

Évaluation de la consommation électrique de la couche TIC dans les Smart Grids

Juin 2015

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :  Capgemini Consulting
N° de contrat 1405C0049

Coordination technique : *Bertholon Marion* – **Direction\Service :** *DPED / SRER*



RAPPORT FINAL

Paris, Juin 2015.

Etude réalisée entre Mars et Mai 2015

Equipe ADEME

David MARCHAL, Chef de Service Adjoint Réseaux et Energies Renouvelables, david.marchal@ademe.fr
Marion BERTHOLON, Ingénieur Réseaux Electriques Intelligents, marion.bertholon@ademe.fr

Equipe Capgemini Consulting

Alain CHARDON, Directeur Transition Energétique, alain.chardon@capgemini.com
Alexandre AUTHEMAN, Consultant, alexandre.autheman@capgemini.com

Vifs remerciements aux acteurs consultés en ateliers et entretiens

ADEME, Alain ANGLADE, Maxime PASQUIER, Gaëlle REBEC, Martin REGNER, **ALSTOM**, Niels SIBERT, **CAPGEMINI**, Philippe BOUERE, Eric GRIEHSE, Thierry JOURDAN, Jacques MILLERY, Thierry DE GUYER, Frédéric WARIN, **CNR**, Arnaud CUISSON, **EDF**, Guillaume ANTOINE, Olaf MAXANT, Yves DHERBECOURT, **ELD SRD**, Emilie CHEVRIER, **ERDF**, Alexis PHELIZON, Marc DE POSSESSE, Jean-Marie GARRAUD, Francis GALLON, Michel CORDONNIER, Marc DELANDRE, **G2 MOBILITY**, Guillaume TOUCHAIS, **ENGIE ECOMETERING**, Guillaume LEHEC, **GIREVE**, Gilles BERNARD, **GRENOBLE INP**, Damien PICAULT, **IES**, Gil SOUVIRON, **IJENKO**, Rhita CHATILA, **LANDYS & GYR**, Michel MICHOU, **LEGRAND**, Daniel DUMOUCHEL, **MINES PARIS TECH**, Georges KARINIOTAKIS, **ORANGE**, Marc VAUTIER, Laurent CHIVOT, **PARK & PLUG**, Pascal TOGGENBURGER, **RENAULT**, François COLET, **SOGETI HT**, Fabien SENLANNES, Philippe RAVIX, **SCHNEIDER**, Claude RICAUD, Teddy RUEZ.

Disclaimer

Les hypothèses prises dans ce rapport concernant les réseaux publics de distribution et le comptage sont effectuées dans une visée de prospective et d'évaluation en ordre de grandeur. Elles sont le fait du consultant et d'arbitrages au cours de l'étude sur la base d'entretiens informels avec les divers acteurs.

Citation de ce rapport

Marion BERTHOLON, Alain CHARDON, Alexandre AUTHEMAN, Juin 2015. Évaluation de la consommation électrique de la couche TIC dans les Smart Grids – Rapport final. ADEME, CAPGEMINI CONSULTING. 86 pages.

Marion BERTHOLON, Alain CHARDON, Alexandre AUTHEMAN, June 2015. Evaluation of the electricity consumption of the Smart grids ICT layer – Final report. ADEME, CAPGEMINI CONSULTING. 86 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Résumé

Enjeux et objectifs

Face aux enjeux de la transition énergétique, les réseaux électriques actuels sont confrontés à plusieurs défis. Ils doivent intégrer de nouvelles formes de productions d'énergies renouvelables, décentralisées et variables, se préparer à l'arrivée massive de nouveaux usages de consommation tout en assurant le maintien d'une bonne qualité d'acheminement en électricité. Il leur faut en même temps évoluer vers des modes de gestion de l'offre et de la demande à la fois plus efficaces et moins énergivores.

Cette mutation des réseaux électriques ne peut se faire sans un déploiement massif de technologies de l'information et de la télécommunication (TIC). Le développement des TIC répond à deux enjeux principaux :

- Améliorer la connaissance du système électrique dans son ensemble, ce qui passe par la multiplication des capteurs et des données ;
- Piloter le système électrique de façon plus réactive de façon à le rendre plus flexible à tous les niveaux entre la production et la consommation des systèmes électriques. De façon toute aussi importante, les TIC permettront de piloter plus finement les usages afin d'obtenir des gains importants en termes de MDE.

Ce développement des TIC va concerner différemment toutes les strates du système électrique : du cœur de réseau à l'intérieur de la maison. Les solutions « Smart » pour l'énergie intègrent plusieurs technologies de l'information et de la communication (TIC) : internet des objets, boîtiers et gateways¹, communications filaires et radio, centres de données, téléphones intelligents, etc. Ces équipements représentent un impact en termes de consommation électrique.

Dans ce contexte, même si le développement des TIC dans les réseaux électriques intelligents se fait pour améliorer le bilan économique et environnemental du système électrique (développement des énergies renouvelables et de la maîtrise de la demande d'électricité), l'ADEME a souhaité, à travers cette étude exploratoire confiée à Capgemini Consulting, évaluer la consommation d'électricité induite par leur développement. Il s'agit là d'une première évaluation en ordre de grandeur de la consommation électrique de la couche TIC dans les Smart Grids à l'horizon 2020 et 2030 à l'échelle française. Il est important de souligner que cette étude :

- est une analyse seule de la consommation d'électricité induite par la couche TIC, sur une échelle annuelle. Elle ne calcule pas le bilan net ou l'analyse coût bénéfice en termes de consommation énergétique. Elle ne prend pas non plus en compte la consommation électrique des usages pilotés²,
- n'est pas une analyse du cycle de vie (ACV). Une partie significative, parfois majoritaire, des émissions CO₂ sur le cycle de vie est liée à l'énergie grise initiale de fabrication, non prise en compte dans l'étude,
- produit une « photo » en 2020 et 2030 sans chercher à calculer une différence avec aujourd'hui.

Avant d'analyser les résultats de l'étude ci-dessous, il est nécessaire d'avoir à l'esprit les points suivants :

¹ Passerelle de communication

² Par exemple, dans le cas du pilotage de la charge d'un véhicule électrique, la consommation TIC correspond à la consommation des équipements TIC permettant de piloter intelligemment la charge du véhicule (capteur, flux de données, serveur informatiques...), mais pas l'électricité consommée pour charger le véhicule.

- On observe aujourd'hui partout dans le monde et dans tous les secteurs un mouvement très rapide vers plus de données et de communication, indépendamment des smart-grids ;
- Certains objets dont la consommation est prise en compte dans cette étude, comme le compteur Linky, n'ont pas pour seul bénéfice de faciliter l'effacement, de piloter des objets connectés ou de concourir à l'observabilité du réseau. Ils dégagent également de nombreux bénéfices économiques non traités dans ce rapport. Pour le compteur Linky, nous pourrions citer les bénéfices liées à la relève automatique et donc au non déplacement des agents.

Domaines traités et approche

Afin de segmenter l'étude, l'évaluation de la couche TIC a été réalisée dans quatre domaines des smart grids³ :

- **Smart metering (SM) : l'infrastructure de comptage communicant**, liée au compteur communicant Linky. L'évaluation porte sur la chaîne de comptage complète : compteurs, concentrateurs, datacenters, communication en courant porteur en ligne (CPL) et en téléphonie cellulaire, etc.
- **Smart home (SH) : l'infrastructure nécessaire au pilotage des consommations résidentielles** pour offrir de la flexibilité pour le réseau. On considère toute la chaîne liée à un acte de flexibilité chez un consommateur résidentiel : du boîtier dans le logement aux datacenters gérant celui-ci en passant par les objets pilotés et les routeurs internet nécessaires à la transmission de l'information. Est aussi pris en compte la consommation liée au fonctionnement du réseau domestique de communication permettant d'assurer le pilotage des appareils.
- **Smart charge des véhicules électriques (SVEL) : l'infrastructure permettant le pilotage de la charge de véhicules électriques** en prenant en compte des contraintes réseau. Il s'agit d'analyser la consommation d'un système intelligent et communicant entre le véhicule, la borne, le réseau électrique et les datacenters des différents acteurs.
- **Smart réseau public de distribution (SRPD) : les technologies permettant une meilleure observabilité et un pilotage du réseau de distribution moyenne et basse tension**. On s'intéresse aux équipements placés dans le poste source, aux capteurs sur les lignes moyenne tension, ainsi qu'à la communication avec les parcs de production de sources renouvelables et les postes de distribution.

Deux à quatre cas d'usages ont été définis pour chaque domaine, à l'occasion d'un atelier regroupant des acteurs variés de chaque chaîne. Les cas d'usages vont du plus simple au plus technologique. Ils ne sont pas exhaustifs, mais se veulent représentatifs en termes de flux et de traitements de données. En tout, 13 cas d'usages ont été documentés et modélisés sur la base de technologies actuelles, auxquelles ont été appliqués des facteurs de progrès aux horizons 2020 et 2030 du type « Loi de Moore ». Enfin une extrapolation à l'échelle de la France a été obtenue à ces mêmes horizons en combinant des proportions jugées réalistes de chacun de ces cas d'usages.

³ Notons que le réseau de transport d'électricité n'a pas été pris en compte, étant entendu qu'il est déjà à ce jour doté d'une infrastructure de communication importante.

Principaux résultats

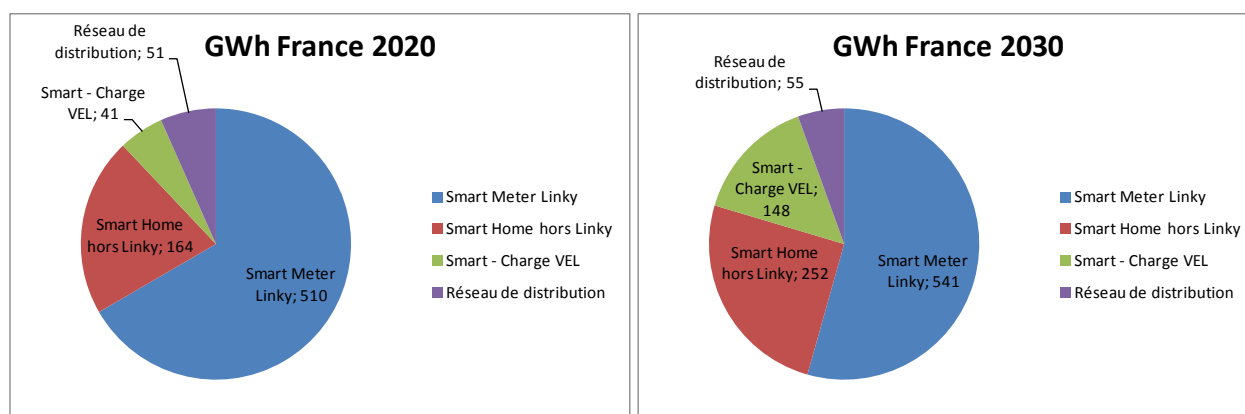
La combinaison des cas d'usages conduit à évaluer le nombre d'objets connectés pour les quatre domaines étudiés à 150 millions en 2020 et 350 millions en 2030 (compteurs, capteurs, actionneurs, boîtiers, smartphones, etc.).

En 2020 comme en 2030, la majeure partie de la consommation des TIC vient du comptage (en bleu dans la Figure 1). Cette part est importante car elle concernera plus de 30 millions de consommateurs dès 2020, contrairement aux autres cas d'usages regroupant moins d'utilisateurs finaux. De plus, Linky constituera un parc qui une fois installé en 2020-2022 aura une consommation par compteur qui bougera peu jusqu'en 2030. Cette part importante est donc à nuancer en analysant la consommation par client (Tableau 2, page suivante).

Les équipements pour smart homes constitueront un marché progressif de primo-installation, avec des renouvellements plus forts, des durées de vie plus courtes et des consommations par appareil nouvellement installé qui bénéficieront des progrès entre 2020 et 2030 (en rouge dans la Figure 1).

La part du pilotage de la charge de véhicules électriques est inférieure dans l'absolu (en vert dans la Figure 1), mais elle est importante rapportée à chaque utilisateur de ce mode de déplacement. L'observabilité et le pilotage du réseau consomment peu d'énergie, par client et dans l'absolu (en violet dans la Figure 1).

Figure 1 – Consommation totale d'électricité de la couche TIC pour les 4 domaines de Smart Grids, prenant en compte une hypothèse moyenne de progrès technologique



Si les technologies de l'information restaient ce qu'elles sont actuellement, les consommations de la couche TIC des smart grids seraient de l'ordre de 3,4 TWh en 2030 (Tableau 1) pour le périmètre des Smart Grids examinés : smart meter, smart home, pilotage de la charge des véhicules électriques, réseau de distribution. Le progrès technologique s'applique à ce périmètre des TIC comme à d'autres, ce qui amène la consommation dans une fourchette probable **de 0,8 TWh à 1,5 TWh entre 2020 et 2030**.

Tableau 1 - Chiffres clé 2020 & 2030 – Consommations totale d'électricité, avec et sans Loi de Moore⁴

Consommations d'électricité de la couche TIC des smart grids	Unité	2020	2030
Hypothèse moyenne ⁵	GWh	766	996
Hypothèse haute ⁶	GWh	851	1535
Sans progrès technologique (à consommations unitaires actuelles - 2015)	GWh	992	3 410

A titre de comparaison, 1 TWh ne représente que 0,6% des 160 TWh de consommation électrique résidentielle. Cela se compare aussi aux 6% (20 TWh) de pertes annuelles sur le réseau de distribution pour 396 TWh d'énergie acheminée. **Les consommations de la couche TIC des réseaux smart grids sont raisonnables au regard des avantages cités en introduction**, en particulier pour bénéficier à la fois des flexibilités qui seront absolument nécessaires à l'horizon 2020-2030 dans la gestion du réseau électrique et de l'équilibre offre demande, et de gisements nouveaux d'économies d'énergie.

Les volumes et les flux de données de la sphère Smart Grid ne compteront que pour 0,1% à 1% de la datasphère française. Les flux de données et leur stockage sont faibles devant ceux générés par les loisirs multimédia. En effet, on ne compte que quelques centaines de téraoctets par an, qui correspondent à quelques milliers accumulés au bout de dix ans et quelques MW de datacenters pour l'énergie, à comparer aux millions voire milliards de téraoctets annuels de la sphère digitale française totale. Les 1 à 3,4 TWh de la couche TIC des smart grids en 2030 peuvent être comparés aux 20,5 TWh de consommation résidentielle actuelle en informatique et audiovisuel identifiés par le bilan prévisionnel 2014 de RTE.

Tableau 2 – Electricité annuelle consommée par la couche TIC des smart grid, par client et par domaine en 2020 et en 2030 (moyenne et min-max entre parenthèses)

Domaine		2020	2030
SM - Smart Meter Linky ⁷	kWh annuels / client	17	15
SH – Smart Home (y compris Linky) ⁸	kWh annuels / client	31 (17-160)	31 (16-56)
SH – Smart Home (sans compter Linky)	kWh annuels / client	14 (0-142)	16 (0-40)
SVEL – Smart pilotage de la charge VEL ⁹	kWh annuels / client	69 (0-114)	37 (3-61)
SRPD – Smart réseau public de distribution ¹⁰	kWh annuels / client	2	2

⁴ La loi de Moore énonce que les consommations des technologies de l'information et de la communication (TIC) sont divisées par deux tous les N mois, N dépendant de chaque type d'équipement (diminution exponentielle)

⁵ Pour un taux de cannibalisation de 50%, Cf plus loin la Figure 3 - Sensibilité de la consommation TIC France 2020 et 2030 au taux de cannibalisation de la Loi de Moore

⁶ Pour un taux de cannibalisation de 75%, Cf plus loin la Figure 3 - Sensibilité de la consommation TIC France 2020 et 2030 au taux de cannibalisation de la Loi de Moore

⁷ Pour 30 millions (2020) puis 35 millions (2030) de clients basse tension connectés avec le compteur Linky,

⁸ Pour 12 millions (2020) puis 15,75 millions (2030) de clients équipés en smart home connecté (depuis l'eau chaude sanitaire pilotée depuis le compteur jusqu'au smart home le plus avancé avec un grand nombre d'équipements connectés dans la maison),

⁹ Pour 0,6 millions (2020) puis 4 millions (2030) de véhicules électriques ou hybrides rechargeables,

¹⁰ Pour 35 millions (2020 et 2030) de clients du réseau public de distribution basse tension

Le Tableau 2 fournit la moyenne du mix de cas d'usages. Entre parenthèses, le minimum correspond au cas d'usage le plus simple, le maximum correspond au cas d'usage le plus avancé. L'évolution des minima et des maxima entre 2020 et 2030 vient du progrès technologique de chaque cas d'usage. L'évolution de la moyenne dépend du mix entre les cas d'usages.

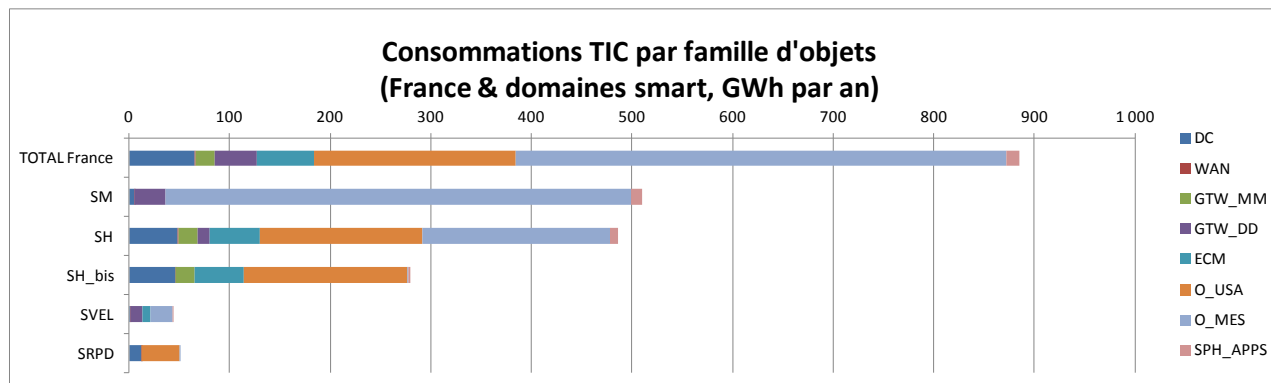
Ramenés au client, Linky et le Smart Home engendrent une consommation annuelle de l'ordre de 15 kWh chacun, à comparer par exemple à la consommation annuelle d'une télévision qui peut aller de 100 à 300 kWh. Notons que, s'agissant du compteur Linky, cette consommation est pour l'essentiel portée par les acteurs de réseau et non par les ménages.

En 2020, le niveau local, qui comprend l'ensemble des équipements situés chez les clients, représente plus de 90% de la consommation totale de la couche TIC pour l'ensemble des cas d'usages. Le niveau médian de remontée et de descente des informations consomme 4% de l'ensemble (WAN réseaux internet et télécom) et le niveau central 4% (DC datacenters). Au niveau d'une box ou d'une gateway, la part liée à la puce d'émission réception est négligeable devant la part de consommation des circuits qui modulent très peu leur consommation en fonction de l'activité.

La figure ci-après fournit les consommations pour les familles d'équipements suivants :

- **Equipements centralisés : 4% des consommations**
 - DC : Datacenter / Centres informatiques
- **Equipement au niveau médian : 4% des consommations**
 - WAN : consommations dans les réseaux de télécommunication grande distance (Wide Area Network)
- **Equipements déployés localement : plus de 90% des consommations**
 - GTW_DD : Passerelles de communication dédiées comptées à 100% de leur consommation¹¹
 - GTW_MM : box internet ou multimedia familiales (gateways) comptées pour 10% de leur consommation
 - ECM : boîtiers energy & charge managers
 - O_USA : objets pilotant les usages
 - O_MES objets effectuant uniquement de la mesure
 - SPH_APPS smartphones comptés pour 5% de leur consommation

Figure 2 - Consommation de la couche TIC par famille d'objets en 2020



¹¹ Compté au niveau médian dans le cas d'usage Linky (GTW_DD correspondant au concentrateur)

Progrès technologique, loi de Moore et cannibalisation par l'inefficience fonctionnelle et applicative

Du côté de l'amélioration des consommations, l'ordre de grandeur proposé de 1 TWh de consommation électrique suppose que le progrès technologique a lieu et profite à la diminution des consommations TIC. L'étude a le mérite de proposer une première modélisation des progrès technologiques des TIC tenant compte non seulement de la loi de Moore mais aussi du ratio de cannibalisation de celle-ci par l'inefficience fonctionnelle et applicative.

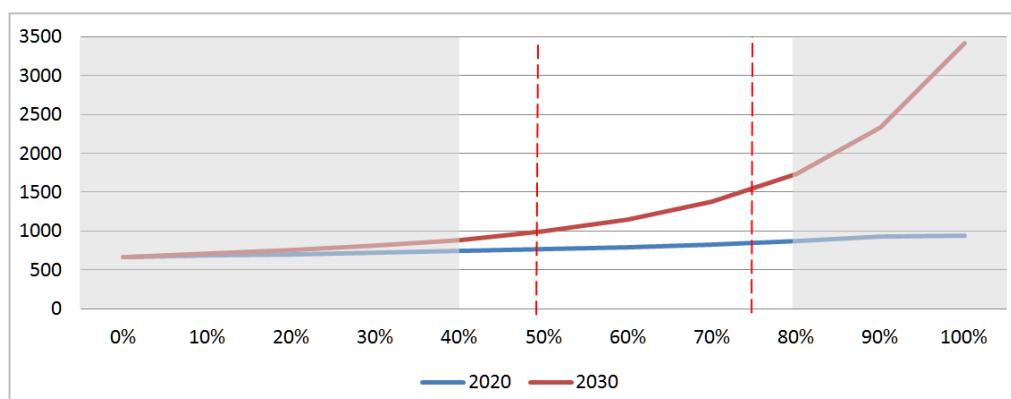
- La loi de Moore énonce que les consommations des technologies de l'information et de la communication (TIC) sont divisées par deux tous les N mois, N dépendant de chaque type d'équipement (diminution exponentielle).
- Le ratio de cannibalisation traduit l'alourdissement progressif des applications et la multiplicité de standards. Ces derniers « mangent » le progrès en capacités de calcul et de stockage supplémentaires, et font que le progrès technologique ne se traduit pas en bénéfice vu du client ni en réductions de consommations.

La Figure 3 montre que c'est le facteur de sensibilité majeur de l'étude. En l'absence d'éléments objectifs, on peut estimer que la fourchette de cannibalisation se situe raisonnablement dans une fourchette de 40 à 80% (zone blanche).

L'hypothèse centrale de l'étude repose sur un taux de 50%. Une variante haute est présentée dans les résultats du

Tableau 1 avec un taux de 75% (pointillés rouges).

Figure 3 - Sensibilité de la consommation TIC France 2020 et 2030 au taux de cannibalisation de la Loi de Moore



Points de vigilance

Plusieurs facteurs amènent à nuancer le constat d'un niveau raisonnable de consommation :

- **Certains cas d'usage semblent élevés par rapport à la consommation qui les concerne :**
 - Certains cas d'usages très avancés du Smart Home, avec un très fort déploiement de technologies, pourraient représenter jusqu'à 150 kWh par client et par an, soit 1 à 5% de leur consommation.
 - ⇒ En moyenne, le fonctionnement de la couche TIC pourrait absorber de 9% à 23% des gains MDE annuels¹²
 - La part de la consommation liée au pilotage de la charge de véhicules électriques est importante rapportée à chaque client puisqu'elle représente 2 à 5% de l'énergie de charge¹³.
- **Une approche plus complète en Analyse de Cycle de Vie pourrait nuancer le constat. Cette approche reste à approfondir, quelques points sont cependant à noter :**
 - Avec une approche très rapide qui reste à conforter par des études complémentaires, l'énergie grise multiplierait les consommations par un facteur 1,2 à 4,4, mais le retour sur investissement carbone reste presque toujours positif
 - Les temps de retour énergétique et CO₂ seraient moyens en 2020, avec une probabilité faible qu'il n'y ait pas de temps de retour positif à cet horizon. Les temps de retours sont corrects à bons en 2030 (<1 an à 5 ans, sur une durée de vie des équipements de 5 à 10 ans)
 - 35 à 70 millions de Déchets Electriques et Electroniques seraient générés annuellement par les TIC liées aux smart grids (DEEE) : l'enjeu est au moins aussi important que celui de la consommation d'électricité

Recommandations

La consommation électrique de la couche TIC dépendra de la façon dont on tire au mieux profit des progrès technologiques traduits dans la Loi de Moore, en particulier de la prise en compte ou

¹² Selon que l'on considère l'horizon 2020 ou 2030 ; selon que l'on considère tous les ménages équipés en smart meter ou seulement ceux aussi équipés en smart home. Hypothèses d'économies d'électricité de 0,5% à 10% selon les cas d'usages.

¹³ Ce résultat est à nuancer par le nombre encore restreint de VE aux horizons 2020 et 2030. Les effets d'échelle pourraient permettre d'amortir davantage l'installation. Ces chiffres importants sont également à relativiser par rapport à l'impact très fort sur la pointe qu'aurait un développement des VE sans pilotage de la charge.

non des bonnes pratiques d'écoconception fonctionnelle, logicielle et technique dans une logique de sobriété, d'efficacité et de mix de solutions pertinentes.

Une certaine vigilance reste de mise, qui amène à formuler les recommandations suivantes.

On s'attachera dans le développement de nouvelles solutions notamment à :

- Réduire en priorité la consommation et la taille des équipements (downsizing), notamment ceux qui sont déployés à grande échelle chez les particuliers. Dimensionner les boxes et appareils à l'optimum, éviter les surdimensionnement ou les surpuissances observées dans le monde multimédia.
- Développer des boîtiers communicants sachant moduler leur activité.
- Développer l'écoconception logicielle, applicative et technique pour sortir de la logique d'obésiciel et entrer dans la logique d'écogiciel.
- Développer les savoir-faire en algorithmes qui s'auto-adaptent au temps, aux capacités de calcul et aux capacités mémoire disponibles.
- Favoriser les transferts de savoir-faire de sobriété des objets en Energy Harvesting¹⁴ aussi bien vers les objets à pile que vers les objets sur secteur.
- Favoriser les standards ouverts, interopérables à chaque niveau du modèle OSI¹⁵, compatibles de bout en bout avec la logique d'internet des objets avec peu de « traductions » pour minimiser les puissances de calcul et le nombre de boîtiers propriétaires.
- Utiliser l'engouement pour les boxes en lien avec la sécurité ou la santé pour y ajouter les services à l'énergie. Mutualiser les équipements, notamment chez les particuliers. Gagner non seulement en mutualisation des consommations NTIC, mais aussi en capture du gisement de flexibilité et de MDE.
- Inciter clients et opérateurs à utiliser au mieux leurs équipements, non seulement pour la flexibilité, mais aussi pour générer des économies d'énergies.

En règle générale cette étude constitue un premier pas, qu'il conviendra d'approfondir et de compléter, notamment en termes de : compréhension de l'effet de cannibalisation de la loi de Moore ; de prise en compte de l'effet parc ; de nouveaux cas d'usages permis par les technologies SIMless basse fréquence longue portée ; de bilan énergétique et carbone incluant la fabrication ; de bilan matière du point de vue des déchets DEEE : d'une analyse de cycle de vie multi-critère.

Conclusion

Un déploiement de technologies smart grids compatible avec la transition énergétique aboutirait, d'après les premiers résultats de cette étude, à une consommation liée à la couche TIC d'environ 1 terawattheure annuel en 2030, pour l'ensemble des cas d'usage. Cette estimation est très dépendante d'hypothèses sur l'efficacité réelle des progrès technologiques liés au TIC. Cette consommation est principalement liée aux objets qui seront déployés massivement, et dans une moindre mesure aux infrastructures centralisées. En comparaison avec les pertes sur le réseau de distribution (20-30 TWh annuels), cette consommation est relativement faible. Il paraît important cependant de rappeler que les objets pris en compte dans cette étude, comme une borne de recharge de véhicule électrique ou le compteur communicant Linky par exemple, certes, consomment de l'énergie, mais apportent en contrepartie une vaste palette de services au

¹⁴ La récolte d'énergie (energy harvesting en anglais) est le processus par lequel de l'énergie est tirée de sources externes (solaire, éolienne, vibratoire, cinétique, chimique, etc.) en très faibles quantités, puis emmagasinée pour servir au fonctionnement autonome d'appareils de petite taille, par exemple des capteurs sans fil.

¹⁵ Le modèle OSI (*Open Systems Interconnection*) décrit en 7 couches les fonctionnalités nécessaires aux communications entre systèmes informatiques et leur organisation.

bénéfice de la transition énergétique. Ils contribueront à d'importantes améliorations de fonctionnement notamment dans les réseaux de transport et de distribution d'électricité ainsi qu'à une meilleure maîtrise de la demande en énergie grâce à un pilotage plus fin.

Table des matières

RÉSUMÉ POUR LES DÉCIDEURS	3
TABLE DES MATIÈRES	11
1. INTRODUCTION	15
1.1. Contexte : les TIC appelées à développement exponentiel dans l'énergie	15
1.2. Objectifs : identifier des ordres de grandeur et des pistes de réflexion	15
2. MÉTHODOLOGIE ET CADRAGE DE L'ÉTUDE	16
2.1. Principes, Démarche	16
2.2. Les 4 domaines Smart	16
2.2.1. Domaine Smart Meter (SM): Linky	16
2.2.2. Domaine Smart Home (SH) : pilotage des équipements pour générer de la flexibilité dans le résidentiel	17
2.2.3. Domaine Smart Charge du véhicule électrique (SVEL) : pilotage de la charge	17
2.2.4. Domaine Smart Réseau Public de Distribution (SRPD) : observabilité et pilotage du réseau	17
2.3. Les 13 Cas d'Usages (CDUs)	17
2.4. Règles d'extrapolation à la France entière aux horizons 2020 et 2030	18
2.4.1. Progrès des technologies	18
2.4.2. Image France Entière : pénétration des cas d'usages	20
3. DESCRIPTION DES CAS D'USAGES ET DES HYPOTHÈSES	21
3.1. Les Cas d'Usages Smart Meter Linky (SM)	22
3.1.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs	22
3.1.2. Périmètre de l'étude	23
3.1.3. Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie	23
3.1.4. Choix des cas d'usages (CDU)	24
3.1.5. Partis pris de modélisation et hypothèses importantes	26
3.2. Les Cas d'Usages Smart Home, effacements et flexibilité (SH)	27
3.2.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs	27
3.2.2. Périmètre de l'étude	29
3.2.3. Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie	29
3.2.4. Choix des cas d'usages (CDU)	30
3.2.5. Partis pris de modélisation et hypothèses importantes	32
3.3. Les Cas d'Usages pour le pilotage de la charge des véhicules électriques (SVEL)	36
3.3.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs	36
3.3.2. Périmètre de l'étude	38
3.3.3. Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie	38

3.3.4.	Choix des cas d'usage (CDU)	40
3.3.5.	Partis pris de modélisation et hypothèses importantes	42
3.4.	Les Cas d'Usages Observabilité et pilotage des Réseaux Publics de Distribution (SRPD)	46
3.4.1.	Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs	46
3.4.2.	Périmètre de l'étude	47
3.4.3.	Choix des cas d'usages (CDU)	48
3.4.4.	Partis pris de modélisation et hypothèses importantes	49
3.5.	Autres hypothèses de modélisation	50
3.5.1.	Datacenters	50
3.5.2.	Objets utilisés à des fins autres que le « Smart »	51
3.6.	Nombre d'actes de flexibilité	51
3.7.	Extrapolation France 2020 et 2030	53
3.7.1.	Loi de Moore & cannibalisation du progrès technologique intrinsèque	53
3.7.2.	Photographie France : hypothèses de mix des cas d'usage	54
4.	RÉSULTATS – ORDRES DE GRANDEUR CHIFFRÉS	56
4.1.	Consommation totale 2020 et 2030	56
4.2.	Nombre d'objets et d'usages connectés, MW de datacenters	56
4.3.	Résultats par domaine	57
4.4.	Résultats par cas d'usages	59
4.5.	Résultats par niveau et par famille d'objets communicants	60
4.6.	Résultats par client	62
4.7.	Résultats par acte de flexibilité pour un client	63
4.8.	Résultats par acte de flexibilité pour un usage piloté	65
4.9.	Résultats par fonction	66
5.	DISCUSSION, ANALYSES ET ENSEIGNEMENTS	67
5.1.	Une fourchette de 0,8 TWh à 1,5 TWh pour la couche NTIC Smart grids	67
5.2.	La sphère Smart Grid compte pour 0,1% à 1% de la sphère digitale française	67
5.3.	Coût / bénéfice : le fonctionnement de la couche TIC consomme 9% à 45% des gains MDE annuels	68
5.4.	Coût / bénéfice : l'énergie grise multiplie les coûts par un facteur 1,2 à 4,4, mais le retour sur investissement carbone reste presque toujours positif	69
5.5.	35 à 70 millions de Déchets Electriques et Electroniques annuels (DEEE)	71
5.6.	Nécessité du downsizing : réutiliser, recycler... et avant tout réduire (en taille)	71
5.6.1.	« Réutiliser » : augmenter la durée de vie des équipements	71
5.6.2.	« Recycler » : encourager et mieux organiser la filière de recyclage	72

5.6.3.	« Réduire » : la priorité	73
5.7.	Sur Secteur, sur Piles, en Energy Harvesting : une différence de performance d'un million	73
5.8.	Ecoconception	74
5.9.	Des écogiciels, pas des obésiciels	75
5.10.	Apprendre à moduler	76
5.11.	Le risque de la multiplication des standards	77
5.12.	Le marché des boxes pour la sécurité et la santé, le WIFI et la gestion de l'énergie : au final une opportunité pour l'Ademe	78
5.13.	Boitiers et Energy Managers : réduction de taille ou maintien des puissances actuelles ?	78
5.14.	Complément d'étude ultérieur: les technologies SIMless	79
5.15.	Intelligence centralisée ou locale ?	79
5.16.	Quelles recommandations pour le domaine SVEL ? Watts et Milliwatts des TIC négligeables face aux kW de la charge ?	80
6.	CONCLUSIONS : ENSEIGNEMENTS ET PISTES D'APPROFONDISSEMENT	81
7.	ANNEXE I	83
7.1.	Liste des annexes	83
7.2.	Entités et personnes consultées	83
7.3.	Glossaire, sigles et acronymes	83
7.4.	Liste des tableaux	84
7.1.	Liste des figures	85
8.	ANNEXE II – TABLEAUX EXHAUSTIFS DE RÉSULTATS	86
8.1.	Résultats 2020	86
8.2.	Résultats 2030	86
9.	ANNEXE III – HYPOTHÈSES DÉTAILLÉES	86
9.1.	Domaine Smart Meter LINKY (SM)	86
9.2.	Domaine Smart Home (SH)	86
9.3.	Domaine Pilotage de la charge de véhicules électriques (SVEL)	86
9.4.	Domaine Observabilité et pilotage des réseaux de distribution (SRPD)	86

9.5.	Actes de flexibilités par an	86
9.6.	Puissance des équipements	86
9.7.	Datacenters	86
9.8.	Communications et standards	86
9.9.	Lois de Moore	86

1. Introduction

Ce chapitre rappelle le contexte et les objectifs de l'étude.

