

négaWatt

Scénario de transition énergétique 2050

Rapport de synthèse



Ensemble pour l'avenir.
Grâce à sobriété, efficacité & énergies renouvelables.

Gemeinsam für die Zukunft.
Dank Suffizienz, Effizienz & erneuerbarer Energien.

Insieme per il futuro.
Grazie alla sufficienza, efficienza & energia rinnovabile.

négaWatt

Scénario de transition énergétique 2050

Rapport de synthèse

David Moreau
Emmanuel Ravalet
Flavio Principi

Réalisé sous mandat de négaWatt, c/o Philippe Bovet, Kanonengasse 29, 4051 Bâle
Mobil'homme, Av. de Sévelin 28, 1004 Lausanne

Photo de couverture : Susan Yin



Ensemble pour l'avenir.

Grâce à sobriété, efficacité & énergies renouvelables.

Gemeinsam für die Zukunft.

Dank Suffizienz, Effizienz & erneuerbarer Energien.

Insieme per il futuro.

Grazie alla sufficienza, efficienza & energia rinnovabile.

Profil du mandataire

Mobil'homme est un bureau de sciences sociales actif dans l'urbain et la mobilité, basé à Lausanne (Suisse). Il a été fondé en 2015 comme spin off du Laboratoire de sociologie urbaine (LaSUR) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Le bureau Mobil'homme a la particularité de regrouper dans son équipe pluridisciplinaire des chercheurs relevant d'une grande diversité disciplinaire : sociologue, anthropologue, urbaniste, géographe, économiste, historien, ingénieur. Cette richesse de compétences lui permet d'articuler des dispositifs méthodologiques variés et hautement innovants, tout en croisant des compétences qualitatives et quantitatives sur des projets d'envergure. Ses membres continuent par ailleurs d'exercer une activité scientifique de pointe. Ce positionnement unique, mettant des chercheurs en activité au service de la recherche appliquée et de l'expertise de haut niveau, fait du bureau Mobil'homme le point de passage clé entre le monde académique et les besoins des collectivités et des prestataires privés.

mobilhomme.ch / info@mobilhomme.ch

Profil du mandant

négaWatt est un collectif créé en 2016 par Philippe Bovet. Cette structure, devenue association en 2018, a été fondée avec pour objectif de présenter et promouvoir la démarche négaWatt - sobriété, efficacité et renouvelables – à travers un scénario national, afin d'enrichir le débat suisse dans le domaine de l'énergie. Elle compte aujourd'hui douze membres issus de milieux et formations différents (journaliste, professeur à l'ETH, services communaux, groupe de production d'énergie, bureaux d'études, etc.) mais tous animés par le souhait de voir un système énergétique plus durable se mettre en place en Suisse.

ch.negawatt.org

MOBIL'HOMME Sàrl.
Études, recherches, expertises
Avenue de Sévelin 28
CH-1004 Lausanne

Impressum

Moreau D., Ravalet E., Principi F. (2021). négaWatt ; scénario de transition énergétique 2050, rapport de synthèse. Mobil'homme Sàrl, Lausanne (Suisse)

Sommaire

TABLE DES ABRÉVIATIONS	5
1 UN SCÉNARIO COHÉRENT ET INNOVANT.....	6
2 LA DÉMARCHE NÉGAWATT	7
3 LA SOBRIÉTÉ	9
4 DÉVELOPPEMENT DU SCÉNARIO NÉGAWATT	9
5 BÂTIMENT	10
5.1 Modélisation et hypothèses.....	10
5.2 Résultats	12
6 TRANSPORT	15
6.1 Modélisation et hypothèses.....	15
6.2 Résultats	18
7 INDUSTRIE.....	20
8 CONSOMMATION FINALE ET PRODUCTION D'ÉNERGIE	21
9 LA DÉMARCHE NÉGAWATT, RÉSULTATS	24
10 UN SCÉNARIO ROBUSTE	25
10.1 La sobriété dans les autres scénarios.....	25
10.2 Comparaisons aux perspectives énergétiques 2050+	26
POINTS CLÉS	28
ANALYSE CRITIQUE DE LA MÉTHODOLOGIE	29
11 UN SCÉNARIO TOURNÉ VERS L'AVENIR.....	30
QUI SOMMES-NOUS ?	31

Table des abréviations

GES	Gaz à effet de serre
OFEN	Office fédérale de l'environnement
OFS	Office fédéral de la statistique
PAC	Pompe à chaleur
PJ	Péta Joules
Power-to-X	P2X
SRE	Surface de référence énergétique
VAB	Valeur ajoutée brute

1 Un scénario cohérent et innovant

Dans un contexte de réchauffement climatique marqué, l'association négaWatt présente un scénario énergétique innovant pour la Suisse à l'horizon 2050. Les trois piliers qui caractérisent les modélisations de l'association négaWatt France – sobriété, efficacité et renouvelable – sont mis en œuvre ici pour le système énergétique suisse avec pour objectif de diminuer significativement sa dépendance aux énergies non-renouvelables.

Grâce à une demande en énergie optimisée, le scénario négaWatt facilite la sortie du nucléaire en 2035 et l'atteinte d'une presque neutralité carbone en 2050. De plus, il propose un approvisionnement énergétique robuste, résilient et sans importation. La Suisse contribuerait ainsi aux efforts mondiaux visant à limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C.

Le scénario négaWatt considère l'ensemble du système énergétique à travers quatre secteurs – le bâtiment (résidentiel et tertiaire), les transports, l'industrie et l'agriculture – qui sont systématiquement évalués en partant des consommations individuelles puis en remontant la chaîne d'approvisionnement jusqu'à l'énergie primaire. Il s'agit d'une démarche prospective visant à valoriser un futur possible. Dès lors, les mesures proposées sont basées sur des évolutions socio-économiques réalistes et sur des technologies matures à l'heure actuelle.

Ce travail offre une vision complémentaire aux prospectives énergétiques de l'OFEN. En effet, les scénarios fédéraux ne thématisent pas la sobriété, soit l'évolution des modes de vie et habitudes quotidiennes permettant des diminutions de consommation d'énergie. La démarche négaWatt constitue ainsi un outil d'aide à la décision supplémentaire pour le développement de politiques de transition énergétique, tout en étant un élément de communication envers le grand public.

Le réchauffement climatique en Suisse

Depuis 1864 la température moyenne a augmenté d'environ 2°C¹. La plus grande partie de cette augmentation s'est manifestée ces trois dernières décennies et est due à l'accumulation de GES, limitant le rayonnement terrestre.

Pour les années à venir, Météosuisse a produit deux scénarios climatiques ; sans et avec des mesures significatives de protection du climat. Si rien n'est fait, la température pourrait augmenter de 2,5°C en 2060 et de 4,5°C en 2100 (par rapport aux années 1981–2010). Avec la mise en place de mesures de limitation des émissions de GES, l'augmentation de la température pourrait être limitée à 1,5°C en 2060, puis rester stable.

Les conséquences en Suisse sont multiples et déjà observables : des étés plus secs, de plus fortes précipitations et des inondations, une augmentation des jours tropicaux et des hivers peu enneigés. Des phénomènes qui devraient continuer à s'intensifier, si l'on se base sur la hausse des températures observées².

1 Météosuisse : <https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse.html>

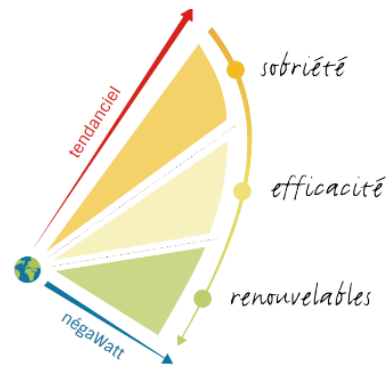
2 Idem

2 La démarche négaWatt

Ce scénario est un exercice prospectif, un outil d'aide à la décision permettant d'imaginer un avenir énergétique souhaitable et cohérent vis-à-vis des engagements fédéraux. Il permet de définir une vision à long terme et une trajectoire pour l'atteindre, associées d'actions à mettre en œuvre.

L'objectif est d'assurer, autant que possible, une couverture intégrale des besoins énergétiques par les énergies renouvelables à l'horizon 2050. Pour ce faire, la démarche négaWatt est appliquée à l'ensemble du système énergétique :

- L'entrée se fait par les services énergétiques, à travers une priorisation des besoins dans les usages individuels et collectifs par des actions de **sobriété** (diminuer la température du chauffage, éteindre les vitrines la nuit, etc.).
- **L'efficacité permet de diminuer la quantité d'énergie** nécessaire à la satisfaction d'un même besoin (isoler les bâtiments, améliorer le rendement des appareils électriques ou des véhicules, etc.).
- **Les énergies renouvelables sont privilégiées** pour leur faible impact sur l'environnement et leur caractère inépuisable (des énergies de flux et non de stock).



La démarche négaWatt®

Le scénario négaWatt est construit sur cette base. Les calculs commencent au niveau des services énergétiques et remontent vers une demande en énergie finale, puis primaire, qui est croisée avec les ressources disponibles, avec en complément un bilan global des émissions de CO₂. Le système de consommation énergétique est divisé en quatre secteurs. La Figure 1 illustre ce fonctionnement, en remontant la chaîne de consommation-production.

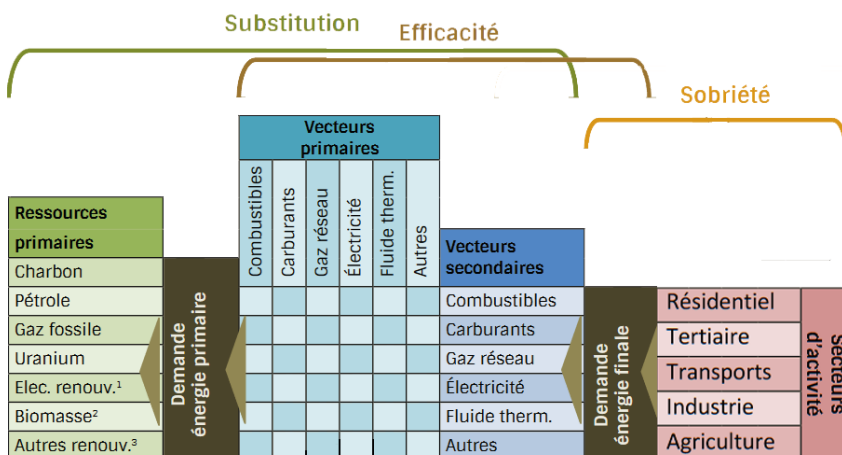


Figure 1 – Le calcul énergétique du scénario négaWatt commence au niveau des services énergétiques et remonte vers une demande en énergie finale puis primaire (image : négaWatt-France).

Techniquement, le scénario négaWatt est constitué de plusieurs micro-modèles par secteur et sous-secteur (Figure 2). Ils sont chacun accompagnés d'un rapport technique constitué d'une revue de littérature portant sur les évolutions passées et les travaux existants de prospective (ces éléments permettant de renseigner les hypothèses de modélisation), d'une explication des calculs et d'une présentation détaillée des résultats. Ces documents contiennent également toutes les références utilisées pour la réalisation du scénario négaWatt qui ne sont pas présentées dans ce rapport afin d'en alléger sa lecture. En ce qui concerne le secteur de l'agriculture, il n'a pas été modélisé en détail et sa consommation en 2050 est considérée comme sans évolution par rapport à aujourd'hui. Sa scénarisation est prévue pour le premier semestre de 2021.

