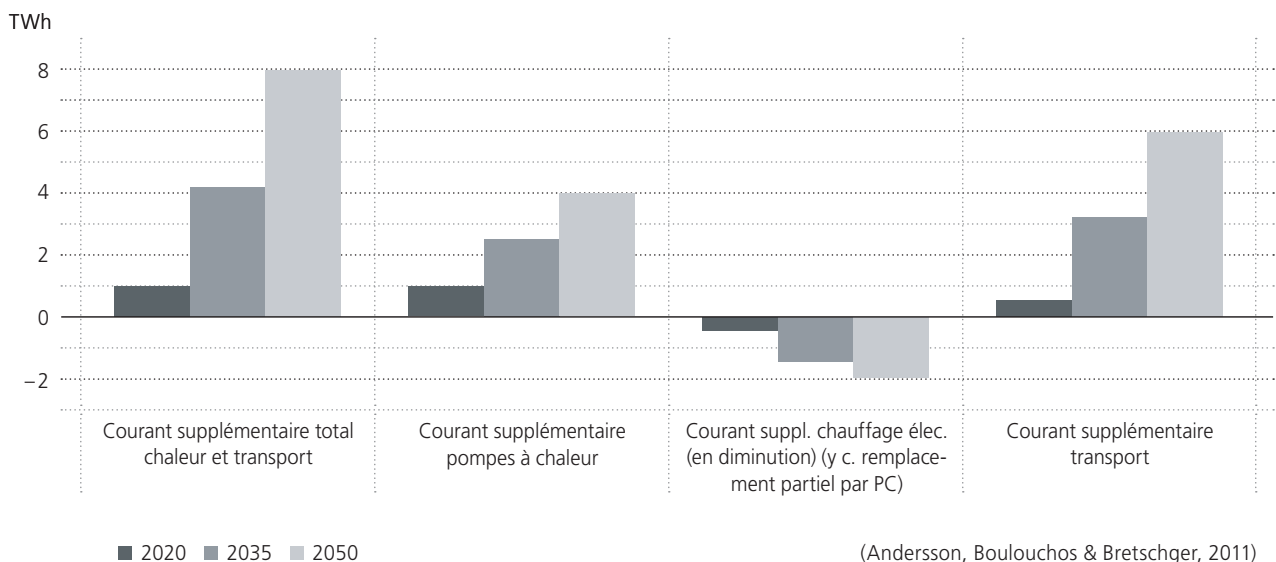
Selon l'EPFZ (Andersson, Boulouchos, & Bretschger, Energiezukunft Schweiz, 2011), la demande d'électricité supplémentaire due à la substitution de combustibles fossiles (élec-

trification) dans les domaines de la chaleur et des transports en 2035 se montera à environ 4 TWh par rapport à 2010 (Figure 25).

La consommation propre a également augmenté en raison, d'une part, de la hausse de la production décentralisée et, d'autre part, de la réduction du coût des batteries ainsi que du stockage du gaz et de la chaleur. La demande s'est flexibilisée, essentiellement grâce à de nouveaux services et modèles d'affaires.

Figure 25

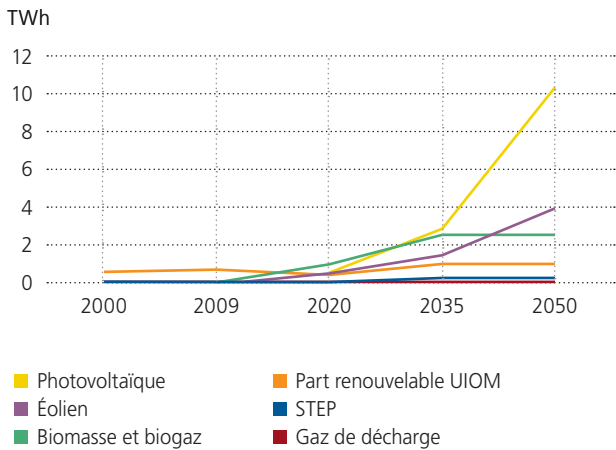
Besoin supplémentaire d'électricité dû à l'électrification de la chaleur et des transports par rapport à 2010



(Andersson, Boulouchos & Bretschger, 2011)

**Figure 26**

**Potentiel de développement escompté des énergies renouvelables**



(OFEN, 2011)

**Structure de production mixte centralisée et décentralisée**

La structure de production de 2035 est à la fois centralisée et décentralisée, mais la force hydraulique conserve son rôle fondamental. L'énergie hydraulique reste la technologie de production prédestinée de la Suisse en raison de la topographie et des ressources hydriques. L'hydraulique présente une importance systémique: les accumulateurs sont contrôlables, offrent une capacité de réaction rapide et fournissent encore une grande partie des services-système. Du fait de ses possibilités d'accumulation, la force hydraulique présente des garanties en cas de pannes imprévues ou de restrictions d'importations. Principale source d'énergie renouvelable de

Suisse, l'hydraulique contribue en outre de manière essentielle à un approvisionnement en électricité respectueux de l'environnement. Elle constitue par ailleurs un complément nécessaire à la production fluctuante croissante d'autres sources renouvelables. Toutefois, on ne sait pas précisément comment assurer son financement futur.

En 2035, la part d'installations photovoltaïques, éoliennes et à biomasse a sensiblement progressé par rapport à 2015. Le potentiel de développement escompté des énergies renouvelables selon l'OFEN (2011) (cf. Figure 26) est en grande partie réalisable. Contrairement à l'étude de l'OFEN (2011), l'AES n'identifie aucun potentiel géothermique en 2035 pour des raisons de rentabilité et d'acceptation (énergie par conséquent non représentée à la Figure 26).