1.1. Contexte : les TIC appelées à développement exponentiel dans l'énergie

Les réseaux électriques actuels sont confrontés à plusieurs défis. Ils doivent intégrer de nouvelles formes de productions d'énergies renouvelables, décentralisées et variables, se préparer à l'arrivée massive de nouveaux usages de consommation tout en assurant le maintien d'une bonne qualité d'acheminement en électricité. Il leur faut en même temps évoluer vers des modes de gestion de l'offre et de la demande à la fois plus efficaces et moins énergivores.

Cette mutation des réseaux électriques ne peut se faire sans un déploiement massif de technologies de l'information et de la communication (TIC). Les TIC permettent de rendre le système électrique plus réactif et plus flexible à tous les niveaux entre la production et la consommation des systèmes électriques à travers différents éléments :

- Des nouvelles technologies déployées sur les réseaux électriques (capteurs,) pour en améliorer le pilotage et l'observabilité,
- Des outils techniques aval compteur compatibles avec la nouvelle architecture de compteurs communicants permettant une meilleure connaissance des consommations en temps réel et le pilotage des équipements à l'intérieur de l'habitation,
- Des infrastructures de réseaux de communication pour transmettre les données récoltées,
- Des outils informatiques de stockage, de gestion et de traitement des données.

Or, la consommation des TIC, surtout dans le tertiaire et dans le résidentiel, a déjà une empreinte énergétique considérable. Celle-ci devrait s'accroître dans les années à venir comme en témoigne le dernier rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) « More Data Less Energy »¹⁶ publié en juin 2014. Ainsi, à l'horizon 2025, l'AIE prévoit que la consommation de la totalité des objets connectés atteindrait 1140 TWh par an dans le monde.

L'ADEME s'intéresse ici au cas particulier de la consommation énergétique des TIC dans le cadre des Réseaux Electriques Intelligents (REI). En effet, si l'insertion des TIC dans les réseaux électriques apporte une meilleure contrôlabilité du système, il apparaît cependant primordial d'évaluer leur impact en termes de consommation électrique.

Lors de la publication de l'avis sur le compteur communicant Linky, l'ADEME avait avancé un premier chiffre sur la consommation électrique des 35 millions de compteurs communicants à déployer : 0.3 à 0.4 TWh par an. L'estimation faite excluait les consommations générées par les concentrateurs associés ainsi que celles des centres de traitement de données. C'est pourquoi l'ADEME a souhaité confier à Capgemini Consulting une étude plus complète permettant d'évaluer la consommation électrique des TIC sur plusieurs parties de la chaîne des réseaux électriques intelligents.

1.2. Objectifs : identifier des ordres de grandeur et des pistes de réflexion

L'objectif de l'étude est d'établir une première évaluation en ordre de grandeur des consommations électriques de la couche liée aux technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les réseaux électriques. En particulier, l'étude vise à répondre aux questions suivantes :

- Quelle sera la consommation électrique de la couche TIC dans les Smart Grids à l'horizon 2020 à l'échelle française ?
- Quelles tendances se dessinent à l'horizon 2030 ?
- Quels sont les plus gros postes de consommation TIC dans les réseaux électriques intelligents ?

Il s'agit également de repérer les incertitudes et besoins de pistes d'approfondissement pour la suite, et de partager des éléments de réflexion, des enseignements, voire de premières recommandations.

Le mot « Smart Grid » est à comprendre au sens large. L'étude couvre plusieurs domaines associés au fonctionnement d'un réseau électrique intelligent : le comptage communicant via Linky, le smart home pour mieux piloter les consommations résidentielles (flexibilité sous forme d'effacement par exemple), l'optimisation de la charge du véhicule électrique, enfin l'observabilité et le pilotage du réseau de distribution.

L'étude présente les TIC mises en œuvres dans ces différents cas d'étude (équipements installés, protocoles utilisés...) puis chiffre leur consommation électrique, dans le cadre d'une diffusion sur la France métropolitaine et en

¹⁶ <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name-43514-en.html>

considérant les technologies commercialement disponibles ou commercialisables dans un futur proche. Deux horizons de temps sont étudiés : 2020 et 2030.

2. Méthodologie et cadrage de l'étude

Ce chapitre explicite la démarche d'ensemble adoptée lors de l'étude (phase d'atelier, phase de documentation et de modélisation). Il présente les 4 domaines smart étudiés (Smart Meter, Smart Home, Smart Pilotage de la charge des véhicules électriques et Smart Réseau Public de Distribution) et leur sous-division en cas d'usages bien différenciés, ainsi que les principes de l'extrapolation à la France entière aux horizons 2020 et 2030.

2.1. Principes, Démarche

Cette étude vise à mettre en évidence des ordres de grandeur clés, en matière de flux de données et de consommations électriques. Il convient de garder à l'esprit que les fourchettes d'incertitude pour nombre de données d'entrée et de sortie sont importantes. Aussi deux principes ont présidé à sa conduite :

- Etre transparent sur les hypothèses prises afin de permettre à chacun de ré-extrapoler certains résultats selon ses propres éléments d'analyse.
- Souligner les points non résolus et qui restent ouverts à la discussion.

L'étude, d'une durée de deux mois, s'est déroulée en trois grandes phases :

- Une **phase de cadrage des cas d'usages** pour chaque domaine. Lors de cette phase, un atelier de travail par domaine a été conduit avec des experts pour :
 - Identifier les acteurs et équipements concernés
 - Lister les thématiques influençant les flux de données et les consommations d'électricité de la couche TIC
 - Décrire les cas d'usage à documenter en phase suivante
- Une **phase de documentation et de modélisation**. La documentation s'est faite par des recherches bibliographiques ainsi qu'au moyen d'entretiens avec des experts des différents domaines. En tout, une quinzaine d'entretiens ont été réalisés avec des experts des entreprises ou organismes. La modélisation excel, réalisée en parallèle des travaux de documentation, a été construite selon la logique suivante :
 - Etablissement de la nomenclature des équipements permettant de couvrir tous les cas d'usages, avec pour chacun d'entre eux les chiffres caractéristiques (puissance en émission et/ou en base, débit, etc.)
 - Pour chaque cas d'usage, dénombrement d'équipements, évaluation des flux de données et des consommations pour un nombre fixe et identique de clients qui facilite les comparaisons.
 - Extrapolation à la France 2020 et 2030, en mixant les 13 cas d'usages ainsi étudiés dans des proportions chiffrées en millions de clients) jugées probables, ou du moins possibles.
- Une **phase de synthèse et rédaction du rapport**.

2.2. Les 4 domaines Smart

2.2.1. Domaine Smart Meter (SM): Linky

Lien actif entre l'amont et l'aval, le compteur communicant est une brique fondamentale du réseau électrique intelligent. Le domaine étudié ici comprend les compteurs, les concentrateurs, l'ensemble de la chaîne télécom associée (concentrateurs, datacenters, utilisation du CPL ainsi que du réseau GPRS...). A noter : La chaîne Linky est utilisée pour certains cas d'usages du smart home ou du pilotage de la charge de véhicule électrique

2.2.2. Domaine Smart Home (SH) : pilotage des équipements pour générer de la flexibilité dans le résidentiel

On considère toute la chaîne liée à la maîtrise de l'énergie (MDE) et permettant d'effectuer des actes de flexibilité (effacements, reports ou anticipations de consommations) : de l'energy manager au datacenter gérant celui-ci en passant par les passerelles et routeurs internet nécessaires à la transmission des informations et des ordres, et bien sûr chacun des objets communicants de la maison qui font l'objet de mesures ou de pilotage. Seule la consommation de la couche TIC est considérée. Par exemple, seule la carte électronique communicante d'un radiateur électrique est prise en compte, et non la consommation du radiateur lui-même.

2.2.3. Domaine Smart Charge du véhicule électrique (SVEL) : pilotage de la charge

Ce domaine couvre le pilotage de la recharge de véhicules électriques (et non la charge elle-même). On entend par pilotage la capacité à prendre en compte des signaux du système électrique pour moduler la charge, comme peut l'être aujourd'hui en partie le déclenchement de la mise en route des ballons d'eau chaude. La charge est effectuée chez le particulier ou dans des parkings collectifs au domicile ou au travail. Il s'agit dans ce domaine d'évaluer les flux d'information et les consommations d'un système intelligent et communicant entre le véhicule, le point de recharge, le réseau électrique et les systèmes d'information centraux.

2.2.4. Domaine Smart Réseau Public de Distribution (SRPD) : observabilité et pilotage du réseau

Il s'agit dans ce dernier domaine d'étudier les consommations des équipements dédiés à la gestion du réseau de distribution d'électricité (moyenne et basse tensions). Le réseau de transport d'électricité n'est pas pris en compte. On considère simultanément les fonctions d'observabilité et de pilotage du réseau : consommation des différents types de capteurs, du système de remontée d'informations, des systèmes informatiques associés permettant d'avoir une bonne estimation de l'état du réseau électrique proche du temps réel, consommation des moyens de communication dans les équipements électrotechniques, etc.

2.3. Les 13 Cas d'Usages (CDUs)

Pour chaque domaine deux à quatre cas d'usages, du plus simple au plus technologique, ont été définis lors des ateliers, soient 13 cas d'usages en tout listés dans le Tableau 3 - Les 13 cas d'usages. Ils sont détaillés dans le chapitre 3 Description des cas d'usages et des hypothèses.

Tableau 3 - Les 13 cas d'usages

1. SM Smart Meter	1A Minimal	1B Tendance	1C Digital +	
2. SH Smart Home	2A Maintien de l'existant	2B Linky & ERL	2C Flex Home	2D Prédictif Holistique Full Flex et MDE
3. SVEL Smart Charge VEL	3A Passif référence	3B Actif VEL et bâtiment	3C Smart VEL et Bâtiment	3D Prédictif holistique VEL et Bâtiment
4. SRPD Smart Réseau	4A Réseau 2020	4B Réseau 2030		

Afin de faciliter les comparaisons, les cas d'usages ont été calés sur le même nombre de clients.

- Pour les domaines SM, SH et SRPD les cas d'usages sont arbitrairement calés sur 35 millions de points de livraison.
- Les cas d'usages du domaine SVEL sont arbitrairement calés sur un parc de 1 million de véhicules électriques.

Les cas d'usages Smart Home 2A, 2B, 2C et 2D intègrent la consommation de toute la chaîne Linky. Chaque client est équipé de ce compteur. Les groupes de travail ont estimé que l'information du compteur est toujours utilisée (ne serait-ce que pour le contrôle du réalisé).

Afin de pouvoir distinguer la part des résultats provenant de la consommation de l'infrastructure Linky et celle spécialement dédiée au cas d'usage spécifique, les résultats quantitatifs des cas d'usages Smart Home sont présentés en dédoublant les cas d'usages 2A/B/C/D en 2A/B/C/D « Bis » :

- 2A, 2B, 2C et 2D : les GWh calculés incluent ceux de la chaîne Linky.
- 2A bis, 2B bis, 2C bis, 2D bis : GWh Smart Home hors chaîne Linky.

2.4. Règles d'extrapolation à la France entière aux horizons 2020 et 2030

2.4.1. Progrès des technologies

Les recherches d'information, les échanges lors des entretiens et la modélisation ont été effectués à technologies actuelles 2015. C'est en effet le périmètre le mieux compris et pour lequel les informations concernant la consommation ou la puissance des équipements existent.

L'objectif de l'étude est de fournir une photographie des consommations de la couche TIC des smart grids quand ceux-ci auront été déployés aux horizons 2020 et 2030.

Il convient donc d'appliquer un coefficient de progrès des technologies, qui a été modélisé ici en une composante de progrès technologique intrinsèque (« Loi de Moore »), corrigé par une seconde composante d'alourdissement des logiciels et standards à iso-services (« % de Cannibalisation »).

Loi de Moore

La Loi de Moore est généralement énoncée comme suit : « la performance des processeurs double tous les dix-huit mois à iso-coûts ».

Généralisée à nos cas d'étude, elle se reformule « la consommation d'électricité d'un équipement électronique TIC s'améliore d'un facteur deux tous les T mois, T désignant le temps caractéristique de l'équipement ».

Dans l'étude, les différents types d'équipements ont été regroupés en familles : gateways, objets communicants IoT (Internet of things), datacenters, compteurs Linky, etc. Pour chaque famille une même loi de Moore, c'est-à-dire un même temps caractéristique T a été appliqué. Le détail des familles et du temps caractéristique T qui leur est associé sont explicités dans le paragraphe 3.7.1.

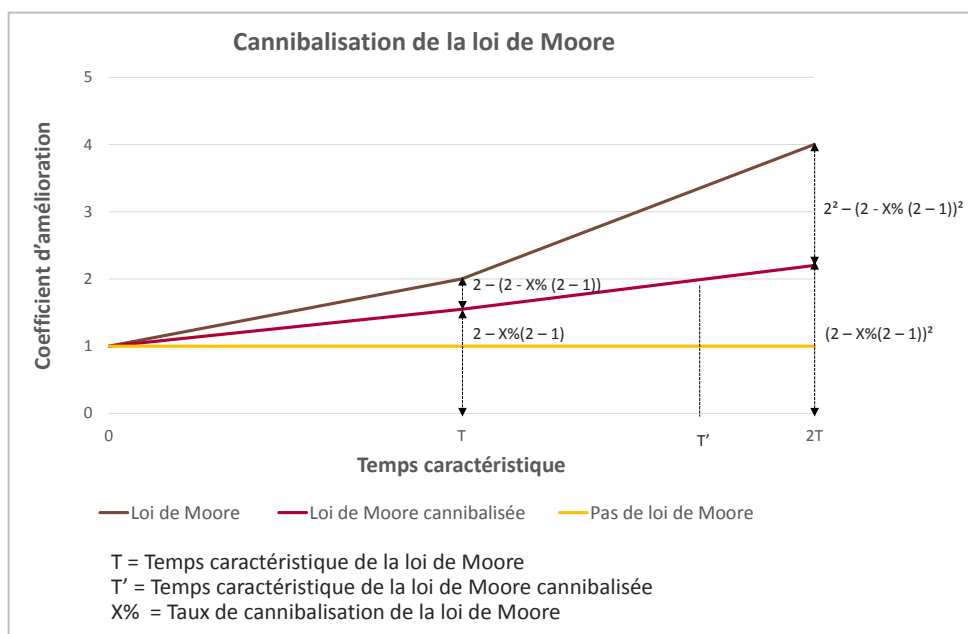
Dans le modèle, l'amélioration s'applique sur l'énergie consommée (kWh) sans préjuger si le progrès vient uniquement d'une diminution des puissances, d'une amélioration du nombre d'heures de fonctionnement (modulation améliorée), ou d'un mix des deux.

Pourcentage de cannibalisation du progrès technologique intrinsèque

De nombreuses discussions menées lors de cette étude ont souligné que l'application stricte de la loi de Moore ne pouvait refléter la réelle évolution de la consommation des équipements avec le temps. En effet, les évolutions passées montrent que le progrès technologique intrinsèque ne se traduit pas en progrès équivalent du service rendu au client. Une partie du progrès technologique est « cannibalisée » par l'alourdissement des logiciels et des standards sans amélioration du service.

L'étude modélise cet effet par un « pourcentage de cannibalisation » du progrès technologique. En pratique Deux pourcentages de cannibalisation sont utilisés: l'un pour la plupart des TIC de l'étude (télécommunications, datacenters, etc), l'autre spécifiquement pour les box internet ou énergie et les objets connectés. Le détail de leur application est explicité dans le paragraphe 3.7.1.

Figure 4 - Représentation graphique de la cannibalisation de la loi de Moore



Loi de Moore corrigée

Il en résulte un temps caractéristique T' plus long, qui définit le temps nécessaire pour diviser les consommations des équipements par deux en tenant compte de la loi de Moore fondée sur un temps T, corrigée de l'effet du % de cannibalisation (voir paragraphe 3.7.1).

Les consommations aux horizons 2020 et 2030 résultent de la réduction des consommations actuelles en appliquant les lois de Moore corrigées spécifiques à chaque famille d'objet.

2.4.2. Image France Entière : pénétration des cas d'usages

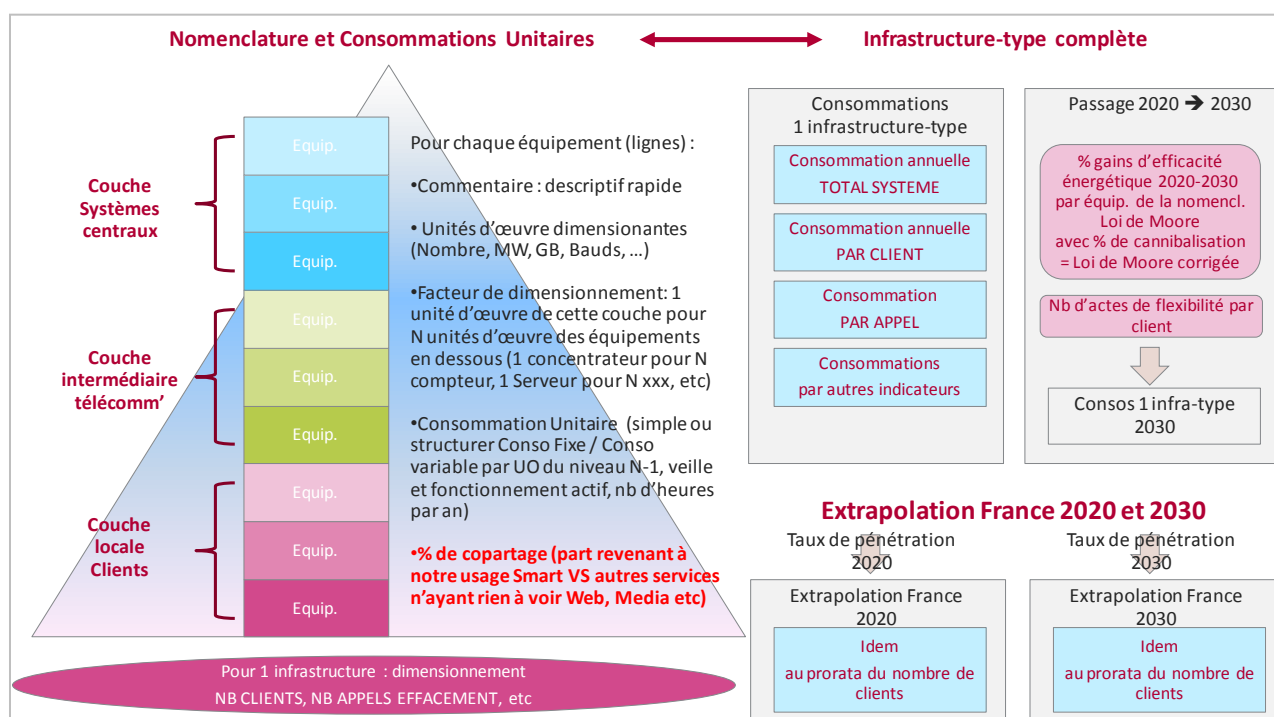
Il s'agit de construire une image réaliste de la France en 2020 et en 2030 à partir des treize cas d'usages.

Pour chacun des 4 domaines étudiés, l'extrapolation à l'ensemble de la France se fait par le biais d'une somme pondérée de tous les cas d'usages. Le coefficient attribué à chacun des cas d'usages est choisi en tenant compte de sa probabilité de pénétration à l'horizon de temps considéré. Les hypothèses de nombres de clients sont explicitées dans le paragraphe 3.7.2.

Le domaine SRPD est un cas particulier. Pour des raisons de simplicité et de cohérence, le réseau est considéré comme un ensemble homogène. Les deux cas d'usages 4A et 4B correspondent à la France en 2020 et en 2030 (voir paragraphe 3.4.3). L'extrapolation pour la France en 2020 (respectivement 2030) s'effectue en appliquant à 100% le cas d'usage 4A (respectivement 4B).

L'ensemble de la démarche est résumée dans la Figure 5 - Synthèse de la démarche de modélisation.

Figure 5 - Synthèse de la démarche de modélisation



3. Description des cas d'usages et des hypothèses

Ce chapitre explicite comment ont été construits les treize cas d'usages.

Sont détaillés pour chacun des 4 domaines les paragraphes suivants :

- Enjeux du domaine et description rapide des équipements et acteurs,
- Périmètre de l'étude
- Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie
- Choix des cas d'usages
- Parti-pris de modélisation et hypothèses importantes.

Pour le détail exhaustif des hypothèses, le lecteur pourra se reporter à l'Annexe III – Hypothèses détaillées.

3.1. Les Cas d'Usages Smart Meter Linky (SM)

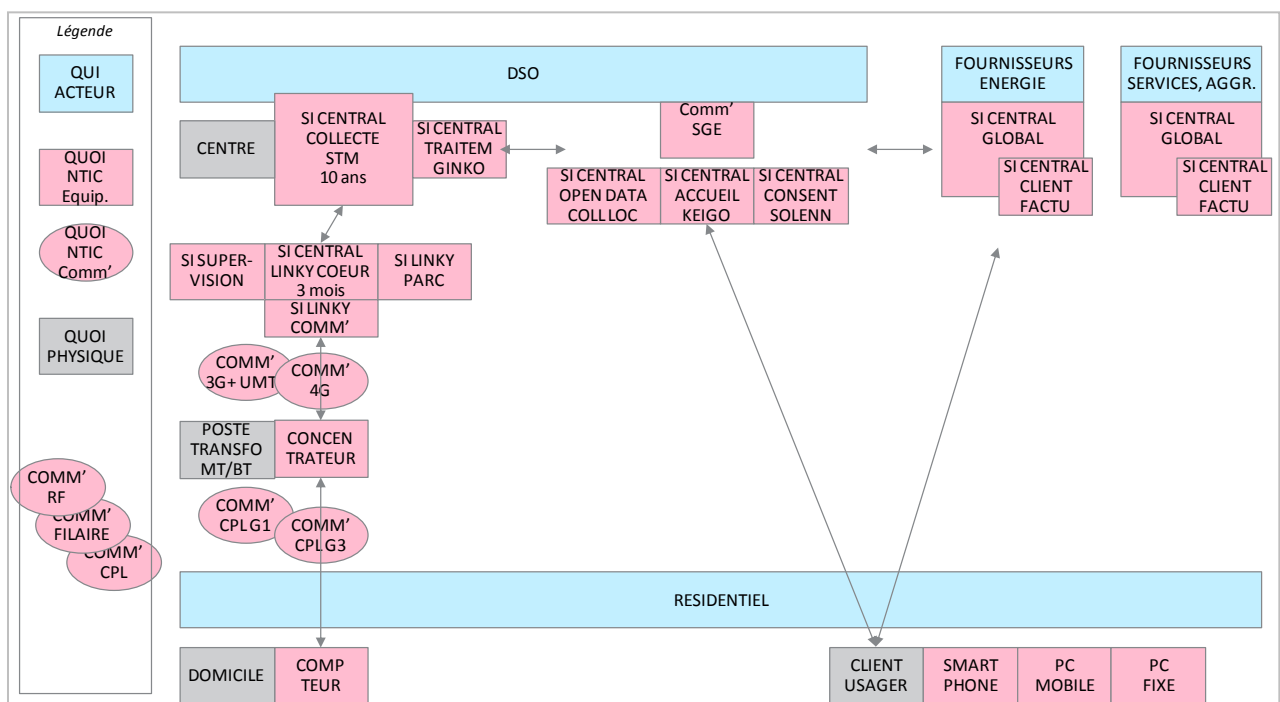
3.1.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs

Les acteurs impliqués dans les cas d'usages Smart Meter Linky constituent une chaîne complète :

- Les utilisateurs, chez qui le compteur Linky est installé. Ils consultent plus ou moins fréquemment leurs données sur le portail du DSO¹⁷ par l'intermédiaire de leur smartphone. Ils peuvent faire le choix d'une solution ou d'une offre commerciale de smart home, de flexibilité et de MDE¹⁸ qui impacte le nombre et le type de données qui sont capturés chaque jour.
- Le DSO¹⁹, qui gère les concentrateurs et les datacenters où sont effectués le pilotage des échanges de données de comptage et leur stockage
- Le fournisseur d'énergie, qui transmet les informations tarifaires à ses clients par le biais de la chaîne Linky et qui reçoit des données de comptage avec le DSO au niveau des datacenters.

La figure ci-dessous est une cartographie des acteurs et équipements concernés. Par simplification, les commentaires qui suivent ne commentent que les acteurs et équipements utiles pour la suite. Le fournisseur d'énergie et le fournisseur de service / agrégateur, s'il y en a un, sont également modélisés comme un unique acteur.

Figure 6 – Cartographie des acteurs et équipements – Domaine SM Linky



Les objets physiques concernés dans les cas d'usages Smart Meter Linky sont les suivants :

A l'échelle locale :

- Le compteur Linky, installé chez les particuliers. Celui-ci communique en CPL G1 ou CPL G3 avec les concentrateurs.
- Le smartphone du client, utilisé pour consulter ses données sur le portail du DSO et fonctionnant sur le réseau 3G.

¹⁷ DSO : opérateur de réseau de distribution – distribution system operator.

¹⁸ MDE Maîtrise de la Demande d'Energie

¹⁹ DSO : Distribution System Operator / Gestionnaire de Réseau de Distribution

Dans la chaîne médiane de remontée d'information :

- Le concentrateur, qui collecte les données d'environ 50 compteurs Linky chaque jour, et s'assure également de la redescende d'information vers ces mêmes compteurs (à une fréquence variable). Cette communication s'effectue en CPL G1 ou CPL G3. De plus, le concentrateur communique l'ensemble des données remontées des compteurs aux datacenters du DSO et reçoit également des informations de celui-ci. La communication se fait initialement en 3G.
- La chaîne de télécommunication 3G, qui est le canal utilisé par les concentrateurs et les smartphones pour communiquer avec les datacenters.

Au niveau central :

- Le datacenter « Linky Collecte » du DSO, qui collecte l'ensemble des données remontant des compteurs pendant un laps de temps court (trimestre en vision cible)
- Le datacenter « Linky STM » du DSO, qui stocke et traite les données remontant des compteurs avec une durée de stockage longue (plusieurs années)
- Le datacenter « Portail » du DSO qui permet aux clients de venir consulter leurs données depuis leur smartphone ou leur PC. Ce datacenter stocke des quantités de données limitées pour privilégier des temps d'accès courts sur les applications des smartphones ou des PCs.
- Les datacenters du fournisseur d'énergie et du fournisseur de service agrégateur, qui stockent et traitent les données échangées avec le DSO sur leurs clients. Le durée de stockage est longue (plusieurs années).

Ainsi, deux chaînes de remontée / descente d'information parallèles sont prises en compte dans la modélisation quantitative qui suit :

- La chaîne [Datacenter DSO – Concentrateur - Compteur]
- La chaîne [Datacenter DSO « portail » - Smartphone]

3.1.2. Périmètre de l'étude

Pour permettre de mener à bien cette première étude en ordre de grandeur, il a fallu faire des choix de périmètre.

Sont inclus dans le périmètre de l'étude :

- Chaîne Linky
- Fonctionnalité de comptage
- De bout en bout : du compteur aux datacenters de gestion des données client et jusqu'au portail d'interfaçage

Sont exclus du périmètre de l'étude :

- Etapes de déploiement intermédiaires de Linky d'ici fin 2020 (déploiement partiel, configuration différente du datacenter de collecte)
- Compteurs > 36 kVA
- Autres compteurs divisionnaires ou de sous-comptage, sauf pour le domaine SVEL de pilotage de la charge de véhicules électriques.

3.1.3. Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie

En atelier, les thèmes suivants ont été discutés comme pouvant a priori impacter les consommations électriques et les flux de données :

- La zone géographique, qui peut impacter la densité de compteurs pour un concentrateur, et donc le nombre et la consommation de ces derniers
- Le type de communication entre les concentrateurs et le central, qui impacte le temps de transmission des informations et la consommation des infrastructures de communication
- Le type de communication entre les compteurs et le concentrateur, qui impacte le temps de transmission des informations
- Les fréquences de relevés des compteurs, qui impacte le temps de transmission des informations

- L'activation ou non de la relève de la courbe de charge et son pas de temps, qui impactent la quantité de données remontées annuellement, la quantité de données stockées dans les datacenters, et donc leur taille et leur consommation,
- La descente d'information, qui impacte la durée d'émission / réception journalière des compteurs / concentrateurs
- Les interactions client / UI (serveurs User Interface), qui impactent la consommation électrique de datacenters et des smartphones, tablettes et PCs.

Figure 7 - Thématiques influençant les flux et les consommations – Domaine SM Linky

Zone	Rural	Urbain	Moyenne France
Communications. Conc- Central	3G UMTS	4G	
Communications Compteur- Conc	CPLG1	CPLG3	
Fréquences de relève / échanges	1/mois	1/sem	1/jour
ACTIVATION COURBE DE CHARGE (CDC)	10 INDEX JOURNALIERS	CDC 1h	CDC 10'
DESCENTE INFOS	Epsilon Téléop.	+ Broadcast	++ N Points
Interactions clients UI	Non Ecran SmartP. seul	+ Utilis. faible Web & Aop	+++ attractif Souvent Web & Apps

La combinaison des possibilités décrites dans ce tableau offre une multitude de configurations possibles dont certaines que l'on trouvera sur le marché. Pour les besoins de l'étude le travail en atelier avec des professionnels du domaine a permis de construire un petit nombre de cas d'usages représentatifs du champ des possibles.