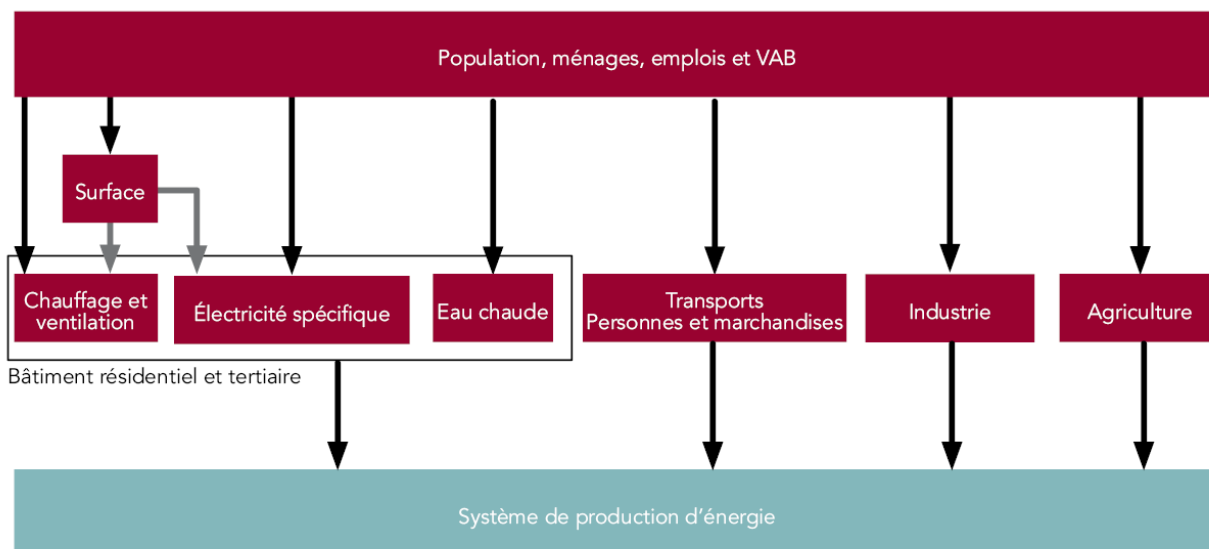


Figure 2 – Articulation des micro-modèles du scénario négaWatt.

Dans un souci de comparaison, les évolutions démographiques du scénario négaWatt sont les mêmes que celles utilisées par l'OFEN pour ses perspectives énergétiques 2050+ : avec 10'257'000 habitants et 4'645'000 ménages en 2050. De plus, les nombreuses études et données issues des offices fédéraux ont largement été utilisées comme base de documentation.

De manière générale, les hypothèses sont évaluées à deux niveaux différents (tendanciels et négaWatt). La combinaison de ces hypothèses permet de construire plusieurs perspectives pour la consommation énergétique totale dans les différents micros-modèles. Les hypothèses tendanciennes constituent un scénario « business as usual », l'amélioration de l'efficacité des appareils, les rénovations énergétiques des bâtiments ou encore des changements modaux sont présents dans ce scénario, mais restent modestes. L'impact de la sobriété énergétique est mis en avant par rapport au scénario de base avec des hypothèses de changement des comportements individuels et collectifs. Puis des hypothèses plus ambitieuses d'efficacité énergétique et de diffusion plus importante des sources d'énergies renouvelables sont ajoutées pour obtenir le scénario négaWatt.

Le scénario négaWatt ne tient pas compte des impacts de la pandémie du COVID-19. En effet, le recul scientifique sur cette question n'est à l'heure actuelle pas suffisant. Par ailleurs, l'importance des évolutions liées à cette crise dépendra de son issue plus ou moins rapide. Au-delà, les évolutions récentes ont mené l'équipe projet à se questionner sous un autre angle sur quelques hypothèses de scénarisation, notamment au sujet du télétravail ou des espaces habitables.

3 La sobriété

La sobriété est au cœur de la démarche promue par négaWatt. Il s'agit de „*Prioriser les besoins énergétiques essentiels dans les usages individuels et collectifs de l'énergie*“. Cette approche exige une réflexion sur nos modes de vie et de consommation, et leurs impacts. C'est une notion complémentaire à la recherche d'efficacité énergétique et à la mise en place d'énergies renouvelables.

La sobriété énergétique s'articule autour de quatre leviers :

- **La sobriété structurelle** : organiser l'espace ou les activités pour favoriser la modération.
- **La sobriété dimensionnelle** : dimensionner les équipements par rapport à leurs conditions d'usage.
- **La sobriété d'usage** : utiliser au mieux les équipements pour réduire leur consommation.
- **La sobriété conviviale** : mutualiser les équipements et leur utilisation.

Au-delà des changements dans les pratiques individuelles, la mise en œuvre de la sobriété à grande échelle nécessite une vision collective de la société du futur. Le rôle des acteurs publics et des entreprises est donc également indispensable pour initier et accompagner ces changements de vie.

4 Développement du scénario négaWatt

Le développement du scénario négaWatt a été réalisé lors de l'année 2020 par le bureau Mobil'homme³ (bureau d'études en sciences sociales), sous mandat de l'association négaWatt⁴, grâce aux financements du fond Vitale Innovation⁵ des Systèmes Industriels de Genève et de la fondation Charles Leopold Mayer pour le progrès de l'Homme⁶.

Il s'inscrit aussi dans le cadre d'une large collaboration européenne menée par négaWatt-France, qui fournit aux différentes organisations nationales une méthodologie de modélisation, avec pour objectif de développer un scénario européen. Cette étroite collaboration avec négaWatt France – une association forte de 20 ans d'expérience – a permis d'assurer une base solide au scénario suisse.

3 Mobil'homme : <https://mobilhomme.ch/>

4 négaWatt : <https://ch.negawatt.org/>

5 SIG : <https://ww2.sig-ge.ch/particuliers/consommer-mieux/choisir-des-energies-vertes/choisir-electricite-verte/>

6 FPH : http://www.fph.ch/index_fr.html néga

5 Bâtiment

Le secteur du bâtiment, qui comprend les secteurs résidentiels et tertiaires, représente actuellement 352 PJ d'énergie finale, soit 47 % de la consommation énergétique totale de la Suisse. Parmi ces besoins en énergie, le chauffage des locaux est de loin le plus grand poste de consommation. Il représente à lui seul près de 60% du total des besoins énergétiques des bâtiments du pays. Les besoins pour produire l'eau chaude sont également importants étant donné leur ampleur (43 PJ, soit 12% de la consommation globale du secteur), mais aussi parce que l'énergie utilisée est majoritairement d'origine fossile. Les évolutions des différents postes de consommation d'électricité doivent également être précisées. En effet, si les usages pour l'éclairage ou les appareils électroménagers ne devraient pas fondamentalement évoluer dans le futur, les consommations liées à la climatisation ou à l'informatique pourraient augmenter significativement, sous le coup du réchauffement climatique et de la numérisation croissante de la société.

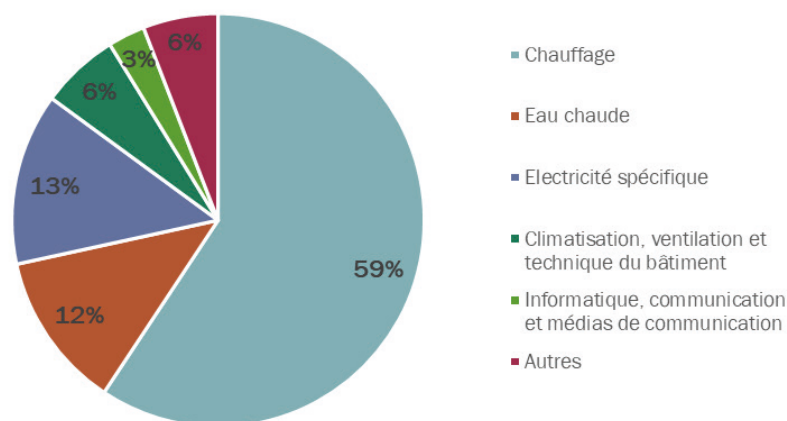


Figure 3 – Part de la consommation d'énergie finale selon les activités, 2019 (total : 352 PJ)

5.1 Modélisation et hypothèses

Compte tenu de l'importance du secteur du bâtiment dans la consommation énergétique totale en Suisse, il est utile d'évaluer les gains énergétiques que la sobriété peut apporter, en plus des améliorations d'efficacité et la diffusion d'énergies de sources renouvelables. Ainsi, chaque poste de consommation a été modélisé séparément en partant des besoins individuels par service énergétique, et en évaluant sa pertinence et son éventuelle réduction. Des améliorations d'efficacité de ces services et la diffusion d'énergies renouvelables ont été ajoutées, permettant aussi d'évaluer l'énergie à satisfaire pour chaque poste de consommation et par type d'énergie. Les hypothèses ont été fixées grâce aux tendances actuelles et futures présentées dans la littérature technique et scientifique sur le sujet. Les statistiques et perspectives de l'OFEN ont en particulier été utilisées pour calibrer les modèles sur la base des valeurs actuelles. Parallèlement, un groupe de discussion réunissant des experts du domaine du bâtiment a permis de discuter et valider les principales hypothèses d'évolution des surfaces résidentielles et du chauffage des bâtiments, la pertinence de la notion de sobriété dans ces domaines et les mesures qu'il faudrait mettre en place pour favoriser sa diffusion.

Plus concrètement, la modélisation débute par la définition d'hypothèses sur les surfaces résidentielles et tertiaires. En effet, une part importante des consommations énergétiques dans le secteur du bâtiment dépend directement de la surface (chauffage, climatisation et éclairage des locaux). La surface résidentielle par personne tend à augmenter depuis plusieurs années, en partie à cause de la diminu-

tion de la taille des ménages. Le scénario tendanciel prolonge cette évolution avec une augmentation de la surface habitable par personne de 7 m² à l'horizon 2050. En revanche, dans le scénario négaWatt, le développement de logements plus adaptés aux ménages d'une à deux personnes, des mesures pour faciliter la mobilité résidentielle lorsque la surface habitable est inadaptée et le développement de coopératives d'habitation avec des espaces mutualisés permet la stabilisation de cette surface au niveau actuel. Concernant la surface tertiaire, les deux scénarios tablent sur une stabilisation de la surface par employé sur la période considérée.

Sur la base de ces hypothèses, la consommation de chauffage peut être évaluée. Cette étape est réalisée en deux temps. Tout d'abord, les besoins utiles par unité de surface, en kWh/m²-SRE, sont déterminés. Ils dépendent en premier lieu de la qualité et du volume des rénovations énergétiques des bâtiments entre 2020 et 2050, ainsi que de la performance énergétique des bâtiments nouvellement construits. Le scénario négaWatt considère une réduction progressive de deux degrés de la température intérieure de chauffage en hiver, ce qui permet une diminution supplémentaire des besoins utiles. Une fois ceux-ci déterminés, ils sont traduits en énergie finale en considérant la part de chaudières de chaque type (gaz, mazout, pompes à chaleur, etc.) dans le parc de bâtiments et leur rendement moyen. Le scénario négaWatt, comme les nouvelles perspectives énergétiques de la Confédération, visent un mix énergétique décarboné d'ici 2050.

La consommation pour le chauffage de l'eau est évaluée de la même manière que pour le chauffage des locaux. Les besoins utiles sont dépendants du volume d'eau consommé par personne dans les ménages et par employé tertiaire. Dans le scénario négaWatt, ces besoins dans les ménages sont réduits de l'équivalent d'une minute de temps de douche en moins par personne et par jour, en plus de la diffusion de robinets à faible débit. Les besoins en énergie finale sont ensuite calculés en fonction du taux et du rendement de chaque type de chauffe-eau dans les bâtiments.

En ce qui concerne la consommation d'électricité pour la climatisation, elle dépend du nombre de jours climatisés, du taux d'équipement de climatiseurs dans les bâtiments et de la température intérieure cible. Le nombre de jours climatisés est lié au réchauffement climatique attendu et donc exogène à la modélisation. Le scénario négaWatt se concentre donc sur la réduction du nombre de climatiseurs, en favorisant les solutions alternatives passives et actives pour se rafraîchir en période estivale. Dans les cas où la climatisation est nécessaire au confort thermique à l'intérieur des bâtiments, la température cible lors des jours climatisés est augmentée de deux degrés par rapport au scénario tendanciel.