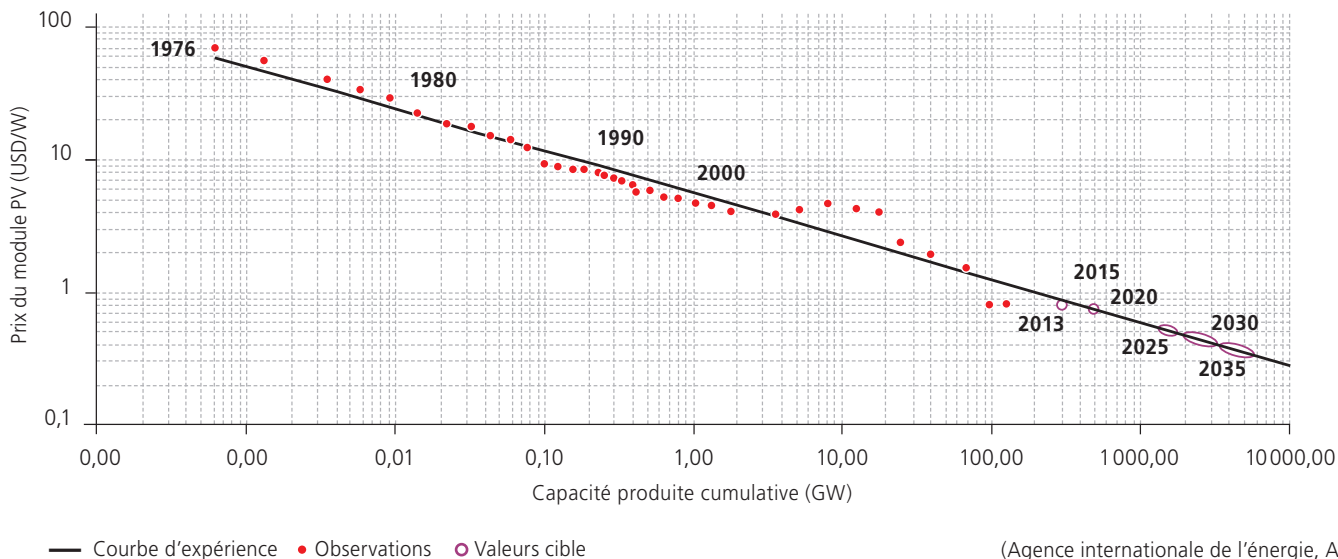
Dans le secteur photovoltaïque cependant, le potentiel prévu est exploité grâce à la chute des prix. Selon l'Agence internationale de l'énergie (2014), le prix des installations photovoltaïques diminuera de moitié entre 2015 et 2035 (cf. Figure 27).

Selon les études actuelles, l'énergie nucléaire supprimée ne sera pas partiellement remplacée par la construction de nouvelles centrales à gaz d'ici à 2035, mais probablement en grande partie par les importations. Le gaz devrait néanmoins jouer un rôle accru, avant tout dans le cadre de la convergence des réseaux.

Les accumulateurs, réservoirs de gaz et accumulateurs de chaleur, davantage utilisés en 2035, contribuent à optimiser l'auto-alimentation. La pénétration des dispositifs de stockage dans le système d'approvisionnement dépend à la fois des avancées technologiques et de leur rentabilité. D'après Roland Berger (2016), les coûts des accumulateurs diminueront de plus de moitié entre 2015 et 2030 (cf. Figure 28).

**Figure 27**

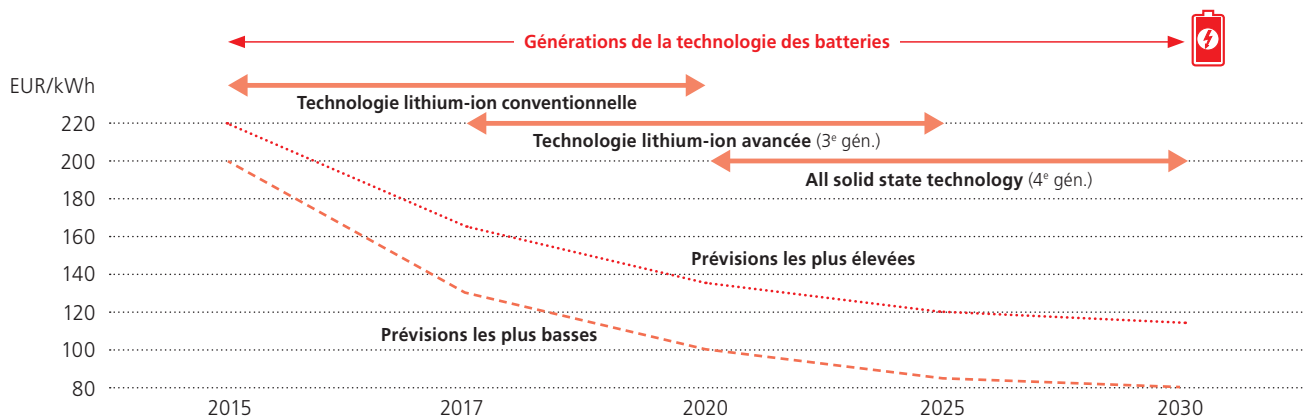
**Prix des modules photovoltaïques d'ici 2035**



(Agence internationale de l'énergie, AIE, 2014)

Figure 28

Évolution des coûts et prévisions pour les cellules de batterie



(Roland Berger, 2016)

Même si la convergence des réseaux s'est intensifiée (p. ex. dans le cadre de la conversion de courant excédentaire en hydrogène et de son utilisation comme carburant), elle ne permet pas de garantir le degré requis de report d'électricité été-hiver. Le besoin d'importation est par conséquent très élevé en hiver (cf. Figure 29).