3.1.4. Choix des cas d'usages (CDU)

Les participants à l'atelier SM Smart Meter ont retenu 3 cas d'usage pour la chaîne Linky à partir des thématiques et options ci-dessus. Ces cas d'usages ont été par la suite légèrement modifiés pour aboutir aux cas suivants:

Figure 8 - Description qualitative des cas d'usages 1A, 1B et 1C – Domaine SM Linky

SC A MINIMAL	SC B TENDANCE	SC C DIGITAL +
Les échanges d'information se font en 3G et CPL G1/G3, avec des relèves journalières dans tous les cas – 10% G1 90% G3 On n'étudie que la moyenne nationale, car les différences Urbain / Rural existent de fait sans qu'il n'y ait d'enjeu à les différencier.		
<ul style="list-style-type: none"> •Le scénario si rien ne se passe , ou presque. •La structure tarifaire évolue peu. •100% en Index journalier •Les moyens Web & Apps sont peu utilisés. 	<ul style="list-style-type: none"> •Le scénario qui se veut central •100% des mesures en courbes de charge 1h' •Les moyens Web & Apps moyennement utilisés. 	<ul style="list-style-type: none"> •100% des mesures en courbes de charge 10' •Beaucoup de demandes d'interaction Web et Apps

On notera que le groupe a décidé de ne travailler qu'en moyenne nationale. Il y a forcément une différence de consommation de la couche TIC entre le milieu rural dispersé et le milieu urbain dense, du fait du nombre variable de concentrateurs déployés pour un même nombre de compteurs. Comme la contrainte géographique est exogène, il n'a pas été jugé utile de compliquer l'étude en distinguant le rural, le périurbain et l'urbain.

La Figure 8 - Description qualitative des cas d'usages 1A, 1B et 1C – Domaine SM Linky décrit les cas d'usages en reprenant le vocabulaire analytique issu des thématiques.

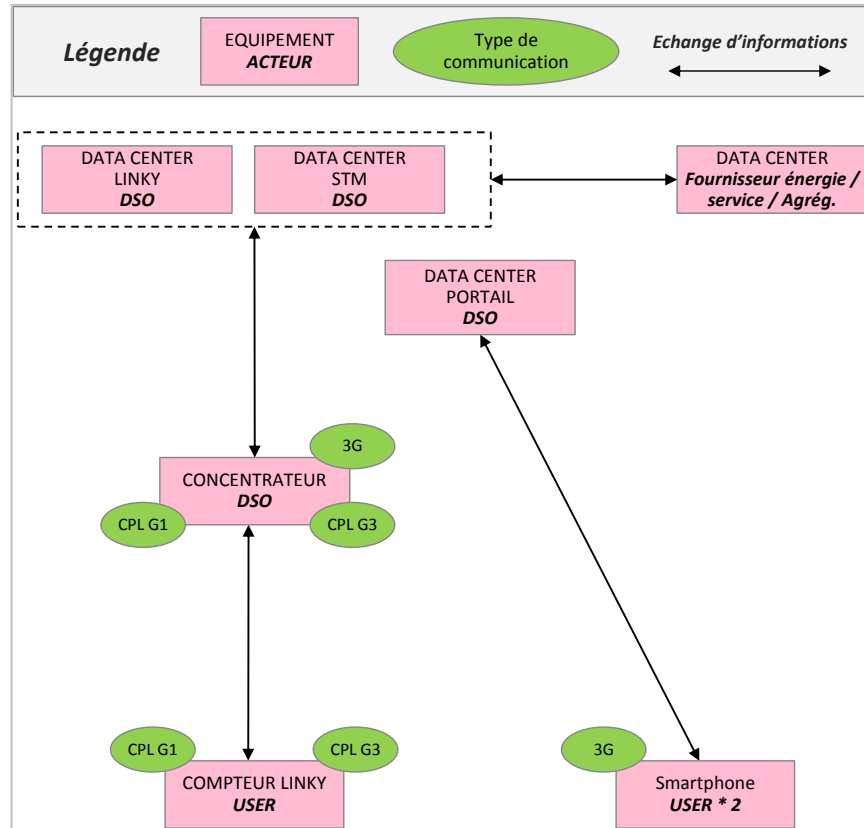
Figure 9 – Description analytique des cas d'usages 1A, 1B et 1C – Domaine SM Linky

	SC A MINIMAL	SC B TENDANCE	SC C DIGITAL +
Zone	Moyenne France		
Communications. Conc - Central	3G		
Communications Compteur - Conc	CPL (10% G1 90% G3)		
Fréquences de relève / échanges	1/jour		
ACTIVATION COURBE DE CHARGE	100% index journaliers seuls	CDC 1h	CDC 10'
DESCENTE INFOS	Faible	+	++
Interactions clients UI	+ Utilis. faible Web & Aop	++ Utilis. Moy. Web & Aop	+++ attractif Souvent Web & Apps

3.1.5. Partis pris de modélisation et hypothèses importantes

Cette section présente la façon dont la cartographie a été simplifiée et prise en compte dans le tableur de calcul pour chaque cas d'usage. Certaines hypothèses importantes sont également précisées. L'annexe III fournit l'ensemble des hypothèses détaillées.

Figure 10 – Choix de modélisation pour les cas d'usages 1A, 1B et 1C – Domaine SM Linky



Les hypothèses les plus importantes sont les suivantes :

- L'étude considère qu'un concentrateur est installé dans chaque poste de transformation HTA/BT (moyenne tension / basse tension), soient 750 000 en tout pour 35 000 000 de compteurs à la cible.. Ainsi, il y a en moyenne 46 compteurs Linky pour un concentrateur.
- 90% des compteurs communiquent en CPL G3, 10% en CPL G1 (suite à échange avec ERDF).

3.2. Les Cas d'Usages Smart Home, effacements et flexibilité (SH)

3.2.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs

Tous les cas d'usages Smart Home retenus utilisent Linky. Lors de l'atelier Smart Home, le groupe de travail n'a pas retenu de cas d'usage utilisant uniquement un Energy Manager et une Gateway qui ne reprendrait pas d'information à minima du compteur Linky, par exemple via la prise Emetteur Radio Linky (ERL). Ce dernier est un module émetteur qui se fiche dans une cavité prévue à cet effet dans le compteur Linky. Il retransmet par radio des informations issues du compteur.

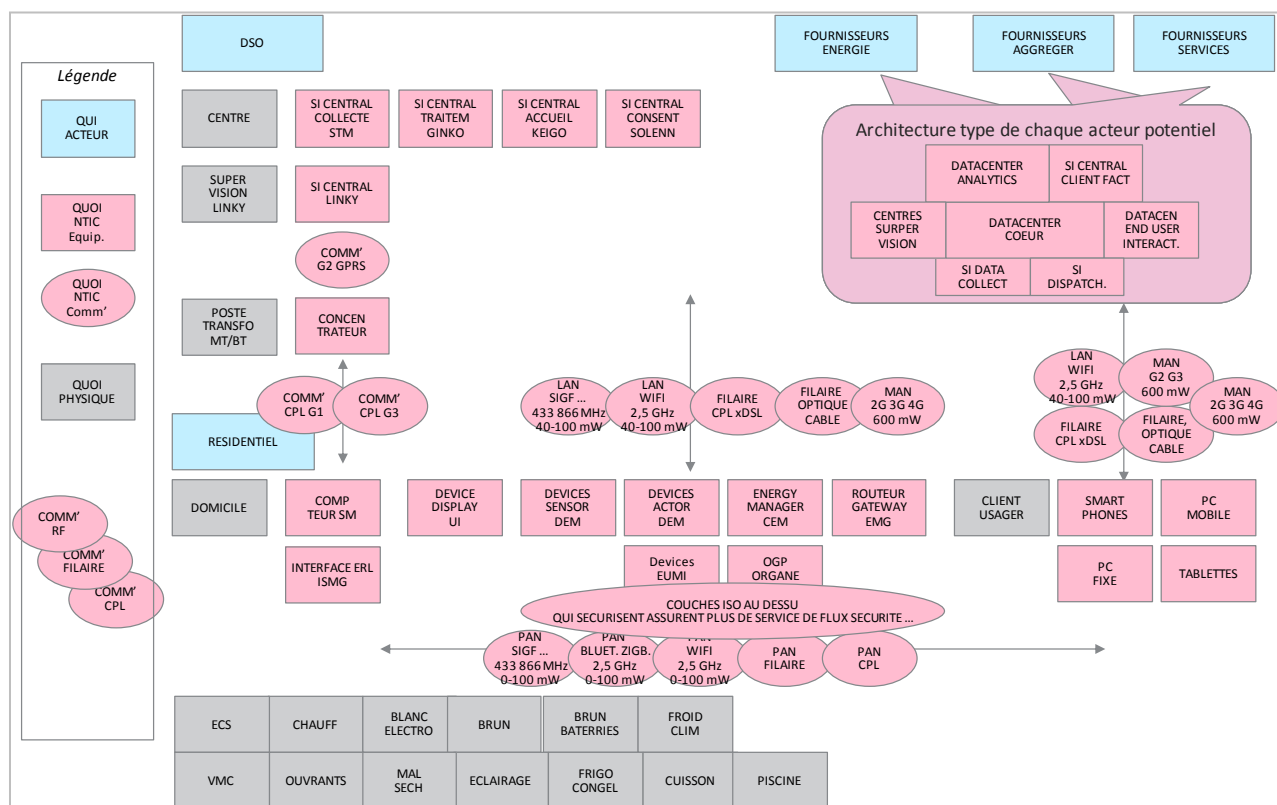
Les cas de domotique isolée dans lesquels l'habitation est pilotée sans information tarifaire et indépendamment du système électrique ne sont pas pris en compte dans l'étude.

Les acteurs concernés dans les cas d'usages Smart Home sont les suivants :

- Les utilisateurs résidentiels, chez qui le compteur Linky, les objets pilotés et éventuellement l'energy manager et la gateway sont installés. Les clients usagers consultent plus ou moins fréquemment leurs données sur le portail de leur fournisseur d'énergie ou agrégateur par l'intermédiaire de leur smartphone.
- Le DSO, qui gère la chaîne Linky
- Le fournisseur d'énergie, qui transmet les informations tarifaires à ses clients par le biais de la chaîne Linky et qui échange des données avec le DSO et avec les fournisseurs de service / agrégateur au niveau des datacenters.
- Le fournisseur de service / agrégateur, qui a la connaissance profonde du management, de la flexibilité et des services à distance chez le client via des solutions IT. Il se confond souvent mais pas toujours avec le fournisseur. La plupart du temps il agit de concert avec lui. Il échange des données avec le fournisseur et le DSO au niveau des datacenters. Il communique avec l'installation du client par son système de gateway et par Linky.

La figure ci-dessous est une cartographie des acteurs et équipements concernés. Par simplification, les commentaires qui suivent ne commentent que les acteurs et équipements utiles pour la suite.

Figure 11 – Cartographie des acteurs et équipements – Domaine SH Smart Home



Les objets physiques concernés dans les cas d'usages Smart Home sont les suivants :

A l'échelle locale (les objets ne sont pas utilisés dans tous les cas d'usages) :

- Le compteur Linky
- L'Émetteur radio Linky (ERL), installé sur le compteur Linky. Ce boîtier permet de transmettre des informations, en Zigbee ou KNX, du compteur Linky vers un energy manager ou de piloter jusqu'à 8 équipements en mode binaire (envoi d'ordre 0 ou 1). Des appareils équivalents dans d'autres standards (Thread, etc) verront probablement le jour.
- L'energy manager. Ce boîtier permet de communiquer avec les différents objets pilotés : il leur transmet des ordres et remonte leurs données vers les datacenters par le biais de la gateway avec laquelle il communique.
- La gateway (box internet). Ce boîtier assure la liaison de la maison par internet avec l'agrégateur et/ou le fournisseur. La gateway est généralement d'abord utilisée par la maison pour ses usages multimedia (internet, réseaux sociaux, musique, video, etc).
- Le device actionneur-capteur pour eau chaude sanitaire (ECS)
- Le device délesteur communicant ou actionneur capteur sur tableau électrique pour l'ECS et le Chauffage et autres usages via le tableau, ou tout autre dispositif adapté au pilotage de ces usages.
- Les devices intégrés à l'électroménager Blanc (« Smart Appliance »). Il faut noter que ce type de device est en cours de développement et n'est donc pas encore répandu dans les maisons. Leur commercialisation en vente grand public est attendue vers 2017 – 2018.
- Les devices pour le bâtiment VMC (ventilation mécanique contrôlée), ouvrants & volets mécaniques, à même d'optimiser les pertes et les apports
- Les devices divers type prises intelligentes
- Les devices Capteurs T°, Humidité, Présence, Lumière...
- Les smartphones du ménage, utilisés pour interagir avec les portails du fournisseur agrégateur et éventuellement du DSO.

Le protocole de communication entre l'energy manager et les devices retenu pour la modélisation est précisé en section 3.2.5 Partis pris de modélisation et hypothèses importantes.

Dans la chaîne médiane de remontée d'information :

- Le concentrateur Linky (voir détails dans le paragraphe 3.1.1 relatif au compteur Linky) et sa chaîne de téléphonie cellulaire pour communiquer avec le central
- Le chaîne de communication LAN WAN pour la gateway domestique (xDSL ou cable ou optique pour le premier kilomètre, puis réseaux téléphoniques, internet ou spécialisés jusqu'aux datacenters centraux)
- La chaîne de téléphonie cellulaire pour les smartphones pour communiquer avec les datacenters

Au niveau central :

- Les datacenters relatifs au système Linky (voir détails dans le paragraphe 3.1.1 relatif au compteur Linky)
- Les datacenters du fournisseur d'énergie et du fournisseur de service agrégateur, qui stockent et traitent les données des clients avec une durée de stockage longue (plusieurs années).
- Le datacenter « portail » du fournisseur de service agrégateur, qui permet aux clients de venir consulter leurs données depuis leurs smartphones ou leur PC. Ce datacenter stocke des quantités de données limitées pour privilégier des temps d'accès courts sur les applications des smartphones ou des PCs.

Ainsi, quatre chaînes de remontée / descente d'information parallèles sont prises en compte dans la modélisation quantitative qui suit :

- La chaîne [Datacenter DSO – Concentrateur - Compteur - ERL - Objets et/ou Energy manager].
 - On notera que la partie de chaîne compteur - ERL - objets n'est que descendante (pas de remontées de data via Linky).
- La chaîne [Datacenter fournisseur service / agrégateur – Gateway - Energy Manager - Objets]
- La chaîne [Datacenter DSO « portail » - Usagers]
- La chaîne [Datacenter Fournisseur énergie / Agrégateur « portail » - Usagers]

3.2.2. Périmètre de l'étude

Pour permettre de mener à bien cette première étude en ordre de grandeur, il a fallu faire des choix de périmètre.

Sont inclus dans le périmètre de l'étude :

- Flexibilité Client à la hausse et à la baisse (effacement, report ou anticipation de consommation)
- Estimation des volumes de Data et de consommations de la couche NTIC à l'intersection des trois périmètres suivants (condition « ET »)
 - besoins de pilotage et de prise en compte des contraintes du système électrique futur
 - besoins et services pour le confort des usagers (confort domestique, mobilité, besoins opérationnels des entreprises, etc.)
 - appareils liés à l'énergie, qui peuvent concourir à la flexibilité pilotable automatiquement à distance
- Etat cible 2020/2030

Sont exclus du périmètre de l'étude :

- La flexibilité comportementale sans automatisation (j'évite « manuellement » de démarrer une machine à laver parce qu'une alerte m'a été envoyée ou parce que je sais que le tarif est cher à cette heure).
- Les appareils liés à l'énergie qui seraient
 - Non connectés (domotique pure)
 - Connectés qui interviennent pour de seules prestations de confort, sauf si on peut attribuer un % non nul de leur fonctionnement pour des fonctions liées à la flexibilité
- Tous appareils qui interviennent pour des sujets hors énergie
 - Sécurité, Eau, ...

3.2.3. Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie

En atelier, les thèmes suivants ont été discutés comme pouvant a priori impacter les consommations électriques et les flux de données :

- Le type de « Demand Side Management » (DSM), qui impacte le nombre d'interactions électroniques entre les appareils du client et les systèmes centraux ;
 - Simple Horo-saisonnier (HS) de type récurrent, c'est-à-dire se répétant à heures et jours convenus, calés ou non sur des Tarifs eux aussi horo-saisonniers ;
 - Système à appels mobiles de flexibilité, dont on ne sait pas à l'avance quand ils auront lieu, mais dont les dispositions du contrat choisi par le client peuvent spécifier le nombre maximal par an ; calés sur des dispositifs tarifaires ou de rémunération de cette flexibilité mobile variés. Le client est averti la veille ou dans la journée. L'automatisation facilitera les appels mobiles à la flexibilité.
 - Niveau d'intégration de la maîtrise de l'énergie (MDE) : la promesse commerciale et la façon dont sont pilotés automatiquement les usages donneront des places relatives à la flexibilité et à la MDE qui pourront varier selon le types d'offres, à savoir : ne viser que la flexibilité, c'est-à-dire la modulation en puissance (watts) ; privilégier la flexibilité à la MDE ; privilégier la MDE (économie de kWh à la fin de l'année) à la flexibilité.
- Le rôle de l'infrastructure Linky : elle peut assurer le pilotage filaire ou via l'ERL d'un (communément l'ECS) ou plusieurs usages (jusqu'à 8), ou bien simplement fournir de l'information utile à un energy manager (tarifs, grilles horaires, contacts sec, messages longs ou courts codés pour passer des ordres).
- La présence ou non d'un Energy Manager et son type (avec fonctionnalités plus ou moins simples ou avancées). L'Energy Manager communique avec les objets par lui-même et avec le central via une gateway.
- Le type de Gateway. Le système smart home peut se passer d'energy manager et de gateway parce que les objets communiquent avec le central par l'infrastructure Linky ou par des modes radio de types SIGFOX ou LORA, s'appuyer sur la gateway multimédia de la maison plus ou moins économe, voire s'appuyer en mode mesh sur les tablettes ou smartphones..
- Le nombre de devices pilotés ou mesurés, dont a vu dans la cartographie que cela peut aller du simple pilotage filaire à un nombre important d'usages et de mesures, d'autant plus important si le pilotage est auto-apprenant et différencié pièce par pièce.
- Le nombre et le type d'interfaces utilisateur (UI, « User Interface »).
- La fréquence d'interaction ou de mesure et le volume des échanges de données.

- Le périmètre du « Big Data analytics »
- L'écoconception du système : le système a-t-il été spécifiquement pensé pour être sobre à tout niveau (stratégie de remontées de données et d'échanges, redondances, etc.)
- La mutualisation de database : Les datacenters ont-ils partagés entre plusieurs acteurs ?
- La communication et stratégie en termes d'économie d'énergie: Utilise-t-on des standards de communications sobres et économes en énergie ?
- L'utilisation ou non de device à piles

Figure 12 - Thématiques influençant les flux et les consommations – Domaine SH Smart Home

Type de DSM (demand side management)	Tarifs Simples HS Pointe Mobile + MDE faible ou nulle	Tarifs Simples HS Pointe Mobile + MDE +	Tarifs Simples HS Pointe Mobile +++ MDE ++	Tarifs Simples HS Pointe Mobile +++ MDE +++			
LINKY	LINKY + ECS	LINKY + ERL + DEVICES	Smart dédiée (Linky + ERL pour transmettre infos utiles)	<div>NON Tablette à la maison) = Hub</div> <div>NON Smartphone = Hub</div> <div>NON Sigfox like Via 433/868 MHz Direct comm' LAN WAN</div>			
GATEWAY (GTW)	NON	OUI	OUI ECO				
ENERGY MANAGER (EM)	NON	Basique	GOLD	PLATINUM		PLATINUM ECO	
NB DEVICES & IOT pilotés	= 1 ECS	+ 1 ECS + 2 USAGES	+++ 6 usages hors ERL	+++++ 20 usages			
UI USER INTERFACE	NON Site web ERDF ou FOURN, ex post (pas temps réel)	Home Display	2 Smartphones 1 tablette famille	Home Display + 2 smartphones + 1 tablette famille.			
ECHANGES DATA Local <-> Central	=	+	+++	+++++			
BIG DATA ANALYTICS	Epsilon Central	++ Central	++++ Local, central	+++++ Google like Central, Local → Prédictif			
Ecoconception du système	NON	Pas particulièrement	OUI Conception sobre				
MUTUALISATION Database	NON	OUI Repository ou UK bases de lien					
Communications & Strat. éco	NON	Zigbee KNX	WIFI & autres	WIFI systématique		Wifi ECO + Choix RF et Filaire adaptés	
PILES	NON (ECS)	1 OUI - Afficheur 3 NON (ECS, CH, Mâl)	2 OUI (2 sensors) 5 NON (GTW + 4 usages)	8OUI (8 Usages) 13 NON (GTW+ 11 usg)		0 OUI - Tout branché ou sur chargeur	

La combinaison des possibilités décrites dans ce tableau offre une multitude de configurations possibles dont certaines que l'on trouvera sur le marché. Pour les besoins de l'étude le travail en atelier avec des professionnels du domaine a permis de construire un petit nombre de cas d'usages représentatifs du champ des possibles.

3.2.4. Choix des cas d'usages (CDU)

Les participants à l'atelier SH Smart Home ont retenu 5 cas d'usage à partir des thématiques et options ci-dessus. Ces cas d'usages ont été par la suite légèrement modifiés pour aboutir aux cas suivants :

Figure 13 - Description qualitative des cas d'usage 2A, 2B, 2C et 2D – Domaine SH Smart Home

SC A MAINTIEN EXISTANT	SC B LINKY + ERL	SC C FLEX HOME	SC D FULL FLEX & MDE
<ul style="list-style-type: none"> • Linky est utilisé seul chez ces clients pour assurer un maintien de l'existant (pilotage ECS), • Avec un peu plus de souplesse dans l'application de tarifs classiques (fixes horo-saisonnalisés, avec d'éventuelles pointes froid 18h mobiles une vingtaine de fois par an) 	<ul style="list-style-type: none"> • Linky est utilisé seul avec l'ERL pour des offres simples ciblées • Idéalement ces matériels sont « plug and play » par l'utilisateur débrouillard, éventuellement avec un appui rapide d'un installateur. • L'ERL pilote deux usages en plus de l'ECS 	<ul style="list-style-type: none"> • L'offre vise en premier lieu la flexibilité, avec une connotation MDE, sur moins d'une dizaine d'usages. • Elle s'appuie sur une infrastructure de communication propre à l'opérateur de flexibilité (gateways, SI centraux...) • Linky apporte le comptage officiel, mais pas la commande d'usages. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'offre utilise toute l'intelligence des algorithmes locaux couplés au big data analytics centraux pour diminuer les consommations (MDE +), assurer le confort et augmenter la flexibilité. • Grâce au Data Analytics, les automatismes pilotent prédictivement de nombreuses fonctionnalités de l'enveloppe et des équipements dans plusieurs pièces de la maison, en prenant en compte la vie des habitants

Un cas d'usage E avait été identifié en atelier, sous la forme d'une variante économe du cas D. Cette variante n'a pas été retenue dans la suite de l'étude. En effet les éléments manquaient pour qualifier et quantifier précisément cette alternative dans le délai imparti et avec le stade de connaissance initial de l'étude.

- Gateway :
 - Dans les cas d'usages A & B, on considère que l'utilisateur ne possède pas chez lui de Gateway (ou box internet), ou bien s'il en possède une pour ses besoins multimédias, elle n'est aucunement utilisée dans le cadre « Smart Home ».
 - A l'inverse dans les cas d'usages C & D la gateway est aussi utilisée pour transférer des données « smart-home » entre la maison et les couches centrales du système d'information (datacenters). La consommation électrique de la gateway est alors partiellement prise en compte à hauteur d'un pourcentage d'utilisation indiqué en section 3.5.2 Objets utilisés à des fins autres que le « Smart ».
 - La communication entre la gateway et l'energy manager se fait en WiFi.
- Energy manager:
 - Dans le cas d'usage A, seul l'ECS est piloté par le système classique de fil pilote. Dans le cas d'usage B, l'émetteur radio Linky (ERL) pilote l'ECS, un départ du tableau et une prise intelligente (communication descendante uniquement). L'utilisateur n'a pas besoin d'energy manager pour piloter ces objets connectés.
 - Dans le cas d'usage C, l'utilisateur possède un energy manager dit « Gold » dont l'objectif est de piloter les quelques objets qui lui sont connectés. Dans le cas D, l'energy manager dit « platinum » est plus puissant en termes de fonctionnalités comme en puissance électrique car il pilote plus d'objets, et il est potentiellement capable de travailler avec plus de protocoles différents.
 - Pour les cas d'usages C & D, neuf et trente objets respectivement sont gérés par l'Energy Manager (communication descendante et montante, incluant d'une part des actionneurs d'usages, mais aussi des capteurs de température, humidité, lumière ou présence que l'on peut retrouver dans plusieurs pièces). L'ERL sert encore à transmettre des informations venant du compteur utiles à l'energy manager (tarifs, grilles horaires, contacts sec, messages longs ou courts codés pour passer des ordres).
- Standards de communication intérieure HAN (Home Area Network) entre objets et avec l'energy manager :
 - Dans les cas d'usage C et D, des standards de communication de type Zigbee, KNX etc plus légers que le WiFi, ont été choisis pour la modélisation. Les entretiens avec les experts des entreprises spécialisées dans les solutions de smart home, de domotique ou d'équipements électriques ont permis de constater que cette solution était aujourd'hui privilégiée par rapport au Wifi, car moins consommatrice en énergie tout en offrant le débit nécessaire et suffisant.

- Ce choix mérite toutefois d'être nuancé si les boîtiers de surveillance à distance venaient à se développer pour la sécurité des biens ou des personnes. Les entreprises donneuses d'ordre pour la conception de ces boîtiers souhaitent offrir à leurs clients des services de video. Elles privilégient alors le wifi, d'autant plus que les services de smart-home viennent « en plus » et en troisième dans les priorités des développeurs. Cette possibilité n'a pas été prise en compte dans la modélisation – mais l'évolution du marché dans les années à venir reste un point d'attention.
- Zigbee ou KNX présentent l'avantage de permettre aux objets connectés de recevoir des informations et pas seulement d'en transmettre.

La Figure 14 - Description analytique des cas d'usage 2A, 2B, 2C et 2D – Domaine SH Smart Home décrit les cas d'usages en reprenant le vocabulaire analytique issu des thématiques.

Figure 14 - Description analytique des cas d'usage 2A, 2B, 2C et 2D – Domaine SH Smart Home

	SC A MAINTIEN EXISTANT	SC B LINKY + ERL	SC C PROBABLE FLEX	SC D FULL FLEX & MDE
Type de DSM	Tarifs Simples HS Pointe Mobile + MDE faible ou nulle	Tarifs Simples HS Pointe Mobile + MDE +	Tarifs Simples HS Pointe Mobile +++ MDE ++	Tarifs Simples HS Pointe Mobile +++ MDE +++
LINKY	LINKY + ECS	LINKY + ERL + DEVICES	Smart dédiée (Linky + ERL pour transmettre infos utiles)	Smart dédiée (Linky + ERL pour transmettre infos utiles)
GATEWAY (GTW)	NON	NON	OUI	OUI
ENERGY MANAGER (EM)	NON	NON	GOLD	PLATINUM
NB DEVICES & IOT pilotés	= 1 ECS	+ 1 ECS + 2 USAGES	+++ 5 usages hors ERL	+++++ 20 usages
UI USER INTERFACE	2 Smartphones	2 Smartphones	Home Display + 2 Smartphones	Home Display + 2 smartphones
ECHANGES DATA Local <-> Central	=	+	+++	+++++
BIG DATA ANALYTICS	Epsilon Central	++ Central	++++ Local, central	+++++ Google like Central, Local
Ecoconception du système	Pas particulièrement	Pas particulièrement	Pas particulièrement	Pas particulièrement
MUTUALISATION Database	NON	NON	NON	NON
Communications & Strat. éco	NON	Zigbee KNX	Zigbee KNX	Zigbee KNX
PILES	NON (ECS)	1 OUI - Afficheur 3 NON (ECS, CH, MâL)	2 OUI (2 sensors) 5 NON (GTW + 4 usages)	8 OUI (8 Usages) 13 NON (GTW+ 11 usg)

3.2.5. Partis pris de modélisation et hypothèses importantes

Cette section présente la façon dont la cartographie a été simplifiée et prise en compte dans le tableur de calcul pour chaque cas d'usage. Certaines hypothèses importantes sont également précisées. L'annexe III fournit l'ensemble des hypothèses détaillées.

On remarque que l'on suppose le chargement et l'utilisation de deux apps par ménage. Les apps sont supposées quasiment universellement répandues en 2020 et en 2030.