Les besoins en électricité spécifique sont modélisés selon différents sous-secteurs : lavage et séchage du linge, réfrigération et congélation, éclairage, lave-vaisselles et cuisinières. Dans chaque cas, la consommation électrique globale est calculée par une combinaison d'indicateurs d'usage (nombre de cycle, durée d'éclairage, volume de réfrigération, etc.), de taux de possession et d'efficacité énergétique (kWh par cycle ou par unité de volume, puissance des lampes, etc.). Le scénario tendanciel considère des améliorations dans les performances des appareils mais ne discute pas leur usage. Le scénario négaWatt, en plus de considérer de meilleures performances, évalue l'impact de la sobriété pour ces appareils, telle que la réduction d'un cycle de lavage par ménage et par semaine, ou du taux de possessions (notamment pour les sèche-linges et les congélateurs).

Finalement, les besoins directs en électricité liés à l'informatique et aux médias de divertissement et de communication sont évalués majoritairement par des indicateurs de durée d'utilisation, de taille des écrans et d'amélioration de l'efficacité des appareils. Cependant, les centres de stockage et les infrastructures de transfert de données semblent présenter un risque d'augmentation significative de leur consommation énergétique dans les prochaines années. Ces besoins indirects sont particulièrement incertains. Ils sont évalués par rapport à la situation actuelle en fonction d'un indicateur d'évolution de l'utilisation et d'amélioration de leur efficacité.

La combinaison de ces hypothèses permet de construire plusieurs perspectives pour la consommation énergétique totale du secteur des bâtiments. Les hypothèses tendancielles permettent d'évaluer la situation théorique dans laquelle rien n'est entrepris pour réduire drastiquement les besoins en énergie

du pays. L'amélioration de l'efficacité des appareils et les rénovations énergétiques des bâtiments sont présentes dans ce scénario tendanciel mais restent modestes.

L'impact de la sobriété énergétique est mis en avant dans le scénario négaWatt par rapport à ce scénario en tenant compte des hypothèses de changements des comportements individuels et sociétaux. Finalement, le scénario négaWatt ajoute à cette sobriété des améliorations plus ambitieuses d'efficacité énergétique et une diffusion plus importante des sources d'énergies renouvelables dans les bâtiments helvétiques.

5.2 Résultats

La Figure 4 montre le résultat selon l'ensemble des hypothèses choisies et réparties par poste de consommation. On constate que le scénario tendanciel augmente les besoins énergétiques globaux dans le pays, qui passent de 385 PJ en 2020 à 410 PJ en 2050. Les améliorations d'efficacité considérées dans ce scénario ne compensent pas l'évolution démographique de la population et l'augmentation de certains usages.

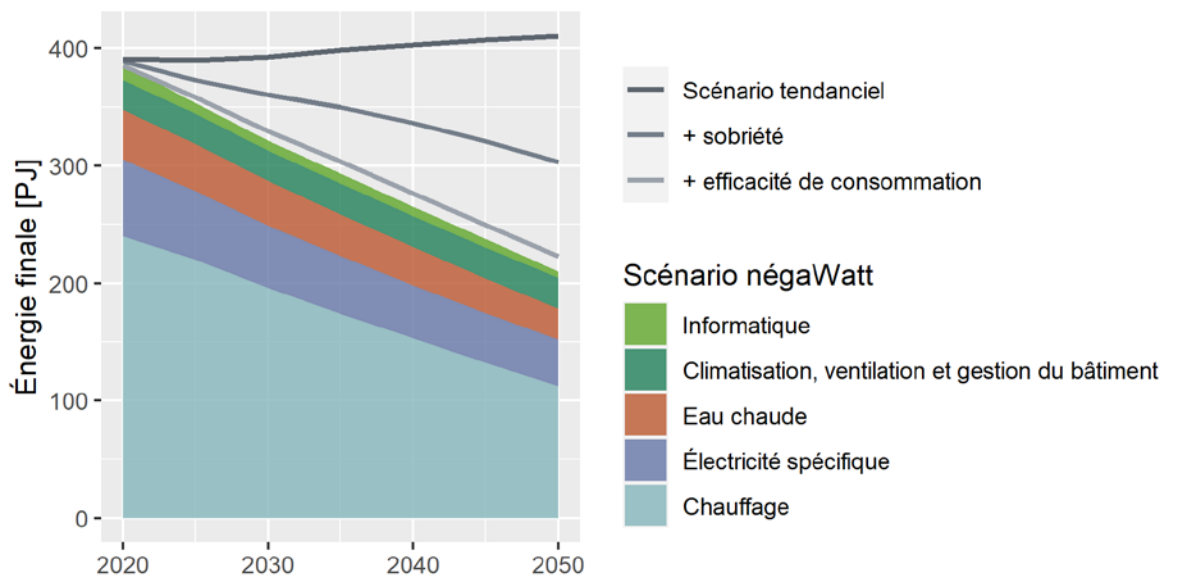


Figure 4 – Évolution de la consommation d'énergie finale par poste de consommation dans le secteur du bâtiment. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production.

L'intégration des hypothèses de sobriété au scénario tendanciel permet de réduire la consommation d'énergie finale de 107 PJ, soit une diminution d'un peu plus d'un quart par rapport au scénario tendanciel. La sobriété énergétique en termes de surfaces permet de réduire les besoins en chauffage et climatisation de 22 PJ, alors qu'une température intérieure plus adaptée tant en été qu'en hiver et la diffusion limitée des climatiseurs permet de gagner 25 PJ supplémentaires. La différence avec le scénario tendanciel est également importante pour les centres de stockage et les infrastructures de transfert de données informatiques, confirmant ainsi l'importance d'évaluer plus finement ces postes de consommation et de surveiller leurs évolutions futures.

Finalement, l'ajout d'une plus haute efficacité des processus de consommation et la diffusion massive des énergies renouvelable permet de réduire encore la consommation globale d'énergie dans le pays et d'atteindre 223 PJ en 2050. Cette baisse est principalement le résultat des grands efforts de rénovation des bâtiments et du remplacement des chaudières non-renouvelables par des pompes à chaleur,

qui permettent de réduire les besoins par rapport au scénario « tendanciel + sobriété » de 67 PJ supplémentaires. On constate que le chauffage reste de loin le principal poste de consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment dans le futur, avec 112 PJ en 2050, soit la moitié du secteur du bâtiment. La réduction par rapport à la situation actuelle est cependant très importante pour ce poste de consommation (-55 %).

Il est également intéressant de regarder les sources d'énergie utilisées pour discuter la durabilité du mix énergétique atteint en 2050. Dans le scénario tendanciel, le chauffage des locaux et l'approvisionnement en eau chaude ne sont pas décarbonés. En effet, 25 % des bâtiments sont toujours chauffés au gaz en 2050, auxquels il faut ajouter 16 % de mazout. Les ordres de grandeurs sont similaires pour la production d'eau chaude. Dans le scénario négaWatt, ces sources d'énergie fossiles disparaissent du mix énergétique d'ici 2050. Le chauffage des bâtiments est assuré à hauteur de 60% par des pompes à chaleur et 25 % par des réseaux de chaleur. Le mix de chauffage est complété par du bois et quelques chauffages électriques directs et solaires. En ce qui concerne le chauffage de l'eau chaude, la transition passe en grande partie par le solaire thermique, qui permet de chauffer plus de 40% de l'eau chaude dans le parc des bâtiments de 2050.

L'énergie finale globale par vecteur énergétique est représentée à la Figure 5. On constate la sortie des énergies fossiles (gaz et mazout), ainsi que la part importante des pompes à chaleur, dont l'énergie puisée dans l'environnement et disponible « gratuitement » représente 62 PJ en 2050. Il est également intéressant d'observer que la consommation d'électricité diminue sur la période, passant de 138 PJ en 2020 à 88 PJ en 2050.

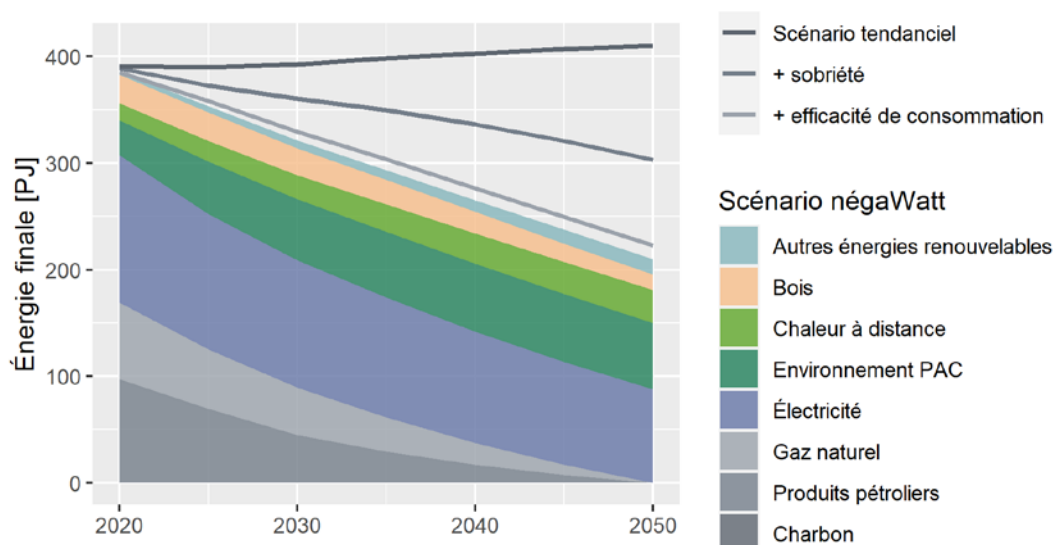


Figure 5 – Evolution de la consommation d'énergie finale par vecteur énergétique pour le secteur du bâtiment. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production (zone entre le trait efficacité de consommation et renouvelables).

La transition énergétique du secteur du bâtiment passe donc par une décarbonation du mix énergétique (en supposant que l'électricité et la chaleur à distance sont exemptes de carbone, voir chapitre 8 à ce sujet) et une absence d'augmentation de la consommation électrique, malgré la diffusion massive de pompes à chaleur et l'augmentation de la population résidente. Si le premier objectif est atteint en s'appuyant sur de grands efforts en matière de rénovation et de changements de chaudières et chauffe-eaux, la limitation des besoins en électricité est assurée par des mesures de sobriété intégrées dans les

différents postes de consommation des bâtiments. Ce premier pilier négaWatt joue donc un rôle prépondérant pour limiter les besoins en énergie de ce secteur. En conséquence, son intégration dans les hypothèses des futurs scénarios de prospective énergétique et dans les paquets de mesures politiques à mettre en place pour réussir une transition énergétique rapide est particulièrement importante, tant au niveau local que fédéral.

6 Transport

Selon l'OFS, le secteur des transports est responsable à lui seul de 231 PJ en 2020, soit plus de 30 % de la consommation finale totale. Ces niveaux de consommation élevés sont largement liés aux moteurs thermiques des deux-roues motorisés, des voitures, de certains véhicules de transports publics, des avions ou encore des poids lourds et camions pour le transport de marchandises. Les perspectives d'électrification de la plupart de ces véhicules (à l'exception des avions à court et moyen termes) permettent d'entrevoir une diminution des consommations dans les années à venir. Au-delà, la sobriété des pratiques de mobilité des Suisses peut jouer un rôle fondamental que le scénario négaWatt tente d'évaluer dans ses modélisations.

Dans les dernières années, l'usage de la voiture a commencé à baisser surtout dans les grandes agglomérations mais aussi dans les territoires périurbains⁷. Ces baisses interviennent après plusieurs décennies d'augmentation et illustrent une rupture tendancielle forte. Le passage du permis de conduire, de plus en plus tardif, l'usage croissant des transports publics, le recours au vélo qui croît fortement dans les espaces les plus denses pour les 18–25 ans sont autant de tendances nouvelles. Pourtant, et malgré les tendances évoquées précédemment, il reste que la voiture est très utilisée en Suisse aujourd'hui et restera dans le paysage de la mobilité de demain. L'explication renvoie aux qualités intrinsèques encore largement vérifiées de la voiture sur les plans de la praticité, de la rapidité, du coût, du confort, de la flexibilité, etc. Les variables sociodémographiques (notamment le genre, l'âge, le revenu) sont fortement structurantes de l'utilisation des différents moyens de transports.