La construction de grandes centrales hydroélectriques, l'augmentation de la demande, les importants flux internationaux d'électricité ainsi que l'énergie excédentaire du réseau de distribution nécessitent d'optimiser et de développer ponctuellement les réseaux de distribution de l'électricité entre 2015 et 2035.

**Le rôle central de l'interconnexion avec l'UE**

En 2035, l'interconnexion avec l'UE est cruciale. La Suisse est encore plus tributaire des importations d'énergie pendant le semestre hivernal étant donné que la production des centrales nucléaires a progressivement diminué entre 2015 et 2035 et que la part des installations photovoltaïques dans le mix de production d'électricité a augmenté. En outre, on ne s'attend pas à ce que de nouvelles centrales à gaz remplacent les équipements nucléaires. Par conséquent, le degré d'auto-alimentation décline, passant d'environ 80% en 2020 à 50-60% en 2035 (cf. Figure 29). Durant le semestre estival en revanche, la Suisse exporte ses excédents énergétiques vers les pays voisins.

La Suisse conserve un rôle important en qualité de pays de transit. Grâce à sa part élevée de capacités de production pilotables, elle contribue de manière décisive à la sécurité d'approvisionnement et à la stabilisation du réseau sur le marché européen de l'électricité.

**Essor de la digitalisation dans le secteur énergétique**

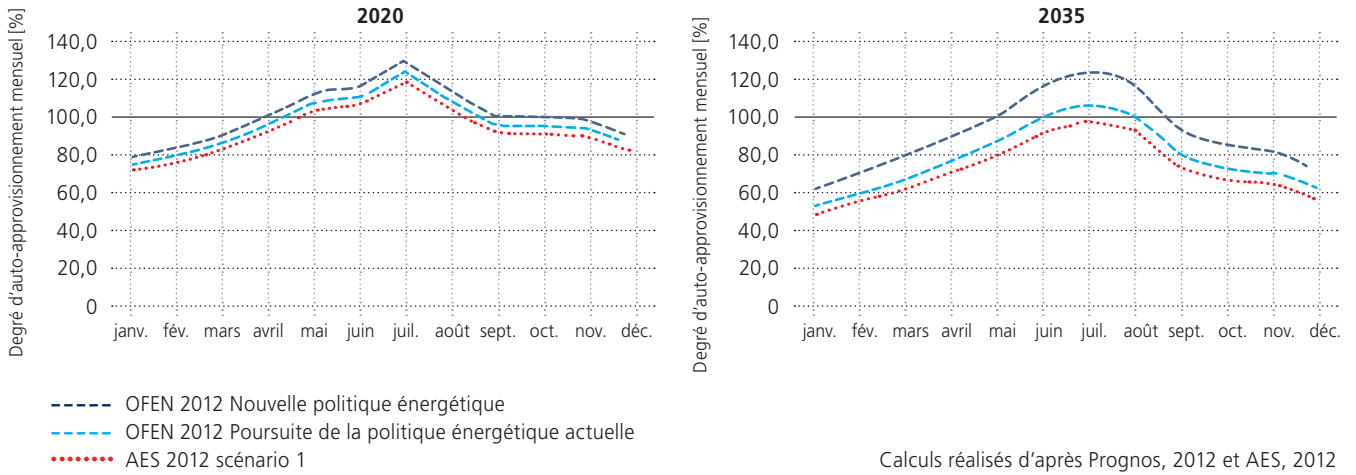
La digitalisation évolue indépendamment du secteur énergétique. Selon digital.swiss (digital.swiss, Energie, 2016), 85% des entreprises suisses pensent actuellement que la digitalisation de la branche de l'électricité entraînera de profonds changements dès 2025.

En 2035, le marché énergétique est largement digitalisé. L'Internet des choses assure la connexion à Internet d'un nombre croissant d'appareils et la livraison continue de données (Figure 30), dont le volume progresse de façon spectaculaire. L'analyse et l'évaluation de ces données contribuent à surveiller et à perfectionner les processus ainsi qu'à automatiser et à améliorer les prévisions. Elles permettent entre autres de flexibiliser la demande et d'optimiser la production. L'approvisionnement décentralisé ne peut avoir lieu sans digitalisation.

Les profondes mutations provoquées par la digitalisation croissante du secteur énergétique peuvent aboutir à une plus grande complexité et p. ex. compliquer la pilotabilité de l'approvisionnement en électricité. On ne peut exclure que, d'ici 2035, le régulateur restreigne la liberté d'action des nouvelles applications pour des raisons de sécurité.