Figure 15 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 2A – Domaine SH Smart Home

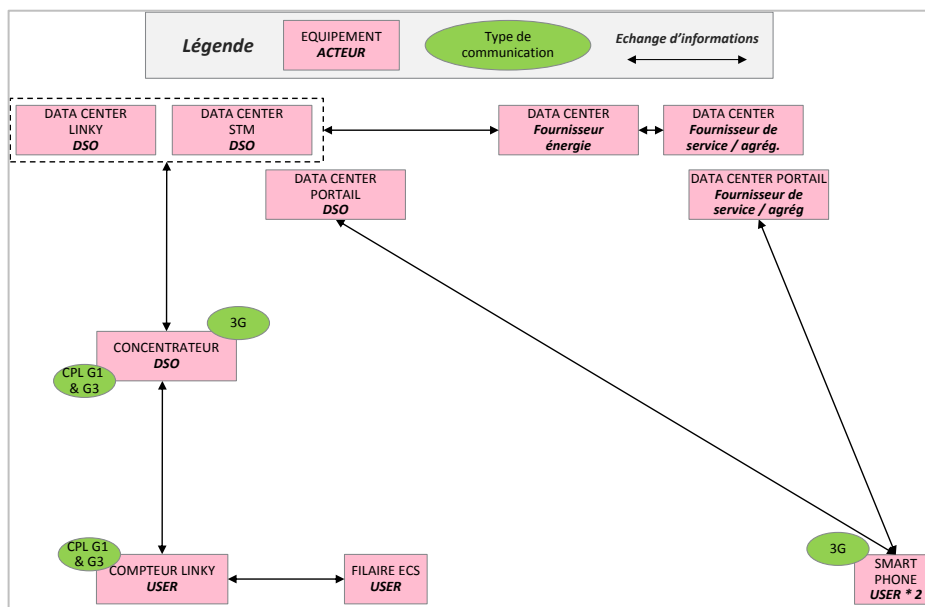


Figure 16 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 2B – Domaine SH Smart Home

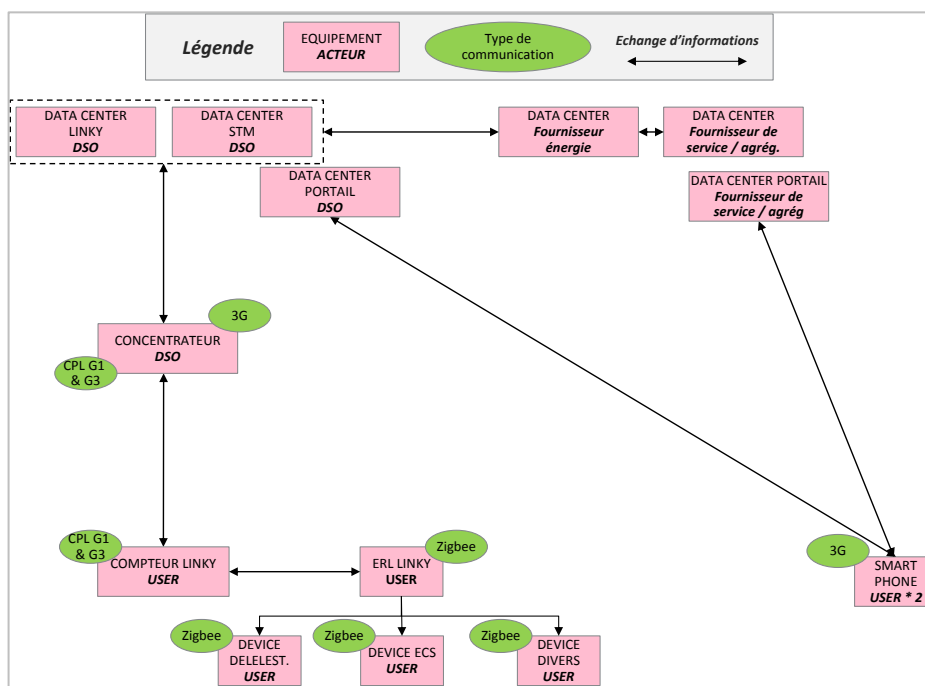


Figure 17 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 2C – Domaine SH Smart Home

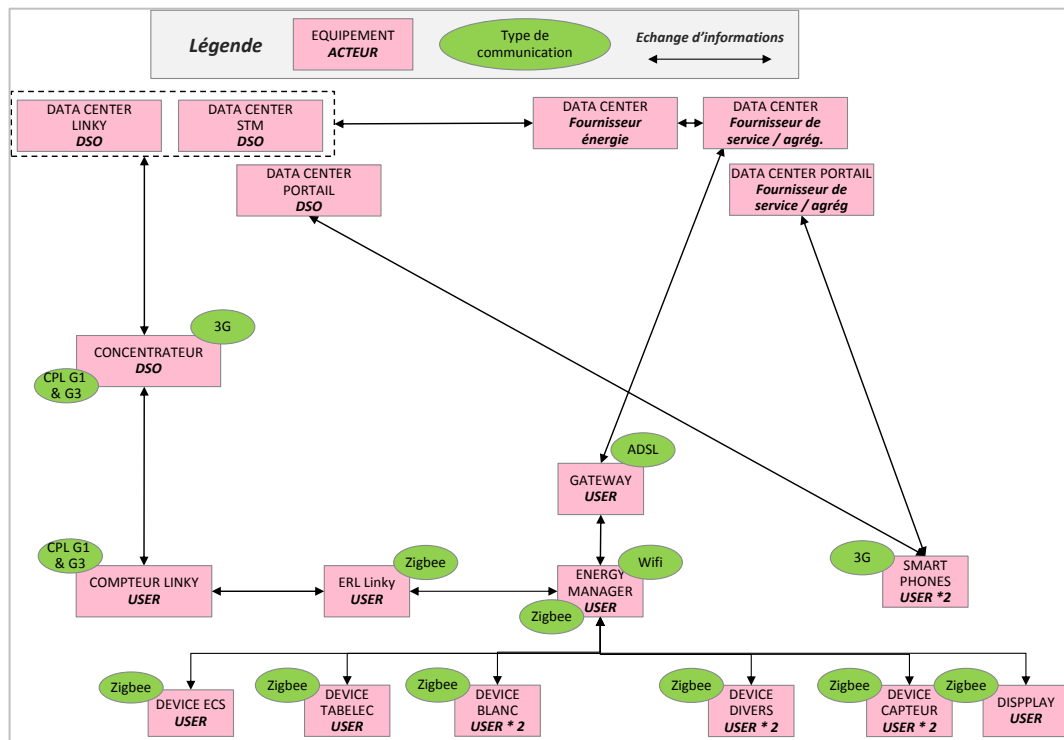
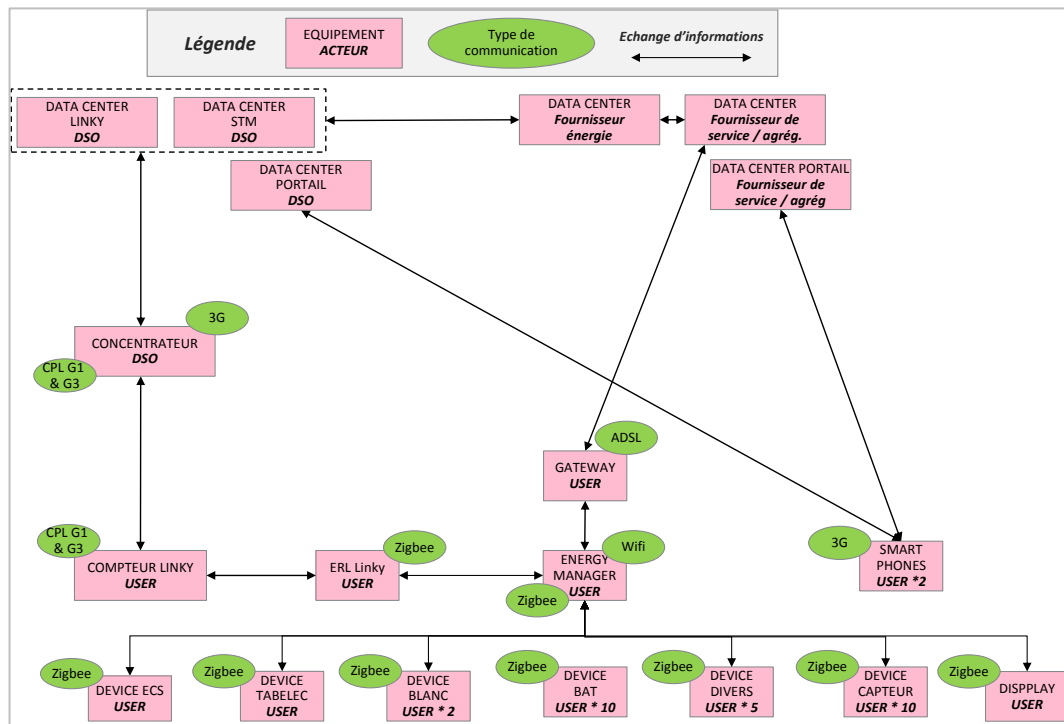


Figure 18 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 2D – Domaine SH Smart Home



Les hypothèses les plus importantes sont les suivantes :

- En termes de modélisation, le cas D ne diffère du cas C que par le nombre d'équipements sous contrôle et la fréquence de remontées des données.

- Le cas D suppose en particulier le pilotage séparé par pièce de la VMC et des ouvrants, ainsi que la mesure par pièce de la présence, de la lumière, de la température, de l'hygrométrie, etc. Associé à la puissance de calcul auto-apprenante embarqués dans l'energy manager et les datacenter, cela permet un saut qualitatif en matière du confort, de la gestion des apports solaires ou autres comme des pertes différenciées par pièces, en fonction de leur exposition, de leurs caractéristiques, de leur occupation.
- Seuls les capteurs de température, hygrométrie, présence, etc. sont considérés comme fonctionnant à pile. Cela se traduit concrètement par une puissance de fonctionnement en base hors émission très faible (ordre de grandeur du milliwatt) devant celle des autres capteurs et actionneurs fonctionnant sur secteur (ordre de grandeur du Watt). Attention toutefois à ne pas perdre de vue l'empreinte environnementale de la fabrication des piles, ce qui sort du cadre de l'évaluation quantitative de cette étude.

3.3. Les Cas d'Usages pour le pilotage de la charge des véhicules électriques (SVEL)

3.3.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs

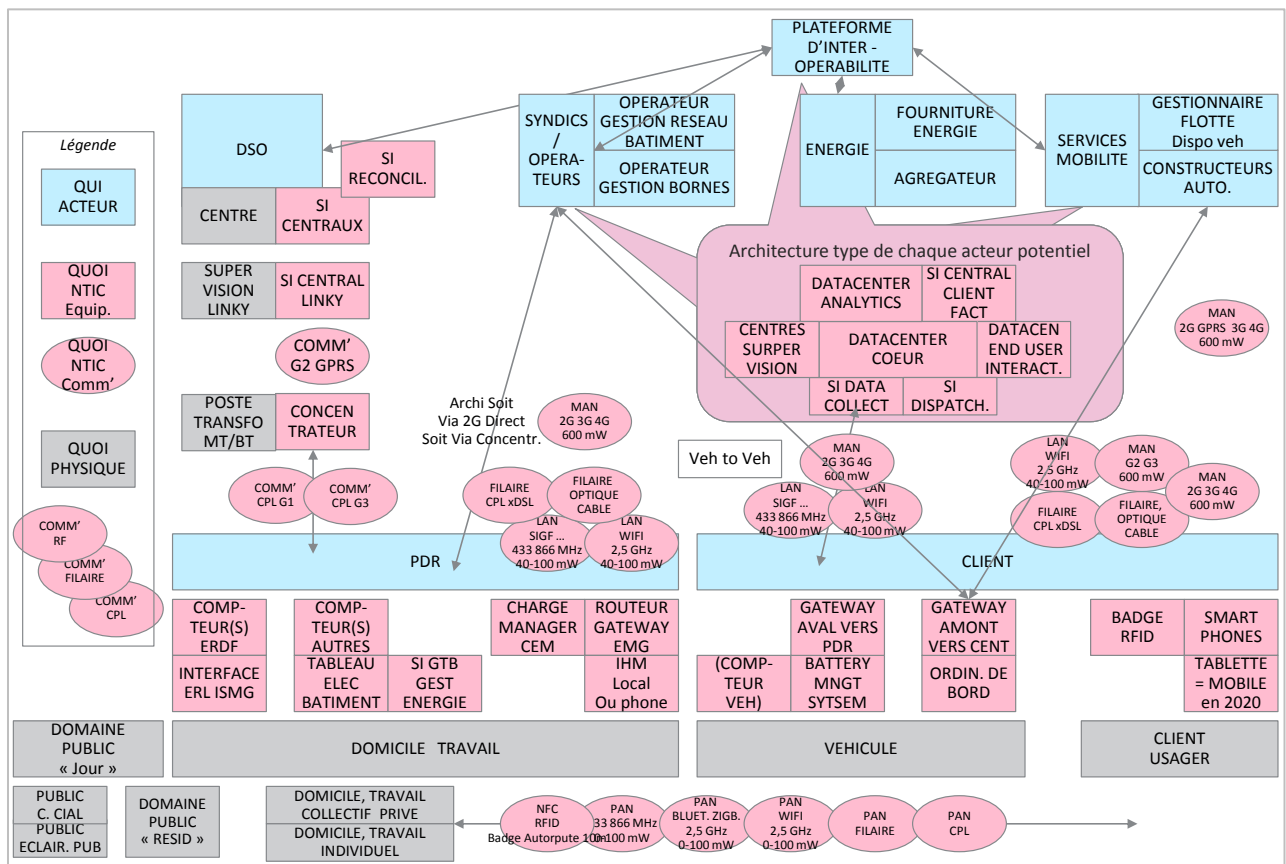
Pour chacun des cas d'usages de SVEL, 3 types de points de recharge (PDR) sont considérés :

- PDR en maison individuelle,
- PDR individuels, au travail ou en logement collectif,
- PDR en grappe, au travail ou en logement collectif.

Un point de recharge est piloté individuellement et possède ses fonctionnalités propres (une gateway, un charge manager, etc.). Les PDR en grappe permettent une mutualisation de certaines fonctionnalités comme la gateway ou le charge manager.

La figure ci-dessous est cartographie les acteurs et les équipements concernés. Par simplification, les commentaires qui suivent ne commentent que les acteurs et équipements utiles pour la suite.

Figure 19 – Cartographie des acteurs et équipements – Domaine SVEL Charge des véhicules



Les acteurs potentiellement concernés dans les cas d'usages SVEL sont les suivants :

- Les conducteurs, qui possèdent un véhicule électrique
- Le constructeur automobile, qui communique avec le système de bord du véhicule (déjà actuellement),
- L'opérateur d'IRVE (Infrastructures de recharge pour Véhicules Electriques) qui opère un ensemble de points de recharge. Il peut être un opérateur délégué, un syndic, le gestionnaire de l'immeuble, etc.
- L'opérateur de mobilité, qui fournit des services à ses clients à la maille régionale, nationale ou internationale (accès aux infrastructures de recharges IRVE les plus nombreuses possibles, services additionnels liés à la mobilité au-delà de la charge, facturation au client, etc.). De nombreux acteurs peuvent prendre ce rôle, y compris le fournisseur / agrégateur du smart home.
- Le fournisseur d'électricité de l'opérateur d'IRVE.

- Le fournisseur d'électricité du client conducteur du véhicule ou de l'opérateur de mobilité, en plus de celui de l'infrastructure (seulement dans certains cas)
- Le gestionnaire de la plateforme d'interopérabilité, qui permet un échange d'information entre les systèmes d'information des acteurs cités ci-dessus.
 - La plateforme permet à un véhicule ou à un client ayant souscrit aux services d'un opérateur de mobilité de se charger sur les points de recharge d'un large éventail d'opérateurs d'IRVE.
 - Dans les cas d'usage les plus avancés, la plateforme permet aussi au client ou à son opérateur de mobilité de bénéficier de son propre contrat d'électricité (verte de telle origine, horosaisonnaire, à pointe mobile, etc), de façon ubiquitaire indépendamment du point de recharge utilisé.
 - En effet la plateforme permet également de gérer les échanges d'informations entre les fournisseurs d'électricité respectifs des différents opérateurs et du client, et plus précisément entre responsables d'équilibres (RE), ainsi que pour le processus de réconciliation spatio-temporelle. Aux heures de la charge, le fournisseur du point de recharge se voit automatiquement défacturé de la quantité consommée, qui sont imputées au fournisseur du client ou de son opérateur de mobilité.

Les objets physiques liés à la charge sont les suivants :

A l'échelle locale :

- Le cordon de recharge dit « de mode 2 », équipé d'un boîtier intelligent, qui permet de relier le véhicule électrique (VEL) à une prise électrique classique pour charger celui-ci en toute sécurité. Il est possible de charger un véhicule avec ce cordon en l'absence de point de recharge de Mode 3, grâce à la présence de ce boîtier intelligent.
- Le point de recharge dit « de mode 3 », qui délivre une puissance donnée au VEL pour le charger en toute sécurité à travers un cordon dédié,
- Le lecteur de carte RFID, qui permet au client de s'identifier et d'accéder à la charge
- Le compteur MID, certifié selon la « Measuring Instruments Directive » depuis le comptage physique jusqu'à la facturation,
- Le charge manager, lié à un PDR ou à une grappe, qui permet d'optimiser les puissances délivrées en fonction de plusieurs contraintes et données d'entrée (état de charge véhicule, signal prix, heure planifiée de départ, etc.). Dans le cas d'une maison individuelle, le charge manager est un energy manager proche de ceux vus dans le domaine Smart Home
- La Gateway liée à un PDR ou à une grappe de PDR, qui permet de communiquer avec le datacenter de l'opérateur d'infrastructure de recharge IRVE, et avec tous les autres acteurs nécessaires
- Le compteur Linky (<36 kVA) ou équivalents pour les puissances supérieures à 36 kVA (grappes, immeubles, parkings, etc)
- L'ERL de Linky pour communiquer des informations aux charges managers
- Le délesteur dans le tableau électrique, qui permet de moduler la puissance, de fermer ou ouvrir un circuit vers la charge
- Le capteur sur le tableau électrique de la maison, communiquant avec le charge manager
- Le capteur sur la gestion technique du bâtiment (GTB) ou sur le BEMS (Building energy management system) du bâtiment, qui communique les informations nécessaires au charge manager
- La Gateway VEL, à bord du véhicule, qui permet à celui-ci de communiquer par réseau cellulaire avec le datacenter du constructeur automobile, voire dans certain cas avec le point de charge

Dans la chaîne médiane de remontée d'information :

- Les chaînes de télécommunication cellulaires, qui sont le canal utilisé par les gateways des PdR et des VEL pour communiquer avec les datacenters centraux des opérateurs et constructeurs
- La chaîne Linky et autres compteurs >36 kVA télérelevés.

Au niveau central :

- Le datacenter de l'opérateur de mobilité
- Le datacenter de l'opérateur IRVE
- Le datacenter du constructeur automobile
- Le datacenter de l'opérateur d'interopérabilité
- Chacun de ces 4 datacenters est dédoublé avec un datacenter léger et rapide de type « portail » avec une bonne réactivité servant d'interface pour les utilisateurs depuis leurs smartphones ou leur PC.

Le pilotage de la charge se distingue par le nombre potentiellement élevé de chaînes d'échange d'information. Au total on peut en dénombrer huit :

- La chaîne [véhicule – infrastructure fixe du PDR - opérateur d'infrastructure de recharge IRVE]
- La chaîne [véhicule – infrastructure fixe du PDR - opérateur de mobilité]
- La chaîne [véhicule – infrastructure fixe du PDR - plateforme d'interopérabilité]
- La chaîne [véhicule - le constructeur automobile, via le véhicule lui-même]
- Les 4 chaînes potentielles d'interactions directes [clients – apps de smartphones, accès web, sms, PCs - les datacenters légers et rapides d'échanges des 4 acteurs ci-dessus]

3.3.2. Périmètre de l'étude

Pour permettre de mener à bien cette première étude en ordre de grandeur, il a fallu faire des choix de périmètre.

Sont inclus dans le périmètre de l'étude :

- Tout ce qui peut aider au pilotage de la charge des véhicules électriques, à l'intersection (« ET ») entre les domaines des Smart Grids électriques et de la Mobilité Numérique pour les véhicules électriques
- Véhicules individuels, flottes professionnelles parkées à domicile les soirs et fins de semaine
- Points de recharge pilotés :
 - Domicile (maison individuelle et copropriété)
 - Travail
 - Public (charge lente ou normale)
- Etat cible 2020 et 2030

Sont exclus du périmètre de l'étude :

- Sujets de mobilité numérique pure (écompartage, aide à la conduite, services divers ...), pour des services sans lien avec la façon le système électrique peut être optimisé
- Points de charge non pilotés du point de vue du système électrique à savoir :
 - Points de charge sur la voie publique rapide ou très rapide : le véhicule est chargé le plus rapidement possible sans possibilité de modulation
 - Charge sur Parc ENR en temps réel et non connectée au réseau, par exemple parking de centres commerciaux ou d'entreprises sous ombrières photovoltaïques avec charge directe des véhicules en dessous
 - Flottes électriques en gestion de parc locale sans connexion NTIC au système électrique global
 - En tout état de cause les segments ci-dessus comptent en 2020 ou 2030 pour 0 à 20% des consommations totales de la couche TIC du domaine SVEL : peut-être 20% si cette consommation est au prorata du nombre de PDR ; négligeable si cette consommation est peu ou pas pilotable, que le nombre de PDR de ces segments soit faible ou important.
- Etats transitoires d'ici 2020 (par exemple suréquipement en bornes pour lancer le marché)

3.3.3. Thématiques influençant les flux de données et les consommations d'énergie

En atelier, les thèmes suivants ont été identifiés comme pouvant impacter les consommations électriques et les flux de données :

- Niveau de connaissance du système local sur le véhicule et l'utilisateur : charge de la batterie, profil de charge voulue par l'utilisateur, le temps qu'il lui reste pour charger, voire ses habitudes à ce moment de la journée ou de la semaine, la capacité à prédire les contraintes et possibilités de flexibilité pour les heures à venir.
- Niveau de connaissance du système local sur le bâtiment : puissances soutirées, globale ou par usages, performances du bâtiment et comportements par sous parties, déduction pour la puissance résiduelle disponible pour la charge dans les heures à venir, capacité à la prédiction,

- Niveau de connaissance du point de charge sur le système électrique : tarifs, contraintes, demandes de flexibilité en équilibre national ou pour des raisons locales, en situation immédiate récurrente ou mobile, capacité à la prédiction
- Modulation temporaire locale : la modulation est-elle possible, et si oui à quelle échelle de temps peut-elle être conduite ?
- Pilotage spatial (lieu / moment) : le système est-il capable de conseiller le conducteur sur le meilleur moment et le meilleur lieu pour effectuer sa charge ? quelles informations prend-il en compte pour ce faire ? prend-il en compte ces informations uniquement en temps réel instantané, ou bien est-il capable de prévoir sur les heures voire les 24 ou 48 heures à venir ?
- Big Data Analytics : avec quelle intensité sont-ils mis à contribution ? sur des périmètres partiels d'informations (ou bien le véhicule, ou bien le bâtiment, ou bien le conducteur, ou bien le système électrique, ou une petite partie de certains d'entre eux) ? ou sur le maximum de périmètre dans une logique holistique pour établir les meilleures apprentissages du système et les meilleures prévisions quand aux moments et lieux de la charge et ses gisements de modulation en puissance ?
- Besoin en points de recharge publics à la cible en 2030 : faut-il plus ou moins de bornes que le nombre prévu dans un plan moyen ? Plus le système global est intelligent, plus il sait conseiller le conducteur sans risque, moins il y a besoin de bornes publiques. Plus le conducteur est aveugle, moins il a d'informations instantanées ou prévisionnelles, plus il a besoin de bornes publiques pour le rassurer et lui permettre de recharger au dernier moment, où et quand le besoin se fait sentir.
- SI de réconciliation et interopérabilité des Fournisseurs Clients – Opérateurs : la présence de ce type de plateforme SI permet l'ubiquité de la facturation et du contrat de fourniture du client mobile. Le client a son contrat de fourniture (verte ou non, avec son profil horosaisonnier personnel, etc.). Il est directement facturé par son fournisseur. Sa facture ne dépend pas du point de charge sur lequel le VEL se recharge.
- Comptage : quelle est la stratégie de comptage local ? Plusieurs cas peuvent se présenter.
 - Les PDR sont branchés sur le compteur de l'immeuble, sans comptage dédié, ou éventuellement avec des comptages certifiés MID à part.
 - Eventuellement, le DSO peut installer un compteur supplémentaire dédié à la grappe, sous le compteur de l'immeuble, et effectuer une prestation de décompte qui permettrait d'avoir un fournisseur pour l'IRVE différent de celui de l'immeuble. Cette prestation en décompte est jusqu'à présent d'un coût rédhibitoire car elle est manuelle et complexe. C'est elle qui permet de transmettre aux responsables d'équilibres respectifs les informations nécessaires à l'apurement de leurs comptes.
 - Les PDR peuvent être branchés sur un compteur du DSO spécifique, avec ou sans compteurs additionnels individuels.
 - Chaque PDR peut être raccordé individuellement au réseau, avec son propre compteur.
 - Le compteur MID peut être placé dans le véhicule qui communique par les datacenters centraux avec les différents opérateurs concernés. Cela permet le comptage ubiquitaire. Il n'y a plus besoin de compteur « à terre », hormis le compteur de l'immeuble ou du parking.
 - La question du compteur peut être indifférente. Le comptage ubiquitaire est assuré par la plateforme d'interopérabilité. Celle-ci assure une forme de prestation de décompte industrialisée pour tous les points et à prix compétitifs.
- Ecoconception du système : Le système a-t-il été spécifiquement pensé pour être sobre à tout niveau (stratégie de remontées de données et d'échanges, redondances, etc.)
- Mutualisation database : les datacenters sont-ils partagés entre plusieurs acteurs ?

Figure 20 – Thématiques influençant les flux et les consommations – Domaine SVEL Charge VEL

VEL & USAGER	NON	+	+++	+++++			
BATIMENT	NON	+	+++	+++++			
SYST. ELECTR France, Régional	NON	Etat de charge VEL+ Grappe Plafonn. Puis. Dyn / Pmax – P Immeub Ordres DSO ponctuels sécur. Sys.	Etat VEL, Hr fin charge, Profil Batt... Plafonn. Puis. Dyn coord. avec GTB + PROFILS TAR FIXE HORO SAISONNIERE	Prédictif Vie de l'utilisateur Prédictif Vie de l'immeuble +++ + TAR MOBILE	+++++	+ TAR MOBILE + SERV SYSTEMES	
MODULATION TEMPOR. LOCALE	NON	MIN/SEC	HEURES	HEURES + MIN/SEC			
PILOTAGE « SPATIAL » Où et quand recharger	NON	+	+++	+++++			
BIG DATA ANALYTICS	NON	En instantané Seules infos du VEL + (Stats ex post)	En instantané + Trafic,dispo PdR, etc +++ Domaines Ciblés Non prédictif	Prédictif yc VELUSAG BATRES +++++ Holistique Google like prédictif			
Besoin en PDR PUBLICS 2030	PLAN	+	-				
SI de RECONCILIATION des Fournisseurs Clients - Opérateurs	NON	+	-				
COMPTAGE	0. Comp. Imm. Pas facturé directement	1. Compteur Imm. +mesures privées	2. C. à part +mesures privées	3. C. Imm. +Décompte ERDF	4. C. par bornes	5. C. Véhic Décompte ubiquitaire	INDIFFERENT
Ecoconception du système	NON	Pas particulièrement		OUI Conception sobre			
MUTUALISATION Database	NON	OUI bases de liens Cf Uk		OUI Quelques bases partagées			

La combinaison des possibilités décrites dans ce tableau offre une multitude de configurations possibles dont certaines que l'on trouvera effectivement sur le marché. Pour les besoins de l'étude le travail en atelier avec des professionnels du domaine a permis de construire un petit nombre de cas d'usages représentatifs du champ des possibles.

3.3.4. Choix des cas d'usage (CDU)

Les participants à l'atelier SVEL Smart Home ont retenu cinq cas d'usage à partir des thématiques et options ci-dessus. Ces cas d'usages ont été par la suite légèrement modifiés pour aboutir aux quatre cas suivants :

Figure 21 - Description qualitative des cas d'usage 3A, 3B, 3C et 3D – Domaine SVEL Charge VEL²⁰

SC A PASSIF REFERENCE	SC B ACTIF VEL & BAT	SC C SMART VEL & BAT	SC D PREDICTIF HOLISTIQUE
<ul style="list-style-type: none"> •Le système de charge passif ne prend en compte finement ni le véhicule ni l'immeuble ni le système électrique. La charge n'est pas pilotée, ou très simplement avec une horloge. •Tout au plus le système prend-il en compte des ordres ponctuels du DSO liés à la sécurité du système électrique. •L'utilisateur choisit le lieu et le moment de charge avec peu d'informations et de signaux incitatifs, en particulier dans les systèmes collectifs (travail ou domicile) 	<ul style="list-style-type: none"> •Le système de charge, actif et local, prend en compte des informations simples du véhicule (state of charge), du bâtiment vu du compteur global (plafonnement de puissance dynamique). •Le comptage spécifique et stationnaire lié à la grappe ou au compteur permet de facturer l'opérateur ou le syndic. Le client est facturé au service plus qu'à l'énergie •Le client choisit son lieu et son moment avec peu d'informations. •La norme ISO 15 118 pour la communication locale (véhicule – borne) n'est pas implémentée 	<ul style="list-style-type: none"> •Les algorithmes locaux prennent en compte des informations en temps réel et élaborées, liées : <ul style="list-style-type: none"> - au véhicule et à l'utilisateur (batterie, heure planifiée de départ), - au pilotage technique du bâtiment et de ses N appareillages (GTB) - À la tarification incitative fixe horo-saisonnière vue par le client •Le Big Data aide le client à planifier le lieu et le moment de la charge. Le Big Data est prédictif par rapport à la vie et la mobilité de l'utilisateur (position, véhicule) mais il ne l'est pas encore sur le bâtiment et le réseau électrique (seules conditions présentes) •Le client a son fournisseur et son tarif, n'importe où. Le SI de réconciliation des Fournisseurs Clients & Opérateurs / Bâtiments permet la facturation ubiquitaire. •La norme ISO 15 118 est implémentée 	<ul style="list-style-type: none"> •Le Big Data Holistique permet un pilotage prédictif sur les quatre dimensions Usager, Véhicule, Bâtiment, Réseau électrique (équilibre national, contraintes locales, services réseaux...) •Le client a son fournisseur et son tarif, n'importe où. Le SI de réconciliation des Fournisseurs Clients & Opérateurs / Bâtiments permet la facturation ubiquitaire.

Les enjeux liés au mode de communication riche de type ISO 15 118 entre le véhicule et la borne sont explicités en fin de section 3.3.5, à la suite du Tableau 4 - Modes et types de communication pour les cas d'usage SVEL.

Un cas d'usage E avait été identifié en atelier, sous la forme d'une variante plus économe en termes de consommation électrique par rapport au cas D. Cette variante n'a pas été retenue dans la suite de l'étude. En effet les éléments manquaient pour qualifier et quantifier précisément cette alternative dans le délai imparti et avec le stade de connaissance initial de l'étude.

Comme pour le domaine Smart Home, les cas d'usage SVEL vont croissant de A à D en termes de qualité et de volumes d'informations échangées, de capacités de pilotage, d'auto-apprenance et de prédictibilité.

Niveau de connaissance du système local concernant le véhicule et l'utilisateur : dans le cas d'usage A, le système local n'a accès à aucune information sur le véhicule et l'utilisateur. Dans le cas d'usages B l'état de la charge de la batterie du véhicule ainsi que la puissance totale délivrée sur la grappe sont des données connues du système. Dans le cas d'usage C l'heure de fin de charge et des informations complémentaires sur la batterie sont connus du système. Le cas d'usage D suppose que le système a accès à l'ensemble des données utilisateur & véhicule à une fréquence beaucoup plus fine, lui permettant d'être prédictif.

Niveau de connaissance du système local concernant le bâtiment : dans le cas d'usage A, le système local est aveugle au regard du bâtiment. Le cas B permet au minimum d'assurer que la puissance totale soutirée reste en dessous d'un plafond. Les cas d'usage C et D assurent une gestion de la puissance totale dynamique en coordination avec la GTB du bâtiment. La fréquence d'adaptation et les pas de mesures sont beaucoup plus fins dans le cas D.

Fournisseurs d'énergie : Dans les deux cas d'usages les plus simples, seul le fournisseur d'énergie de l'IRVE est sollicité. Dans les deux cas d'usages les plus avancés C et D, le fournisseur d'énergie du client est également sollicité. La facturation ubiquitaire permet au client de bénéficier des signaux tarifaires et d'une qualité d'électricité qu'il aura choisis (nucléaire, décarboné, ENR solaire, éolienne, hydraulique, etc.), indépendamment du gestionnaire d'IRVE et du fournisseur de celui-ci. Cela suppose une réconciliation des flux au niveau des responsables d'équilibre grâce à une plateforme d'interopérabilité.

²⁰ Des éléments d'explications sur la norme ISO 15-118 sont fournis en fin de section 3.3.5

La Figure 22 - Description analytique des cas d'usages 3A, 3B, 3C et 3D – Domaine SVEL Charge VEL décrit les cas d'usages en reprenant le vocabulaire analytique issu des thématiques.

Figure 22 - Description analytique des cas d'usages 3A, 3B, 3C et 3D – Domaine SVEL Charge VEL

	SC A PASSIF REFERENCE	SC B ACTIF VEL & BAT	SC C SMART VEL & BAT	SC D PREDICTIF HOLISTIQUE
VEL & USAGER	NON	+ Etat de charge VEL + Grappe	+++ Etat VEL, Hr fin charge, Profil Batt...	+++++ Prédictif Vie de l'utilisateur
BATIMENT	NON	+ Plafonn. Puis. Dyn / Pmax – P Immeub	+++ Plafonn. Puis. Dyn coord. avec GTB	+++++ Prédictif Vie de l'immeuble
SYST. ELECTR France, Régional	Ordres DSO ponctuels sécur. Sys.	Ordres DSO ponctuels sécur. Sys.	+ + PROFILS TAR FIXE HORO SAISONNIERE	+++++ + TAR MOBILE + SERV SYSTEMES
MODULATION TEMPOR. LOCALE	NON	HEURES + MIN/SEC	HEURES + MIN/SEC	HEURES + MIN/SEC
PILOT. SPATIAL Lieu Moment	NON	+ En instantané Seules infos du VEL	+++ En instantané + Trafic,dispo PdR, etc	+++++ Prédictif yc VEL USAG BAT RES
BIG DATA ANALYTICS	NON	+ (Stats ex post)	+++ Domaines Ciblés Non prédictif	+++++ Holistique Google like
SI de RECONCILIATION des Fournisseurs Clients - Opérateurs	NON Fourn. liée à l'immeuble	NON Fourniture liée à la grappe ou borne	OUI Fou. liée à l'utilisateur / au véhicule	OUI Fou. liée à l'utilisateur / au véhicule
COMPTAGE	O. C. Immeuble Pas facturé directement	2 ou 3.	INDIFFERENT	INDIFFERENT
STRAT. ECO. DATA Remontées & Echanges, Redondances,,Datacenters etc	Pas particulièrement	Pas particulièrement	Pas particulièrement	Pas particulièrement
MUTUALISATION Database	NON	NON	NON	NON

3.3.5. Partis pris de modélisation et hypothèses importantes

Cette section présente la façon dont la cartographie a été simplifiée et prise en compte dans le tableur de calcul pour chaque cas d'usage. Certaines hypothèses importantes sont également précisées. L'annexe III fournit l'ensemble des hypothèses détaillées.

