



Univers énergétiques 2020

Le schéma de réflexion de l'AES pour l'approvisionnement énergétique de la Suisse du futur

Mise à jour de la Tendence 2035 de l'AES

Univers énergétiques 2020

Mise à jour de la «Tendance 2035 de l'AES»

Juillet 2020

Table des matières

1.	Résumé.....	2
2.	Pourquoi la «Tendance 2035 de l'AES»?	3
2.1	Dimension «Régulation/interventions étatiques».....	3
2.1.1	Facteur 1: encouragement des énergies renouvelables	5
2.1.2	Facteur 2: prescriptions en matière d'efficacité énergétique.....	5
2.1.3	Facteur 3: interventions sur les prix (électricité/CO ₂)	6
2.2	Dimension «Demande/flexibilisation»	6
2.2.1	Facteur 4: soutirage du réseau (électricité/gaz)	6
2.2.2	Facteur 5: consommation propre (niveau de la demande).....	7
2.2.3	Facteur 6: flexibilité (report de charge).....	7
2.3	Dimension «Approvisionnement centralisé/décentralisé»	8
2.3.1	Facteur 7: part de production décentralisée	8
2.3.2	Facteur 8: couplage des secteurs/convergence des réseaux	9
2.3.3	Facteur 9: batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	10
2.4	Dimension «Marchés/UE-CH»	11
2.4.1	Facteur 10: degré d'auto-alimentation CH (électricité/gaz)	11
2.4.2	Facteur 11: possibilités d'importation en hiver	11
2.4.3	Facteur 12: intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz).....	12
2.5	Dimension «Digitalisation».....	12
2.5.1	Facteur 13: capteurs et connectivité.....	12
2.5.2	Facteur 14: évaluation des données, échange des données et analyses	13
2.5.3	Facteur 15: services numériques.....	13
3.	Vue d'ensemble: évaluations concernant les différents facteurs	14
4.	Sources	19

1. Résumé

La décarbonation du secteur de l'énergie suisse s'intensifie avec la poursuite de l'objectif de zéro émission nette. Compte tenu de la législation actuelle, de l'évolution technique et de la réalité sociale, la Suisse devrait développer essentiellement les installations photovoltaïques.

Si la Suisse atteint l'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050, elle enregistrera probablement une forte augmentation de la demande d'électricité. Or, une consommation d'électricité croissante et la sortie du nucléaire vont de pair avec des lacunes de production accrues en hiver. De plus, dans un futur proche, le couplage des secteurs ne contribuera que de façon limitée à la compensation des creux hivernaux. La clé de la sécurité d'approvisionnement est une production domestique suffisante, assurée par de grandes et de petites centrales.

Selon les conclusions du programme national de recherche «Virage énergétique» (PNR 70), dans les conditions-cadre actuelles, le marché à lui seul *ne permet pas* de déclencher les investissements nécessaires pour développer les énergies renouvelables, qui ont toujours besoin d'un soutien financier. Le photovoltaïque et l'hydraulique seront probablement les principales technologies de production d'électricité utilisées en Suisse en 2035.

Concernant l'intégration de la Suisse dans l'Europe, l'absence d'accord sur l'électricité présente plusieurs inconvénients. Sans un tel accord, la stabilité du réseau helvétique et l'activité commerciale se dégradent. La Suisse est en ce moment successivement exclue des organes et des plateformes du marché de l'électricité de l'UE, ce qui occasionne des coûts supplémentaires.

Ces évolutions, notamment la situation de plus en plus critique de la sécurité d'approvisionnement, l'importance croissante que revêt la production domestique et l'absence d'accord sur l'électricité avec l'UE, conduisent à un décalage vers le Local World et le Trust World. La poursuite de l'encouragement des énergies renouvelables est une caractéristique supplémentaire du Local World.

Désormais, l'axe prioritaire du Smart World, univers de plus en plus décentralisé, numérisé et axé sur le marché, est beaucoup moins net. Le Local World, univers domestique et digitalisé, de plus en plus décentralisé lui aussi, soutenu par l'État et régulé, le suit de près. Ces deux univers sont favorisés par la politique climatique de la Suisse et par la décarbonation qui en découle.