Figure 29

Degré d'auto-apvisionnement en 2020 et en 2035 selon divers scénarios de demande



**Conséquences sur les gestionnaires de réseau de distribution**

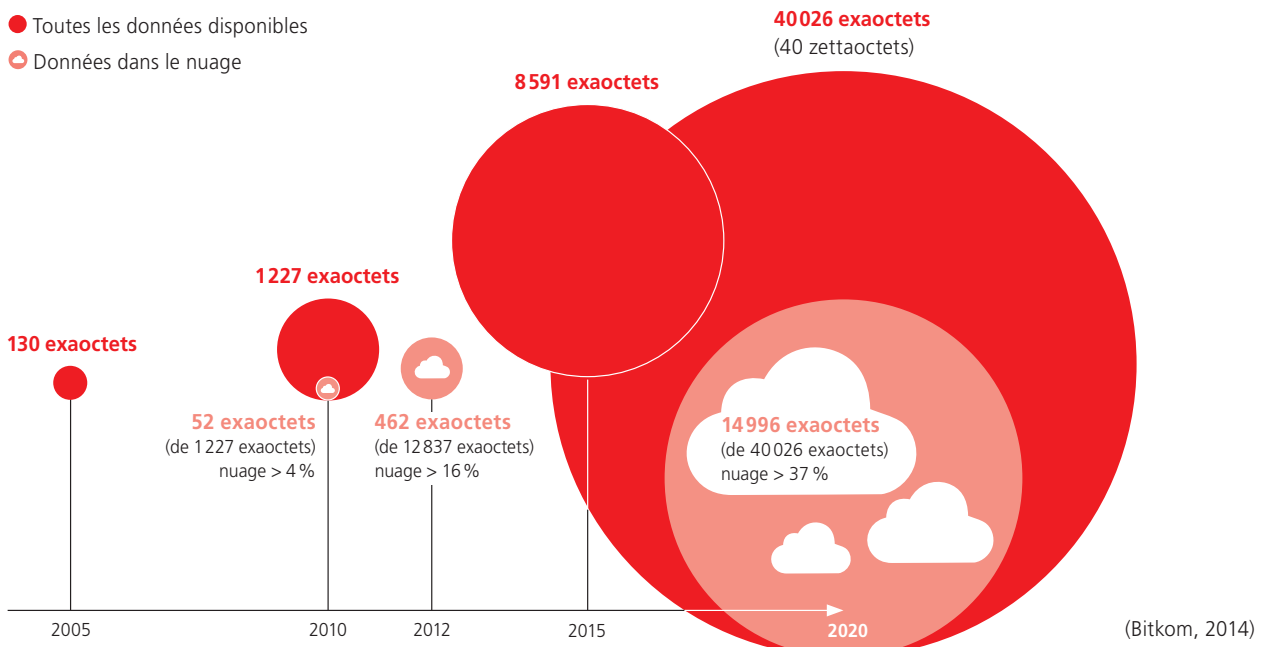
Progression de la production locale d'électricité et des dispositifs de stockage locaux, réinjection de plus en plus irrégulière dans le réseau et convergence des réseaux sont autant de facteurs conférant aux réseaux de distribution d'électricité et de gaz un rôle croissant dans le système énergétique. Le besoin d'investissements dans des solutions intelligentes de communication, de pilotage et de surveillance (telles que smart grids et smart meter) augmente.

**Conséquences sur les consommateurs finaux**

De nombreux ménages et l'artisanat produisent eux-mêmes l'électricité qu'ils consomment. L'utilisation croissante de solutions de stockage, associée à des prix finaux fluctuants et dynamiques, fournit aux consommateurs finaux une marge de manœuvre pour optimiser les coûts du courant qu'ils soutirent du réseau.

Figure 30

Immense croissance des données: multiplication par cinq du volume de données entre 2015 et 2020





## 6. Conclusions et perspectives

Les univers énergétiques reflètent des scénarios pour 2035 sous forme d'instantanés, et montrent les extrêmes d'une gamme de développements possibles.



# 2035

### 6.1 Conclusions

---

Les univers énergétiques résultent d'évolutions qui peuvent également se poursuivre au-delà de 2035. Pour trois des quatre univers énergétiques présentés, ces évolutions ne sont pas linéaires et comportent des changements de cap essentiels.

Dans le **Trust World**, les effondrements de réseau et les pannes générales finissent par déboucher sur la planification économique de l'approvisionnement en électricité. Dans le **Trade World**, le soutien massif des énergies renouvelables a subi une nouvelle interruption, et on laisse carte blanche aux marchés. Dans le **Local World**, la dissociation du réseau et de l'énergie ainsi que l'ouverture du marché n'ont plus cours, et le gestionnaire de réseau de distribution assure la fourniture

intégrale. Seul le **Smart World** évolue sans subir de changement d'orientation. Dans ce cas de figure, la priorité donnée au marché, associée à la digitalisation, donne lieu à une décentralisation majoritaire de la structure d'approvisionnement.

Dans trois univers sur quatre, les prescriptions politiques de départ ont dû être revues. La société et les acteurs politiques doivent par conséquent appréhender la forme d'approvisionnement en énergie désirée, la manière réaliste d'y parvenir et comment atteindre cet auto-approvisionnement. Des objectifs trop ambitieux peuvent ne pas être atteints en fonction des conditions-cadre, d'où la nécessité de procéder à des modifications importantes. Celles-ci engendrent des coûts économiques élevés.

De surcroît, les conditions-cadre sont déterminées non seulement par les développements en matière d'économie énergétique et de technologie, mais aussi et surtout par des décisions politiques prises à l'extérieur des frontières de notre pays et par les marchés énergétiques mondiaux. Ces conditions-cadre ne sont donc pas stables, et leur évolution est difficilement prévisible. En raison de l'importante dépendance de la Suisse vis-à-vis d'évolutions survenant en dehors du champ d'application de la politique helvétique, celle-ci ne peut fixer que des orientations générales pour l'avenir de l'approvisionnement énergétique. Le cadre réglementaire doit offrir une sécurité dans la planification et, en même temps, laisser suffisamment de place aux évolutions et aux changements de direction. Des prescriptions par trop rigoureuses et sévères peuvent s'avérer contre-productives.

Les univers énergétiques montrent que les questions qui suivent doivent en premier lieu trouver une réponse politique.