La modélisation distingue les trois types de lieux de charge les plus fréquents (maison individuelle, collectif résidentiel et collectif travail), en distinguant pour les deux derniers si les points de recharge sont isolés ou raccordés en grappe. Cette dernière nuance ne s'applique qu'à partir du cas d'usage B, comme on le voit ci-dessous.

NB. Les figures décrivent les choix qui ont été pris pour la modélisation quantitative au niveau des couches locales.

Figure 23 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 3A – Domaine SVEL Charge VEL

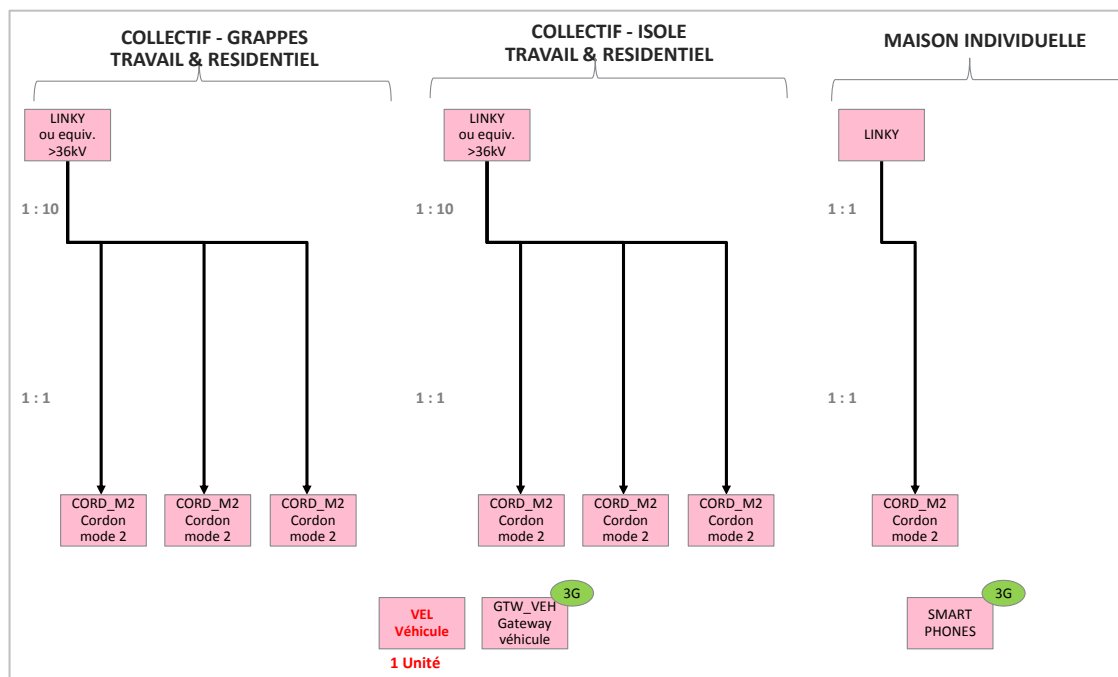


Figure 24 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 3B – Domaine SVEL Charge VEL

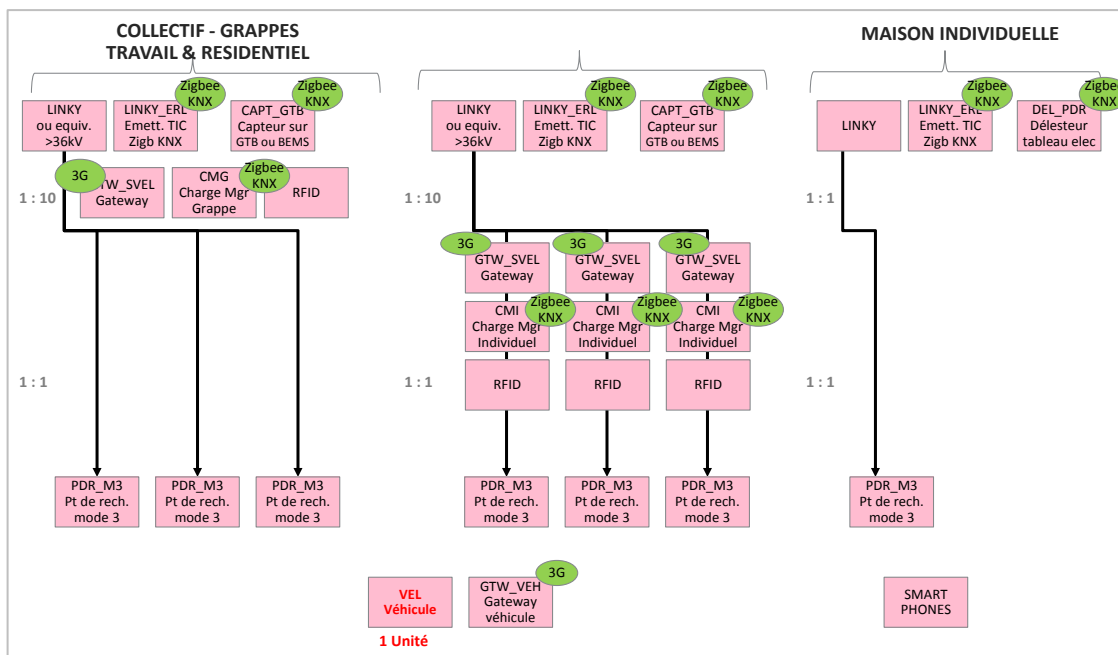
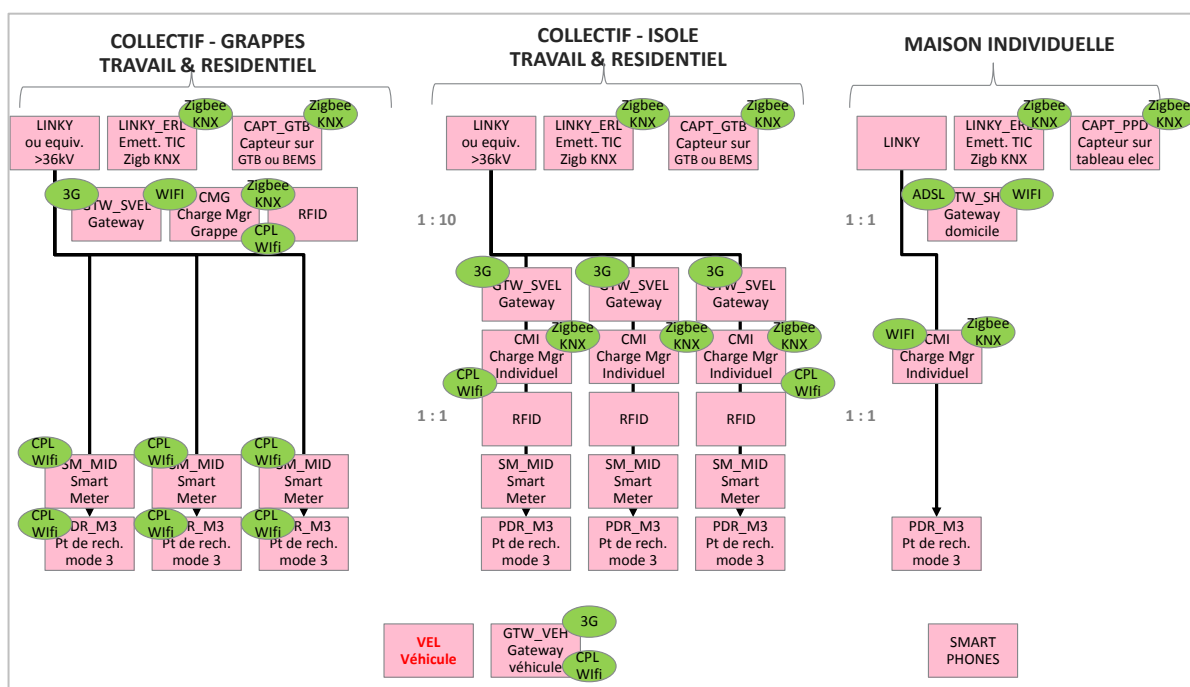


Figure 25 - Choix de modélisation pour le cas 3C & 3D – Domaine SVEL Charge VEL



Parti pris en termes de modélisation :

Nombre de points de recharge :

Les cas d'usages sont calés dans le tableau pour 1 million de véhicules. Les résultats sont ensuite extrapolés par règle de trois à 600 000 véhicules en 2020 et à 4 millions de véhicules en 2030.

Sur la base d'1 million de véhicules, les répartitions par types de PDR sont réalisées sur la base des hypothèses suivantes :

- 1 000 000 PdR sur les lieux de travail : parkings privés d'entreprise, etc.
- 600 000 PdR sur les lieux résidentiels : maisons individuelles et parkings privés d'immeuble
- 200 000 PdR d'accès public (voierie, autoroute, parking public, etc.) dont 190 000 PdR à charge pilotée (les 10 000 PdR à charge rapide non pilotée ne sont pas pris en compte dans cette étude).
- Soient 1,79 points de recharge par véhicule électrique

La décision d'attribuer plus de points de recharges au travail qu'en résidentiel résulte de deux facteurs. En premier lieu, la moitié des véhicules thermiques vendus aujourd'hui en France sont achetés par des entreprises. Cette tendance est plus forte pour ce qui est des véhicules électriques. Deuxièmement, les véhicules électriques seront particulièrement présents dans les villes, or de nombreux immeubles ne sont pas équipés de parking.

Nombre de points de recharge par borne : On considère 1 point de recharge par borne. Dans les faits, les bornes de recharge sur la voie publique et les bornes de recharge sur les lieux de travail seront souvent équipées de 2 points de recharge, mais dans un souci de simplification, l'ensemble des calculs effectués ci-dessous considèrent 1 point de recharge par borne.

Comptage pour les PdR collectifs : Dans les cas d'usages 3A et 3B aucun comptage n'est effectué au niveau du PDR. Il n'y a que le comptage par grappe. Dans les cas d'usages C et D, un compteur par PDR est mis en place. Ce compteur peut être mis en place par le DSO ou être un compteur certifié MID géré privativement par l'opérateur d'IRVE.

Grappe : On considère en moyenne 10 bornes de chargement par grappe.





Mode de recharge -

Il existe aujourd'hui quatre modes différents de recharge. Le mode 1 est d'ores et déjà déconseillé aujourd'hui pour des raisons de sécurité, seuls les modes de recharge 2 et 3 sont utilisés dans les cas d'usages retenus en atelier.

Le mode 4 est utilisé pour de la recharge rapide sur des bornes publiques, dont la part de consommation des TIC est considérée mineure dans le cadre de cette étude.

Dans le cas d'usage 3A toutes les recharges sont effectuées dans le mode 2. Pour les cas d'usages 3B, 3C et 3D, l'ensemble des recharges sont effectuées dans le mode 3.

Figure 26 - Les modes 1 2 3 4 de recharge des VEL

	MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4
Principe	Absence de contrôle de charge	Boîtier de contrôle intégré au câble	Contrôle de charge et intelligence dans la borne	Charge en courant continu
Schema				
Type de prise	Prise 2P+T non dédiée	Prise 2P+T non dédiée ou prise Prise 2P+T dédiée	Borne de charge	Station de charge

Source : Automobile Propre

Le cordon de recharge de mode 2 comprend un boîtier « intelligent » qui ne fonctionne que lorsque le câble est branché. Il pilote la charge de façon élémentaire, grâce au protocole de communication PWM.

Les points de recharge en Mode 3 comprennent les passerelles de communication qui assurent la traduction des protocoles utilisés pour les communications [VEL – borne et pour la communication borne – coffret de gestion grappe ou borne – serveur].

On considère également dans la modélisation qu'aucun PDR n'inclut de terminal de paiement. En effet, leur prix, leur faible fréquence d'utilisation (nettement inférieure à une charge par jour) et la faiblesse des sommes en jeu pour une recharge (quelques euros) ne justifient par leur présence.

Tableau 4 - Modes et types de communication pour les cas d'usage SVEL

Cas d'usages	3A	3B	3C	3D
	Mode 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3
	Communication PWM	Communication PWM	Communication PWM	Communication PWM
			Communication type ISO 15-118	Communication type ISO 15-118

Protocoles d'échanges & type de communication utilisés entre le véhicule et le point de charge :

Seul le protocole « pauvre en informations » PWM est utilisé dans les cas d'usage 3A et 3B. En effet dans le protocole Pulse With Modulation, les informations échangées entre la voiture et la borne se limitent à :

- De la voiture à la borne :
 - VEL branchée : oui ou non

- VEL veut se charger : oui ou non
- De la borne à la voiture
 - Accord pour chargement : oui ou non
 - Accord pour soutirer jusqu'à xx kW

On suppose que seule la borne de recharge de mode 3 permet une modulation fine de la puissance pouvant être soutirée par le véhicule. Dans le cas de la prise avec cordon (mode 2) l'intensité soutirée est soit fixée (à 8, 14 ou 16 A), soit modulable sur deux valeurs (exemple : 8 ou 14 A)

Un protocole complémentaire « riche » est utilisé dans les cas d'usages 3C et 3D, de type ISO 15-118. Dans ce type de protocole « riche », les informations supplémentaires échangées entre le VEL et la borne concernent l'état de charge de la batterie du véhicule, ainsi que ses caractéristiques intrinsèques (taille, ...). C'est une avancée importante qui évite d'obliger à ce que ces informations transitent par le VEL, le datacenter du constructeur, puis par les datacenters des différents acteurs opérateurs de mobilité et d'IRVE jusqu'à redescendre au Charge Manager du PdR.

Un protocole complémentaire « riche » type ISO 15-118 pourrait être compatible avec du Wifi ou du CPL home plug. Le choix entre le wifi ou le CPL de type home plug n'est pas encore d'actualité. Néanmoins le wifi présente l'avantage de permettre de réaliser des charges inductives sans fil et sans câble, qui devraient être déployées dans les années à venir.

Le CPL de type home plug et le Wifi permettent en outre d'échanger de hauts débits d'information dans les deux sens qui pourraient être utiles pour proposer des services de mobilité riches et des contenus, au-delà du seul service de charge.

Un groupe de travail ISO est dédié à la définition d'un protocole de communication 15-118 entre le véhicule et le PdR. La norme est en cours de discussion et pourrait être d'application industrielle à l'horizon 2020.

3.4. Les Cas d'Usages Observabilité et pilotage des Réseaux Publics de Distribution (SRPD)

3.4.1. Enjeux du domaine et description des équipements et acteurs

Cette partie évalue la consommation de la couche TIC liée à l'observabilité et à la pilotabilité du réseau de distribution. Elle comptabilise les consommations des équipements servant à l'une, l'autre ou ces deux fonctions à la fois. Les données liées à l'observabilité du réseau envoyées vers les datacenters sont en principe largement dominantes en termes de flux de données devant les quantités de données liées à la pilotabilité. Les ordres de commande des organes de manœuvre télécommandés sont à la fois moins fréquents et d'un volume plus faible que les mesures d'observation. C'est pourquoi l'étude n'a chiffré que les flux d'observabilité, mais a bien évalué les consommations des objets de pilotage et d'observabilité.

Les acteurs concernés dans les cas d'usages « Smart Réseaux Publics de Distribution » (SRPD) sont les suivants :

- Les gestionnaires de réseau (DSO), qui gèrent le réseau moyenne tension (HTA, 20kV et 15 kV) et le réseau basse tension (BT, 400 V et 230 V)
- Les exploitants de parc ENR, qui louent au gestionnaire de réseau le dispositif d'échange d'informations d'exploitation (DEIE). Ces dispositifs servent à la connexion informatique entre les parcs et les gestionnaires de réseau.

Les objets physiques concernés dans les cas d'usages SRPD sont les suivants :

A l'échelle locale :

- Les postes sources (ou poste de transformation HTB / HTA), dont on peut distinguer trois types du point de vue de la génération et de la profondeur de numérisation TIC : les postes sources « palier classique », les postes sources à Protection et Contrôle Commande Numériques (PCCN), les postes sources à « mini PCCN »,
 - Un poste source « palier classique » est composé de 4 lots, tous en technologies analogiques correspondant aux standards des années 80/90 : le lot PA (Poste asservi) est la partie « intelligente » du poste. Le lot TCFM (télécommande centralisée à fréquence

musicale) envoie les signaux heures pleines / heures creuses en 175Hz sur les câbles électriques. Il est appelé à disparaître avec la généralisation des compteurs Linky. Le lot Transformateur protège et prend des mesures sur le transformateur. Enfin le lot Rame protège et prend des mesures sur les départs moyenne tension. Tous ces lots communiquent en filaire entre eux.

- Un poste source à PCCN est composé de 5 lots tous numériques. L'ancien lot PA est remplacé par les deux lots AUTO et SUP. Les lots TCFM, Transformateur et Rame sont également différents car entièrement numériques.
- Un poste source à mini PCCN effectue la transition entre les deux précédents. Il est composé de 2 lots numériques et 3 lots analogiques. Il combine « l'intelligence » du poste source à PCCN puisque le lot analogique PA est remplacé par les lots numériques AUTO et SUP. En revanche il conserve les lots classiques analogiques TCFM, Transformateur et Rame. Cela permet une transition à coûts et bénéfices maîtrisés.
- Le DEIE (dispositif d'échange d'informations d'exploitation) est un calculateur de type « Poste Asservi de Petite Capacité ». Le DEIE permet d'automatiser l'échange des informations les plus urgentes (situation dégradée du système électrique, perturbation anormale du réseau attribuable à l'installation de production, etc.) entre le DSO et l'exploitant du parc ENR, ainsi que leur prise en compte par le dispositif de conduite du site de production.
- L'eDEIE (électronique) est le DEIE du futur. Ce dispositif étant encore en phase de conception, il est considéré dans cette étude comme plus puissant que le DEIE (fournit plus de données à une fréquence plus élevée).
- Les capteurs sur les lignes en moyenne tension HTA. On considère qu'un certain pourcentage des lignes HTA est équipé de ces capteurs (voir section 3.4.3). L'étude a distingué arbitrairement deux types de capteurs, « Low Data » et « High Data », sur le principe que les seconds mesurent plus d'informations sur un pas plus fin que les premiers. L'étude n'a pas plus approfondi le détail des fonctionnalités.
- Les postes de distribution HTA / BT. Il y en a de 3 types : les postes HTA / BT historiques, les postes HTA / BT avec organes de manœuvre télécommandés (OMT) et les postes HTA / BT avec boîtier NTIC numériques.
 - Les postes HTA / BT historiques ne sont pas pris en compte dans la modélisation car ils ne sont pas pilotés et ne remontent aucune donnée en central,
 - Les postes HTA / BT avec OMT ne remontent aucune mesure. En revanche ils sont pilotables à distance grâce à leurs Organe de Manœuvre Télécommandé. Les OMT commandent à distance les arrivées HTA de ces postes.
 - Les postes HTA / BT équipés de boîtiers NTIC peuvent à la fois prendre des mesures sur les arrivées HTA et les départs BT et piloter les arrivées HTA à l'aide d'OMT à commande numérique.

On considère que tous ces objets communiquent par réseau cellulaire avec les datacenters du DSO.

Dans la chaîne médiane de remontée d'information :

- La chaîne de télécommunication GPRS, qui est le canal utilisé par les objets locaux pour communiquer avec le niveau central

Au niveau central :

- Le datacenter principal du DSO, qui collecte l'ensemble des données remontant du réseau et les stocke pour une durée longue
- Le datacenter de simulation du DSO, souvent désigné sous le vocable « Estimateur d'Etat ». Il permet de reconstituer une vue d'ensemble du réseau à partir de données forcément parcellaires en simulant les données manquantes.

Au global, une seule chaîne de remontée d'information est considérée :

- La chaîne [objets communicants – datacenter DSO]

3.4.2. Périmètre de l'étude

Pour permettre de mener à bien cette première étude en ordre de grandeur, il a fallu faire des choix de périmètre.

Sont inclus dans le périmètre de l'étude :

- Réseau de Distribution d'électricité
- Parcs de production renouvelables connectés au réseau moyenne tension HTA

Sont exclus du périmètre de l'étude :

- Réseau de transport d'électricité
- Industriels raccordés à la moyenne tension HTA (et leurs éventuel pilotage et observation de consommation)
- Installations ENR raccordées à la basse tension BT

3.4.3. Choix des cas d'usages (CDU)

L'approche pour la définition des cas d'usages du domaine SRPD a été différente de l'approche utilisée pour les trois autres domaines. Le réseau a été considéré dans son ensemble. Le cas d'usage 4A correspond ici à l'image de la France en 2020 et le cas d'usage 4B correspond à l'image de la France en 2030 du point de vue de l'observabilité et du pilotage du réseau.

Les divers entretiens ont permis d'aboutir aux hypothèses suivantes :

Figure 27 – Hypothèses d'équipement pour les cas d'usages 4A et 4B – Domaine SRPD Réseau²¹

Equipements	2015	CDU A =2020	CDU B =2030
Postes sources - anciens paliers	80%	40%	0%
Postes sources avec mini PCCN		20%	
Postes sources avec PCCN	20%	40%	100%
Parcs ENR raccordés en HTA équipés d'un DEIE		75%	
Parcs ENR raccordés en HTA équipés d'un eDEIE			100%
Lignes HTA équipées en NTIC		10%	25%
Postes HTA/BT non équipés	90%	85%	65%
Postes HTA/BT avec OMT	10%	10%	10%
Postes HTA/BT avec nouveaux boîtiers NTIC		5%	25%
Lignes BT équipées en NTIC	0%	0%	0%

Nb de postes	2015	CDU A =2020	CDU B =2030
2 240	1 792	896	0
	0	448	0
	448	896	2 240

754 000	678 600	640 900	490 100
	75 400	75 400	75 400
	0	37 700	188 500

Les hypothèses prises dans ce rapport concernant les réseaux publics de distribution et le comptage sont effectuées dans une visée de prospective et d'évaluation en ordre de grandeur. Elles sont le fait du consultant et d'arbitrages au cours de l'étude sur la base d'entretiens informels avec divers acteurs dont ERDF. Elles ne sauraient engager ERDF.

Dimensionnement général :

On considère dans ce rapport que le nombre de postes sources, de postes HTA/BT et les km de lignes HTA et BT restent inchangés en ordre de grandeur entre aujourd'hui et 2030.

Postes sources :

D'ici 2030, l'ensemble des 2240 postes sources devraient être équipés en PCCN. Durant la phase transitoire, les postes sources « ancien palier » vont être progressivement remplacés par des postes sources avec PCCN (c'est déjà le cas aujourd'hui pour 20% des postes) et par des postes sources mini-PCCN.

eDEIE :

On considère 75% des parcs ENR raccordés en HTA équipés d'un DEIE en 2020. On suppose qu'en 2030 l'ensemble des parcs ENR est équipé eDEIE.

Lignes HTA équipées en dessous d'un poste source :

Le territoire d'un poste source est de 250 Km² en moyenne. On considère qu'« équiper une zone » signifie placer vingt capteurs sur les lignes HTA en aval du poste source de la zone (arbitrairement dix capteurs « low data » et dix capteurs « high data »).

On prend l'hypothèse qu'on équipe prioritairement les zones pour lesquelles la densité élevée de parcs éoliens et PV justifie une observabilité renforcée, soient 20% en 2020 et 50% en 2030 des postes sources ruraux dont on suppose qu'ils représentent 50% des postes sources, d'où les hypothèses proposées de 10% et 25%.

Postes de distribution BT :

Les 754 000 postes HTA / BT répartis sur le territoire français sont aujourd'hui dans 90% des cas ni pilotés ni observés, et dans 10% des cas pilotés à l'aide d'OMT. On considère que l'installation de nouveaux postes HTA/BT se fera au gré des remplacements des anciens postes et/ou selon des besoins particuliers ciblés. Le nombre élevé de postes

²¹ Le lecteur ne se formalisera pas de ce que certains chiffres sont en rouge et d'autres en noir. Le tableau est extrait du modèle, dans lequel les chiffres saisis manuellement sont en rouge, et les cellules recalculées en noir.

HTA/BT et le fait que l'infrastructure Linky donne déjà un premier niveau de vision BT font que le déploiement sur 100% du territoire n'est pas envisagé. Seules les zones à enjeu, par exemple pour éviter un renforcement réseau ou pour gérer des zones à forte pénétration de PV, etc. sont susceptibles d'être équipées. Les % indiqués sont déjà ambitieux quand on les considère en nombre de postes équipés.

Il peut également être envisageable d'installer un nouveau poste lors du remplacement des concentrateurs Linky, prévu tous les 5 ans.

3.4.4. Partis pris de modélisation et hypothèses importantes

Cette section présente la façon dont l'image du réseau a été simplifiée et prise en compte dans le tableur de calcul pour chaque cas d'usage. Certaines hypothèses importantes sont également précisées. L'annexe III fournit l'ensemble des hypothèses détaillées.

Figure 28 - Choix de modélisation pour le cas d'usage 4A

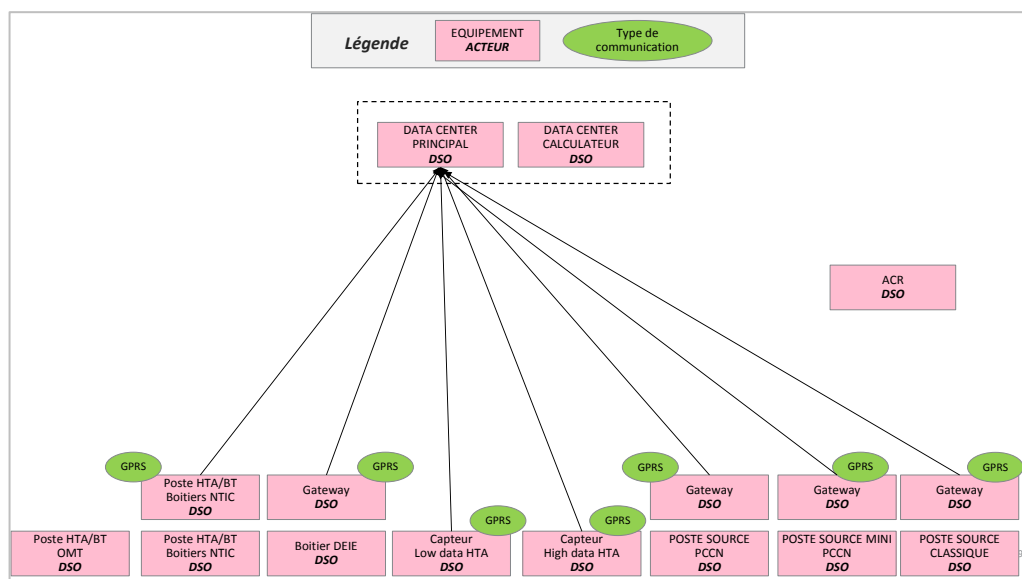
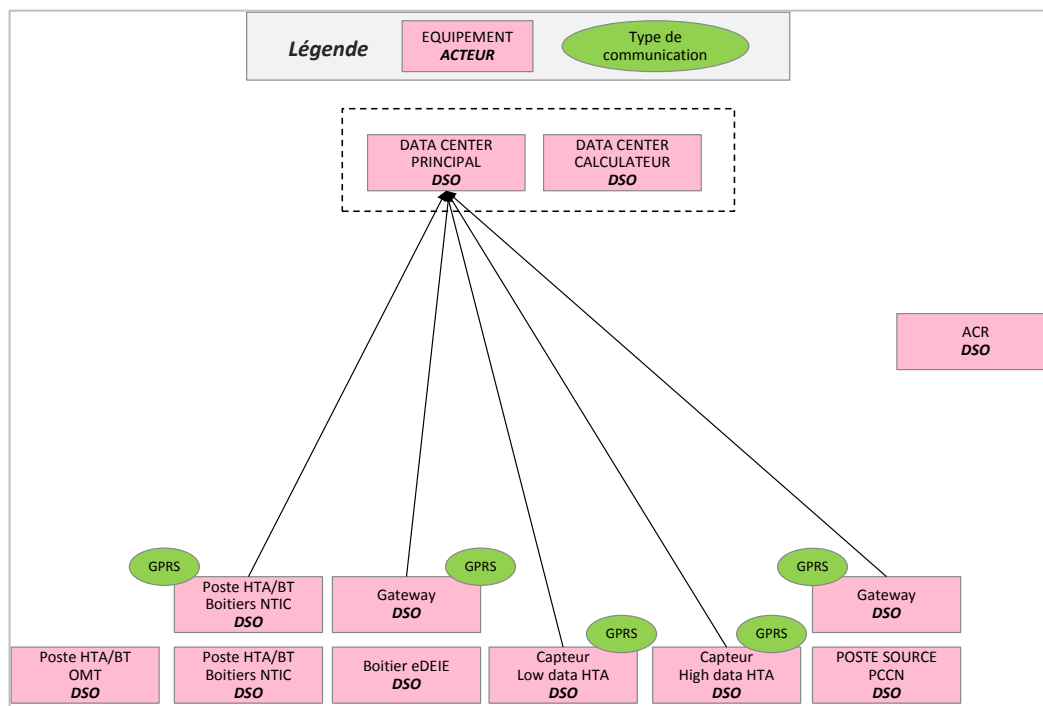


Figure 29 -Choix de modélisation pour le cas d'usage 4B



On a considéré que les équipements communiquent avec le central en téléphonie cellulaire, en GPRS pour commencer, ce qui n'exclut pas d'évoluer jusqu'à l'horizon 2030.

3.5. Autres hypothèses de modélisation

3.5.1. Datacenters

La puissance des datacenters se compte simplement en MW. Cette puissance se répartit différemment selon les quatre finalités possibles d'un datacenter, selon les hypothèses proposées dans la Figure 30 - Hypothèses de répartition des MW du datacenter (DC) selon sa finalité principale.

Figure 30 - Hypothèses de répartition des MW du datacenter (DC) selon sa finalité principale

Répartition MW =>	MW STO	MW CALC	MW TRANSIT		
DC MIXTE	35%	35%	30%	%	DC mixte typique
DC STOCKAGE	50%	20%	30%	%	DC orienté stockage de data
DC CALCUL	20%	50%	30%	%	DC orienté traitements, calculs, simulations, prévisions...
DC TRANSIT	20%	30%	50%	%	DC orienté collecte et transit de données,

La fonction STO concerne le stockage des données. La fonction CALC concerne le traitement des données et des requêtes. La fonction TRANSIT concerne l'énergie nécessaire aux traitements pour faire circuler les informations vers l'intérieur du datacenter entre ses multiples composants et vers l'extérieur du datacenter pour les orienter dans les réseaux.

Dans la modélisation simplifiée retenue pour cette étude, on part des données à stocker et on abouti à la puissance de stockage par une série de coefficients multiplicatifs exposés dans le Figure 31 – Hypothèses techniques pour les datacenters. Selon la vocation du datacenter, on remonte ensuite à la puissance totale du datacenter par règle de trois entre les proportions en MW exposés dans la Figure 30.

La formule complète est fournie en Annexe III – Hypothèses détaillées.

Figure 31 – Hypothèses techniques pour les datacenters

		Durée de Stockage (Ans)	Taux red. infrastr.	Taux red. Sauveg.	Taux red. métier	% Utilisation ou % CPU	Partie STO W/To	% MW STO dans MW Total	% PUE ou équivalent
DC MIXTE	W	10	2	4	3	25%	9	35%	2,0
DC STOCKAGE	W	10	2	4	3	25%	9	50%	2,0
DC CALCUL	W	10	2	4	3	25%	9	20%	2,0
DC TRANSIT	W	10	2	4	3	25%	9	20%	2,0

Les hypothèses principales sont les suivantes

- Taux de redondance infrastructure : les données sont sauvegardées « physiquement » en moyenne à 2 endroits différents, soit dans 2 datacenters différents, pour parer à l'éventualité d'une panne physique de l'un des deux
- Taux de redondance sauvegarde / stockage de la donnée : les données bénéficient en moyenne d'un taux de 4 sauvegardes.
- Taux de redondance métier : les données sont dupliquées plusieurs fois pour des raisons métier. On considère en moyenne 3 duplications.
- % Utilisation ou % CPU : taux d'utilisation moyen des serveurs
- Partie STO W/To : on suppose que le ratio pour la partie Stockage est de 9 watts par teraoctet stockés. Les derniers serveurs commercialisés sont fin 2014 et en 2015 sont même un peu plus performants.
- PUE (Power usage effectiveness) : Ratio de la Puissance électrique totale consommée (Eclairage, Ventilation, Back-up électrique etc.) divisée par Puissance consommée par l'informatique pure. Le ratio de 2 choisi ci correspond à un ratio représentatif du parc moyen, y compris ses plus vieilles installations. Les nouveaux datacenters, et en particulier les plus performants d'entre eux, atteignent des PUE de 1,20, voire 1,08 saisonnièrement comme le datacenter Merlin construit par Capgemini au Royaume-Uni.