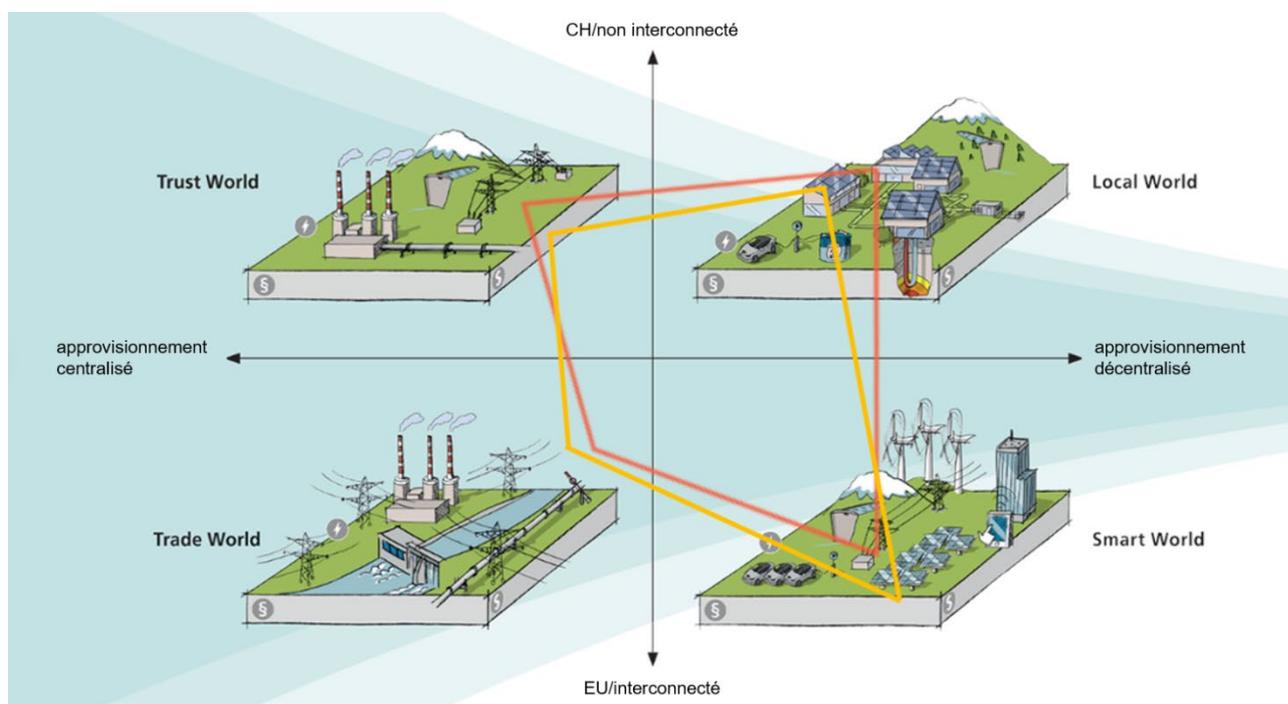


Figure 1: «Tendance 2035 de l'AES» (état au mois de juillet 2020). Ligne orange: estimation 2020, ligne jaune: estimation 2019.

2. Pourquoi la «Tendance 2035 de l'AES»?

La «Tendance 2035 de l'AES» décrit l'univers énergétique qui semble le plus plausible pour l'avenir compte tenu des informations actuellement disponibles. La révision périodique de la «Tendance de l'AES» permet d'identifier les récentes évolutions aux niveaux économique, politique et réglementaire, politique qui ont des effets à long terme sur le futur univers énergétique. La dernière réévaluation de la tendance a eu lieu en juillet 2019.

2.1 Dimension «Régulation/interventions étatiques»

Évolutions réglementaires

Compte tenu des nouvelles conclusions du GIEC, en août 2019, le Conseil fédéral a décidé de durcir l'objectif climatique de la Suisse. D'ici à 2050, le pays ne devra pas rejeter dans l'atmosphère plus de gaz à effet de serre que ce que les réservoirs naturels et techniques sont capables d'absorber (objectif zéro émission nette). Cette décision va de pair avec une intensification de la décarbonation. Cet objectif climatique durci implique que les installations de production d'électricité centralisées et décentralisées utilisent principalement des sources d'énergie renouvelables. Compte tenu de la législation actuelle, de l'évolution technique et de la réalité sociale, la Suisse devrait développer essentiellement les installations photovoltaïques à l'avenir.

Afin de mettre en œuvre les exigences de l'Accord de Paris sur le climat, une révision totale de la Loi sur le CO₂, qui définit le cadre de la politique climatique jusqu'en 2030, est en cours. Le résultat des délibérations parlementaires n'est pas encore connu, mais de premières orientations se dégagent. Les importateurs de

véhicules, par exemple, devront remplir des objectifs plus stricts pour les parcs de véhicules neufs. Ils seront ainsi tenus de vendre des véhicules de plus en plus efficaces. Dans le domaine du transport aérien, une nouvelle taxe sur les billets d'avion est prévue pour les vols publics et les vols privés (gros avions). Cette taxe incitative serait comprise entre 30 et 120 francs par vol. Ces taxes pourraient être versées pour moitié à un nouveau fonds pour le climat. Si les objectifs de réduction ne sont pas remplis dans le secteur du bâtiment, le plafond de la taxe actuelle sur le CO₂ perçue sur les combustibles sera relevé de 120 francs par tonne de CO₂ à 210 francs par tonne maximum. En outre, pour les bâtiments, à partir de 2023 au plus tôt, une valeur limite d'émissions devrait être introduite au niveau national et s'appliquerait en cas de renouvellement du système de chauffage. Ainsi, les chauffages au mazout ou au gaz ne pourront plus être installés que dans des bâtiments très efficaces (OFEV, 2019).

Dans le secteur de l'électricité, les exploitants d'installations de couplage chaleur-force (CCF) sont d'ores et déjà assujettis à la taxe sur le CO₂. Les possibilités de récupération de cette taxe pour les installations de CCF commandées par production de chaleur sont maintenues dans la nouvelle Loi sur le CO₂. Pour les centrales thermiques fossiles, telles que les centrales à gaz à cycle combiné (CCC), un nouveau système est entré en vigueur dès le 1^{er} janvier 2020 dans le cadre du couplage des systèmes d'échange de quotas d'émission de la Suisse et de l'Union européenne. Désormais, ces centrales n'ont plus d'obligation de compensation, mais sont soumises au système d'échange de quotas d'émissions. Il existe toutefois un prix plancher permettant de récupérer la taxe sur le CO₂ dans un cadre très restreint, qui conduit de facto à une double charge: les centrales thermiques fossiles paient non seulement le prix du CO₂ pour le certificat de l'UE (jusqu'ici 30 francs par tonne de CO₂ maximum), mais également une partie de la taxe de CO₂.

Les mesures et les modifications proposées dans la Loi sur le CO₂ visent à créer des incitations à des investissements dans des technologies plus efficaces et durables dans tous les secteurs (bâtiment, mobilité, électricité) ainsi qu'à induire un comportement plus respectueux du climat de la part des acteurs.

Le Clean Energy Package (CEP), entré en vigueur au sein de l'Union européenne début 2020, est un dispositif législatif européen sur la politique énergétique et climatique. Il fixe les règles du jeu sur le marché intérieur européen de l'électricité en vue de la satisfaction des exigences de l'Accord de Paris sur le climat. La régulation des prix devrait être supprimée et les consommateurs devraient pouvoir participer davantage au marché. La part des énergies renouvelables dans le mix d'énergie devrait atteindre 32% d'ici à 2030. Dans les secteurs du bâtiment et des transports, la part des énergies renouvelables doit être augmentée par voie d'encouragement. La neutralité climatique visée par l'UE d'ici 2050 doit être ancrée dans la première Loi européenne sur le climat (Green Deal). Dans les années qui viennent, la Commission européenne entend prendre des mesures pour réduire les émissions dans les deux secteurs précités. Elle souhaite par ailleurs abandonner la production d'électricité à partir de charbon et mise sur les énergies renouvelables comme source de substitution. Elle entend également renforcer les instruments de financement verts. Si la Suisse n'a pas conclu d'accord sur l'électricité avec l'UE pour le moment, le CEP et le futur Green Deal auront un impact sur notre pays, notamment au niveau du marché et du réseau de transport.