- Comment maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande dans le domaine de l'électricité? Dans le **Trust World**, c'est une production organisée par l'État, centralisée et flexible, qui doit répondre à la demande; dans le **Trade World**, les capacités d'importation sont augmentées; dans le **Local World**, un fournisseur intégral organise l'approvisionnement énergétique au niveau du réseau de distribution et, grâce à un stockage saisonnier, l'excédent estival est reporté à l'hiver au prix d'importantes pertes de transformation; dans le **Smart World**, la digitalisation et le système d'incitation assurent une flexibilité suffisante. Enfin, pour chacun des quatre univers énergétiques, l'hydraulique est la technologie qui prédomine.
- Comment financer la production d'électricité et le réseau électrique? Dans les univers énergétiques où il existe un échange avec l'UE (**Trade World** et **Smart World**), le marché de l'énergie suffit à déclencher des investissements dans les capacités de production en Suisse ou, de plus en plus, au sein de l'UE. Toutefois, dans le **Trade World**, les centrales hydroélectriques suisses subissent une pression importante en raison de l'absence de taxes sur le CO<sub>2</sub>, et le **Smart World** suppose pour sa part une baisse massive des coûts de production de l'énergie photovoltaïque, des technologies de stockage et de la convergence des réseaux, ainsi que des taxes sur le CO<sub>2</sub> élevées. Dans les univers comportant peu ou pas d'échanges avec l'UE (**Trust World** et **Local World**), l'État doit fournir des incitations favorisant les nouveaux investissements et les investissements de remplacement.

- Quelle forme la collaboration avec l'UE prend-elle, et à quel degré? La base d'une coopération future serait la conclusion d'un accord ad hoc sur l'énergie ou l'électricité. Ce dernier dépend non seulement de l'UE, mais aussi de la volonté de la Suisse de conclure un tel accord. Cette volonté sera à son tour influencée par les estimations et les évolutions futures au sein de l'UE. Par conséquent, la confiance de la Suisse dans les évolutions qui auront cours au sein de l'UE définit le degré et la forme possibles de la collaboration à mettre en place. Sa forme sera notamment conditionnée par la nécessité de coordonner la conception du marché.
- Comment gérons-nous la digitalisation? Indépendamment du système énergétique, la digitalisation sera toujours plus présente dans la société et l'économie. Le **Smart World** et le **Local World** y recourent et, sans elle, la décentralisation de l'approvisionnement serait impossible. En revanche, dans le **Trust World**, les hommes se prononcent contre une utilisation élargie de la digitalisation et des possibilités qui y sont liées. Les acteurs politiques doivent clarifier les questions ayant trait à la protection et à l'échange des données, ainsi qu'aux mesures permettant de lutter contre la cybercriminalité.

LAES a répondu à ces questions au travers de sa vision. Pour l'Association, il est clair que la Suisse doit disposer d'un auto-approvisionnement élevé en électricité, tout en prenant part au marché intérieur européen de l'énergie sur la base de l'intérêt mutuel. Les entreprises de l'économie énergétique seront également responsables à l'avenir de la sécurité d'approvisionnement, et notamment des nouveaux investissements et des investissements de remplacement dans le domaine de la production d'électricité. L'économie énergétique promeut en la matière des solutions pauvres en CO<sub>2</sub> à long terme. LAES s'engage fermement en faveur de conditions-cadre adaptées et de la garantie de la capacité d'investissement à long terme. Les nouvelles évolutions technologiques, en particulier dans le domaine de la digitalisation, seront utilisées pour accroître l'efficacité énergétique globale.



## 6.2 Perspectives

---

Le présent rapport «Univers énergétiques 2017» ne marque pas la fin des travaux effectués dans ce domaine, il avance plutôt des pistes de départ. D'autres rapports sont programmés, qui comporteront des approfondissements et des élargissements. En particulier – comme le présent rapport l'indique à maintes reprises –, la «Tendance 2035 de l'AES» sera réexaminée chaque année et ajustée si nécessaire.

En parallèle, il est prévu de collaborer avec plusieurs hautes écoles et hautes écoles spécialisées, ou d'approfondir une collaboration existante. Ainsi, il existe déjà une collaboration de l'AES et de l'EMPA sur la base des univers énergétiques.

Le projet «Univers énergétiques» a été conçu de manière ouverte et évolutive, dans les orientations les plus variées. Il a été élaboré de façon à rendre possibles plusieurs partenariats. Ce projet accompagnera l'AES pendant quelques années encore, et doit donc être constamment étoffé.

---

Le présent rapport représente le commencement – d'autres rapports sont programmés, qui comporteront des approfondissements et des élargissements. On y observera également quelles réponses sont données à des questions essentielles dans les domaines suivants: équilibre entre offre et demande, financement de la production d'électricité et du réseau électrique, degré de la collaboration avec l'UE et gestion de la digitalisation.



## 7. Tableau des abréviations

<b>AES</b>	Association des entreprises électriques suisses
<b>AIE</b>	Agence internationale de l'énergie
<b>CCF</b>	couplage chaleur-force
<b>EAE</b>	entreprise d'approvisionnement en énergie
<b>EPF</b>	École polytechnique fédérale
<b>GW</b>	gigawatt
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>kWh</b>	kilowattheure
<b>LApEI</b>	Loi sur l'approvisionnement en électricité
<b>MW</b>	mégawatt
<b>OFEN</b>	Office fédéral de l'énergie
<b>PJ</b>	pétajoule
<b>PV</b>	photovoltaïque
<b>RD</b>	réseau de distribution
<b>RT</b>	réseau de transport
<b>SDL</b>	services-système
<b>SEQE-UE</b>	Système d'échange de quotas d'émissions de l'UE
<b>STEP</b>	station d'épuration
<b>TIC</b>	technologies de l'information et de la communication
<b>TWh</b>	térawattheure
<b>UIOM</b>	usine d'incinération des ordures ménagères
<b>W</b>	watt

# 8. Bibliographie

**AES. (1987)**

Septième Rapport des Dix.  
Aarau: AES (éd.).

**AES. (2006)**

Prévision sur l'approvisionnement de la Suisse en électricité.  
Aarau: AES (éd.).

**AES. (2012)**

Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur.  
Aarau: AES (éd.).