Si la voiture en général souffre donc d'une remise en question dans les sociétés occidentales, c'est de son usage individuel qu'il est question. Ainsi, le covoiturage, l'autopartage ou les services de voitures de transport avec chauffeur comme Uber se développent et constituent des alternatives de plus en plus pertinentes. La baisse de l'utilisation de la voiture a été rendue possible par le développement de l'offre en transports publics en termes de vitesse, de fréquence et de confort. Diverses facilités tarifaires se développent et permettent de mieux correspondre aux besoins des usagers. Finalement, l'usage du vélo s'accroît entre 2010 et 2015 notamment. Cette tendance concerne la plupart des pays occidentaux et s'inscrit surtout dans les territoires urbains denses. Les investissements importants aujourd'hui consentis par les grandes villes, mais également par des communes moins peuplées en faveur des équipements cyclables devraient permettre de participer au développement de ce mode dans les années à venir. A noter que l'arrivée récente des vélos à assistance électrique marque un tournant dans les usages du vélo en général, avec une population beaucoup plus âgée et rurale pour le véhicule électrique qu'il ne l'est pour le véhicule conventionnel.

6.1 Modélisation et hypothèses

Les données utilisées sont issues de la base des trajets du Microrecensement Mobilité et Transport. Le scénario négaWatt modélise les parts modales (sur l'ensemble des trajets réalisés) des modes définis par négaWatt, la distance moyenne de chaque trajet et pour chaque mode, et finalement le nombre moyen de trajets par personne. Conformément aux éléments présentés dans la revue de littérature, différents modèles ont été construits selon le degré d'urbanité des territoires. Au final, ce sont 29 modèles qui ont été construits, un pour le nombre de trajets par personne et par jour, trois pour chaque mode (un pour les territoires ruraux, un pour les territoires urbains et un pour les territoires d'urbanité intermédiaire) et finalement un modèle d'évaluation de la distance moyenne par trajet pour chaque mode.

⁷ OFS, 2017, Comportement de la population en matière de transports. Résultats du microrecensement mobilité et transports 2015, Neuchâtel.

La formule de calcul des prestations kilométriques (pkm) pour chaque mode i, fonction de la part modale (partmod), de la distance moyenne par trajet et par mode (disttraj), du nombre de trajet par personne (ntraj) et de la population totale (poptot), est donc la suivante :

$$pkm_i = 365 \cdot partmod_i \cdot disttraj_i \cdot ntraj \cdot poptot$$

Pour l'avion et le bateau, les prestations kilométriques ont été évaluées sur la base d'une observation rétrospective de la demande pour ces modes grâce aux données de l'OFS. Les tendances passées sont ensuite prolongées sur la base des enseignements de la littérature scientifique en matière d'évolution de l'offre et de la demande de transport pour ces deux modes.

Après avoir modélisé les prestations kilométriques il faut évaluer le taux de remplissage des véhicules (voiture, 2*roues motorisés, véhicules de transports en commun), la structure du parc selon la motorisation (notamment électrique ou thermique) des véhicules et la consommation moyenne au kilomètre par véhicule et par type de motorisation.

Aussi et sur la base de ces éléments, il devient possible de calculer la consommation énergétique finale (Etot) liée au transport de personne en calculant l'énergie E pour chaque mode i et pour chaque type de motorisation j et en appliquant les formules suivantes :

$$E_{i,j} = \frac{pkm_i}{txremp_i} \cdot partmotor_{i,j} \cdot consomoy_{i,j}$$

$$E_{tot} = \sum_{i,j} E_{i,j}$$

Dans ces formules, l'énergie consommée pour chaque mode et chaque type de motorisation (E_{i,j}) est fonction des prestations kilométriques (pkm) pour chaque mode i, du taux de remplissage des véhicules pour chaque mode, de la part de chaque motorisation j dans le parc de chaque mode i (partmotor_{i,j}) et de la consommation moyenne de chaque type de motorisation dans le parc de chaque mode (consomoy_{i,j}).

En guise de synthèse, la structure de la modélisation peut être considérée comme suit :

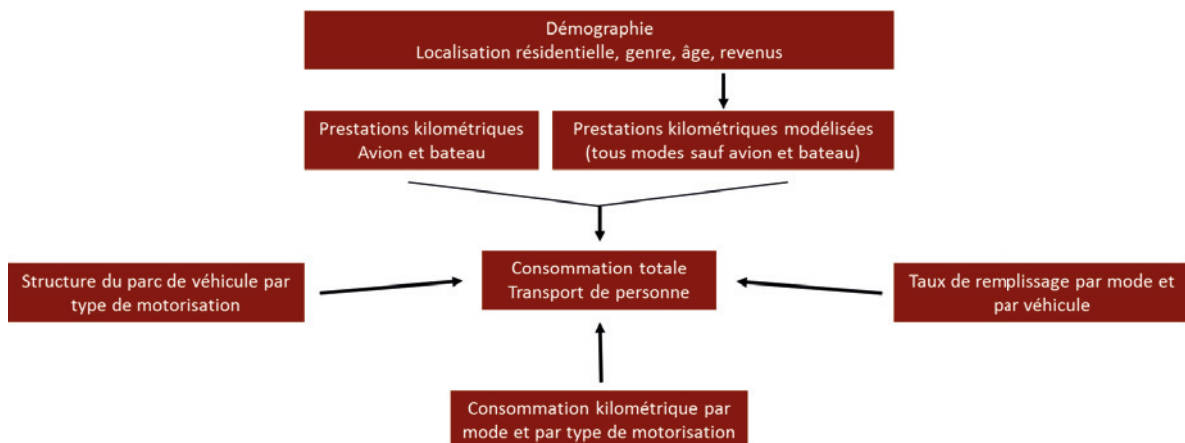


Figure 6 – Schéma du processus de modélisation négaWatt du secteur des transports.

A cette étape et en lien avec les tendances actuelles et les attendus en matière de planification de la mobilité dans les territoires (notamment en termes d'infrastructures), des hypothèses fortes d'évolution des parts modales du vélo et dans une moindre mesure du transport ferroviaire de personnes ont été appliquées. De plus, l'hypothèse que la part du vélo dans l'ensemble des trajets réalisés en ville va tripler d'ici 2050 est faite. L'augmentation sera plus faible dans les territoires moins denses. La part des trajets réalisés en train devrait elle aussi augmenter ces prochaines années, compte tenu notamment des investissements importants consentis dans le développement du réseau et de la flexibilité croissante du temps de travail (qui permet l'étalement des heures de pointe). La part modale de la voiture devrait continuer sa baisse dans les années à venir au fil de l'évolution déjà entamée des pratiques de mobilité. Si ces évolutions devraient toucher l'ensemble des territoires suisses dans les années à venir, les territoires les plus denses devraient accueillir les changements les plus marquants, grâce à la diversité des offres modales et la contrainte forte d'usage de la voiture (en circulation et en stationnement).

Les innovations numériques en général et les pratiques de télétravail en particulier participent à limiter la quantité de déplacements moyens par personne et par jour dans le scénario négaWatt avec l'hypothèse qu'il y a bien une substitution partielle des déplacements physiques par des mobilités virtuelles. Parallèlement, si l'autopartage permet de limiter le nombre de voitures nécessaires pour un même service de mobilité rendu, il permet également de limiter l'usage de la voiture grâce à un usage plus ciblé de ce véhicule sur les déplacements qui l'imposent. Il est également possible de considérer que le développement de systèmes de type Uber, mais aussi les vélos en libre-service ou les trottinettes forment un ensemble multimodal qui permet de se passer de la possession d'une voiture et donc de cibler l'usage d'une voiture (qui sera alors partagée). Les systèmes de vélo en libre-service, mais aussi les systèmes de location de vélo à plus longue durée se sont développés rapidement ces dernières années dans les milieux les plus denses et devraient à l'avenir se déployer dans les zones plus périurbaines et les plus petites villes. L'ensemble de ces services support devraient permettre de soutenir plus encore le développement du vélo.

Enfin, les systèmes de type Mobility as a Service, qui devraient se mettre en place dans les années à venir devraient soutenir le développement de l'usage des transports publics. Les études menées dans les territoires qui ont vu ce type de service se mettre en place ont permis de mettre en évidence l'impact fort qu'ils peuvent avoir sur les parts modales des transports publics, mais aussi de la voiture en négatif.

Au-delà de ces hypothèses, beaucoup d'autres indicateurs ont été évalués en s'appuyant sur la littérature scientifique. Aussi, les taux de remplissage des véhicules de transports publics et de la voiture ont été fixés en différenciant les trajets réalisés selon les motifs qui justifient les déplacements. Les taux de remplissage des véhicules de transports publics sont évalués à partir des publications de l'OFS pour la période passée et sont associés à des hypothèses à la hausse les concernant dans la mesure où le scénario négaWatt considère un usage globalement croissant des transports publics et donc une plus grande rentabilité des véhicules.

Sur le plan de l'efficacité des véhicules, la modélisation négaWatt s'est appuyée sur les hypothèses et les résultats de plusieurs autres travaux de prospective menés. En écho aux hypothèses réalisées par l'OFEN (2020) pour ses perspectives énergétiques 2050+, il a été considéré que le mix énergétique voiture ne comporte plus de véhicules purement thermiques en 2050. L'ensemble des sources utilisées permet un positionnement d'une part sur le mix énergétique et la vitesse de l'électrification du parc automobile, des deux-roues motorisés mais aussi des vélos et des bus, et d'autre part sur les niveaux de consommation unitaire qui peuvent être attendus dans les années à venir pour tous les véhicules selon leur type de motorisation.

En ce qui concerne le transport de marchandises, sa consommation est indexée à l'évolution de la VAB du secteur de l'industrie qui est multiplié par un facteur de conversion permettant d'obtenir les masses-distances totales (Mtkm). Elles sont ensuite réparties par mode de transport (rail, véhicules lourds et véhicules légers) ayant chacun une consommation spécifique par carburant (électricité, diesel, gaz naturel et P2X).

6.2 Résultats

Sur la base de ces hypothèses et du travail de modélisation, les parts modales obtenues en comparant les situations 2015 et 2050 sont présentées dans les paragraphes suivants.

Il ressort des résultats présentés ci-dessus qu'au-delà d'une modification sensible des parts modales entre 2015 et 2050, les prestations kilométriques totales diminuent dans notre scénario, alors même que la population a augmenté sur la période. Ainsi, les populations se déplacent mieux (elles utilisent des modes moins consommateurs) et moins. Cette baisse peut être attribuée à une plus grande sobriété dans les déplacements.

Pour la voiture, nous estimons à partir de notre travail de modélisation qu'elles devraient être amenées à baisser pour passer de 92 Mds de pkm en 2015 à 69 Mds de pkm en 2050 dans le scénario négaWatt. Cela correspond à une baisse de 24,9 %. Des écarts plus importants peuvent être observés pour d'autres modes. Ainsi, négaWatt France prévoit une multiplication par quatre des prestations kilométrique liées au vélo, alors qu'elles ne sont multipliées que par trois dans notre scénario négaWatt pour la Suisse. Celle-ci semble déjà extrêmement forte dans la mesure où elle repose sur un passage de la part modale de ce mode de 5,1 % de l'ensemble des trajets à 10,1 % de l'ensemble des trajets, un saut extrêmement ambitieux associé à une augmentation des distances moyennes des trajets en vélo permise par le développement des vélos à assistance électrique.