La révision de la Loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEI) et de la Loi sur l'énergie (LEne) doivent contribuer à la garantie de la sécurité d'approvisionnement et au développement des énergies renouvelables. Il s'agit aussi d'encourager l'implication accrue des clients finaux dans les innovations du marché. La consultation relative à la révision de la LApEI a pris fin en janvier 2019. Le projet comprend l'ouverture complète du marché de l'électricité et la constitution d'une réserve de stockage garantissant la sécurité d'approvisionnement à court terme. Il prévoit aussi une obligation d'appel d'offres pour le développement de la production domestique d'électricité de source renouvelable en cas de menace pesant sur la sécurité

d'approvisionnement, ainsi qu'une adaptation du cadre réglementaire pour les réseaux électriques. Le projet de révision de la LEne a quant à lui été mis en consultation en avril 2020 et comprend des valeurs indicatives et cibles contraignantes pour le développement des énergies renouvelables et de l'hydraulique. Les instruments de soutien en place jusqu'en 2030 doivent par ailleurs être prolongés de cinq ans. Les fonds d'encouragement seront par ailleurs partiellement attribués par voie d'enchères. Des mesures complémentaires sont prévues si le développement visé n'est pas atteint.

Le marché suisse du gaz est actuellement régi de façon sommaire par la Loi sur les installations de transport par conduites (LITC). En février 2020, la consultation relative à une nouvelle Loi sur l'approvisionnement en gaz (LApGaz) s'est achevée. Cette réglementation spécifique vise à instaurer une certaine sécurité juridique. La LApGaz prévoit une ouverture partielle du marché. L'avenir de l'approvisionnement en gaz devrait être régi, outre par la LApGaz, essentiellement par la législation sur le CO₂ et les législations cantonales sur l'énergie (MoPEC).

2.1.1 Facteur 1: encouragement des énergies renouvelables

Selon les conclusions du programme national de recherche «Virage énergétique» (PNR 70), dans les conditions-cadre actuelles, le marché à lui seul ne permet pas de déclencher les investissements nécessaires pour développer les énergies renouvelables (PNR, 2020a).

Des mesures complémentaires restent requises. Dans ce cadre, il convient de privilégier l'incitation à l'encouragement. Là aussi, les conclusions du PNR 70 vont dans le même sens. Le système incitatif en matière climatique et énergétique (SICE) devait initialement permettre le passage du système d'encouragement au système d'incitation. Politiquement cependant, il n'a eu jusqu'ici aucune chance, et aucune nouvelle démarche en faveur de l'introduction d'un tel système n'est prévue à ce jour.

Les énergies renouvelables ont donc toujours besoin d'un soutien financier (PNR, 2020a). L'hydraulique notamment, qui constitue le pilier de l'approvisionnement en électricité en Suisse, attend encore des mesures. Une production domestique adaptée est décisive pour la sécurité d'approvisionnement. Seule une sécurité suffisante des investissements permettra de déclencher les investissements nécessaires dans les installations actuelles et le développement de la production domestique.

2.1.2 Facteur 2: prescriptions en matière d'efficacité énergétique

Dans les domaines de la mobilité, du bâtiment et de l'industrie, les mesures relatives à l'efficacité énergétique sont transposées via la Stratégie énergétique 2050, le modèle de prescriptions énergétiques des cantons dans le domaine énergétique (MoPEC) et la Loi sur le CO₂. Des conventions d'objectifs avec l'industrie sont également utiles. Toutes ces mesures d'efficacité énergétique sont nécessaires et performantes. La demande d'électricité continuera cependant à augmenter fortement avec l'électrification croissante (cf. facteur 4).

Le MoPEC est mis en œuvre dans huit cantons dans le cadre fixé par la législation cantonale sur l'énergie. Il en est à la phase de délibérations parlementaires dans sept cantons, à la phase pré-parlementaire dans neuf autres. Le peuple a rejeté le projet dans deux cantons (EnDK, 2020).

Les valeurs des émissions de CO₂ des véhicules seront de plus en plus strictes et alignées sur les niveaux de l'UE. À partir de 2020, une valeur de limite de 95 g de CO₂/km s'applique à tous les véhicules de tourisme nouvellement immatriculés. Cela crée des incitations pour l'industrie automobile, notamment à mettre davantage de véhicules électriques en circulation.

2.1.3 Facteur 3: interventions sur les prix (électricité/CO₂)

Depuis le 1^{er} janvier 2020, le système suisse d'échange de quotas d'émission est couplé avec celui de l'UE. Les entreprises suisses ont ainsi accès à un marché d'échange de quotas d'émissions plus vaste et plus liquide. Avec ce couplage, à partir de janvier 2020, les émissions de CO₂ des centrales fossiles et de l'aviation civile seront prises en compte dans le SEQE suisse. Les acteurs suisses ont ainsi accès à un marché d'échange de quotas d'émissions liquide. Les prix du CO₂ ont augmenté ces dernières années, notamment grâce aux corrections requises intervenues dans le cadre du système d'échange, les certificats excédentaires ayant été retirés du système (*Market Stability Reserve*). Pour pouvoir réaliser davantage les objectifs climatiques avec des instruments de marché, d'autres ajustements du système sont nécessaires: le système d'échange de quotas d'émissions doit être élargi à tous les secteurs – et l'attribution des certificats adaptée aux évolutions technologiques.

Avec une ouverture complète du marché d'ici à 2035, la régulation des prix de l'électricité pour les clients finaux devrait généralement être réduite.

2.2 Dimension «Demande/flexibilisation»

2.2.1 Facteur 4: soutirage du réseau (électricité/gaz)

Dans le contexte de la décarbonation, l'électrification croissante entraînera une augmentation de la consommation d'électricité. Les rapports «Univers énergétiques» 2019 et 2018 tablent sur une demande de 70 TWh en 2035 (+12 TWh par rapport à 2018).

L'EMPA estime que la consommation d'électricité pourrait atteindre quelque 72 TWh si les trois quarts des besoins des ménages sont couverts par des pompes à chaleur électriques et si 20% du kilométrage automobile total étaient parcourus avec des véhicules électriques (Rüdisüli, Teske, & Elber, 2019).