**AES. (2015)**

Électricité photovoltaïque et solaire thermique,  
document de connaissances de base.  
Aarau: AES (éd.).

**AES. (2015)**

Énergie éolienne, document de connaissances de base.  
Aarau: AES (éd.).

**Agence internationale de l'énergie (AIE). (2014)**

Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Report,  
2014 edition.

**Agence internationale de l'énergie (AIE). (2016)**

Tracking Clean Energy Progress 2016.

**Andersson, G., Boulouchos, K., & Bretschger, L. (2011)**

Energiezukunft Schweiz.  
Zurich: EPF.

**Bitkom. (2014)**

Présentation de Dieter Kempf, Datability.

**Consentec. (2012)**

Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze  
in der Schweiz.  
Aix-la-Chapelle: AES (éd.).

**digital.swiss, Energie. (10 décembre 2016)**

Consulté à l'adresse <http://digital.swiss/de/themen/energie>

**Ernst Basler + Partner. (2012)**

Flexibilisierung der Stromnachfrage in Haushalten.  
Zollikon: AES (éd.).

**Klobasa, M. (2007)**

Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integra-  
tion von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene  
unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten.  
Zurich: EPF.

**OFEN. (2011)**

Données de base pour la stratégie énergétique du  
Conseil fédéral.

**OFEN. (2014)**

Statistik erneuerbarer Energie.  
Berne: Office fédéral de l'énergie (éd.).

**OFEN. (2016)**

Statistique suisse de l'électricité.  
Berne: Office fédéral de l'énergie (éd.).

**OFEN. (2016)**

Überprüfung der Gestehungskosten und der  
Vergütungssätze von KEV-Anlagen.  
Berne: Office fédéral de l'énergie (éd.).

**Prognos. (2012)**

Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050,  
Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz  
2000–2050, Ergebnisse der Modellrechnungen für das  
Energiesystem.  
Berne: OFEN (éd.).

**Roland Berger. (2016)**

Integrated Fuels and Vehicles Roadmap to 2030+.

**Swissgrid. (2015)**

Réseau stratégique 2025.  
Frick: Swissgrid.

# 9. Liste des figures et des tableaux

## Liste des figures

---

<b>Figure 1</b>	Les cinq dimensions des univers énergétiques .....	16
<b>Figure 2</b>	Aperçu des univers énergétiques.....	18
<b>Figure 3</b>	Comparaison de la demande d'agents énergétiques finaux en PJ selon les scénarios.....	19
<b>Figure 4</b>	Consommations finale et totale, Trust World vs statu quo .....	21
<b>Figure 5</b>	Mix de production, Trust World vs statu quo .....	22
<b>Figure 6</b>	Consommations finale et totale, Trade World vs statu quo .....	27
<b>Figure 7</b>	Mix de production, Trade World vs statu quo .....	28
<b>Figure 8</b>	Développement du réseau de distribution dans le Trade World.....	28
<b>Figure 9</b>	Part de consommation propre, Local World vs statu quo .....	33
<b>Figure 10</b>	Consommations finale et totale, Local World vs statu quo.....	33
<b>Figure 11</b>	Mix de production, Local World vs statu quo.....	34
<b>Figure 12</b>	Développement du réseau de distribution dans le Local World .....	35
<b>Figure 13</b>	Coûts de revient de l'énergie photovoltaïque CH dans le Smart World .....	40
<b>Figure 14</b>	Coûts de revient de l'énergie éolienne CH dans le Smart World .....	40
<b>Figure 15</b>	Coût des batteries dans le Smart World .....	40
<b>Figure 16</b>	Mix de production dans le Smart World .....	41
<b>Figure 17</b>	Consommations finale et totale, Smart World vs statu quo.....	41
<b>Figure 18</b>	Développement du réseau de distribution dans le Smart World .....	42
<b>Figure 19</b>	Part de consommation propre dans le Smart World.....	42
<b>Figure 20</b>	Consommations finale et totale .....	50
<b>Figure 21</b>	Capacité d'importation hivernale .....	51
<b>Figure 22</b>	Mix de production .....	52
<b>Figure 23</b>	Développement nécessaire du réseau de distribution (renforcement inclus) sans dispositifs de stockage .....	54
<b>Figure 24</b>	Prévisions de la consommation d'électricité en Suisse .....	58
<b>Figure 25</b>	Besoin supplémentaire d'électricité dû à l'électrification de la chaleur et des transports par rapport à 2010 .....	58
<b>Figure 26</b>	Potentiel de développement escompté des énergies renouvelables .....	59
<b>Figure 27</b>	Prix des modules photovoltaïques d'ici 2035 .....	59
<b>Figure 28</b>	Évolution du coût des batteries d'ici 2030 .....	60
<b>Figure 29</b>	Degré d'auto-provisionnement en 2020 et en 2035 selon divers scénarios de demande .....	61
<b>Figure 30</b>	Multiplication par cinq du volume de données entre 2015 et 2020 .....	61

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1</b>	Cinq dimensions et 14 thèmes .....	17
<b>Tableau 2</b>	Trust World – les cinq dimensions et leurs accentuations .....	23
<b>Tableau 3</b>	Trade World – les cinq dimensions et leurs accentuations .....	29
<b>Tableau 4</b>	Local World – les cinq dimensions et leurs accentuations .....	36
<b>Tableau 5</b>	Smart World – les cinq dimensions et leurs accentuations .....	43
<b>Tableau 6</b>	Consommation finale.....	51
<b>Tableau 7</b>	Le mix de production en chiffres .....	53

# 10. Annexe

## Hypothèses relatives au mix de production et à la demande

**Généralités: les données du scénario «statu quo» et des univers énergétiques en 2035 se fondent sur les études suivantes:**