Les puissances obtenues avec ces chiffres sont des puissances et des énergies « à technologies actuelles ». Les consommations énergétiques sont ensuite diminuées pour prendre en compte l'amélioration technologique entre aujourd'hui et 2020 ou 2030, comme indique en paragraphe 3.7.1.

3.5.2. Objets utilisés à des fins autres que le « Smart »

Les fonctionnalités de certains objets ne se limitent pas uniquement au « smart » : par exemple, une gateway dite « box internet » permet d'abord de visionner la télévision et de surfer sur internet, avant de permettre la transmission vers les datacenters appropriés des données venant de l'energy manager et des objets pilotés de la maison.

La consommation de ces objets n'est prise en compte dans nos décomptes de consommation « Smart » qu'à proportion des % suivants :

- Gateway domestique: 10%
 - Pour les cas d'usages 2C & 2D
- Gateway Véhicule: 10%
 - Pour tous les cas d'usages du domaine SVEL
- Smartphones : 5%
 - Pour les cas d'usage qui utilisent une Apps : 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D

Ces % normatifs sont pris dans un esprit de bons sens dans l'esprit d'une estimation en ordre de grandeur. Ils sont évidemment discutables, et des études ultérieures incluant des mesures scientifiques seront utiles pour les affiner.

3.6. Nombre d'actes de flexibilité

Les actes de flexibilité peuvent fonctionner dans les deux sens (à la baisse ou à la hausse)

- Effacements, diminutions ou reports des consommations

- Anticipations ou augmentations de la consommation

Les effacements servent pour effacer les pointes du soir ou du midi (quelques heures) ou diminuer la consommation pendant une journée entière (jours de grand froid en France, pour compenser la demande de chauffage électrique). Demain ils serviront à adapter la demande aux baisses ou hausses naturelles de production d'électricité renouvelable.

A l'avenir les actes de flexibilité concerneront de plus en plus des appels ou anticipations de consommation, pour absorber des excédents de renouvelable (par exemple l'ECS ou la recharge du véhicule électrique, le chauffage ou l'ECS seront appelés à démarrer plus tôt).

La notion d'appels de flexibilité peut être fine : on peut dénombrer chaque mise à l'arrêt et chaque mise en marche, par exemple toutes les cinq minutes d'un système de climatisation pendant les heures chaudes lors d'une demande d'effacement de 1 kW en moyenne de 14h à 16h par l'agrégateur. Ce type de définition est tributaire du mode de pilotage micro-local des équipements (tactique de contrôle commande). Ce n'est pas la définition qui a été retenue ici.

« Un » acte de flexibilité correspond ici à une demande de flexibilité de X kW sur une période continue de Y heures de la part de l'agrégateur. Il y a donc au plus un, deux, peut-être trois actes de flexibilité à la hausse et à la baisse dans la même journée, mais pas vingt ou trente pour un même client.

Pour calculer des Wh par acte de flexibilité et par client, on a donc pris les hypothèses explicitées dans le tableau ci-dessous.

On a supposé que l'automatisation conduit à demander de façon récurrente au client de moduler sa consommation, soit une demande en moyenne par jour (par exemple 7 dans la semaine et 0 dans le week-end).

Tableau 5 Nombre d'actes de flexibilité par cas d'usage et par client

CDU			Récur-rents	Mobiles	Total 2020	Récur-rents	Mobiles	Total 2030	
SH	2A	Nombre d'actes de flexibilité	365	20	385	365	54	419	Nb / an
	2B	Nombre d'actes de flexibilité	365	20	385	365	54	419	Nb / an
	2C	Nombre d'actes de flexibilité	365	54	419	365	162	527	Nb / an
	2D	Nombre d'actes de flexibilité	365	54	419	365	162	527	Nb / an
SVEL	3A	Nombre d'actes de flexibilité			0			0	Nb / an
	3B	Nombre d'actes de flexibilité			365			365	Nb / an
	3C	Nombre d'actes de flexibilité			365			365	Nb / an
	3D	Nombre d'actes de flexibilité			365			365	Nb / an

Les actes de flexibilité mobiles sont l'équivalent par le passé des effacements en pointe mobile. Le jour et l'heure ne sont pas connus à l'avance. Contractuellement, le client sait qu'il en accepte un certain nombre par an. Il peut être averti la veille ou dans la journée légèrement à l'avance. Ces actes mobiles deviennent beaucoup plus courants dans la mesure où ils sont automatisés, d'une part avec le niveau d'avancement du cas d'usage, d'autre part avec le temps. En 2030, une forte part des énergies renouvelables photovoltaïques et éolien dans le mix de production d'électricité, amène à exploiter plus les flexibilités mobile pour garantir la stabilité et la sécurité du système électrique. Pour fixer les choses, une hypothèse de 3 appels à flexibilité mobile par semaine, soient 162 actes de flexibilité mobile par client et par an, a été prise pour les cas d'usage Smart Home 2C et 2D en 2030.

Les résultats présentent aussi des Wh par acte de flexibilité et par usage commandé. Si un client possède 5 usages commandés, on considère le chiffre ci-dessus corrigé d'un facteur 5.

Les actes de flexibilité pour la charge de véhicule électrique sont plus délicats à évaluer. Pour cette première étude on les prendra égaux au nombre de jours de l'année (365), ce qui est une autre façon de dire que le système permettra chaque jour de mener le client à faire le bon choix de charge : charger le jour même, quand et où, reporter au lendemain, y compris la modulation automatique pendant la charge elle-même. La flexibilité permet de répondre à des enjeux d'équilibre offre-demande national et pourrait offrir des solutions pour gérer des contraintes sur le réseau de distribution en alternative aux renforcements.

Le cas d'usage 3A ne permet pas de pilotage automatisé de la charge. On ne compte donc pas d'actes de flexibilité (sauf si un pilotage par les SI et moyens radio du constructeur et du véhicule se mettait en place).

3.7. Extrapolation France 2020 et 2030

Le chapitre 2.4 expliquait les principes d'extrapolation à la France entière en 2020 et 2030. Les hypothèses quantitatives sont précisées dans ce qui suit.

Les cas d'usages sont calculés dans un premier pour un nombre fixe de clients, avec les technologies actuelles.

Puis on procède à une projection temporelle : le paragraphe 3.7.1 explique les hypothèses de projection à 2020 et 2030 (Lois de Moore, cannibalisation partielle par la lourdeur des applicatifs).

Ensuite on procède au mix de cas d'usages pour la photographie France : le paragraphe 3.7.2 présente les hypothèses de construction de la « photographie France » en pondérant chaque cas d'usage par un nombre de clients donnés en 2020 et en 2030.

3.7.1. Loi de Moore & cannibalisation du progrès technologique intrinsèque

Comme explicité dans la partie 2.4 Figure 4, le temps caractéristique T de la loi de Moore (temps nécessaire pour que la consommation énergétique d'un objet soit divisée par 2) attribué à une famille d'objets est corrigé d'un facteur de cannibalisation du progrès technologique. Nous obtenons ainsi un nouveau temps caractéristique T' correspondant à la loi de Moore cannibalisée pour cette famille d'objets. C'est ce nouveau temps caractéristique qui est utilisé dans l'étude lors des projections à 2020 et 2030.

Le Tableau 6 indique les coefficients de cannibalisation choisis pour d'une part pour la plupart des familles d'objets informatiques (« général IT »), d'autre part pour les energy managers, charge managers et objets communicants liés au smart..

Le Tableau 7 fournit le temps caractéristique T choisi pour chaque famille puis le coefficient T' tenant compte de l'effet de cannibalisation. Les deux dernières colonnes fournissent le facteur par lequel il faut diviser les consommations actuelles pour obtenir les consommations de 2020 ou de 2030.

Tableau 6 – Sélection des coefficients de cannibalisation

% de cannib. - Général IT	50%
% de cannib. - Energie, Box dédié, IoT dédié	50%

En pratique on a choisi un facteur équivalent par manque d'éléments tangibles, à nouveau sur la base d'évaluation de bon sens et de bonne foi. Cela se lit comme : « 50% du progrès technologique intrinsèque est cannibalisé par les alourdissements de logiciels et de standards de communication, les 50% restant se traduisant en bénéfices fonctionnels pour les clients.

Les résultats au chapitre suivant sont présentés pour l'hypothèse moyenne {50% ; 50%}. Une analyse de sensibilité est fournie avec une hypothèse haute de {75% ; 75%}.

Tableau 7 - Temps Caractéristiques et Coefficients d'amélioration pour chaque famille

				Coefficient d'amélioration		
				ACTUEL 2015	2020 2020	2030 2030
		T	T'			
Datacenters	DC	24	41	1	5,7	181,0
Backbones WEB & TELCO	WEB	24	41	1	5,7	181,0
Filaire maison ou industriel	FIL	1 200	2 051	1	1,0	1,1
2G	2G	36	62	1	3,2	32,0
3G	3G	36	62	1	3,2	32,0
4G	4G	36	62	1	3,2	32,0
Débit GTW ADSL, F. Opt, ..	ADSL_FO	48	82	1	2,4	13,5
Communications RF IoT	RF	48	82	1	2,4	13,5
Smart Phone	SPH	48	82	1	2,4	13,5
Gateway MultiMedia maison	GTW_MM	48	82	1	2,4	13,5
Energy Mngr, GTW dédiées	BOX	48	82	1	2,4	13,5
Device IoT	IoT	48	82	1	2,4	13,5
CPL G1 G3	CPLG1G3	180	308	1	1	2
Concentrateurs Linky	CONC	60	103	1,00	2,00	8,00
Compteurs Linky	LINKY	1 200	2 051	1,00	1,04	1,11
Matériels Rés. distrib.	INDUS	120	205	1,00	1,41	2,83

En toute rigueur, le temps T choisi ici inclut non seulement une notion technologique intrinsèque, mais aussi une notion d'inertie du parc. Ainsi les compteurs Linky seront installés à 100% entre 2016 et 2021 pour une durée de quinze ans. On a donc supposé que la performance du parc allait peu s'améliorer par la suite. Le choix d'un temps caractéristique de 1200 correspond à une amélioration des consommations en 2020 de 4% par rapport aux chiffres actuels de ce rapport et de 11% en 2030 (du fait d'un certain remplacement continu du parc de compteurs, d'une éventuelle amélioration de la gestion du compteur par son logiciel, etc). Les concentrateurs sont remplacés tous les cinq ans, et devraient mieux profiter du progrès.

En règle générale, on a supposé que plus les installations étaient concentrées et faisaient déjà l'objet d'un parc existant, plus elles faisaient l'objet de remises à niveau régulières, plus les temps caractéristiques se rapprochent de la loi de Moore en 18, 24 ou 36 mois. C'est l'esprit des hypothèses prises pour les datacenters et les infrastructures de communication, qui comprennent de nombreux datacenters, routeurs et équipements divers.

Au contraire on a supposé que les petits équipements restaient plus longtemps chez les particuliers, avec une inertie de parc plus grande, d'où des temps caractéristiques T rallongés.

Le coefficient T' prend compte de la cannibalisation.

Même avec ces hypothèses conservatrices, on s'aperçoit que les coefficients d'amélioration des consommations restent élevés. Ce sont par ces coefficients que les puissances et les consommations établis pour 2015 sont divisés pour obtenir les résultats de consommation des objets en 2020 et 2030.

3.7.2. Photographie France : hypothèses de mix des cas d'usage

La photographie France est établie à partir des hypothèses suivantes de mix des cas d'usages, établis en nombre de clients :

Tableau 8 – Extrapolation France 2020 et 2030 - hypothèses de mix des cas d'usages

Extrapolation France à partir des cas d'usage	Répartition entre types de relèvements				EXTRAPOLATION 2020			EXTRAPOLATION 2030		
	Index	Courbe Charge 1h	Courbe Charge 10'	Total	Nb de Cas d'Usage	% France	% parmi les LINKY	Nb de Cas d'Usage	% France	% parmi les LINKY
Total Clients France					35 000 000	100,0%		35 000 000	100,0%	
Sans Smart Meter					5 000 000	14,3%		0	0,0%	
SMART METER					30 000 000		100%	35 000 000		100%
1A. MINIMAL Index 1/Jour	100,0%			100,0%	27 975 000	79,9%	93,25%	26 250 000	75%	75,00%
1B. TENDANCE Courbe Charge 1h		100,0%		100,0%	1 462 500	4,2%	4,88%	3 937 500	11%	11,25%
1C. DIGITAL PLUS Courbe Charge 10'			100,0%	100,0%	562 500	1,6%	1,88%	4 812 500	14%	13,75%
Smart Meter Sans Smart Home connecté	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	18 000 000	51,4%		19 250 000	55,0%	
SMART HOME					12 000 000	34,3%	40%	15 750 000	45,0%	45%
2A. MAINTIEN (ECS filaire)	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	6 000 000	17,1%	20,0%	1 750 000	5,0%	5%
2B. ERL	75,0%	25,0%	0,0%	100,0%	4 200 000	12,0%	14,0%	5 250 000	15,0%	15%
2C. TENDANCE FLEX	50,0%	25,0%	25,0%	100,0%	1 650 000	4,7%	5,5%	5 250 000	15,0%	15%
2D. FULL FLEX & MDE (Predict. Holist.)	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	150 000	0,4%	0,5%	3 500 000	10,0%	10%
SMART CHARGE VEL					600 000	100%		4 000 000	100%	
3A. PASSIF REFERENCE					180 000	30%		400 000	10%	
3B. ACTIF VEL & BAT					360 000	60%		1 600 000	40%	
3C. SMART VEL & BAT					60 000	10%		1 600 000	40%	
3D. PREDICTIF HOUSTIQUE					0			400 000	10%	
SMART RESEAU DISTRIBUTION						100%			100%	
4A. RESEAU 2020						100%				
4B. RESEAU 2030									100%	

On suppose que le taux d'équipement en ECS électrique reste comparable à aujourd'hui : 12 000 000

On suppose que le taux d'équipement en CHAUFFAGE électrique reste comparable à aujourd'hui : 7 000 000

Actuellement les tarifs de type heures pleines – heures creuses (HP-HC, Tempo, Offre Directe Electricité HP HC, etc) ont déjà un taux de pénétration de 40% (12 millions sur 30 millions de ménages).

4. Résultats – Ordres de grandeur chiffrés

Les principaux résultats sont présentés dans ce chapitre. Le lecteur pourra se reporter aux annexes pour des résultats exhaustifs.

Les résultats ont été établis pour :

- 30 millions (2020) puis 35 millions (2030) de clients basse tension connectés avec le compteur Linky,
- 12 millions (2020) puis 15,75 millions (2030) de clients équipés en smart home connecté (dont plusieurs millions d'ECS reliées par fil ou par émetteur radio Linky au compteur)
- 0,6 millions (2020) puis 4 millions (2030) de véhicules électriques ou hybrides rechargeables
- 35 millions (2020 et 2030) de clients du réseau public de distribution basse tension

4.1. Consommation totale 2020 et 2030

Il apparaît que la consommation moyenne à attendre du smart grid au sens large est de l'ordre du térawattheure annuel, tant en 2020 qu'en 2030. Néanmoins l'impact des progrès technologiques (Loi de Moore, corrigée de la cannibalisation par l'alourdissement des applicatifs) est important, puisque sans l'application de celle-ci, les consommations en 2020 et 2030 seraient de 1,0 et 3,4 TWh.

Tableau 9 - Chiffres clé 2020 & 2030 – Consommations totale d'électricité, avec et sans Loi de Moore

Consommations d'électricité	Unité	2020	2030
Hypothèse moyenne	GWh	766	996
Hypothèse haute	GWh	851	1535
Sans progrès technologique (à consommations unitaires actuelles)	GWh	992	3 410

En 2030, la pénétration des smart grids augmente, ainsi que le volume de données traitées, mais cela est compensé par le progrès de la technologie.

4.2. Nombre d'objets et d'usages connectés, MW de datacenters

En 2020, 147 millions d'objets communicants seront connectés. Ce nombre est lié en grande partie aux 30 millions de compteurs Linky et aux apps de smartphones connectés (hypothèse de 2 applications par compteur client). Les cas de smart home sont surtout liés à l'ECS filaire et à l'utilisation de l'ERL pilotant trois usages.

En 2030 on dénombre 350 millions d'objets communicants, cette fois-ci du fait de la pénétration du smart home avancé et du nombre d'infrastructures de recharge de véhicules électriques (plusieurs points de recharge par véhicule, plusieurs objets communicants par point de recharge).

30 puis 115 millions d'usages passent ainsi sous pilotage automatisé entre 2020 et 2030. Le nombre d'usages pilotés est un meilleur indicateur du gisement de flexibilité qui est mis sous pilotage que le nombre d'objets qui comprend par exemple des gateways et des appareils de mesure. On entend par usage piloté : eau chaude sanitaire, chauffages, ventilations, ouvrants (éventuellement par pièces), prises diverses & éclairages, machines à laver communicantes, pompes de piscine, climatisation, etc.

Tableau 10 –Nombre d'objets, données stockées et datacenters 2020

	Grandeurs clé :	Nb Objets Commu- niquants	Nb Usages SH pilotés	Téraoctets utiles stockés	MW data- centers
TOTAL TIC Smart Grids France		147 101 713	30 453 077	1 785	3,792
Smart Meter Linky		90 646 286	0	338	0,607
Smart Home y compris Linky		100 158 514	29 700 000	1 041	1,866
Smart Home hors Linky		51 900 000	29 700 000	889	1,594
Smart - Charge VEL		4 388 280	600 000	52	0,155
Réseau de distribution		167 147	153 077	505	1,436

Tableau 11 - Nombre d'objets, données stockées et datacenters 2030

	Grandeurs clé :	Nb Objets Commu- niquants	Nb Usages SH pilotés	Téraoctets utiles stockés	MW data- centers
TOTAL TIC Smart Grids France		349 802 517	114 704 677	20 198	5,982
Smart Meter Linky		105 754 000	0	553	0,131
Smart Home y compris Linky		261 089 300	110 250 000	12 658	2,987
Smart Home hors Linky		210 000 000	110 250 000	12 313	2,905
Smart - Charge VEL		33 562 400	4 000 000	3 064	1,238
Réseau de distribution		486 117	454 677	4 268	1,707

Le volume de données fait plus que décupler entre 2020 et 2030. Ce volume est fixé pour chaque cas d'usage identifié. C'est la pénétration plus importante des cas d'usages les plus avancés qui explique le volume croissant de données entre 2020 et 2030, en particulier avec une augmentation des fréquences de capture d'information (jour, heure, 10 minutes, minutes selon les objets).

En revanche la taille des datacenters reste globalement dans le même ordre de grandeur (quelques MW) car le progrès technologique compense l'augmentation du volume de données, en particulier pour Linky dont les datacenters diminuent de taille. Au contraire les datacenters dédiés au Smart Home et à la Smart Charge de Véhicules Electriques s'agrandissent, sous l'effet de l'augmentation du nombre de clients bénéficiant des services à valeur ajoutée du big data.

Dans le cas du réseau, l'augmentation des fréquences de capture ou de calcul de l'information expliquent l'augmentation du volume de données entre 2020 et 2030²². Plutôt que de multiplier le nombre de capteurs dans les 2200 postes sources, sur le million de kilomètres de réseau et les multiples millions de branchements, l'opérateur de distribution opte pour installer un petit nombre de capteurs judicieusement placés, et pour recalculer l'état du réseau à une maille fine (« estimateur d'état »).

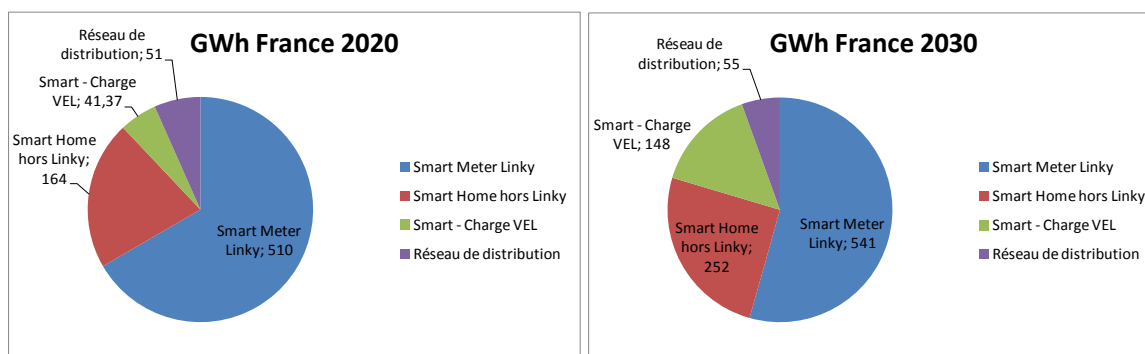
4.3. Résultats par domaine

Le domaine Smart Meter Linky représente plus de la moitié de la consommation totale en 2030, suivi par ordre d'importance par le smart home, le pilotage de la charge des véhicules électriques et enfin le pilotage et l'observabilité du réseau de distribution.

Les consommations liées au compteur Linky représentent une partie importante des consommations pour deux raisons. D'une part Linky concerne l'exhaustivité des 35 millions de compteurs < 36kVA quand les solutions de smart home n'équipent qu'une partie des ménages. D'autre part les compteurs Linky seront tous installés d'ici 2021 et ont une durée de vie moyenne de 20 ans. Ils ne bénéficieront donc pas de l'amélioration progressive des technologies (lois de Moore), dont profitent les autres segments.

²² NB. Les flux de données ont fait l'objet d'hypothèses par le consultant, sans confirmation par l'opérateur de réseau. Chiffres à considérer avec précaution.

Figure 32 – Chiffres clé 2020 & 2030 – Consommation totale d'électricité par domaine



Les consommations smart home occupent le second poste, tirées par les objets connectés et les energy managers en 2020, ainsi que par le dimensionnement des datacenters en 2030.

La faible importance relative du domaine Charge des véhicules électriques en 2020 s'explique par la faible nombre de véhicules électriques en comparaison du nombre de compteurs Linky et de solutions smart home. En 2030 les chiffres tendent à s'équilibrer du fait de la « forte intensité » en NTIC nécessaire pour piloter les 4 millions de véhicules escomptés à cet horizon.

Tableau 12 – GWh kWh Wh pour les quatre domaines 2020

Consommations :	GWh France 2020	kWh par client 2020	Wh par acte flex & objet
TOTAL TIC Smart Grids France	766	32	
Smart Meter Linky	510	17	
Smart Home y compris Linky	370	31	31
Smart Home hors Linky	164	14	14
Smart - Charge VEL	41	69	270
Réseau de distribution	51	1	

Tableau 13 - GWh kWh Wh pour les quatre domaines 2030

Consommations :	GWh France 2030	kWh par client 2030	Wh par acte flex & objet
TOTAL TIC Smart Grids France	996	33	
Smart Meter Linky	541	15	
Smart Home y compris Linky	496	31	9
Smart Home hors Linky	252	16	4
Smart - Charge VEL	148	37	113
Réseau de distribution	55	2	

Rapportés à un client, l'observabilité et le pilotage du réseau représente peu (de 1 à 2 kWh par client et par an).

La consommation par client du Smart Meter Linky et du Smart Home (hors Linky) sont relativement similaires : autour de 15 kWh par an en 2020 comme en 2030. Cette stabilité s'explique par le progrès technologique qui compense l'augmentation du nombre de personnes optant pour des solutions avancées.

Pour la charge des VEL, les chiffres sont plus élevés (69 kWh et 37 kWh par client et par an en 2020 et 2030) du fait de 4 facteurs :

- plusieurs points de recharge par véhicule,
- plusieurs objets communicants par point de recharge,
- un fonctionnement de ces objets en permanence
- des gateways dédiées 100% au pilotage de la charge au lieu d'être partagées avec les loisirs comme dans le cas du Smart Home.

4.4. Résultats par cas d'usages

Pour Linky, la forte prédominance du cas d'usage 1A en 2020 et 2030 traduit la forte proportion de clients ayant opté pour la relève des index journaliers. Les comptages au pas de 1 heure (cas 1B) et de 10' (cas 1C) sont plus rares.

Les cas d'usages Smart Home 2A, 2B et 2C sont relativement proches en termes de consommation totale en 2020 du fait du faible nombre de clients déjà prêts à opter pour la solution 2D « prédictive holistique ».

Il est intéressant de noter que Linky (partie bleue) pèse pour environ la moitié de la consommation des cas de Smart Home. Dans le tableau ci-dessous, les consommations des cas d'usage sont fournis y compris les consommations de Linky (cas notés « 2X ») et nettes sans Linky (cas notés « 2X_bis », en rouge). La consommation nette pour le cas d'usage 2A Maintien ECS Filaire est insignifiante si on ne compte pas Linky.

Les cas d'usages SVEL 3B et 3C sont nettement supérieurs en consommation totale aux cas d'usages 3A et 3D : la consommation du cas 3A est négligeable car très peu d'équipements sont nécessaires et très peu de données sont remontées, tandis que le cas d'usage 4D est peu répandu (aucun en 2020, 10% des VEL en 2030).

Figure 33 - Analyse des GWh France 2020 par cas d'usages

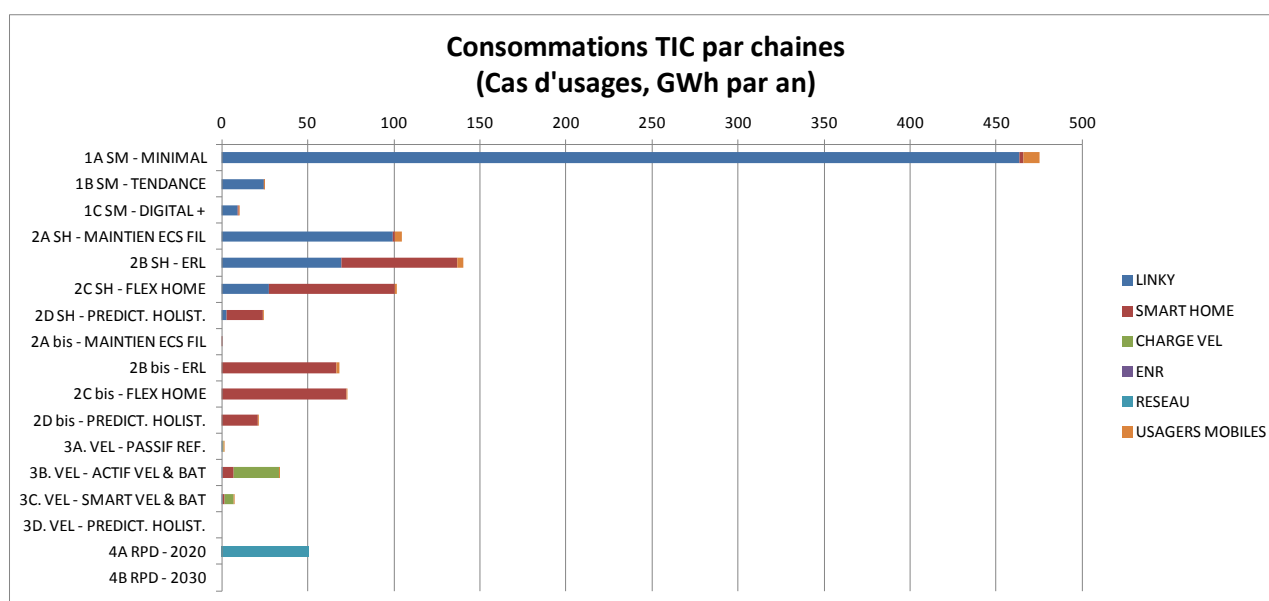
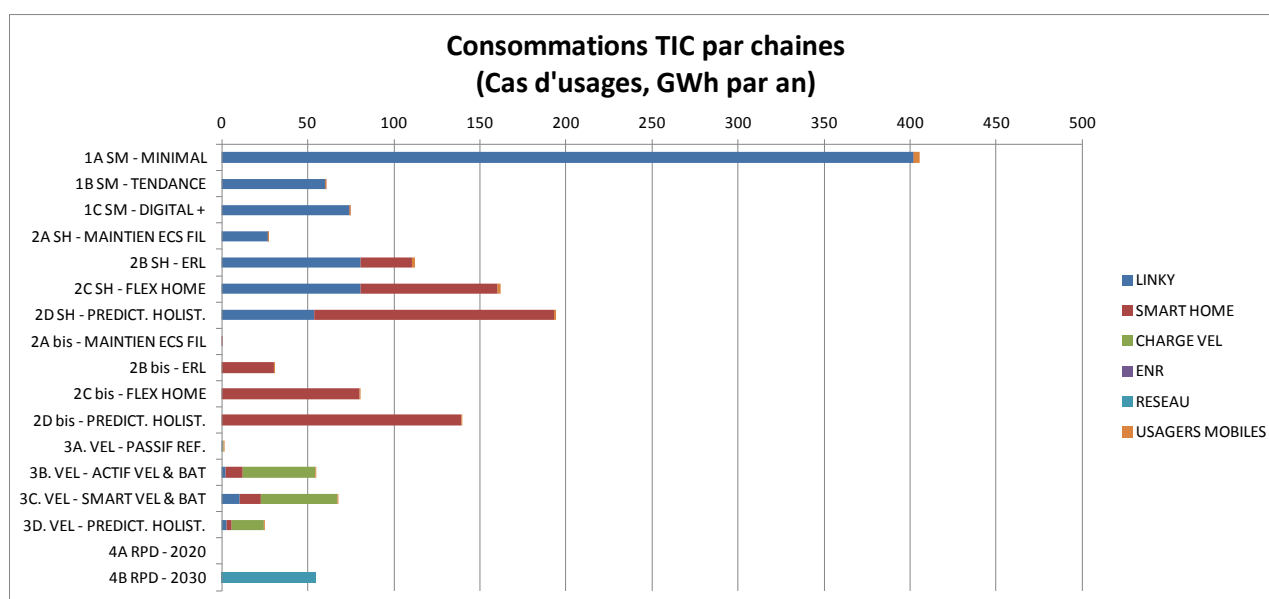


Figure 34 - Analyse des GWh France 2030 par cas d'usages



4.5. Résultats par niveau et par famille d'objets communicants

En 2020, le niveau local représente plus de 90% de la consommation totale de la couche TIC. Le niveau local comprend l'ensemble des équipements situés chez les clients.

Les figures fournissent les consommations pour les familles d'équipements suivantes :

- DC Datacenters
- WAN consommations dans les réseaux de télécommunication Wide Area Network
- GTW_MM gateways multimedia familiales comptées pour 10% de leur consommation (box)
- GTW_DD gateways dédiées comptées à 100%,
- ECM boîtiers energy & charge managers,
- O_USA objets pilotant les usages,
- O_MES objets effectuant uniquement de la mesure,
- SPH_APPS smartphones comptés pour 5% de leur consommation par apps).