Dans son étude sur l'adéquation du système électrique (*System Adequacy*), l'OFEN envisage quant à lui un scénario d'électrification accrue s'accompagnant d'une demande d'électricité d'environ 82 TWh en 2035 (OFEN, 2020).

Si l'objectif de zéro émission nette est atteint en 2050, l'augmentation de la demande d'électricité devrait être encore plus marquée.

Avec une part actuelle de 13,5% dans la consommation totale d'énergie, le gaz reste une source d'énergie majeure à court et à moyen terme, notamment durant la phase de transition. Le gaz naturel devra cependant être remplacé progressivement par le biogaz et le gaz renouvelable. Pour réussir le couplage des secteurs, une infrastructure de réseau gazier reste nécessaire.

2.2.2 Facteur 5: consommation propre (niveau de la demande)

La chute des prix des installations de production et des accumulateurs décentralisés, la reconduction des mesures d'encouragement et la régulation, qui favorise la consommation propre, se traduiront par une augmentation des prosumers.

L'entrée en vigueur de la nouvelle Loi sur l'énergie et de l'Ordonnance sur l'énergie le 1^{er} janvier 2018 a créé la possibilité d'une consommation propre sur plusieurs parcelles contiguës. Cette consommation propre peut être réalisée via le modèle de pratique des gestionnaires de réseau de distribution comme via la possibilité de regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP) nouvellement créée. Les communautés d'autoconsommateurs favorisent indirectement les énergies renouvelables dans la mesure où elles augmentent la part de consommation propre et améliorent ainsi la rentabilité des installations photovoltaïques.

L'augmentation de la production propre entraîne une baisse de la fourniture d'énergie par le réseau. Du fait de la part élevée du tarif de travail dans le tarif réseau, dans le cas des communautés d'autoconsommateurs, les coûts du réseau seront répercutés sur les consommateurs finaux non producteurs. En cas de faible ensoleillement, notamment en hiver, ces communautés d'autoconsommateurs continueront à saturer le réseau et généreront des coûts identiques. À l'avenir, les prix du réseau doivent être fixés en fonction de la charge effective du réseau.

2.2.3 Facteur 6: flexibilité (report de charge)

Une utilisation ciblée de la flexibilité représente l'un des facteurs de succès de la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050. L'utilisation du potentiel de la flexibilité par tous les utilisateurs du réseau est la condition sine qua non pour une transition vers un approvisionnement plus décentralisé et une intégration efficace des énergies renouvelables (AES, 2019a). Elle passe par une utilisation de la flexibilité dans l'intérêt du marché, axée sur les besoins du réseau et en faveur du système.

En raison de l'augmentation croissante de la part des énergies renouvelables, notamment du photovoltaïque, il faut s'attendre à des fluctuations en matière d'injections.

Sur les marchés de l'électricité, les conditions météorologiques créeront d'une part des excédents, d'autre part des situations de pénurie. Le besoin d'une utilisation de la flexibilité dans l'intérêt du marché augmente.

Les congestions devraient être plus nombreuses sur les réseaux de distribution. Pour les maîtriser, les gestionnaires de réseau doivent miser sur l'optimisation et le renforcement du réseau, ainsi que sur la construction de nouvelles conduites. À titre d'alternative, ils peuvent aussi recourir à la flexibilité des consommateurs, des producteurs et des accumulateurs pour supprimer les congestions rapidement et à moindre coût (PNR, 2020a).

Côté consommateurs, les véhicules électriques, les pompes à chaleur et les installations photovoltaïques (*peak shaving*) combinées avec des batteries représenteront à l'avenir un potentiel de flexibilité important. Pour pouvoir l'exploiter, il faut non seulement réunir les conditions techniques nécessaires, mais aussi supprimer les barrières régulatrices (p. ex. solution reposant sur l'interdiction expresse du consommateur, ou *opt-out*) et créer de nouveaux modèles tarifaires (AES, 2019a).

2.3 Dimension «Approvisionnement centralisé/décentralisé»

2.3.1 Facteur 7: part de production décentralisée

Le photovoltaïque et l'hydraulique seront probablement les principales technologies de production d'électricité utilisées en Suisse en 2035 (cf. tableau 1). Une récente étude de l'EPFL confirme le potentiel élevé du photovoltaïque. Offrant des coûts de production compris entre 10 et 12 ct./kWh (100 kW et plus), il constitue d'ores et déjà une des technologies les plus économiques (Bauer et al., 2019).

Le photovoltaïque ne représente pas uniquement des installations décentralisées. La première centrale solaire flottante au monde a ainsi été installée sur le lac des Toules, en Valais. Ce projet pilote de Romande Energie devrait permettre de desservir 200 foyers par an. Le photovoltaïque en milieu alpin pourrait lui aussi jouer un rôle important. Par rapport aux terrains plats, l'intensité du rayonnement solaire est supérieure dans les montagnes, où le brouillard est aussi plus rare. Qui plus est, la neige réfléchit la lumière du soleil. Ces installations permettent ainsi de produire plus d'électricité en hiver. La recherche énergétique a démontré que ces projets remportaient une plus forte adhésion lorsque les installations sont construites à l'emplacement d'infrastructures existantes (Vuichard & Stauch, 2020).

Le développement du photovoltaïque génère des excédents importants en été, ce qui crée une pression supplémentaire sur les prix de l'électricité durant les mois concernés. Un développement intensif du photovoltaïque concurrencera l'hydraulique, notamment les centrales au fil de l'eau. Les difficultés de financement rencontrées par l'hydraulique peuvent de ce fait s'accroître. Le maintien et le développement de cette dernière reposent sur la sécurité de la planification et de l'investissement. Les chercheurs recommandent par ailleurs la mise en place d'une redevance hydraulique souple et liée aux revenus (PNR, 2020c).

Malgré la décentralisation croissante de l'approvisionnement en énergie, l'hydraulique suisse continuera à jouer un rôle important en 2035. Elle peut ainsi contribuer de manière significative à la production hivernale. Les incitations aux investissements dans l'hydraulique (travaux de modernisation, extensions et nouvelles installations) sont cependant insuffisantes actuellement.