**Statu quo:** OFEN, Statistique suisse de l'électricité, 2016; OFEN, *Statistik erneuerbarer Energie*, 2014

**Demande 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012 (scénarios de l'AES 1 à 3, 2035 ou 2050)

**Production 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012 (scénarios de l'AES 1 à 3, 2035 ou 2050)

**Centrales nucléaires 2035:** hypothèse, centrale de Leibstadt sur le réseau en 2035 (oui/non)

**Centrales à gaz 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, calcul des heures d'exploitation d'après la différence entre la demande et la production restante

**Importations 2035:** calcul d'après la différence entre la demande et la production

**Capacités d'importation 2035:** Swissgrid, Réseau stratégique 2025, 2015 (p. 62; annexe 2, tableau A9)

**Réseaux de distribution 2035:** Consentec, Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze in der Schweiz, 2012, éd. AES (scénarios de l'AES 1 à 3, 2035 ou 2050)

• **AES 2012, scénario 1:** les objectifs modérément renforcés en matière de politique énergétique conduisent à une hausse de 25 % de la consommation d'électricité (2011-2050) et à une production de courant issu des énergies renouvelables d'environ 13 TWh en 2050. Les importations et les centrales à gaz à cycle combiné remplacent l'énergie nucléaire qui disparaît. En moyenne annuelle, quelque 23 % de l'approvisionnement provient de l'étranger.

• **AES 2012, scénario 2:** la politique énergétique plus volontariste, assortie de mesures d'efficacité renforcées, se traduit par une faible hausse de la consommation d'électricité (15 %) entre 2011 et 2050. Les énergies renouvelables augmentent d'environ 23 TWh à l'horizon 2050 – l'essentiel de la hausse intervenant après 2035. L'énergie nucléaire est remplacée par les importations, par les centrales à gaz à cycle combiné et, à partir de 2035, par les énergies renouvelables également. En 2050, quelque 70 % de la demande est couverte grâce à ces dernières. Les mesures de développement et de renforcement ont un impact sur le réseau de distribution, surtout après 2035.

• **AES 2012, scénario 3:** l'approvisionnement en électricité doit être assuré à 100 % par le biais des énergies renouvelables en 2050 (en se basant sur le bilan annuel). La consommation de courant diminue d'environ 7 % et le développement des énergies renouvelables se monte à quelque 32 TWh. Dans la mesure où cette hausse se produit surtout après 2035, les importations couvrent plus de 30 % de l'approvisionnement dans l'intervalle. Aucune

nouvelle installation de grande taille destinée à la production conventionnelle d'électricité n'est construite. Sur le réseau de distribution, des mesures de développement et de renforcement substantielles sont nécessaires.

• **Swissgrid 2015, scénario «On Track»:** le passage aux énergies renouvelables se déroule conformément aux prévisions de la Stratégie énergétique 2050. Les hypothèses relatives à la consommation et à l'évolution de l'environnement sont tirées du scénario «Nouvelle politique énergétique» des Perspectives énergétiques 2050. La capacité des installations photovoltaïques et éoliennes s'accroît d'environ 8,2 GW d'ici 2035. Les mesures d'efficacité engendrent une faible diminution de la consommation d'électricité.

• **Demande 2035:** les prévisions en matière de demande (AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur) sont nettement supérieures aux mesures actuelles (statu quo). Néanmoins, nous nous appuyons sur ces hypothèses dans le cadre des «univers énergétiques» car nous n'excluons pas une hausse importante de la demande d'électricité dans le **Trust World**, le **Trade World** et le **Smart World**, compte tenu de la substitution croissante des énergies fossiles, de la hausse des applications électroniques et de la croissance démographique et économique. Dans ces trois univers, la demande d'électricité est supérieure aux prévisions maximales pour 2035 de l'OFEN (2012). Pour le **Local World**, nous tablons en revanche sur une faible demande, inférieure aux prévisions minimales pour 2050 de l'OFEN (2012).

### Trust World

Dans cet univers énergétique, l'accent est mis sur la production nationale centralisée à grande échelle. Celle-ci repose principalement sur la force hydraulique et les centrales à gaz. Le développement des centrales hydroélectriques et la construction de nouvelles centrales à gaz sont nécessaires pour assurer l'autonomie de la Suisse. La production décentralisée, comme le photovoltaïque et l'éolien, n'est plus subventionnée et ne se développe pratiquement pas.

**Demande 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, évolution du scénario 1 2035

**Hydraulique 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 2050

**Photovoltaïque, éolien 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 1 2035

**Biomasse 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 2035

**Nucléaire 2035:** centrale nucléaire de Leibstadt raccordée au réseau (hypothèse)

**Importations 2035:** nulles, car la Suisse s'approvisionne majoritairement en autarcie

**CCF 2035:** aucune

**Centrales à gaz 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, huit blocs de 400 MW sont nécessaires (calcul basé sur la différence entre la demande et la production restante)

**Importations 2035:** nulles

**Capacité d'importation hivernale 2035:** aucune nouvelle construction

**Réseau de distribution 2035:** Consentec, Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze in der Schweiz, 2012, éd. AES, potentiel de nouvelles constructions du scénario 1 de l'AES 2035

## Trade World

Cet univers énergétique est axé sur le négoce (importations et exportations), ainsi que sur la construction de nouvelles centrales à gaz. La production décentralisée, comme le photovoltaïque et l'éolien, n'est plus subventionnée et ne se développe pratiquement pas. La production issue des centrales hydroélectriques diminue même de 20 %, car toutes les concessions ne sont pas renouvelées faute de rentabilité.