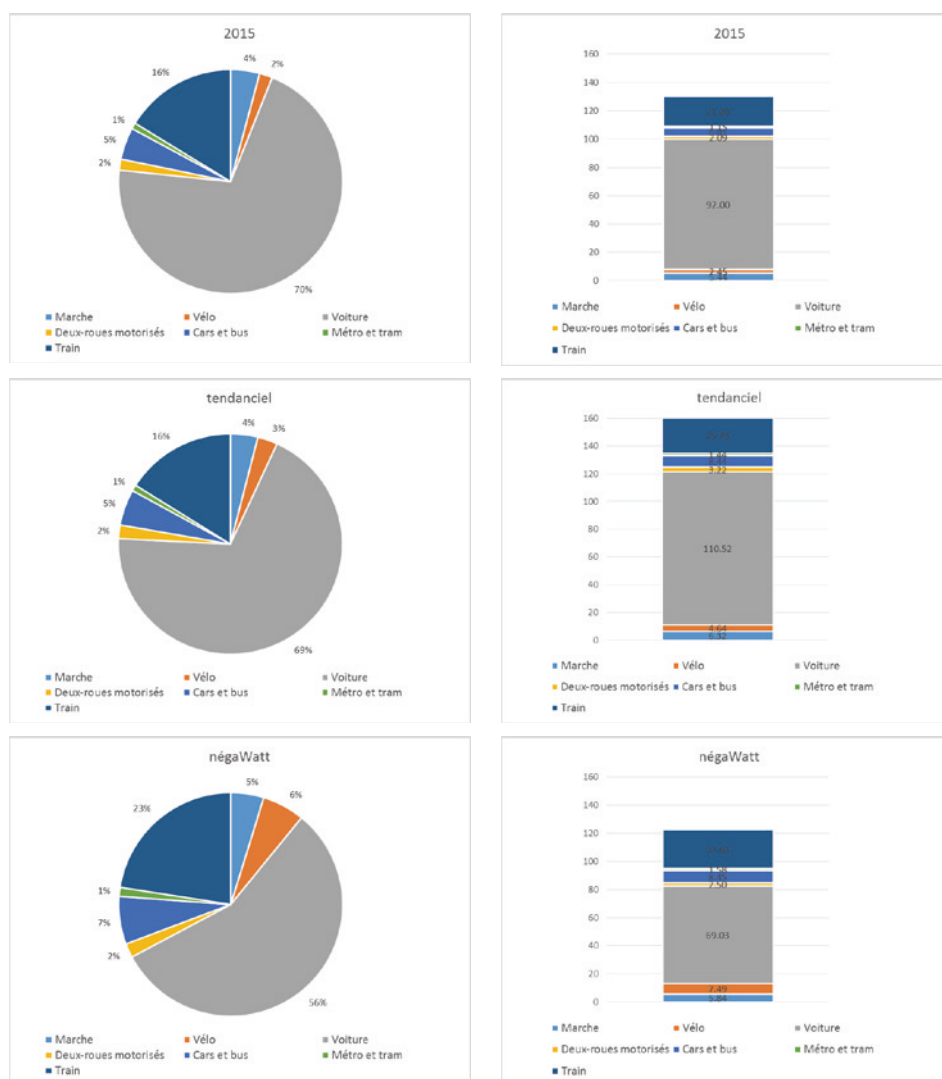


Figure 7 Parts modales kilométriques et prestations kilométriques de transport en 2015 et dans les scénarios tendanciel et négaWatt.

Le secteur aérien n'apparaît pas ici dans la mesure où il a été modélisé directement à partir des données de l'OFAC sur les 20 dernières années et les nombres de passagers sur les vols intérieurs, intra-européens et extra-européens.

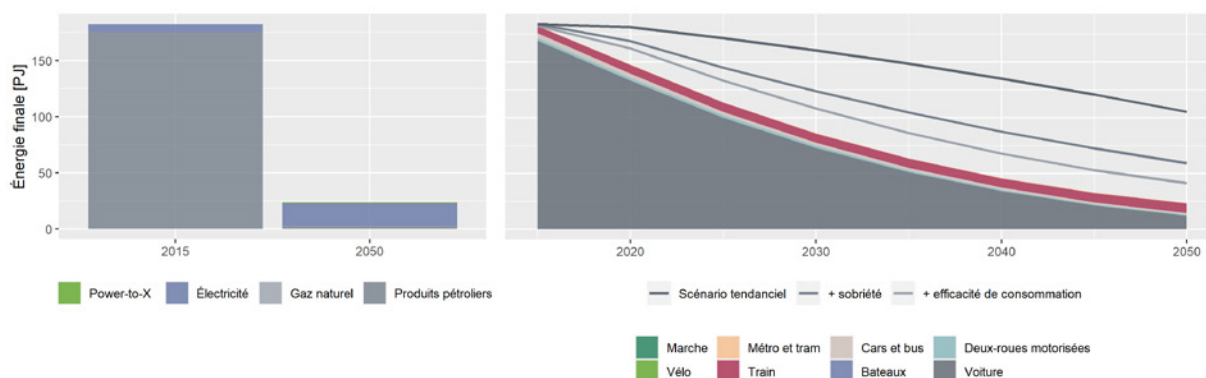


Figure 8 – Évolution de l'énergie finale par type de carburant et par mode. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production.

Si l'on tient compte ensuite des taux de remplissage, des types de motorisation et des consommations unitaires, il devient possible d'évaluer les consommations énergétiques totales du secteur du transport de personnes (Figure 8). Les trafics aériens intérieurs suisses sont considérés comme s'amenuisant fortement à partir de 2020, en lien notamment avec un report avion vers train. La baisse envisagée sur les trafics extra-européens est quant à elle considérée comme plus faible et associée à une baisse relative de la fréquence des déplacements de très longue distance. En 2015, 1.41 Mtep sont liés au transport aérien et au final en 2050, ce sont 2.4 Mtep qui sont attribuables au transport aérien dans le scénario tendanciel, contre 1.13 dans le scénario négaWatt.

En ce qui concerne le transport de marchandises, les masses-distances présentent peu de variations entre le scénario tendanciel et celui négaWatt, elles sont dans les deux cas proche de 33'700 Mtkm. La différence se situe au niveau des modes de transport et des carburants utilisés pour les véhicules routiers qui vont fortement impacter la consommation finale qui passe de 39 PJ dans le scénario tendanciel à 23 PJ pour le scénario négaWatt.

7 Industrie

En 2020, le secteur de l'industrie consomme 149 PJ sur les 759 PJ pour tous les secteurs, en énergie finale.

Le secteur de l'industrie est modélisé à partir des VAB par branche issues des projections économiques de l'OFEN et réévaluées à travers le filtre de la sobriété. Par exemple, une croissance moindre pour la branche des minéraux non-métalliques est considérée (ciment inclus) en supposant que le béton en 2050 sera plus largement constitué de matériaux d'excavation et progressivement remplacé par d'autres matériaux comme le bois. En parallèle, la VAB est aussi réévaluée par un facteur de relocalisation. En effet, aujourd'hui, les importations nettes représentent près de 30'000 Mt, avec en conséquence une forte externalisation de la consommation d'énergie et des émissions de GES du secteur de l'industrie, en plus de la génération d'un transport de marchandises superflu. Les domaines principalement concernés sont l'alimentation, les textiles et la chimie.

L'énergie consommée par branche est ensuite obtenue en multipliant la VAB par un facteur énergétique, soit l'énergie par VAB. Cette « efficacité » évolue à travers le temps selon le développement de certaines technologies, avec par exemple des nouveaux ciments, moins gourmands en énergie. De plus, un taux de « recyclage et écologie industrielle » est appliqué au résultat. Il représente l'énergie et les matériaux qui peuvent être réutilisés entre les multiples activités industrielles.

Enfin, l'approvisionnement énergétique du secteur de l'industrie est évalué dans son ensemble, avec un renforcement de la place de la biomasse.

La consommation en énergie finale est présentée par la Figure 9. La sobriété, de par la relocalisation de certaines industries, vient augmenter la consommation énergétique totale en Suisse, qui est ensuite diminuée grâce à l'amélioration de l'efficacité, à l'écologie industrielle et au recyclage.

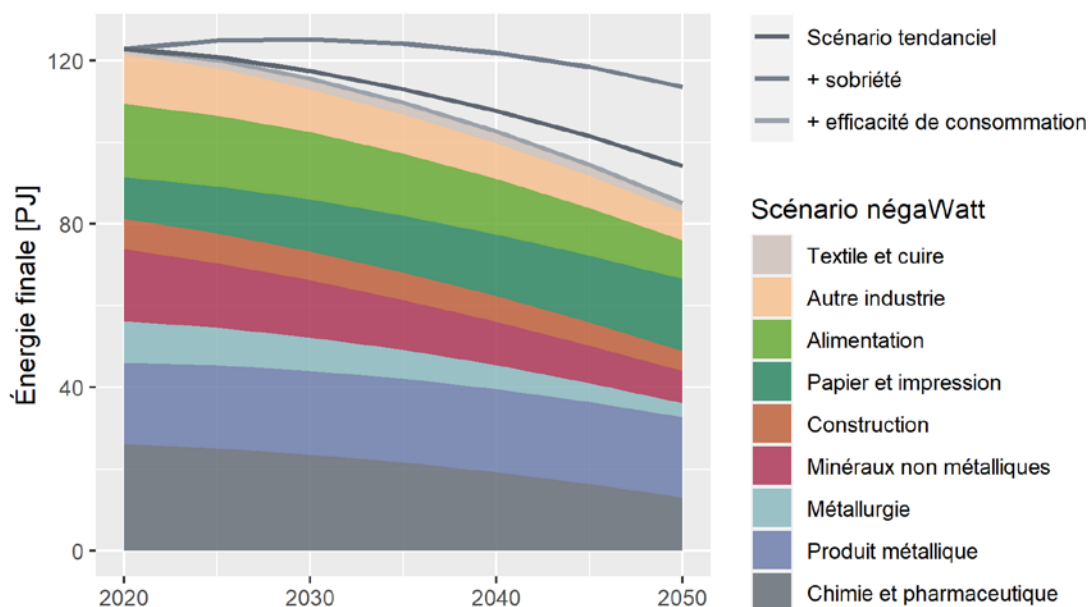


Figure 9 – Consommation en énergie finale du secteur de l'industrie. Il est important de noter que la sobriété vient augmenter la consommation énergétique suisse, de par la relocalisation de certaines branches, puis l'amélioration de l'efficacité permet au final de limiter l'impact énergétique. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production.

8 Consommation finale et production d'énergie

Les consommations finales des secteurs sont additionnées de façon à obtenir la consommation totale par secteur (Figure 10) et par vecteur énergétique (Figure 11). En 2050 et selon le scénario négaWatt, la Suisse pourrait consommer 355 PJ d'énergie finale, contre 721 PJ aujourd'hui (Figure 10). Le secteur du bâtiment consommerait 58% de l'énergie finale totale, puis vient l'industrie (24%), les transports (15%) et l'agriculture (3%). L'agriculture n'a pas été modélisée et la valeur actuelle a été reprise en 2050.

En comparaison aux statistiques actuelles de l'OFEN, la modélisation négaWatt représente fidèlement la situation actuelle, avec pour le bâtiment 361 PJ (stat : 386 PJ), le transport 203 PJ (stat : 233 PJ) et l'industrie 123 PJ (stat : 142 PJ). La différence pour le transport de personnes est principalement liée à la non-consideration, dans le scénario négaWatt, des transports non routiers (chantiers et agriculture notamment). Pour l'industrie, la différence est portée par la prise en compte des statistiques sectorielles et non globales.