Selon une estimation récente de l'OFEN, le potentiel de développement de ce secteur serait réduit de moitié (OFEN, 2019a)¹. Cette réduction s'explique par le plus faible potentiel de la petite hydraulique, en raison du caractère provisoire du système de rétribution du courant injecté, ainsi que par les pertes de production importantes induites par les dispositions sur les débits résiduels. L'évolution de ce potentiel dépendra essentiellement de celui des conditions-cadre de l'hydraulique domestique. L'OFEN table sur une production comprise entre 35,9 TWh et 37,5 TWh en 2035 (cf. tableau 1). Le dernier chiffre ne peut être atteint que dans des conditions optimisées.

L'énergie éolienne ne devrait pas jouer un rôle majeur d'ici à 2035. De même, il ne faut pas compter sur la production d'électricité géothermique dans les 15 prochaines années (Bauer et al., 2019).

¹ De 3160 GWh à 1560 GWh

Étude / Année / TWh	Toitures photo-voltaïques	Façades photo-voltaïques	Hydraulique	Éolien	Géothermie
	2035	2035	2035	2035	2035
PSI, Bauer et al. 2019	24,6	5,6	37,6 – 39,2	0,7– 1,7	0
OFEN, Toit solaire	50	17			
EPFL, Scartezzini et al. 2020	24				
OFEN, System Adequacy 2020	17			0,7	
R. Nordmann, Le plan solaire et climat, 2019	45				
OFEN, Potentiel hydroélectrique de la Suisse 2019			35,9 – 37,5		

Tableau 1: Potentiel durablement exploitable à l'horizon 2035 en TWh/a pour les technologies sélectionnées. L'estimation du potentiel du PSI (Bauer et al. 2019) concerne la période 2035-2050. L'étude de l'OFEN sur le potentiel hydroélectrique (2019) formule quant à elle des estimations pour l'année 2050. En 2018, l'électricité éolienne représentait 0,132 TWh, contre 1,68 TWh pour le photovoltaïque et 37,5 TWh pour l'hydraulique.

2.3.2 Facteur 8: couplage des secteurs/convergence des réseaux

Le couplage des secteurs jouera un rôle majeur dans le futur système énergétique dans l'optique de la réalisation des objectifs climatiques, compte tenu de l'électrification croissante et des besoins de flexibilité à court terme et saisonnière. La production d'électricité de sources renouvelables et intermittentes réclamera à l'avenir plus de flexibilité et de dispositifs de stockage. Le couplage de systèmes énergétiques crée un énorme potentiel de flexibilité.

Pour pouvoir exploiter pleinement le potentiel du couplage des secteurs, les politiques doivent s'emparer davantage du sujet, et les questions énergétiques doivent être considérées de manière globale dans les bases légales.

Le couplage des secteurs peut contribuer à œuvrer en faveur de la décarbonation en remplaçant les agents énergétiques fossiles mobilisés pour le chauffage des bâtiments (pétrole, gaz) et la mobilité (essence, diesel) par de l'électricité de source renouvelable, par exemple en modifiant les réseaux existants. Les coûts de ces modifications sont non négligeables et doivent être pris en compte.

Selon une étude de l'EMPA, le développement du photovoltaïque sur 50% des toitures adaptées générerait un excédent de courant de 7,4 TWh l'été (Rüdisüli et al., 2019). L'exportation de ces excédents vers les pays voisins étant très vraisemblablement exclue, compte tenu du développement du photovoltaïque sur place, les systèmes «power-to-gas» revêtent un rôle important. Les excédents peuvent ainsi être exploités de façon intersectorielle, par exemple dans le domaine de la mobilité à l'hydrogène.

Dans un futur proche, le couplage des secteurs ne devrait cependant contribuer que de façon limitée à la compensation des creux hivernaux ou à la réduction de la dépendance vis-à-vis des autres pays. Cela s'explique par les coûts élevés du «power-to-X(-to-power)» et par le manque de possibilités de stockage saisonnier du gaz en Suisse. Pour assurer l'approvisionnement durant le semestre hivernal, il est nécessaire de mettre au point une solution combinant développement de la production domestique, sécurisation des importations, couplage des secteurs et mesures d'économie d'énergie (AES, 2019b).

L'augmentation de la part de marché des véhicules électriques est tributaire de la généralisation du modèle, du développement des infrastructures de recharge et des conditions-cadre. Le durcissement des prescriptions en matière d'émissions des véhicules neufs a un impact positif en termes de part de marché. D'ici 2035, le coût des batteries des véhicules électriques devrait être encore divisé par deux. Selon une estimation récente², la part des véhicules «enfichables» (véhicules électriques à batterie et hybrides rechargeables) dans le parc total de véhicules atteindra près de 40% en 2035 (EBP, 2020). Les véhicules à hydrogène à pile combustible pâtissent quant à eux du manque de choix et d'infrastructures de recharge. Début 2020, les deux premières stations à hydrogène de Suisse ont été mises en service. Cinq autres sont programmées. Une utilisation à plus grande échelle des véhicules à hydrogène à pile combustible est plus envisageable pour les camions et les cars que pour les voitures de tourisme. Compte tenu de l'objectif climatique de zéro émission nette, sur les véhicules hybrides, les piles combustibles à hydrogène devraient rapidement remplacer les moteurs à combustion (EBP, 2020).

Actuellement, les coûts des produits «power-to-X» sont encore élevés. L'utilisation d'une électricité peu onéreuse est donc un facteur de compétitivité majeur pour ces produits. De plus, ces derniers peuvent être écoulés sur différents marchés. Les innovations et la recherche devraient donc entraîner une baisse des coûts de ces produits (Kober et al., 2019).

2.3.3 Facteur 9: batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur

Compte tenu de la production croissante d'énergie électrique de sources renouvelables et des pics de puissance accrus liés à l'utilisation de stations de recharge rapide, les dispositifs de stockage utilisant des batteries jouent un rôle de plus en plus important. Des recherches sur des technologies de stockage très diverses sont en cours. L'accumulateur au lithium-soufre, qui offre une autonomie élevée, devrait ainsi avoir le vent en poupe (Monash University, 2020). Ces dix dernières années, le coût des batteries au lithium-ion a fortement chuté et devrait être encore plus abordable à l'avenir (BloombergNEF, 2019).