Figure 35 - Analyse GWh France 2020 par famille d'objets communicants

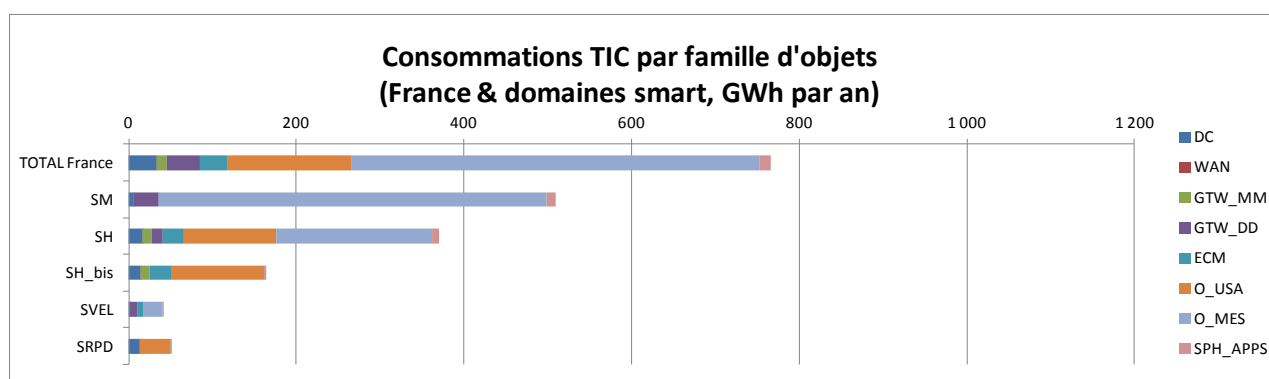
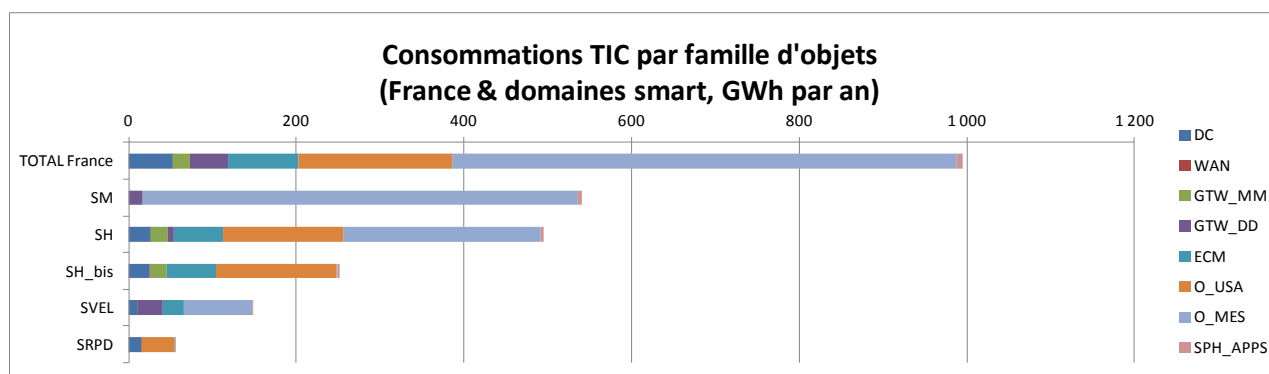


Figure 36 - Analyse GWh France 2030 par famille d'objets communicants



Les consommations en fonctionnement de base des boîtiers (energy & charge managers) pèsent beaucoup plus que la partie émettrice-réceptrice de leur électronique (quelques watts versus quelques dizaines de milliwatts), sans compter celles des objets de pilotage des usages, qui bien qu'elles ne consomment chacune que 0,5 à 2 W, pèsent par leur nombre dans le bilan global.

Le niveau médian de remontée et de descente des informations consomme 4% de l'ensemble (WAN réseaux internet et télécom). Ces consommations pèsent peu et diminuent avec l'amélioration des infrastructures qui s'opère au fur et à mesure.

Le niveau central pèse 4% (DC datacenters). Il ne devient significatif que pour les cas d'usages les plus avancés 2D et 3D « prédictifs holistiques ». Ils correspondent à l'usage à forte valeur ajoutée et intensif du big data. Un grand nombre de données est à la fois stocké et traité pour action. Dans les cas Smart Home et Smart Charge VEL les plus avancés, la couche centrale représente un tiers de la consommation totale.

Figure 37 - Analyse des GWh France 2020 par niveau

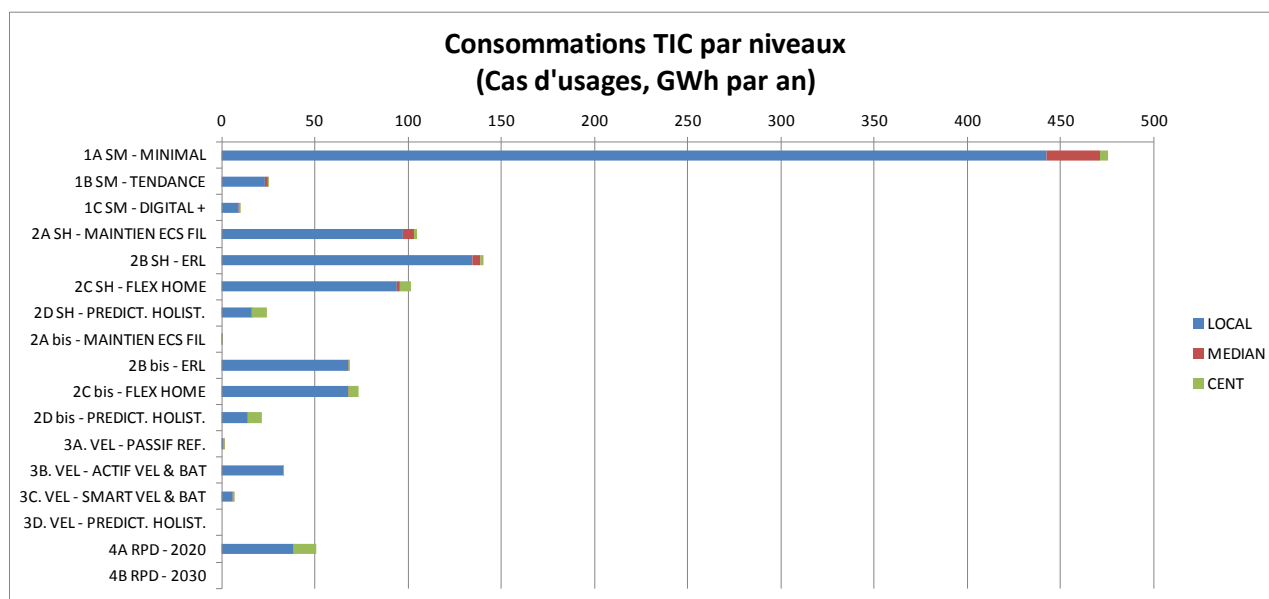
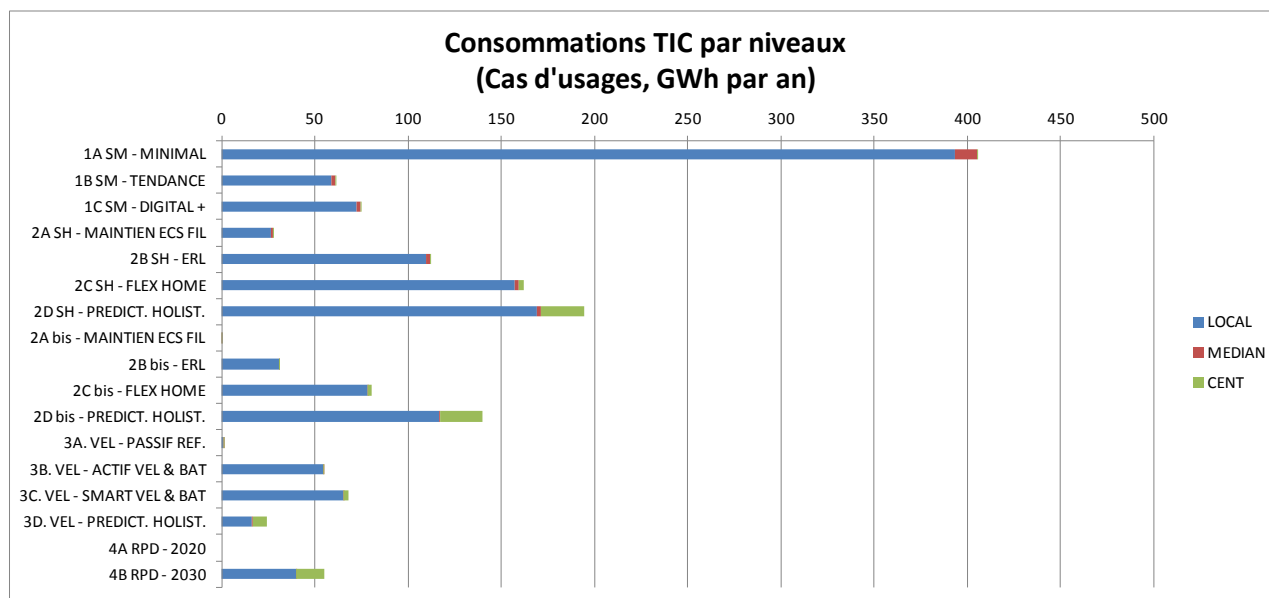


Figure 38 - Analyse des GWh France 2030 par niveau



L'observabilité et le pilotage du réseau représentent des consommations faibles, en particulier grâce à la stratégie de recourir à la simulation fine du réseau, calée sur l'observation de quelques points dans chaque maille territoriale. L'émergence de la consommation du datacenter correspondant est visible au niveau central dans le cas 4B 2030. Les datacenters y représentent un quart de la consommation totale. Ce chiffre s'explique par la taille importante du datacenter dit de simulation d'état (dans notre estimation rapide).

On notera toutefois qu'un facteur de sensibilité important de cette étude réside dans le dimensionnement des datacenters. En effet, les entretiens avec les experts ont montré qu'il est aujourd'hui difficile de les dimensionner.

En 2030, les chiffres sont similaires à ceux de 2020 (92% local; 2% médian et 5% central). Il y a plus de données et de calculs dans les datacenters mais ils ont progressé technologiquement plus vite que les couches locales.

4.6. Résultats par client

L'analyse des kWh annuels consommés par client s'affranchit du poids de l'extrapolation France. Elle permet de constater la consommation « intrinsèque » de chaque cas d'usage. Sans surprise, les cas d'usages les plus avancés pour le smart home et le smart VEL sont les plus consommateurs en énergie, notamment parce que la consommation des datacenters devient importante (en particulier en 2020 - le progrès technologique diminue fortement la consommation des datacenters en 2030).

Les cas d'usages du Smart Home peuvent représenter quelques dizaines de kWh par an et par client, et jusqu'à 150 kWh pour les cas d'usage D avancés, soit 1 à 5% de la consommation d'un client.

On ne s'étonnera pas de voir la consommation nulle pour le cas d'usage 3D en 2020 car celui-ci n'a pas été retenu pour cet horizon.

On note que la différence de consommation entre les 3 cas d'usages Linky est faible, du fait de la prépondérance de la consommation des équipements (identiques dans les 3 cas) sur celle des datacenters. Le volume de data influence peu.

Figure 39 - Analyse 2020 par client, par famille d'objets communicants pour chaque cas d'usage

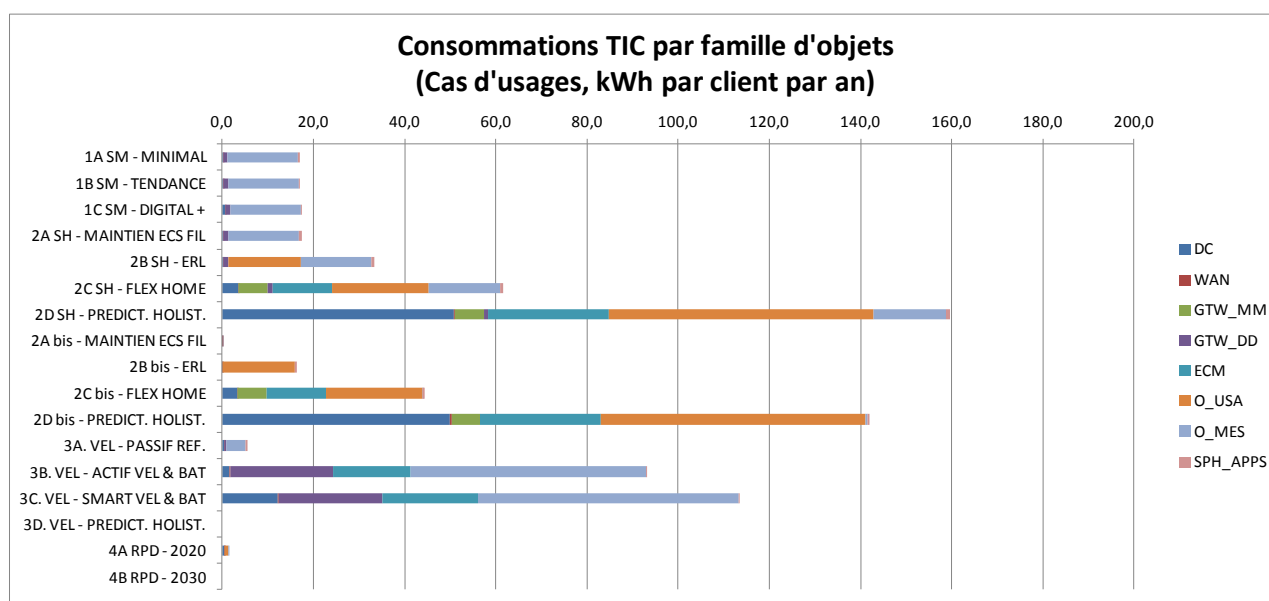


Figure 40 - Analyse 2030 par client, par famille d'objets communicants pour chaque cas d'usage

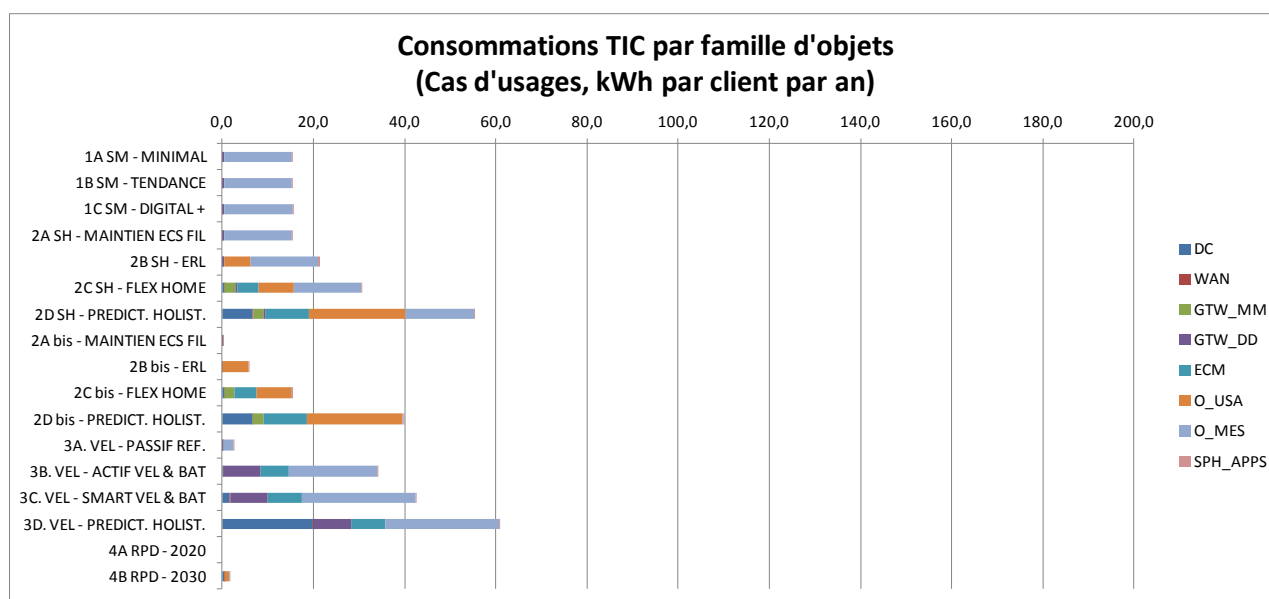


Figure 41 - Consommations 2020 par client et par niveaux

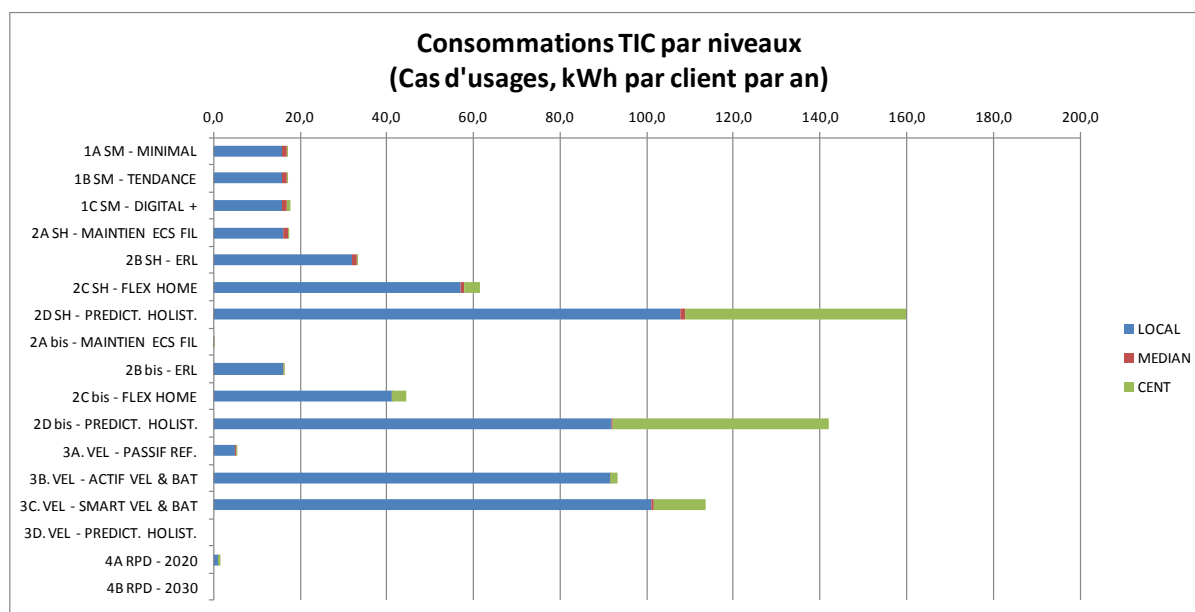
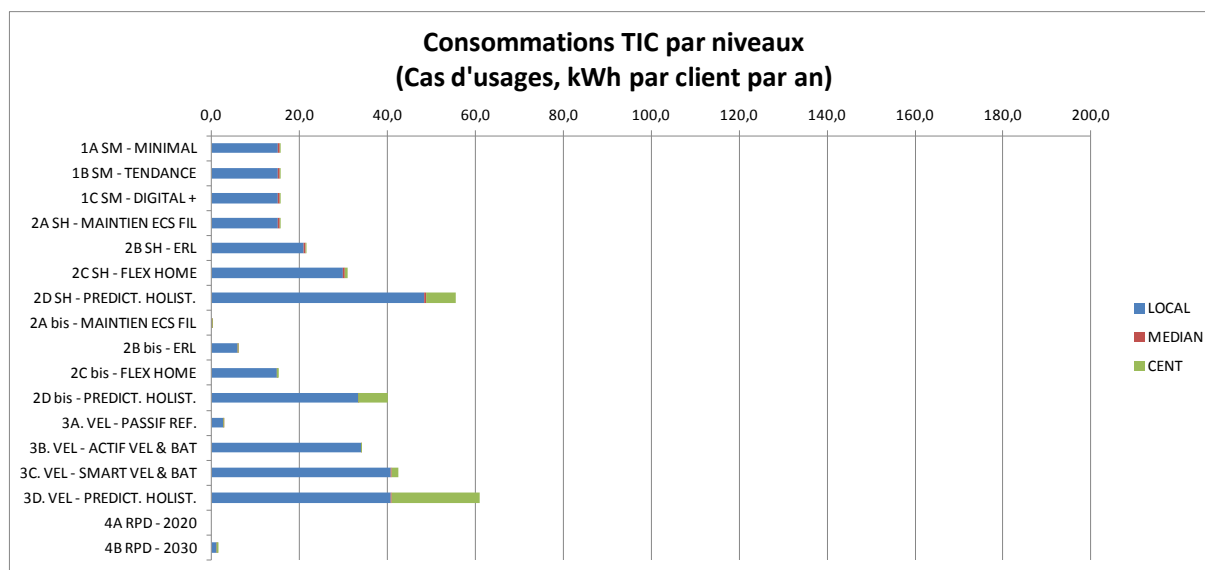


Figure 42 - Consommations 2030 par client et par niveaux



4.7. Résultats par acte de flexibilité pour un client

Si on considère la maison entière, les actes de flexibilité consomment une énergie croissante, depuis le cas simple du Maintien de l'ECS filaire (45 Wh par acte) jusqu'au Prédictif Holistique (381 Wh par acte).

Néanmoins si on considère l'acte de flexibilité pour chaque usage séparément, le scénario Prédictif Holistique est le moins énergivore avec 20 Wh par acte de flexibilité sur un objet (avec de nombreux objets pilotés), versus 45 Wh pour l'ECS filaire (un seul usage piloté -Cf section suivante 4.8).

Ajoutons que plus le scénario est avancé, plus il permet d'aller chercher les gisements de MDE liés à un éco-management différencié et dynamique des pièces de la maison.

Figure 43 - Consommations 2020 par acte de flexibilité par client

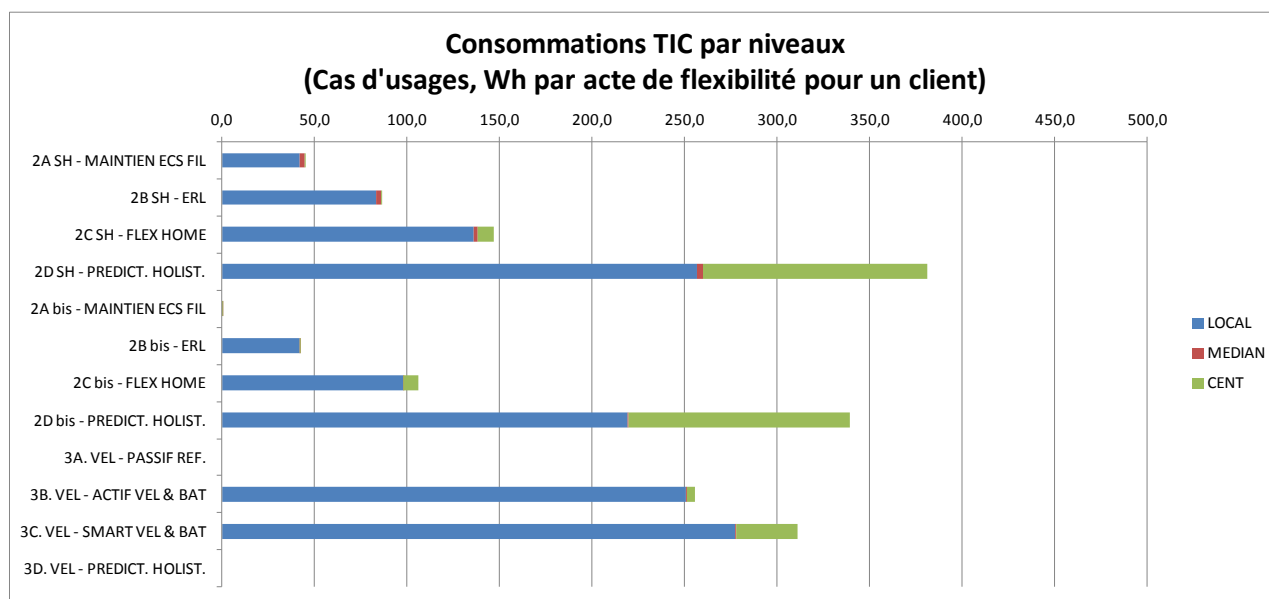
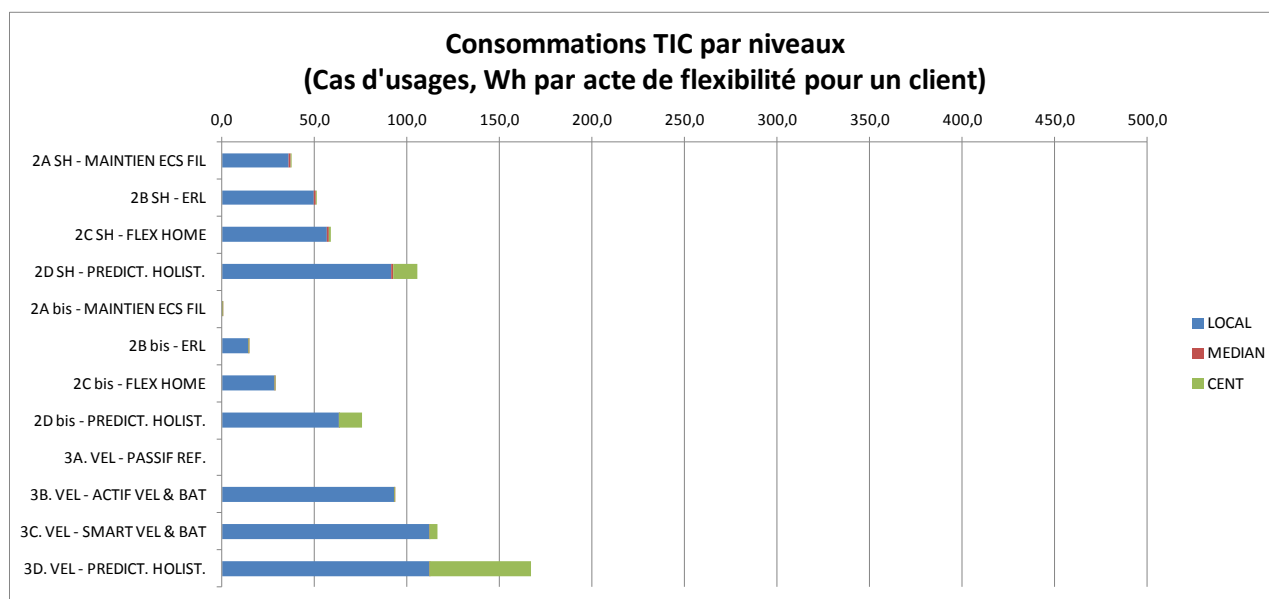


Figure 44 - Consommations 2030 par acte de flexibilité par client



4.8. Résultats par acte de flexibilité pour un usage piloté

Le faible nombre d'usages pilotés dans le domaine SVEL par rapport au domaine SH explique l'écart important en terme de Wh par acte de flexibilité par usage piloté. Seul le véhicule électrique est comptabilisé dans le premier cas, alors que de nombreux usages sont comptés dans le second cas (eau chaude sanitaire, chauffages, ventilations, etc.).

Figure 45 - Consommations 2020 par acte de flexibilité par usage piloté

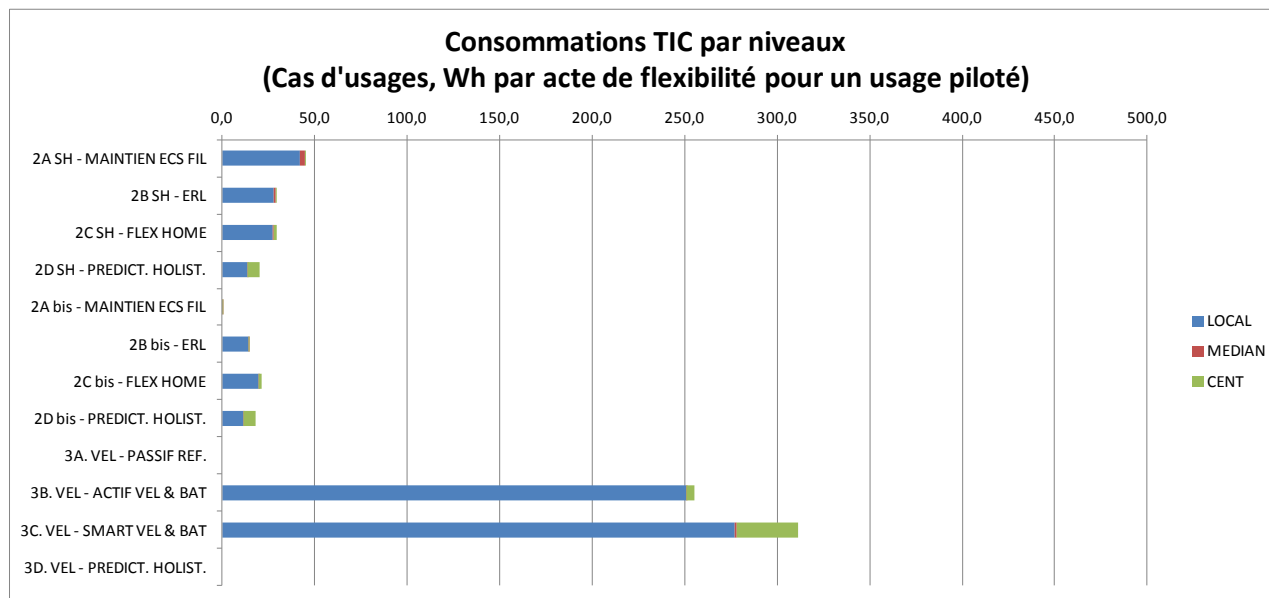
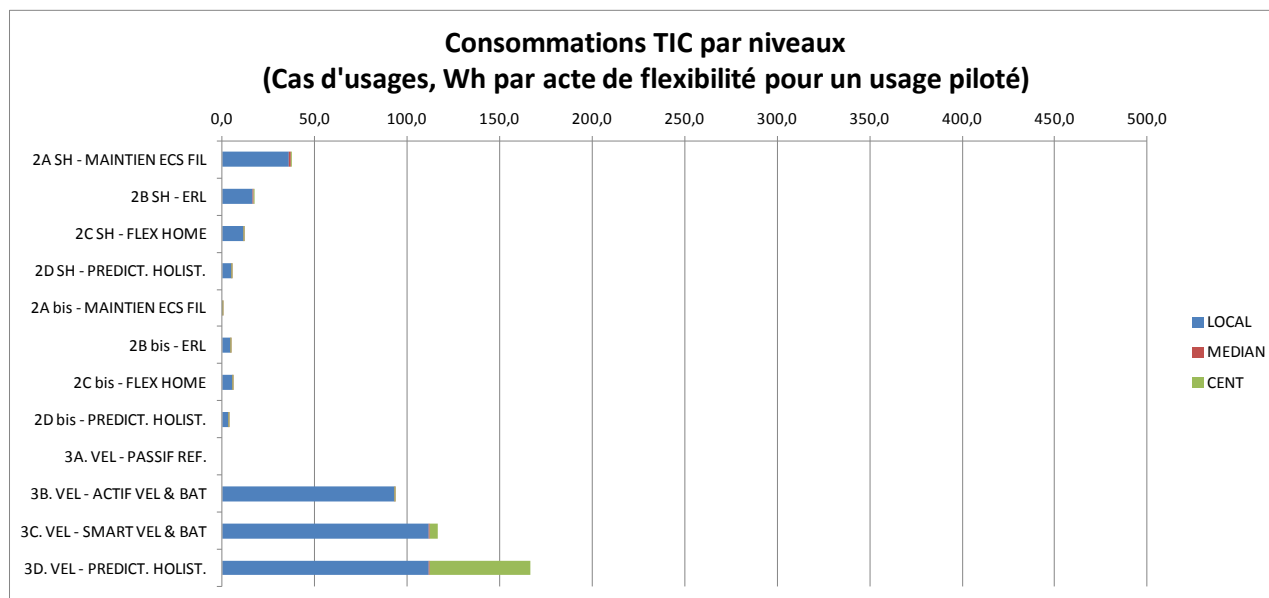


Figure 46 - Consommations 2030 par acte de flexibilité par usage piloté



4.9. Résultats par fonction

En 2020, la capture des mesures est le principal poste de consommation par fonction (plus de 36% en tout en 2020), suivi par le transit des données (20%), l'actionnement ou contrôle commande (17%), le calcul (10%), le stockage de data (9%) et l'interaction avec les clients (8%). Les chiffres sont sensiblement similaires en 2030.