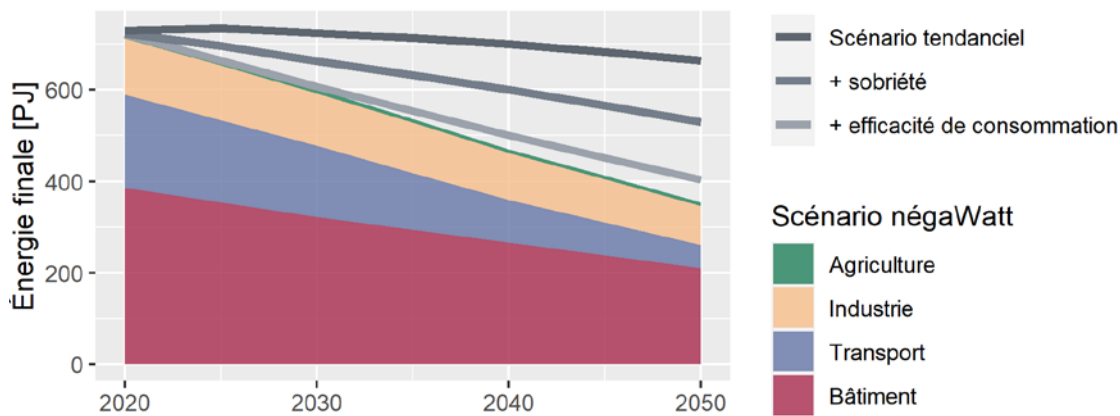


Figure 10 – Évolution de la consommation énergétique suisse. Le bâtiment reste le plus gros secteur suivi par l'industrie, les transports et l'agriculture. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production.

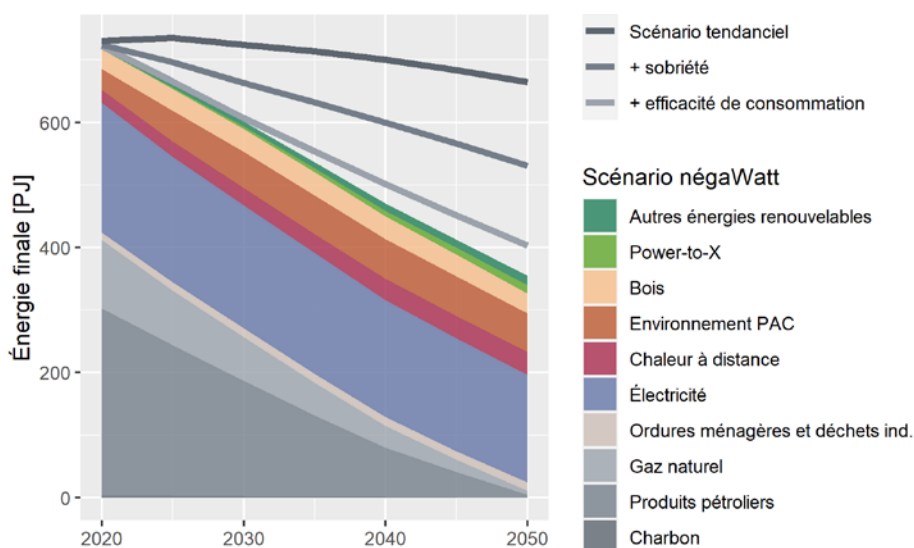


Figure 11 – Consommation finale par vecteurs énergétiques. En 2050, seuls 24 PJ sont non renouvelables. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production.

En termes de vecteurs énergétiques, la consommation finale en 2050 est principalement électrique (172 PJ, 48%), suivie par la chaleur puisée dans l'environnement par les PAC (62 PJ, 17%). Seul 24 PJ (6%) de cette consommation totale est non renouvelable, principalement constitué par l'incinération de déchets.

Sur cette base, le mix électrique électrique est défini avec l'énergie nucléaire qui est au fur et à mesure remplacée par du photovoltaïque de façon à sortir du nucléaire en 2035 (Figure 12). Il en est de même pour le chauffage à distance où les pompes à chaleur et la géothermie profonde remplaceront les énergies fossiles à l'horizon 2050.

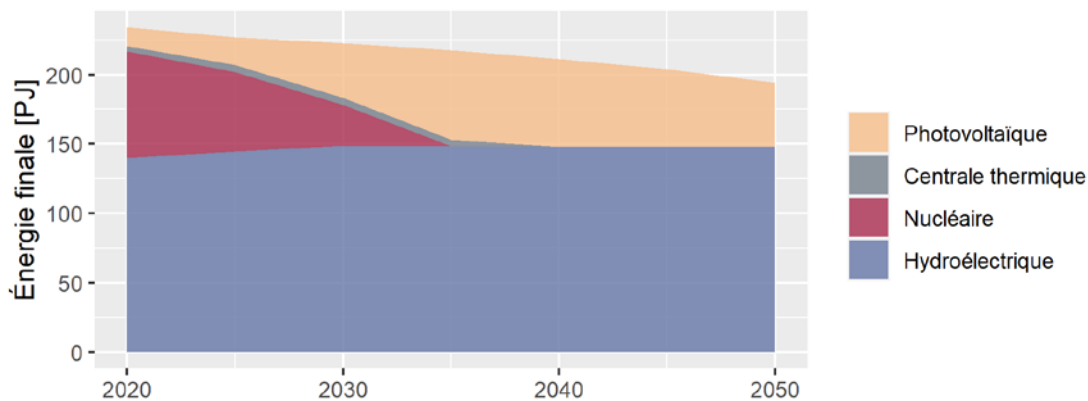


Figure 12 – Mix électrique en énergie finale. L'électricité issue du nucléaire sera au fur et à mesure remplacée par du photovoltaïque.

La consommation brute par vecteurs énergétiques primaires est ensuite calculée (Figure 13), puis les résultats sont validés par comparaison aux perspectives énergétiques 2050+ de l'OFEN (26.11.2020) en vérifiant que les consommations énergétiques par vecteurs primaires de négaWatt restent inférieures aux niveaux proposés par l'OFEN. Cela est tout à fait possible, car la consommation finale négaWatt est systématiquement plus basse. Cette méthodologie a été choisie car réaliser une prospective détaillée des potentiels de production énergétique est une démarche complexe et coûteuse. En conséquence, se baser sur les résultats de l'OFEN permet des économies de moyens et une validation solide.

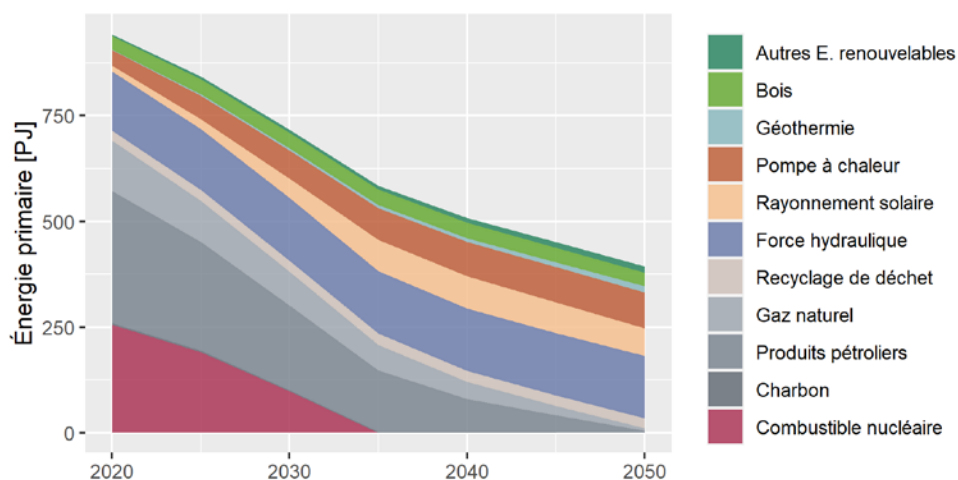


Figure 13 – Consommation brute par vecteurs énergétiques primaires. La Suisse sort du nucléaire en 2035 et en 2050 seuls 33,7 PJ ne sont pas renouvelables dont 23 PJ sont issus du recyclage de déchets.

En 2050, la consommation en énergie primaire est de 361 PJ dont 148 PJ (38 %) sont issus de la force hydraulique, 86 PJ (22 %) des PAC et 65 PJ (16 %) du rayonnement solaire. L'énergie issue de l'environnement par les PAC est principalement consommée par le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire), alors que l'électricité produite par la force hydraulique ou par rayonnement solaire est consommée par tous les secteurs. De plus, aucune importation d'énergie n'est nécessaire en 2050 pour satisfaire la demande. Les 361 PJ évalués au total représentent, au niveau individuel, une consommation annuelle de 9776 kWh par habitant en 2050, soit « une société à 1116 W ».

Enfin, les émissions de CO₂ sont calculées à partir de la consommation énergétique par vecteur primaire (Figure 14). En 2050, 2.8 MtCO₂ sont émises dont 2.1 MtCO₂ par l'incinération de déchets pour la production d'énergie.

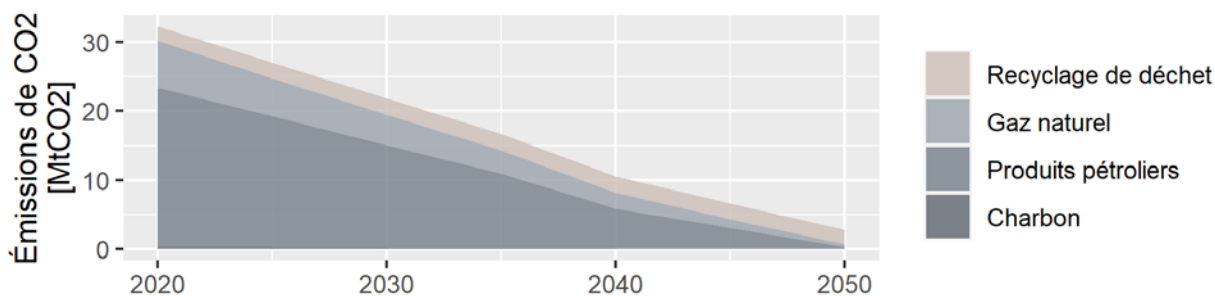


Figure 14 – Émissions de CO₂ par vecteurs énergétiques primaires, 2.8 MtCO₂ sont émises en 2050 dont 2.1 MtCO₂ sont dues au recyclage de déchets pour la production d'énergie.

9 La démarche négaWatt, résultats

En 2050, le scénario négaWatt prévoit une consommation de 355 PJ contre 665 PJ dans le scénario tendanciel, soit une baisse de 310 PJ due à 20 % à la sobriété (135 PJ) et à 19 % à l'efficacité de consommation (127 PJ). En parallèle, l'amélioration de l'efficacité de production et le glissement vers des énergies renouvelables permet une économie de 7 % (48 PJ), une sortie du nucléaire en 2035 et une consommation en 2050 de seulement 24 PJ d'énergie fossile (Figure 15).

Sobriété, efficacité et renouvelables

La force de la démarche négaWatt est la combinaison des trois piliers ; la sobriété et l'efficacité font fortement baisser la consommation, qui peut en conséquence être plus facilement couverte par des énergies renouvelables. En effet, en 2020 242 PJ de la consommation finale est déjà renouvelable. Aussi, afin de satisfaire la demande de 331 PJ en 2050 il est nécessaire d'augmenter la production uniquement de 89 PJ contre 254 PJ pour le scénario de l'OFEN, et ceci sans importation d'énergie.