Les dispositifs de stockage seront dotés d'une capacité supérieure en 2035. Il est cependant difficile de désigner un favori pour le moment. Les systèmes à pompage-turbinage devraient rester largement majoritaires.

² Cette estimation repose sur l'hypothèse d'une entrée en vigueur du projet actuel de Loi sur le CO₂ et d'une baisse continue des valeurs d'émissions visées, du lancement de programmes de soutien aux infrastructures de recharge à domicile et sur le lieu de travail – et d'une importance croissante du facteur écologique dans les décisions d'achat.

Les accumulateurs de chaleur saisonniers peuvent jouer un rôle important dans le futur système énergétique. L'été, ils transfèrent l'énergie solaire excédentaire, l'hiver la chaleur inutilisée des centres d'incinération de déchets. Ce type d'accumulateur contribue à couvrir les besoins en chaleur l'hiver avec des énergies renouvelables domestiques. Dans le cadre d'un projet pilote, la société Energie Wasser Bern étudie la faisabilité technique d'un «accumulateur géothermique». L'énergie, stockée à 200-500 mètres de profondeur, peut être réinjectée l'hiver dans le réseau de chauffage à distance.

2.4 Dimension «Marchés/UE-CH»

2.4.1 Facteur 10: degré d'auto-provisionnement CH (électricité/gaz)

Le 20 décembre 2019, la centrale de Mühleberg fut la première des cinq centrales nucléaires suisses à être arrêtée pour des motifs économiques. Cette mise à l'arrêt accroît la dépendance vis-à-vis des importations en hiver, le développement des énergies renouvelables ne pouvant pas compenser la sortie de l'énergie nucléaire.

Le degré d'auto-provisionnement décrit la part de la production nationale nette dans la consommation nationale. Sans mesures complémentaires d'ici à 2035, il chutera à environ 60% en hiver (cf. rapport Univers énergétiques 2019).

Or, une consommation d'électricité croissante et la sortie du nucléaire vont de pair avec des lacunes de production accrues en hiver. Dans un futur proche, le couplage des secteurs ne contribuera que de façon limitée à la compensation des creux hivernaux (cf. facteur «Couplage des secteurs»).

La clé de la sécurité d'approvisionnement est une production domestique suffisante, assurée par de grandes et de petites centrales. Elle réclame des incitations au maintien et à un développement programmé de l'hydraulique ainsi qu'au développement des énergies renouvelables (le photovoltaïque notamment). Il convient de mettre l'accent sur les incitations à une production de source renouvelable en hiver.

Il n'est pas exclu que les creux de production hivernaux doivent être compensés par le développement des centrales à gaz et des CCF. À moyen et à long terme, dans la mesure du possible, le gaz fossile devra être remplacé par du gaz renouvelable.

2.4.2 Facteur 11: possibilités d'importation en hiver

En Allemagne, le projet de loi sur la sortie du charbon a été adopté par le Conseil des ministres. Le pays abandonnera en effet le charbon au plus tard en 2038. La France entend ramener la part de l'énergie nucléaire de 75 à 50% d'ici à 2035. Une puissance moins pilotable en Europe signifie aussi de plus faibles exportations potentielles vers notre pays. En association avec la consommation croissante d'électricité en Suisse et à l'étranger, la réduction de la puissance garantie complique la fiabilité des importations d'électricité.

La sortie du nucléaire de la Suisse signifie une nette augmentation du volume des importations nécessaires durant le semestre hivernal. L'EMPA³ évalue ce volume à 13,7 TWh, soit 23% de la consommation annuelle actuelle (Rüdisüli et al., 2019). Selon l'EICom, toutefois, il ne dépasserait pas 10 TWh (EICom, 2020). L'expérience tirée de l'hiver 2016-2017 a démontré que la situation pouvait être temporairement très tendue avec un volume des importations nécessaires atteignant 10 TWh coïncidant avec une capacité d'exportation restreinte des pays voisins.

2.4.3 Facteur 12: intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)

Un accord sur l'électricité est négocié avec l'UE depuis 2007. Il s'agit ainsi de l'une des plus longues phases de négociation entre l'UE et la Suisse. L'absence d'accord sur l'électricité présente plusieurs inconvénients. En effet, sans accord à ce sujet, la stabilité du réseau helvétique et l'activité commerciale se dégradent. La Suisse est actuellement successivement exclue des organes et des plateformes du marché de l'électricité de l'UE, ce qui occasionne des coûts supplémentaires.

Une récente étude du PNR 70 indique que l'absence d'accord sur l'électricité nuira à la sécurité d'approvisionnement à long terme en augmentant la probabilité d'apparition de congestions et en nuisant aux échanges transfrontaliers. Un accord sur l'électricité est très important pour la Stratégie énergétique 2050, la réalisation des objectifs climatiques et l'approvisionnement en énergie. L'absence d'un tel accord signifie également des investissements accrus dans la sécurité d'approvisionnement, des prix de gros plus élevés et moins d'exportations de l'hydroélectricité (Paul van Baal et al., 2019).

La conclusion d'un accord sur l'électricité est soumise à un consensus politique sur l'accord-cadre, qui n'a pas encore été trouvé.

2.5 Dimension «Digitalisation»

2.5.1 Facteur 13: capteurs et connectivité

Des capteurs et une connectivité de plus en plus abordables, des puissances de calcul disponibles considérables et les possibilités en matière d'intelligence artificielle sont ici les facteurs déterminants. Il en découle bon nombre de tendances actuelles, comme l'Internet des objets (IdO), le big data, l'économie des plateformes, la blockchain ou encore l'intelligence artificielle (AES, 2020).

De nombreux équipements sont déjà connectés à Internet et transmettent des données en continu et en temps réel.

La digitalisation est l'une des conditions sine qua non pour une intégration économique et adaptée au marché des fournisseurs d'énergie décentralisés ainsi que pour une exploitation efficace du réseau, stockage compris (PNR, 2020b).

La dépendance croissante aux TIC augmente néanmoins l'exposition aux cyberrisques et aux risques en cascade.