**Demande 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, évolution du scénario 1 2035

**Hydraulique 2035:** diminution de la production de 20 % par rapport au statu quo (hypothèse)

**Photovoltaïque, éolien, biomasse 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement

électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 1 2035

**Nucléaire 2035:** centrale nucléaire de Leibstadt raccordée au réseau (hypothèse)

**CCF 2035:** aucune

**Centrales à gaz 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, hypothèse de quatre blocs de 400 MW (associés aux importations, ils couvrent la demande)

**Importations 2035:** 20 TWh; associées aux centrales à gaz, les importations couvrent la demande (hypothèse)

**Capacité d'importation hivernale 2035:** Swissgrid, Réseau stratégique 2025, 2015

(annexe 2, tableau A9): potentiel de nouvelles constructions du scénario «On Track» 2035

**Réseau de distribution 2035:** Consentec, Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze in der Schweiz, 2012, éd. AES, potentiel de nouvelles constructions du scénario 1 de l'AES 2035

## Local World

Cet univers énergétique repose sur un approvisionnement en énergie national, décentralisé et respectueux de l'environnement. La demande est couverte grâce aux installations photovoltaïques, éoliennes, hydroélectriques et de biomasse. Des efforts considérables, soutenus par des subventions, sont donc nécessaires pour garantir le développement indispensable. Ils permettent d'atteindre dès 2035 le potentiel de nouvelles constructions envisagé pour 2050 dans «Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur». Les installations de couplage chaleur-force sont désormais exploitées également à l'aide de gaz renouvelable, en plus de la biomasse et de quelques combustibles fossiles. La demande diminue, à grand renfort de prescriptions. Le niveau de la demande envisagé pour 2050 dans les «Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur» peut être atteint dès 2035 grâce à ces dispositions.

**Demande 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, évolution du scénario 3 2050

**Hydraulique 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de construction de nouveaux dispositifs de stockage: scénario 3 2050; centrales au fil de l'eau: statu quo

**Photovoltaïque, éolien, biomasse 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 2050

**Nucléaire 2035:** centrale nucléaire de Leibstadt plus raccordée au réseau (hypothèse)

**CCF 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 2050

**Centrales à gaz 2035:** aucune

**Importations 2035:** nulles

**Capacité d'importation hivernale 2035:** aucune nouvelle construction

**Réseau de distribution 2035:** Consentec, Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze in der Schweiz, 2012, éd. AES, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 de l'AES 2035

## Smart World

Dans cet univers énergétique, les capacités des installations photovoltaïques et éoliennes augmentent beaucoup plus qu'escompté en raison de la diminution massive des coûts. On table donc sur le fait que le potentiel de nouvelles constructions envisagé pour 2050 dans «Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur» sera atteint dès 2035. La force hydraulique ne se développe pas.

**Demande 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, évolution du scénario 2 2035

**Hydraulique 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, statu quo

**Photovoltaïque, éolien, biomasse 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 2050

**Nucléaire 2035:** centrale nucléaire de Leibstadt plus raccordée au réseau (hypothèse)

**CCF 2035:** AES, Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur, 2012, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 2050

**Centrales à gaz 2035:** aucune

**Importations 2035:** 12,5 TWh; associées aux centrales à gaz, les importations couvrent la demande (hypothèse)

**Capacité d'importation hivernale 2035:** Swissgrid, Réseau stratégique 2025, 2015 (annexe 2, tableau A9): potentiel de nouvelles constructions du scénario «On Track» 2035

**Réseau de distribution 2035:** Consentec, Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze in der Schweiz, 2012, éd. AES, potentiel de nouvelles constructions du scénario 3 de l'AES 2050





## **IMPRESSUM**

### **Participants à l'établissement du rapport «Univers énergétiques» 2017**

Cornelia Abouri, Silvia Banfi Frost, Andreas Beer, Nadine Brauchli, Barbara Büchli, Philipp Dietrich, Wieland Hintz, Hans Jörg Meier, Stefan Muster

### **Participants au projet «Univers énergétiques»**

Cornelia Abouri, Silvia Banfi Frost, Andreas Beer, Nadine Brauchli, Barbara Büchli, Daniel Dähler, Philipp Dietrich, Hansjörg Gantner, Dieter Gisiger, Wieland Hintz, Silvan Kieber, Katrin Lindenberger, Niklaus Mäder, Hans Jörg Meier, Andrea Müller, Stefan Muster, Michael Paulus, Karl Resch, Konrad Rieder, Eberhard Röhm-Malcotti, Daniel Schalch, Cornelia Staub, Olivier Stössel, Jörg Wild, Stefan Witschi, Niklaus Zepf ainsi que les Commissions Économie énergétique et Questions réglementaires de l'AES.

### **Éditeur**

Association des entreprises électriques suisses (AES), Aarau

### **Conception**

aebi allenspach kommunikation, Waltenschwil

### **Graphique Univers énergétiques/illustrations**

C-Factor, Zurich et Eclipse Studios, Schaffhouse

### **Traduction**

cb service, Lausanne

### **Impression**

Jordi AG Medienhaus, Belp

### **© AES 2017**

Ce rapport est disponible en français et en allemand.

**Verband Schweizerischer  
Elektrizitätsunternehmen (VSE)**

Hintere Bahnhofstrasse 10  
Postfach  
5001 Aarau

Tel. +41 (0) 62 825 25 25  
Fax +41 (0) 62 825 25 26  
[www.strom.ch](http://www.strom.ch)  
[info@strom.ch](mailto:info@strom.ch)

**Association des entreprises  
électriques suisses (AES)**

Av. Louis-Ruchonnet 2  
1003 Lausanne

Tél. +41 (0) 21 310 30 30  
Fax +41 (0) 21 310 30 40  
[www.electricite.ch](http://www.electricite.ch)  
[info@electricite.ch](mailto:info@electricite.ch)