Une consommation moindre présente plusieurs avantages :

- **Faciliter la sortie du nucléaire** en 2035
- **Diminuer plus rapidement les émissions de CO₂**
- **Développer un système énergétique plus robuste** moins dépendant d'investissement dans le développement de nouvelles technologies et des importations

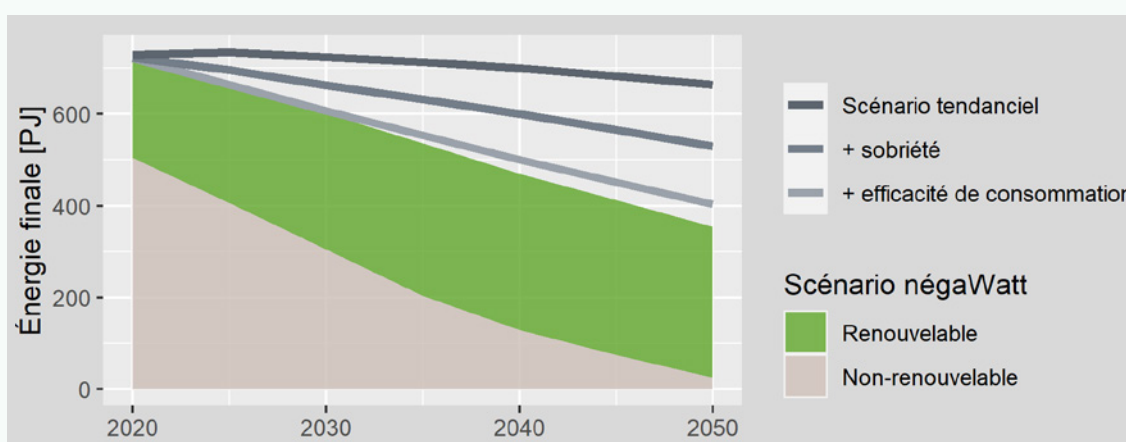


Figure 15 – Effets des trois piliers négaWatt sur la consommation-production. La sobriété et l'efficacité permettent d'économiser respectivement 20 % et 26 % (19 + 7) d'énergie et les besoins restants sont assurés à 93 % par des énergies renouvelables. Les courbes grises représentent les scénarios : tendanciel, tendanciel avec sobriété et tendanciel avec sobriété et efficacité de consommation. Le scénario négaWatt (plages colorées) inclut en plus le passage aux énergies renouvelables avec une amélioration de l'efficacité de production (la zone entre le trait efficacité de consommation et renouvelable).

10 Un scénario robuste

10.1 La sobriété dans les autres scénarios

Les principaux scénarios de prospectives énergétiques internationaux publiés et largement utilisés ne considèrent pas la sobriété dans leurs hypothèses de modélisation, à l'exception du secteur des transports dans lequel les performances de transport de personne et le choix modal sont souvent modifiés, ce qui peut s'apparenter à une forme de sobriété. Certains scénarios moins connus intègrent la sobriété explicitement. Cependant, il est souvent supposé qu'elle apparaisse dans la société sans plus d'explications et sans proposer de mesures concrètes d'accompagnement à mettre en place pour sa réalisation. De plus, l'effet des hypothèses de sobriété est rarement mis en avant dans les hypothèses d'évolutions. Il est donc difficile d'évaluer son rôle et son impact potentiel dans la transition énergétique.

En Suisse, les scénarios énergétiques publiés ne font pas exception. Les perspectives faisant office de références sont les perspectives énergétiques 2050 de l'OFEN, datant de 2012 et mises à jour en novembre 2020 (dont les résultats n'ont été que partiellement publiés). Dans la version de 2012, mise à part une limitation de l'augmentation des personnes-kilomètres supposée dans le scénario cible, les hypothèses proposées ne remettent pas en cause les comportements individuels et collectifs actuels. Il est d'ailleurs spécifié que la sobriété énergétique serait utilisée en dernier recours, dans le cas où les hypothèses d'amélioration de l'efficacité et de diffusion des énergies renouvelables ne suffisent pas à atteindre les objectifs fixés.

Parmi les scénarios publiés depuis, seuls trois d'entre eux intègrent explicitement la sobriété dans leurs hypothèses. Premièrement, les scénarios *pour l'approvisionnement électrique du futur* de l'association des entreprises électriques suisses (2012) considèrent une variante « sobriété » dans laquelle une transformation fondamentale des valeurs de la société conduit les gens à réduire partiellement et volontairement leur confort. Cependant, comme observé pour les scénarios internationaux, cette injonction n'est pas reliée concrètement à un résultat indépendant. Il est donc difficile de savoir quelle est l'évolution prévue de la surface des ménages, de la consommation ou encore des aspirations en termes de mobilités dans cette variante par rapport aux autres, et il est impossible de séparer l'impact de la sobriété des mesures d'efficacité supplémentaires considérées. Les mesures d'accompagnement de la sobriété proposées ne sont pas chiffrées et sont principalement punitives : interdictions, taxes élevées, obligation de rénover. Dès lors, au vu des mesures proposées (rien de concret sur les changements de comportements, mais beaucoup de restrictions et taxations) et des domaines d'impacts cités (seulement des domaines peu impactant en énergie), il semble que la sobriété abordée dans ce scénario soit plutôt une conscience environnementale qui permet d'accepter les mesures plutôt que de la sobriété volontaire réelle.

Le second scénario intégrant la sobriété explicitement est l'*energy [r]evolution* de Greenpeace (2013). Les changements de comportements y sont définis comme l'un des trois piliers de la modélisation. Dans le scénario de base, le secteur des transports considère déjà une réduction de la taille des véhicules, l'autopartage, un aménagement du territoire et une organisation des transports permettant de réduire les prestations kilométriques, sans cependant que ces mesures soient directement reliées à un résultat tangible et facilement identifiable. De plus, une variante « sobriété » considère une stabilisation des surfaces de logement et les prestations de transport au niveau de 2010. Les mesures concrètes et la faisabilité de ces hypothèses ne sont pas discutées en détails.

Finalement, l'étude *Kosten der (Nicht-)Energiewende* de la Fondation suisse de l'énergie (2013) part des scénarios des perspectives énergétiques de l'OFEN et cherche à optimiser les coûts de la transition énergétique, comme beaucoup d'autres études menées notamment par le Paul Scherrer Institut. Cette étude se distingue par la présence d'une variante « sobriété », dans laquelle les surfaces résidentielles augmentent plus faiblement, la température intérieure hivernale est abaissée de 0.5°C et les presta-

tions de transport des personnes sont réduites à leur niveau de 2010. Elle met donc en avant l'aspect financièrement intéressant de la sobriété qui, grâce à ces trois mesures facilement atteignables, permet un approvisionnement énergétique annuel moins cher de 360 millions de francs.

En plus de ces trois scénarios, le modèle de l'Alliance climatique (2016) est particulièrement intéressant d'un point de vue de la sobriété. En effet, cette vision de la société de 2030 intègre plusieurs hypothèses pouvant s'apparenter à de la sobriété, comme la stabilisation de la surface résidentielle, la réduction de la consommation d'eau chaude ou encore des mesures de réduction des pertes alimentaires et de la consommation de viande. Cependant, il s'agit d'un modèle statique et non d'un scénario et les hypothèses de changements de comportement ne sont pas explicitées ou accompagnées de mesures concrètes.

Dès lors, il semble qu'une étude telle que le scénario négaWatt, intégrant la sobriété de manière explicite dans ses hypothèses pour tous les secteurs énergétiques et mettant en avant une relation claire et quantifiée avec les impacts environnementaux manque en Suisse. De plus, un travail sur la plausibilité des hypothèses de sobriété, ainsi que la proposition d'un paquet de mesures nécessaire à déclencher et accompagner les changements de comportement est un atout indéniable pour solidifier le scénario et montrer plus clairement le chemin à prendre pour réussir une transition énergétique rapidement.

10.2 Comparaisons aux perspectives énergétiques 2050+

De nouvelles perspectives énergétiques 2050+ ont été dévoilées par l'OFEN à la fin de l'année 2020 avec, pour le moment, peu d'informations détaillées. Cependant, rien ne laisse à penser dans le premier rapport disponible que des hypothèses de sobriété autres que celles classiquement intégrées dans le secteur des transports de personnes ont été considérées. L'amélioration de l'efficacité et des énergies renouvelables sont particulièrement poussées. De plus, le scénario fait appel à des techniques de compensation du carbone (capture et stockage de carbone, émissions négatives), à hauteur de 12 millions de tonnes de CO₂ par an en 2050.

En termes de consommation finale d'énergie, les scénarios négaWatt et ZERO Basis (Scénario de référence des perspectives 2050+) prévoient respectivement une consommation de 525 PJ et 627 PJ en 2035, soit une différence de 102 PJ correspondant à l'effet de la sobriété dans le scénario négaWatt qui est de 92 PJ (Figure 16). En 2050, les consommations sont pour les scénarios négaWatt et ZERO Basis de respectivement 355 PJ et 524 PJ, soit une différence de 169 PJ qui correspondent à nouveau à l'effet de la sobriété avec 125 PJ. De plus, précisons que le scénario négaWatt atteint en 2035 le niveau prévu par ZERO Basis en 2050.

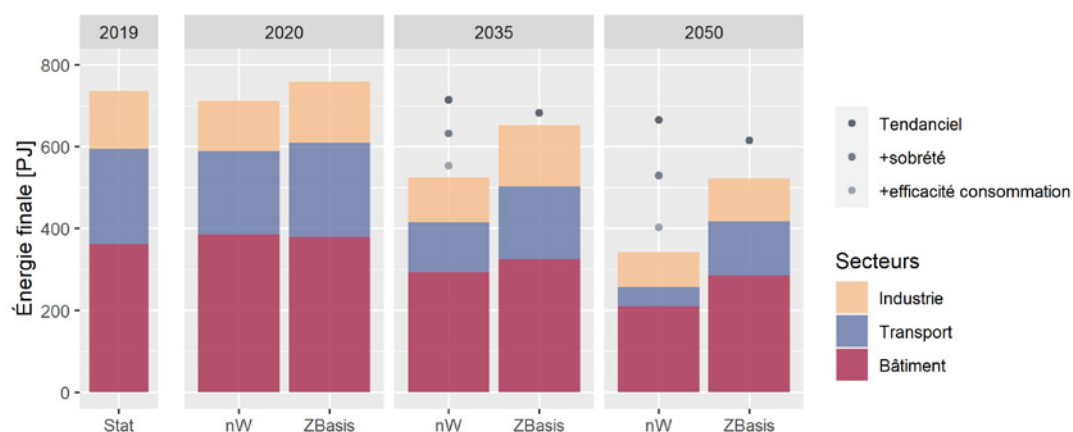


Figure 16 – Comparaison du scénario négaWatt (nW) aux statistiques actuelles (colonne stat sur le graphique) et aux perspectives énergétiques de l'OFEN (ZBasis). En 2020, la modélisation négaWatt représente fidèlement la réalité. Le scénario négaWatt prévoit une consommation de 525 PJ en 2035 (ZBasis 2050 : 524 PJ) et de 355 PJ en 2050, soit une consommation moindre de 169 PJ par rapport au scénario ZBasis en 2050.

Cette correspondance entre effet de la sobriété et différence entre les scénarios n'est pas surprenante puisque le scénario négaWatt s'est notamment appuyé sur les hypothèses des perspectives énergétiques de l'OFEN (2012) pour fixer les indicateurs d'efficacité et de renouvelable. Ainsi, la différence entre les scénarios représente indirectement l'effet de la sobriété qui, par un abaissement de la consommation, présente plusieurs avantages.

Tout d'abord, la sobriété permet une meilleure autonomie et sécurité énergétique pour la Suisse. En effet, le scénario ZERO Basis en 2050 prévoit des importations nettes d'énergie selon la période annuelle ou le vecteur énergétique considéré. De l'électricité doit par exemple être importée en hiver, ainsi que de l'hydrogène sur l'ensemble de l'année. Ces importations permettent notamment de satisfaire les pics de demande qui ne peuvent pas être satisfaits en l'état par le réseau énergétique national, car les énergies renouvelables sont très dépendantes des conditions extérieures et donc des systèmes de stockages qui présentent des capacités limitées. En conséquence, une limitation de la demande présenterait des pics moindres qui pourraient plus facilement être couverts par le réseau national, ce qui est également un moyen de s'assurer que l'électricité provient exclusivement de sources renouvelables et ainsi éviter d'externaliser les émissions de CO₂ hors de Suisse. En outre, les excès de production d'énergie électrique pourraient être utilisés dans les systèmes P2X au lieu d'importer les carburants en résultant.