³ Cette estimation de l'EMPA repose sur les hypothèses suivantes: 20% du kilométrage total parcouru effectués avec des véhicules à batterie, remplacement de 80% des systèmes de chauffage fossiles et de 50% des systèmes à eau chaude par des pompes à chaleur après rénovation énergétique, réalisation de 50% du potentiel du photovoltaïque d'après toitsolaire.ch et arrêt des centrales nucléaires.

2.5.2 Facteur 14: évaluation des données, échange des données et analyses

La gestion des données joue un rôle crucial dans le monde énergétique numérisé. Il faut gérer un volume immense de données, mais aussi l'accès à ces dernières, garantir leur sécurité et en particulier protéger les données personnelles (AES, 2020).

Le volume croissant de données peut conduire à une augmentation de l'efficacité et de la productivité de processus clés de l'approvisionnement en énergie (maintenance prédictive, par exemple). Des points névralgiques du réseau sont ainsi identifiés ou anticipés, ce qui permet d'optimiser la programmation de l'entretien et de l'extension des niveaux de réseau inférieurs.

Les capteurs installés dans les appareils de consommation, ainsi que dans les installations de production et réseau génèrent un volume conséquent de données. En 2035, ce dernier est considérablement accru. La vitesse de production et de traitement des données, mais aussi leur diversité, sont plus élevées. L'analyse des données va elle aussi croissant.

2.5.3 Facteur 15: services numériques

La digitalisation permettra à de nouveaux modèles d'affaires de s'imposer, notamment l'économie du partage (p. ex. dans la mobilité). Les start-up et les acteurs étrangers au secteur, parfois mondiaux, produisent de nombreuses innovations qui modifient le modèle économique actuel de manière significative. Les coopérations encouragent la force et la vitesse d'innovation (AES, 2020).

Les bâtiments intelligents apportent un potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique. Un pilotage prévisionnel du chauffage, de la climatisation et de la ventilation peut en effet réduire la consommation énergétique. Des algorithmes d'apprentissage (*machine learning*, IA) reconnaissent automatiquement les appareils vieillissants et inefficaces et proposent au client de nouveaux équipements. Ils reconnaissent aussi l'occupation du bâtiment et adaptent automatiquement le pilotage de ses éléments techniques. Dans ce domaine, de nombreux acteurs étrangers au secteur ont pu intervenir dans le secteur de l'énergie.

La digitalisation favorise la constitution de centrales virtuelles. Les centrales virtuelles et leur pilotage automatique sont un instrument significatif pour la réussite de la stratégie énergétique.

Les EAE vont étendre leurs tâches aux services numériques tels que la maintenance prédictive.

3. Vue d'ensemble: évaluations concernant les différents facteurs

Facteurs	Évaluation 2019	Évaluation 2020
Dimension «Régulation/interventions étatiques»		
Encouragement des énergies renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de l'encouragement en raison de prix plus bas. - Prix plus élevés pour l'électricité/le CO₂ malgré tout nécessaires au développement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le marché à lui seul ne suffit pas à lancer le développement souhaité des énergies renouvelables. - Encouragement toujours nécessaire dans les conditions-cadre actuelles. - La Confédération prévoit de reconduire les instruments de soutien jusqu'en 2035. ➔ Décalage vers le Local World.
Prescriptions en matière d'efficacité énergétique	<ul style="list-style-type: none"> - Prescriptions plus strictes (notamment pour le CO₂) dans les domaines du bâtiment, de l'industrie et de la mobilité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prescriptions plus strictes en matière d'efficacité énergétique et de CO₂ dans les domaines de la mobilité, du bâtiment, de l'industrie.
Interventions sur les prix (électricité/CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Interventions réduites sur les prix pour les clients finaux du fait de l'ouverture du marché. - Prix du CO₂ dépendant de la loi et du SEQE-UE. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interventions réduites sur les prix pour les clients finaux du fait de l'ouverture du marché. - Système suisse d'échange de quotas d'émission de CO₂ couplé avec celui de l'UE.

Facteurs	Évaluation 2019	Évaluation 2020
Dimension «Demande/flexibilisation»		
Soutirage du réseau (électricité/gaz)	<ul style="list-style-type: none"> - Demande d'électricité de quelque 70 TWh en 2035. - Demande d'électricité en Europe accrue au moins du facteur 1,3 d'ici à 2035 si réalisation des objectifs climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - La neutralité visée du climat conduit à une nette augmentation de la consommation d'électricité.
Consommation propre (niveau de la demande)	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la consommation propre (chiffre et volume). 	<ul style="list-style-type: none"> - La chute des prix du photovoltaïque et des dispositifs de stockage, ainsi que l'encouragement du photovoltaïque et de la consommation propre conduisent à une augmentation de cette dernière.
Flexibilité (report de charge)	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de flexibilité identifiée et gérée. - Nécessité que les producteurs et les consommateurs soient les bénéficiaires économiques de cette flexibilité (révision de la LA-pEI). 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin accru de flexibilité. - La flexibilité est un facteur de réussite majeur de la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050. - Les véhicules électriques, les pompes à chaleur et les installations photovoltaïques (<i>peak shaving</i>) combinées avec des batteries représentent un potentiel de flexibilité important.

Facteurs	Évaluation 2019	Évaluation 2020
Dimension «Approvisionnement centralisé/décentralisé»		
Part de production décentralisée	<ul style="list-style-type: none"> - 10–25% des besoins en électricité en Suisse couverts par la production décentralisée en 2035. - Les débits résiduels représentent 2,3–3,7 TWh de la production hydraulique. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'hydraulique et le photovoltaïque seront les technologies de production centrales en 2035. - L'hydraulique reste un pilier malgré la progression de l'approvisionnement en énergie décentralisé. - Incitations aux investissements décisives pour le maintien et le développement de l'hydraulique.
Couplage des secteurs/ convergence des réseaux	<ul style="list-style-type: none"> - Partie intégrante du futur système énergétique et condition de réalisation des objectifs climatiques. - Consommation d'électricité accrue par l'électrification. - D'abord un mix des différents concepts de propulsion . - Déficit de l'équilibre dû au grand nombre d'électromobiles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rôle important du couplage des secteurs dans le futur système énergétique. - Objectifs climatiques favorisant l'électrification de la mobilité. - Les innovations et la recherche devraient entraîner une baisse des coûts des produits «power-to-x». - Dans un futur proche, le couplage des secteurs ne contribue que de façon limitée à la compensation des creux hivernaux. <p>➔ Évolution timide vers le Smart World et le Local World.</p>