Dans la même direction que le précédent paragraphe, la sortie du nucléaire en 2035 pourrait aussi être facilitée par un niveau moindre de consommation. En effet, cette période sera critique car l'électricité fournie jusqu'à là par les centrales nucléaires devra être assurée par d'autres moyens de production. Une demande énergétique moindre permettra de limiter les importations et la dépendance aux énergies fossiles. Pour rappel, le scénario négaWatt présente en 2035 le même niveau de consommation que ZERO Basis en 2050 (Figure 16).

De plus, la décarbonation du parc de bâtiments et de véhicules demande d'importants investissements financiers et humains. Les perspectives énergétiques parlent d'investissements d'environ 1'400 milliards de CHF. La sobriété permet de concentrer ces moyens limités sur cette décarbonation en réduisant les besoins d'investissements pour la production d'énergie de sources renouvelables et leurs moyens de stockage. En effet, la demande réduite en énergie permet par exemple de ne pas devoir compenser l'entier de la production énergétique fossile par des nouvelles sources renouvelables ou par la mise en place de technologies de captage et d'enfouissement de CO₂, comme prévu dans le scénario ZERO Basis. L'argent économisé pourra alors être redistribué dans des programmes d'améliorations de l'efficacité, des mesures de promotion de la sobriété ou encore pour assurer la justice sociale de cette transition énergétique. Ainsi, les besoins réduits en surface résidentielle permettraient de concentrer les moyens financiers et humains du secteur de la construction aux rénovations énergétiques et aux changements de chaudières, réduisant d'autant plus les besoins en énergie dans les bâtiments.

Les points précédents permettent de montrer qu'il ne s'agit pas de choisir entre des mesures techniques ou de sobriété, mais de les utiliser de manières complémentaires. La sobriété permet de limiter la consommation et de libérer des moyens financiers qui étaient initialement prévus pour augmenter la production en termes d'efficacité et d'énergies renouvelables, mais via des technologies complexes. Ces moyens financiers pourront être investis dans des solutions moins coûteuses. Un recours systématique aux trois piliers – sobriété, efficacité et énergies renouvelables – permettra de faciliter et d'accélérer la transition énergétique vers une société décarbonée.

Points clés

Des hypothèses réalistes

Le scénario négaWatt est une démarche prospective visant à explorer un futur possible. En ce sens, les hypothèses de sobriété sont basées sur des mesures et évolutions socio-économiques réalistes, et les améliorations d'efficacité ainsi que les perspectives de développement d'énergies renouvelables prévues sont réalisables avec les technologies actuelles.

Baisse forte de la consommation

La démarche négaWatt permet une baisse forte de la consommation énergétique finale, en passant de 712 PJ aujourd'hui à 355 PJ en 2050, contre 524 PJ prévus par les perspectives énergétiques 2050+ de l'OFEN. La sobriété et l'efficacité permettent une baisse de la consommation de respectivement 20 % et 19 % par rapport au scénario tendanciel.

Sortie facilitée des énergies fossiles et fissiles

Quitter les énergies fossiles et fissiles demandera de satisfaire la demande énergétique par des sources renouvelables, impliquant des moyens technologiques et financiers conséquents. Une consommation limitée donnera la possibilité de se tourner vers des solutions plus simples et moins coûteuses permettant d'accélérer la transition écologique. De plus les émissions de CO₂ seraient aussi moindres, limitant ainsi les recours à des technologies de captage et d'enfouissement de CO₂.

Autonomie et sécurité énergétique

Une demande en énergie moindre pourra plus facilement être couverte par des infrastructures et technologies sobres et sans importation, que ce soit de l'électricité sur certaines périodes de l'année ou de carburants issus de technologie P2X.

Un cumul de mesure

Le scénario négaWatt inclut à travers ses hypothèses une série de mesure de sobriété, d'efficacité et de développement des énergies renouvelables. Prises individuellement, ces actions n'ont que peu d'effet, mais c'est bien leur combinaison qui permet d'arriver à une consommation faible en 2050.

Justice sociale

Une sobriété volontaire mise en place dès aujourd'hui permettra d'éviter demain – face à une urgence climatique encore plus impérieuse – de mettre en œuvre une sobriété contrainte, composée de mesures restrictives et de taxes.

Des piliers complémentaires pour un effet boule de neige

La sobriété permet de limiter la consommation et donc de libérer des moyens financiers et techniques – initialement prévus pour la production d'énergie – qui peuvent être directement réinvestis dans le déploiement des piliers négaWatt, afin d'accélérer la transition énergétique.

Analyse critique de la méthodologie

Par définition, toute modélisation est une simplification et une approximation de la réalité. Le scénario négaWatt n'y coupe pas. Certains calculs pourraient être affinés et des compléments dans certains domaines seraient pertinents. Ces optimisations sont discutées dans les paragraphes qui suivent, tout comme les points forts sont aussi mis en avant.

Le scénario et l'outil de modélisation négaWatt ont été développés en une année. Cela a été rendu possible par la mise à disposition par négaWatt France d'un dashboard (listing d'indicateurs). Ce support a permis un gain de temps conséquent sur la mise en place de la méthodologie. De plus, le scénario négaWatt s'est appuyé – tout en conservant un regard critique – sur plusieurs des hypothèses de modélisation utilisées dans les prospectives énergétiques de l'OFEN (2012 et 2020), notamment pour évaluer les gains d'efficacité envisageables et les perspectives de développement des énergies renouvelables. Ces deux sources principales de scénarisation, négaWatt-France et OFEN, ont ainsi permis un développement rapide et solide du scénario. Néanmoins, certaines hypothèses pourraient être consolidées, en particulier pour le secteur de l'industrie et pour la production d'énergie. Des tables rondes permettant une critique constructive avec des experts, comme cela a été fait pour le secteur du bâtiment, pourraient être organisées afin de renforcer le scénario.

En ce qui concerne le secteur de l'agriculture, il sera modélisé dans les mois qui viennent par l'institut Solagro⁹. Dans l'attente, il a été considéré comme constant en terme de consommation énergétique entre aujourd'hui et 2050 avec en demande d'environ 8 PJ. Cette approximation forte n'a que peu de conséquences sur l'ensemble du scénario puisqu'il ne représente en 2050 que 2 % de la consommation totale. Le problème se situe au niveau des émissions de GES ; en effet, ce secteur émet également du méthane, un gaz à fort impact sur le réchauffement climatique qui n'est en l'occurrence pas considéré. C'est également le cas pour le secteur de l'industrie, où seules les émissions de CO₂ ont été prises en compte. Des modules pourraient ainsi venir compléter la modélisation actuelle, l'un pour le secteur de l'agriculture afin de préciser sa consommation énergétique et un autre permettant d'inclure tous les GES dans les secteurs de l'industrie et de l'agriculture.

Les consommations énergétiques rattachées au secteur de l'industrie pourraient également être précisées en basant la modélisation sur les besoins de la population en termes de biens de consommation et non sur la production, comme c'est le cas actuellement. Cette technique permettrait d'homogénéiser l'approche du secteur de l'industrie avec celle développée pour les secteurs du bâtiment et des transports, et permettrait d'inclure la sobriété dans la modélisation d'une façon plus explicite.

Une évaluation plus fine pourrait également être menée pour rendre compte de la trajectoire entre la situation actuelle et la situation 2050. En effet, une évolution linéaire a été appliquée à plusieurs hypothèses sur les trois décennies considérées. Des effets de rupture pourraient par exemple être intégrés. L'objectif de ce scénario est de se rapprocher de la neutralité carbone en se basant sur des hypothèses « réalistes ». Pour cette raison des émissions (faibles) de CO₂ sont encore présentes en 2050, mais la démarche inverse pourrait être suivie : fixer à zéro en 2050 les émissions de CO₂ et déterminer les conditions d'atteinte de cet objectif (approche back-casting).

Enfin, il apparaît utile et pertinent d'envisager une estimation des coûts et bénéfices de la transition écologique sur la base de la démarche négaWatt et de les comparer à ceux qui seraient associés à une évolution tendancielle.

⁹ <https://solagro.org/>

11 Un scénario tourné vers l'avenir

La démarche négaWatt offre des atouts indéniables en cette période de transition écologique dictée par l'urgence climatique et l'impératif de diminuer les émissions de CO₂, ainsi que par la sortie du nucléaire. En effet, les piliers négaWatt peuvent constituer le socle d'un système énergétique robuste constitué d'une demande faible – grâce à la sobriété et l'efficacité – plus faciles à satisfaire par des énergies renouvelables qui devront remplacer au plus vite les énergies fossiles et fissiles. Ainsi, le scénario négaWatt décrit un chemin permettant de passer avec plus de facilité et de sécurité vers la transition énergétique.

Le développement de ce scénario s'est déroulé sur l'année 2020 avec une publication en 2021. Il s'agit d'un exercice prospectif permettant de mettre en avant un chemin vers la neutralité carbone à l'horizon 2050. Néanmoins, l'objectif collectif auquel participe négaWatt – un système énergétique sans impacts environnementaux ni risques technologiques – n'est pas atteint. Aussi, afin de s'en rapprocher, l'association négaWatt va dès cette année mettre en œuvre plusieurs actions.

Il s'agira d'une part de communiquer les effets de la démarche négaWatt sur le système énergétique, mais surtout de promouvoir les mesures pour y arriver.

Plusieurs canaux seront utilisés, ainsi l'organisation d'une journée de débat autour de la démarche négaWatt en présence d'experts et de politiciens issus de différents milieux. De plus, une structure indépendante sera développée avec l'objectif de proposer aux communes et cantons des études territoriales visant à mettre en avant les potentielles économies d'énergie qui pourraient être réalisées à travers la démarche négaWatt ainsi que les mesures à mettre en œuvre afin d'y arriver. Les canaux usuels, tels que conférences grand-public ou site internet, seront bien évidemment aussi utilisés.

En parallèle, négaWatt améliorera aussi son scénario qui comporte évidemment des défauts, liés entre autres au fait qu'il s'agit de sa première version. Cela se fera principalement par des discussions avec des experts de différents domaines, afin d'adapter au mieux les hypothèses de modélisation aux potentielles évolutions futures.

Ainsi, tout comme la transition écologique, les objectifs de négaWatt sont ambitieux mais réalisables et demanderont certainement une belle énergie.

Qui sommes-nous ?



négaWatt est un collectif créé en 2016 par Philippe Bovet. Cette structure, devenue association en 2018, a été fondée avec pour objectif de présenter et promouvoir la démarche négaWatt - sobriété, efficacité et renouvelables – à travers un scénario national, afin d'enrichir le débat suisse dans le domaine de l'énergie. Elle compte aujourd'hui douze membres issus de milieux et formations différents (journaliste, professeur à l'ETH, services communaux, groupe de production d'énergie, bureaux d'études, etc.) tous animés par le souhait de voir un système énergétique plus durable se mettre en place en Suisse.



Mobil'homme est un bureau de sciences sociales, issu du Laboratoire de sociologie urbaine de l'EPFL et rattaché au Centre de transports de l'EPFL. Les membres de l'équipe sont aussi actifs dans la recherche scientifique fondamentale et dans l'enseignement supérieur en Europe. Cette situation unique fait de Mobil'homme un point de passage rare entre recherche en sociologie, urbanisme, économie régionale, sciences politiques ou géographie et l'expertise de haut niveau. Le scénario négaWatt a été développé par David Moreau (Ing. EPFL en environnement), Emmanuel Ravalet (Dr Ing. EPFL en Science économique et étude urbaine) et Flavio Principi (Stagiaire EPFL en énergie).

Un service industriel, une fondation, et des personnes

Le développement de ce scénario a été rendu possible par le financement du fond Vitale Innovation des Systèmes Industriels de Genève (SIG) et par le soutien de la fondation Charles Léopold Mayer pour le progrès de l'Homme (FPH). De plus, il a été le fruit de la collaboration de nombreuses personnes dont une série d'experts des différents domaines abordés qui nous ont offert leurs connaissances et expériences et sans oublier le soutien de l'association négaWatt-France tout au long du développement du scénario.