Facteurs	Évaluation 2019	Évaluation 2020
Batteries, accumulateurs de gaz et de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulateurs de plus en plus utilisés. - Prix des solutions de stockage en baisse. - Recherche et innovation importantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulateurs de plus en plus utilisés. - Recherche et innovation importantes. - Évolution timide vers le Smart World.
Dimension «Marchés/UE-CH»		
Auto-apvisionnement CH	<ul style="list-style-type: none"> - Chute jusqu'à 60% en hiver. - Élément constitutif de la sécurité d'approvisionnement. - Centrales à gaz comme solution transitoire possible. - Lacunes de production en hiver accrues par la consommation d'électricité croissante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chute jusqu'à 60% en hiver. - Élément constitutif de la sécurité d'approvisionnement. - Centrales à gaz comme solution transitoire possible. - Accent sur les incitations à produire du courant en hiver.
Possibilités d'importation en hiver	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la puissance garantie dans les pays voisins. - Volume d'importations souhaité remis en question. - Situation compliquée par la demande d'électricité en augmentation. - Sortie du charbon pour l'Allemagne d'ici à 2038. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'EMPA estime le volume des importations nécessaires en hiver à 13,7 TWh. - Futur volume d'importations souhaité remis en question. - Intensité élevée en CO₂ des importations hivernales. - Part suffisante de production domestique requise.
Intégration aux marchés internationaux (électricité/gaz)	<ul style="list-style-type: none"> - Accord sur l'électricité seulement avec un accord-cadre. - Calendrier encore en suspens. 	<ul style="list-style-type: none"> - Calendrier toujours en suspens. - Absence d'accord sur l'électricité source d'inconvénients accrus pour le secteur de l'électricité suisse.

Facteurs	Évaluation 2019	Évaluation 2020
Dimension «Digitalisation»		
Capteurs et connectivité	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de capteurs, de bande passante et de connexion. 	<ul style="list-style-type: none"> - Données transmises en permanence et en temps réel. - La digitalisation est une condition sine qua non pour l'intégration des installations décentralisées et pour une exploitation efficace du réseau.
Évaluation des données, échange des données et analyses	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de données et d'échange, notamment en temps réel. - Analyse des données en tant que modèle d'affaires. - Protection des données et cybersécurité accrues. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rôle crucial de la gestion des données dans le monde énergétique numérisé. - La vitesse de traitement et de traitement des données, mais aussi leur diversité, sont plus élevées.
Services numériques	<ul style="list-style-type: none"> - Extension des tâches des EAE aux services numériques. - Projets de <i>blockchains</i> (expérience sur le terrain). 	<ul style="list-style-type: none"> - Nouveaux modèles d'affaires attendus, notamment l'économie du partage. - Extension des tâches des EAE aux services numériques.

4. Sources

- AES. (2019a) *Document thématique Flexibilité. AES.*
- AES. (2019b) *Document thématique Couplage des secteurs. AES.*
- AES. (2020) *Document thématique Digitalisation. En cours d'élaboration. AES.*
- Bauer, C., Cox, B., Heck, T., & Zhang, X. (2019) *Potentiels, coûts et impact environnemental des installations de production d'électricité. Mise à jour du rapport principal (2017). Sur mandat de l'OFEN (en allemand, synthèse en français).*
- BloombergNEF. (2019) *A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. 05.03.2019. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> (en anglais).*
- EBP. (2020) *Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2020. EBP (en allemand).*
- EICom. (2020) *Conditions-cadres pour assurer une production hivernale appropriée. Évaluation de l'EICom.*
- EnDK. (2020) *Stand Umsetzung MuKE n 2014. (en allemand) Consultation du site Internet. État: 13.02.2020.*
- Eurelectric. (2014) *Flexibility and Aggregation. Requirements for their interaction in the market. A EURELECTRIC paper (en anglais).*
- Kober T. et al. (2019) *Power-to-X: perspectives en Suisse. Un livre blanc.*
- Meteotest. (2019) *Das Schweizer PV-Potenzial basierend auf jedem Gebäude. Jan Remund, Simon Albrecht, David Stickelberger. Meteotest (en allemand).*
- Monash University. (2020) *Supercharging tomorrow: Australia first to test new lithium batteries. Abgerufen unter: <https://www.monash.edu/news/articles/supercharging-tomorrow-australia-first-to-test-new-lithium-batteries> (en anglais).*
- OFEN. (2019a) *Potentiel hydroélectrique de la Suisse. Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050. Août 2019. OFEN.*
- OFEN. (2020) *Modellierung der Erzeugungs- und Systemkapazität (System Adequacy) in der Schweiz im Bereich Strom 2019. Schlussbericht. Bundesamt für Energie (en allemand).*
- OFEV. (2019) *Révision totale de la loi sur le CO₂, Rencontre avec les médias, Office fédéral de l'environnement, 04.09.2019.*
- Paul van Baal et al. (2019) *The Swiss energy transition and the relationship with Europe (en anglais).*
- PNR. (2020a) *Synthèse Conditions du marché et réglementation. Programmes nationaux de recherche 70 et 71.*
- PNR. (2020b) *Synthèse Réseaux d'énergie. Programmes nationaux de recherche 70 et 71.*

- PNR. (2020c) *Synthèse Force hydraulique et marché. Programmes nationaux de recherche 70 et 71.*
- Rüdisüli, M., Teske, S. L., & Elber, U. (2019) *Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System. EMPA. (en anglais)*
- Vuichard, P., & Stauch, A. (2020) *Keep it Local and Low-Key: Soziale Akzeptanz von Freiflächen-PV-Anlagen im alpinen Raum. Disentis, 2020 (en allemand).*
- Walch, A., Castello, R., Mohajeri, N., & Scartezzini, J.-L. (2020) *Big data mining for the estimation of hourly rooftop photovoltaic potential and its uncertainty. EPFL. Applied Energy (en anglais).*