Figure 47 - Consommations 2020 par cas d'usage et par fonction

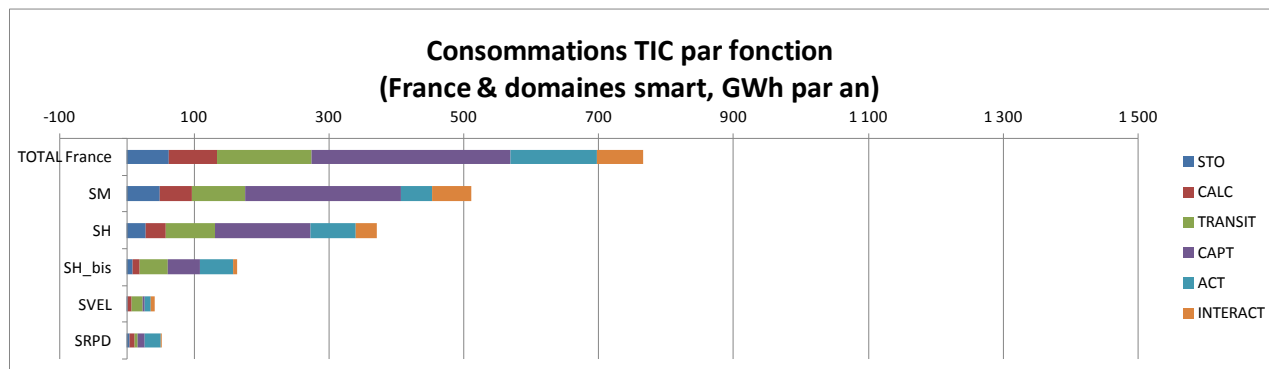
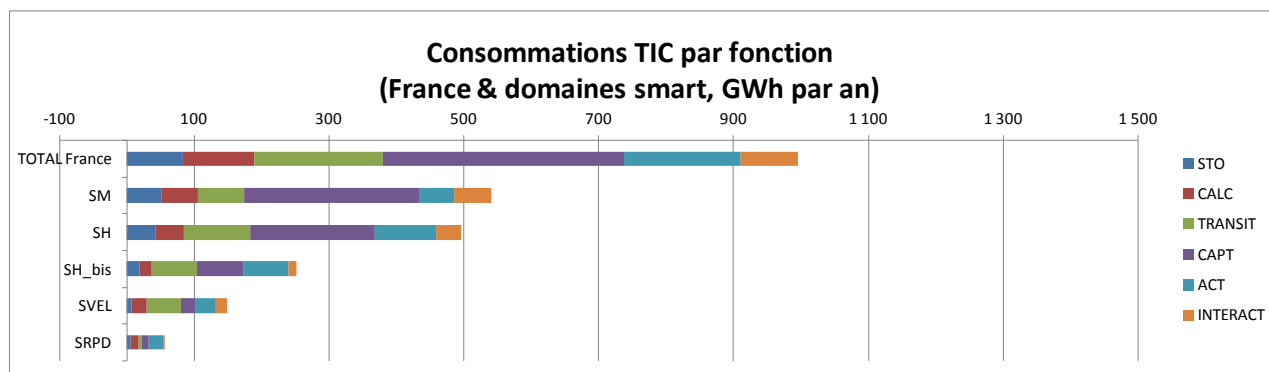


Figure 48 - Consommations 2030 par cas d'usages et par fonction



5. Discussion, analyses et enseignements

5.1. Une fourchette de 0,8 TWh à 1,5 TWh pour la couche NTIC Smart grids

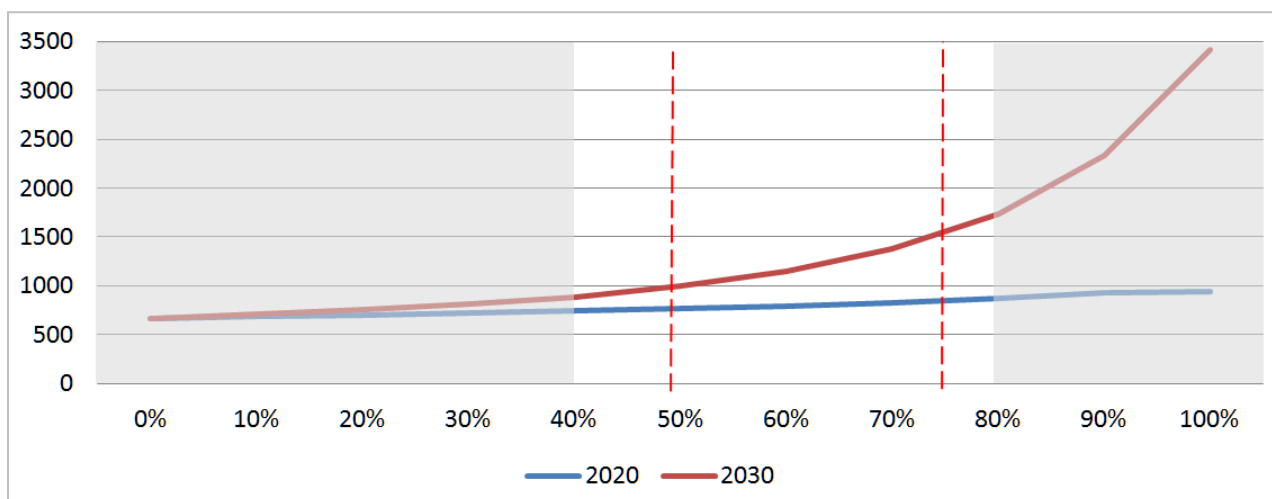
D'un point de vue purement technologique, les consommations d'énergie à performances égales sont divisées par deux tous les 18 ou 24 mois (datacenters, capacités mémoire, etc) à 48-60 mois (parcs d'appareils grands publics).

Comme expliqué dans les chapitres méthodologiques 2.4.1 et 3.7.1, un facteur de cannibalisation des progrès intrinsèques de l'électronique par l'alourdissement des logiciels et des standards a été appliqué.

C'est le facteur de sensibilité majeur de l'étude. En l'absence d'éléments objectifs, on peut estimer que la fourchette de cannibalisation se situe raisonnablement dans une fourchette de 40 à 80% (zone blanche).

L'hypothèse centrale de l'étude repose sur un taux de 50%. Une variante haute est présentée dans les résultats avec un taux de 75% (pointillés rouges).

Figure 49 - Sensibilité des GWh France 2020 et 2030 au taux de cannibalisation de la Loi de Moore



La Figure 49 montre que la consommation de la couche TIC à attendre en 2030 se situe dans la fourchette 0,7 TWh à 1,7 TWh en 2030. Elle se situe entre 0,8 TWh et 1,5 TWh pour les valeurs en pointillé rouge de 50% et 75% de cannibalisation.

L'enjeu entre des solutions économes ou non est donc de l'ordre de 1 TWh.

5.2. La sphère Smart Grid compte pour 0,1% à 1% de la sphère digitale française

Les données stockées chaque année par la sphère Smart Grid ciblée par l'étude s'élèvent à environ 200 et 2000 téraoctets en 2020 et 2030. Soit pour un stockage sur dix ans, un volume total de 2 000 et 20 000 téraoctets pour les besoins des quatre domaines smart grids évalués ici (smart meter, smart home, charge des VEL, réseau de distribution).

Les flux de données créés sont petits en comparaison des créations de vidéos : quelques dizaines de données remontées par minute dans les cas d'usages les plus avancés. En 2012 Youtube a créé une heure de vidéo toutes les secondes (300 à 800 Mo), soit 10 000 à 25 000 To par an. Ces quantités vont en s'accroissant.

Les 2 à 20 pétaoctets²³ utiles de stockage pour le smart grid correspondent à la création d'au moins 25 fois plus de données brutes, peut-être 100 fois plus (dédoublage machines, sauvegardes centrales, copies métier, données

²³ Rappel sur les grandeurs peuvent s'appliquer au Bytes ou Octets, aux débits informatiques ou au watt-heures: kilo (10³), mega (10⁶), giga (10⁹), tera (10¹²), peta (10¹⁵), exa (10¹⁸), zetta (10²¹), yotta (10²⁴).

stockées chez le client central, mais aussi en local et dans les chaînes de transmission internet et telecom), ce qui conduit à la création d'un ordre de grandeur de 0,1 à 1 exaoctets par an.

Cela représente environ 0,1% à 1% des données créées par le pays actuellement, donc sans doute un millième des données de 2020 ou 2030. En effet d'après IDC, 2,8 zettaoctets de données ont été créés dans le monde en 2012, et 40 zettaoctets le seront en 2020. La France compte pour 3,6% du PIB mondial, ce qui au prorata amène à un volume de données françaises de 100 exaoctets.

Une autre approche consiste à comparer les puissances de datacenters. Le smart grid se traduit par la création d'une dizaine de MW de datacenters à l'horizon 2020 comme 2030. L'ordre de grandeur de consommation des datacenters actuels en France est de 10 TWh et de 1000 à 2000 MW. Les smart grids ne représenteraient donc tout au plus qu'une partie de l'ordre de 1%.

Les éléments de cette première étude en ordre de grandeur font donc penser que la part du smart grid peut se situer dans la fourchette de 0,1% à 1% de la sphère numérique globale française.

5.3. Coût / bénéfice : le fonctionnement de la couche TIC consomme 9% à 32% des gains MDE annuels

Cette section traite du rapport coût / bénéfice énergétique de l'ensemble [smart meter + smart home].

Sans rentrer dans une analyse détaillée qui n'était pas demandée dans le cadre de l'étude, il est possible d'établir quelques ordres de grandeur.

Selon l'expérimentation menée par l'ADEME, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et Voltalis en 2013, le cas d'usage 2A de flexibilité de l'ECS ne ramène pas d'économie d'énergie pour le client (0%). Le Comité de Pilotage a néanmoins retenu l'hypothèse d'un gain MDE minimal de 0,5% lié à la prise de conscience collective et sociétale de la valeur de l'électricité du fait d'une meilleure visibilité des consommations.

Les cas 2B (ERL 3 usages), 2C (Box 5 usages) et 2D (box et big data analytics 19 usages) peuvent et doivent apporter des gains MDE pour être intéressants pour le client.

Un meta-benchmark effectué par Capgemini Consulting en 2011²⁴ sur 87 projets pilotes internationaux amène à considérer une fourchette de 2 à 6 % comme la fourchette probable d'économies d'énergie à attendre des smart meter et smart homes. On a considéré ci-dessous 3% de gains pour le cas 2B et 6% pour le cas 2C.

Figure 50 – Coût énergétique annuel (SM & SH) comparé aux gains de MDE annuels 2020

Consommations TIC vs Gains MDE	Nb de clients	Conso Clients France	Conso par client	Gain MDE %	Gain MDE kWh	Gain MDE GWh	Conso Smart Grid SM	Conso Smart Grid SH	Conso Smart Grid SM + SH	% Conso / Gains
	Nb	TWh/an	kWh/an	%	kWh/an	GWh	GWh	GWh	GWh	%
Total France	35 000 000	180	5 143	0,0%						
Sans Smart Meter	5 000 000	25	5 022	0,0%						
SMART METER	30 000 000	155	5 163	1,3%	70	2 087	510	164	674	32%
Smart Meter Sans Smart Home connecté	18 000 000	90	5 022	0,5%	25	452	304	0	304	67%
SMART HOME	12 000 000	65	5 375	2,5%	136	1 635	207	164	370	23%
2A. MAINTIEN (ECS filaire)	6 000 000	30	5 000	0,5%	25	150	104	0	105	70%
2B. ERL	4 200 000	21	5 000	3%	150	630	72	69	140	22%
2C. TENDANCE FLEX	1 650 000	12	7 500	6%	450	743	28	73	102	14%
2D. FULL FLEX & MDE (Predict. Holist.)	150 000	1	7 500	10%	750	113	3	21	24	21%

Le cas 2D est particulier car le recours au big data analytics auto-apprenant et prédictif permet de passer une nouvelle frontière, en optimisant les dépenses et les apports d'énergie pièce par pièce (chauffage, VMC, apports solaires, réduction des pertes ou ventilation naturelle par le pilotage des ouvrants) en fonction des habitudes observées de la maison et de ses habitants (présence) et des conditions extérieures (météorologie locale, etc). Le seuil de 10% de gains MDE est retenu.

²⁴ Etude technico-économique portant sur le projet d'infrastructure publique de comptage évolué français, Capgemini Consulting pour la Commission de Régulation de l'Energie, Rapport final, Juillet 2011, 163 pages

Pour cette approche rapide on a pris des consommations habituelles normatives qui sont raisonnables en ordre de grandeur pour 2020 et 2030.

Les consommations de la couche TIC des périmètres smart meter et smart homes ont été mises en regard.

Si on considère les 30 millions de clients français équipés de smart meter en 2020, dont seulement 12 millions équipés de smart home, le coût énergétique représente quasiment un tiers (32%) des gains espérables. Cela est dû à la faible proportion de clients qui utilisent ces technologies pour générer de la MDE. Il est à noter que ce coût énergétique annuel apporte bien d'autres bénéfices que de l'efficacité énergétique pure. Les consommateurs bénéficient notamment d'une facturation sur la base des consommations réelles, appréhendent mieux leur consommation et peuvent obtenir des interventions sans prise de rendez-vous. Les fournisseurs peuvent enrichir la relation avec leurs clients grâce à une meilleure connaissance des profils de consommations, peuvent proposer des gammes de prix plus évoluées et enfin peuvent s'appuyer sur le système de comptage communicant pour mettre en œuvre des actions de flexibilités (en lien avec les grilles de prix). Les gestionnaires de réseau améliorent l'observation du réseau basse tension et donc la qualité de la fourniture d'électricité et développent des fonctions pour faciliter l'intégration de la production ENR intermittente et du véhicule électrique.

Pour les seuls clients de Smart Home, le coût énergétique annuel de la couche NTIC du smart meter et du smart home représente un quart (23%) des gains espérables.

La même estimation à l'horizon 2030 abouti à des pourcentages de 13 et 9% respectivement, car il est espéré qu'une proportion plus importante d'opérateurs et de clients utilisent les infrastructures pour la MDE.

Figure 51 – Coût énergétique annuel (SM & SH) comparé aux gains de MDE annuels 2030

Consommations TIC vs Gains MDE	Nb de clients	Conso Clients France	Conso par client	Gain MDE %	Gain MDE kWh	Gain MDE GWh	Conso Smart Grid SM	Conso Smart Grid SH	Conso Smart Grid SM + SH	% Conso / Gains
	Nb	TWh/an	kWh/an	%	kWh/an	GWh	GWh	GWh	GWh	%
Total France	35 000 000	180	5 143	0,0%						
Sans Smart Meter	0	0		0,0%						
SMART METER	35 000 000	180	5 143	3,5%	178	6 216	541	252	793	13%
Smart Meter Sans Smart Home connecté	23 000 000	79	3 451	0,5%	17	397	297	0	297	75%
SMART HOME	12 000 000	101	8 385	5,8%	485	5 819	244	252	496	9%
2A. MAINTIEN (ECS filaire)	1 750 000	9	5 000	0,5%	25	44	27	0	27	62%
2B. ERL	5 250 000	26	5 000	3%	150	788	81	31	112	14%
2C. TENDANCE FLEX	5 250 000	39	7 500	6%	450	2 363	81	81	162	7%
2D. FULL FLEX & MDE (Predict. Holist.)	3 500 000	26	7 500	10%	750	2 625	54	140	194	7%

Les coûts énergétiques de seulement 13% et 9% des gains MDE n'est acquis que si les progrès technologiques proposés dans cette étude se réalisent (lois de Moore, cannibalisation de seulement 50%, correspondant à suffisamment d'éco-conception des solutions smart grids).

5.4. Coût / bénéfice : l'énergie grise multiplie les coûts par un facteur 1,2 à 4,4, mais le retour sur investissement carbone reste presque toujours positif

L'étude porte sur l'évaluation des consommations annuelles d'électricité de la couche TIC.

Cette section évalue comment la prise en compte des émissions initiales de fabrication des matériels de la sphère smart grid peut impacter le bilan carbone annuel centré uniquement sur les émissions et les gains annuels.

C'est une approche rapide sur la base de proxies. Un proxy est une façon d'aborder un problème par proximité ou ressemblance de sujets. Le tableau ci-dessous assimile les matériels du périmètre smart grid à trois types de matériels informatiques dont les caractéristiques sont fournies dans la Base Carbone Ademe, en les croisant avec deux niveaux de nombre d'heures de fonctionnement annuel (8000 heures et 4000 heures). On en déduit des ordres de grandeur d'impacts.

D'un côté les 9% à 32% de coût de fonctionnement de la couche NTIC rapportés aux gains MDE annuels doivent être multipliés par un facteur 1,2 à 4,4 lorsqu'on prend en compte le coût carbone de fabrication initial des matériels.

De l'autre côté le temps de retour sur investissement CO2 du parc de matériels smart grids est en général positif (inférieur à leur durée de vie). Il s'améliore en 2030 : l'étude fait l'hypothèse que plus de clients utilisent leurs matériels à des fins de MDE.

Figure 52 - Temps de retour d'investissement CO2 du smart grid (approche par proxies)

Temps de retour sur investissement CO2			Proxy Circuits imprimés - contrôleur LCD et cartes mères TV	Proxy Serveur datacenter 1 Unit	Proxy Petit ordi. Portable 14 pouces	Proxy Circuits imprimés - contrôleur LCD et cartes mères TV	Proxy Serveur datacenter 1 Unit	Proxy Petit ordi. Portable 14 pouces
Selon différents proxies & heures de fonctionnement annuel			8000 h	8000 h	8000 h	4000 h	4000 h	4000 h
CO2 Fabrication	a	Kg CO2	8	500	202	8	500	202
Puissance	b	W	5	200	15	5	200	15
Heures de fonctionnement	c	Heures/an	8 000	8 000	8 000	4 000	4 000	4 000
Facteur d'émission élec	d	KgCO2/kWh	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
CO2 Fonctionnement	e = bcd	Kg CO2/an	4	160	12	2	80	6
Durée de vie (proxy objets Smart)	f	Années	10	10	10	10	10	10
CO2 Fonct (durée de vie)	g = ef	Kg CO2	40	1 600	120	20	800	60
CO2 Total yc initial (durée de vie)	h = a+g	Kg CO2	48	2 100	322	28	1 300	262
Ratio Total yc initial / Fonct	i = h/e		1,2	1,3	2,7	1,4	1,6	4,4
2020 - Périmètre Smart Meter								
Ratio Coût TIC/Gains MDE - fonct. seul	j		32%	32%	32%	32%	32%	32%
Ratio Coût TIC/Gains MDE - yc initial	j' = ji		39%	42%	87%	46%	52%	141%
Gains CO2 annuels bruts	k = e/j	Kg CO2/an	12,4	495,4	37,2	6,2	247,7	18,6
Gains CO2 annuels nets	l = k-e	Kg CO2/an	8,4	335,4	25,2	4,2	167,7	12,6
Temps de retour sur invest. CO2	m = a/l	Années	1,0	1,5	8,0	2,0	3,0	> durée de vie
2020 - Périmètre Smart Home								
Ratio Coût TIC/Gains MDE - fonct. seul	j		23%	23%	23%	23%	23%	23%
Ratio Coût TIC/Gains MDE - yc initial	j' = ji		28%	30%	61%	32%	37%	99%
Gains CO2 annuels bruts	k = e/j	Kg CO2/an	17,6	704,8	52,9	8,8	352,4	26,4
Gains CO2 annuels nets	l = k-e	Kg CO2/an	13,6	544,8	40,9	6,8	272,4	20,4
Temps de retour sur invest. CO2	m = a/l	Années	0,6	0,9	4,9	1,2	1,8	9,9
2030 - Périmètre Smart Meter								
Ratio Coût TIC/Gains MDE - fonct. seul	j		13%	13%	13%	13%	13%	13%
Ratio Coût TIC/Gains MDE - yc initial	j' = ji		16%	17%	34%	18%	21%	56%
Gains CO2 annuels bruts	k = e/j	Kg CO2/an	31,3	1 250,0	93,8	15,6	625,0	46,9
Gains CO2 annuels nets	l = k-e	Kg CO2/an	27,3	1 090,0	81,8	13,6	545,0	40,9
Temps de retour sur invest. CO2	m = a/l	Années	0,3	0,5	2,5	0,6	0,9	4,9
2030 - Périmètre Smart Home								
Ratio Coût TIC/Gains MDE - fonct. seul	j		9%	9%	9%	9%	9%	9%
Ratio Coût TIC/Gains MDE - yc initial	j' = ji		10%	11%	23%	12%	14%	37%
Gains CO2 annuels bruts	k = e/j	Kg CO2/an	47,1	1 882,4	141,2	23,5	941,2	70,6
Gains CO2 annuels nets	l = k-e	Kg CO2/an	43,1	1 722,4	129,2	21,5	861,2	64,6
Temps de retour sur invest. CO2	m = a/l	Années	0,2	0,3	1,6	0,4	0,6	3,1

Même si la couche NTIC de la sphère Smart Grid ne consomme que 0,7 TWh à 1, 7 TWh, il n'est pas anodin de faire des efforts pour réussir à atteindre en 2030 les bons taux de retour sur investissement du bas de tableau.

5.5.35 à 70 millions de Déchets Electriques et Electroniques annuels (DEEE)

L'étude montre qu'environ 350 millions de matériels électroniques seront diffusés d'ici 2030 (pour le smart grid grand public). Les produits électroniques exigent de nombreuses ressources rares ou à valeur dont le gaspillage est mal venu : or, argent, cuivre, nickel, cadmium, manganèse, etc.

De plus les durées de vie de l'ordre de 5 à 10 ans conduisent à la production supplémentaire de 35 à 70 millions de déchets électriques et électroniques (DEEE) par an. Les DEEE peuvent contenir des produits toxiques, dangereux ou persistants :

- arsenic,
- retardateurs de flamme au brome
- mercure, cadmium, lithium, plomb, métaux lourds dans les cartes électroniques
- acides (piles et batteries)
- etc.

35 à 70 millions de déchets DEEE engendrés par le smart grid grand public peut représenter de l'ordre de la dizaine de milliers de tonnes de déchets supplémentaires par an.

Comme tout choix industriel et au-delà des bénéfices qu'elle apporte, toute solution apporte aussi ses problèmes qu'il convient d'intégrer dans la vision de développement.

5.6. Nécessité du downsizing : réutiliser, recycler... et avant tout réduire (en taille)

Deux expressions permettent de penser le problème : « Réduire, Réutiliser, Recycler » et « Sobriété, Efficacité, Mix ». Les « 3R » sont plus difficiles à mettre en œuvre dans le domaine électronique que dans d'autres domaines industriels. L'analyse appliquée aux conditions du smart grid grand public conduit aux réflexions exposées dans les paragraphes qui suivent. .

Ils amènent à privilégier la solution de la réduction, plus précisément du downsizing, dans une logique de sobriété, d'efficacité et de mix de bonnes solutions.

5.6.1. « Réutiliser » : augmenter la durée de vie des équipements

La loi de Moore et les progrès technologiques rapides font de la réutilisation du produit ou de ses composants un concept quasiment non pertinent.

L'enjeu réel est de laisser à poste un matériel plus longtemps :

- D'abord allonger les durées de vie.
 - Doubler la durée de vie, par exemple de 5 à 10 ans, divise par deux la quantité de déchets annuels.
 - Du point de vue de la consommation d'électricité annuelle de la couche TIC, changer souvent de matériel permettrait certes de bénéficier des progrès de la Loi de Moore. D'une part la section 5.4 montre que l'énergie grise de fabrication n'est pas négligeable : il faut une différence de performance significative pour justifier un changement de matériel smart grid.
 - D'autre part la question des déchets DEEE conduit également dans une logique de pondération des risques à préférer l'allongement des durées de vie à un remplacement accéléré.
 - Plus la fonctionnalité est simple, plus la durée de vie doit être allongée (matériels de mesure et commande).
 - Plus la fonctionnalité est élaborée, plus la durée de vie peut se rapprocher du temps de retour énergétique de remplacement du matériel existant par un matériel plus performant (datacenters).
 - Attention : ce temps de retour énergétique est supérieur et n'est pas le même que celui estimé en section 5.4, qui bénéficiait du primo-équipement et de la capture du gisement total d'économie d'énergie permis par le smart grid. Cela n'est pas le cas dans un remplacement.
- En entretien, les responsables techniques très expérimentés d'installations de réseaux industriels ont nettement fait apparaître l'attention qu'ils portent à la question de la durée de vie des solutions.

- Les matériels électromécaniques de la génération précédente ont pu rester en utilisation plusieurs dizaines d'années. C'est le cas des compteurs d'électricité, ou encore des matériels présents dans les postes de transformation du réseau.
- Une préoccupation majeure de bonne gestion industrielle sera de faire en sorte que les gains de fonctionnalités potentiels apportés par le passage au monde électronique ne soient pas phagocytés par l'obsolescence accélérée des matériels et des coûts complets d'exploitation supérieurs.
- Pour cela, exploiter la stratégie de firmwares :
 - Les objets sont connectés : leur logiciel peut être remplacé.
 - L'enjeu est de faire durer l'exploitation du matériel électronique physique.
 - Un firmware, logiciel interne ou logiciel embarqué, est un ensemble d'instructions et de structures de données qui sont intégrées dans du matériel informatique pour qu'il puisse fonctionner (ordinateurs, mais aussi routeurs, gateways, objets intelligents, compteurs).
 - Le firmware a été créé pour permettre une plus grande flexibilité du hardware afin de lui permettre d'évoluer en permettant d'intégrer de nouvelles fonctionnalités, non prévues initialement, sans avoir besoin de revoir complètement le design du hardware²⁵.
 - Cette stratégie est mise en place pour les compteurs et les concentrateurs Linky
 - Comment la développer pour les objets, les energy and charge managers et les gateways ?
- Privilégier les business models de type Service Intégré aux business models de type Vente de matériel
 - Si les business models de type Vente de Matériel perdurent, l'intérêt des acteurs est de susciter l'insatisfaction des clients et de faire remplacer souvent les équipements.
 - Si les business models de type Service Intégré se développent, il y va de l'intérêt des opérateurs de service de limiter le nombre d'interventions physiques liées aux changements de hardwares, d'allonger leur durée de vie, et d'avoir une stratégie de gestion de firmwares bien conçus, légers et transitant bien lors de leur descente dans les réseaux.

5.6.2. « Recycler » : encourager et mieux organiser la filière de recyclage

Le recyclage des DEEE consiste à séparer les matières premières, réinjecter dans le cycle industriel et commercial celles qui sont à valeur, et en stocker les déchets ultimes qui restent.

La miniaturisation de longue date des composants électroniques rend difficile la séparation de leurs matériaux. Ce recyclage est néanmoins réalisable. Les filières de recyclage des DEEE relèvent du concept de « Mines urbaines », au sens où nombre de matériaux à valeur se retrouvent dorénavant autant dans les déchets que dans l'exploitation classiques de mines.

Ces filières de recyclage sont à encourager et mieux organiser car elles font face à deux difficultés :

- Leur rentabilité industrielle reste encore sur le fil, malgré des prix à la tonne non négligeables.
- Selon l'UNEP²⁶, un trafic mondial non régulé de l'ordre de 17 milliards d'euros s'est constitué aux dépens des filières sérieuses de recyclage²⁷.
 - Du fait d'une rentabilité sur le fil pour des traitements industriels sur place, l'occident exporte massivement ses déchets vers les pays en voie de développement.
 - Lorsque la filière n'est pas maîtrisée cela génère des dégâts lourds environnementaux (pollutions) et sociétaux (conditions sanitaires, travail d'enfants).

Le recyclage des DEEE est possible et souhaitable. Nonobstant

- Le meilleur déchet est le déchet non généré
- Le meilleur kWh est le kWh économisé

C'est pourquoi aussi en matière de solutions Smart Grids, « Réduire » au sens de Downsizing reste la priorité, en amont de « Réutiliser » et « Recycler ».

²⁵ Wikipedia, Article Firmware

²⁶ Programme des Nations Unies pour l'Environnement

²⁷ <http://www.greenit.fr/article/materiel/dechets-electroniques-un-traffic-mondial-de-17-milliards-d-euros-5503> ainsi qu'une illustration concrète de la problématique <http://www.greenit.fr/article/juridique/un-trafiquant-de-dechets-electroniques-condamne-5316>

5.6.3. « Réduire » : la priorité

La réduction comprend

- pour une part mineure la maîtriser la quantité de produits,
- pour une part majeure la réduction drastiquement leur taille (downsizing).

Pour le premier volet, il s'agit donc moins de réduire le nombre de produits Smart Home et Internet of Things que d'éviter un doublonnage des gateways et energy managers du fait d'incompatibilité de matériels et de standards. En effet les produits Smart Grids doivent se développer dans la mesure où ils sont indispensables à la conduite en temps réel des nouveaux systèmes énergétiques qui deviennent plus contraints, tant au niveau international, national et régional qu'au niveau des bâtiments qui deviennent plus économes voire à énergie positive (moins de consommations, plus de renouvelables conjuguées au nucléaire, moins de productions fossiles de chaleur et d'électricité qui assureraient les écarts à l'étranger, en France et jusque dans les bâtiments).

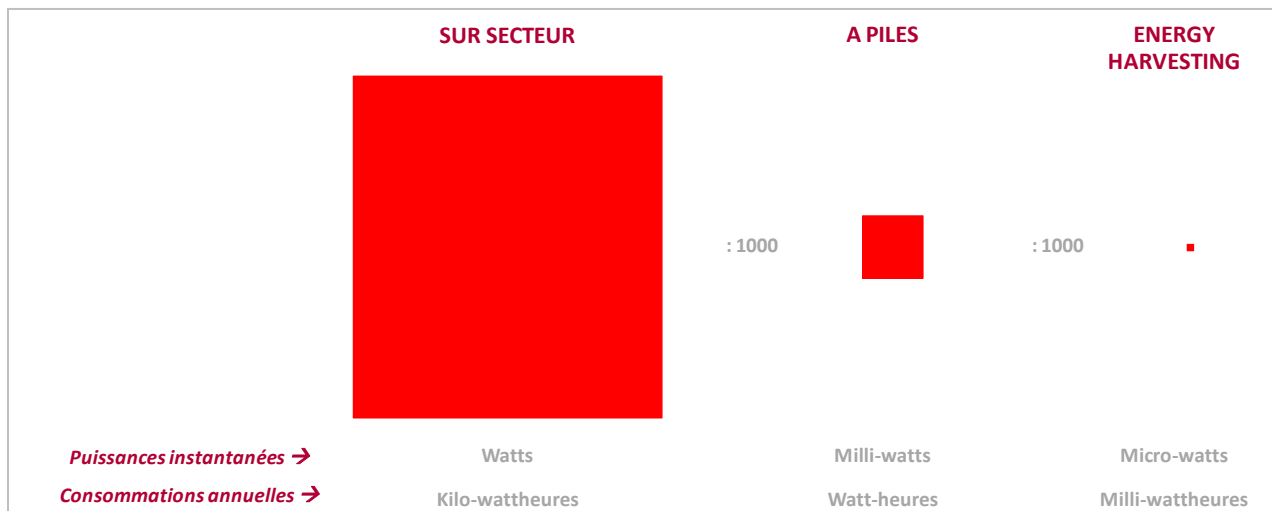
Le downsizing encourage le dimensionnement juste et la bonne conception des systèmes smart grid, dans une logique de sobriété et d'efficacité à fonctionnalités utiles égales.

Ces points sont développés dans les sections qui suivent.

5.7. Sur Secteur, sur Piles, en Energy Harvesting : une différence de performance d'un million

Les appareils communicants les plus courants fonctionnent branchés sur secteur. Un grand nombre d'appareils fonctionnent aussi sur piles ou batteries, voire selon l'approche « Energy Harvesting ».

Figure 53 - Consommations sur secteur, sur pile, en Energy Harvesting



Le circuit TIC d'un appareil branché sur secteur, aussi simple soit-il, consomme actuellement couramment de 0,5 à 1 watt, pour une fonctionnalité basique.

Il va de soi que les appareils conçus pour marcher sur piles doivent viser une certaine sobriété pour que la pile dure un à cinq ans. Lors d'un entretien pendant l'étude, il a même été rapporté le cas d'un compteur d'eau fonctionnant sur une batterie pendant 12 ans, avec une émission toutes les trente secondes. Cette performance exceptionnelle repose sur le fait que le signal module un « flash », par nature d'une durée très courte. Le flash est émis lorsqu'une capacité chargée par la batterie dépasse une certaine tension, environ toutes les trente secondes. La batterie charge avec un courant extrêmement faible le condensateur. Le fait que ce courant soit constant épargne énormément la durée de vie de la batterie.

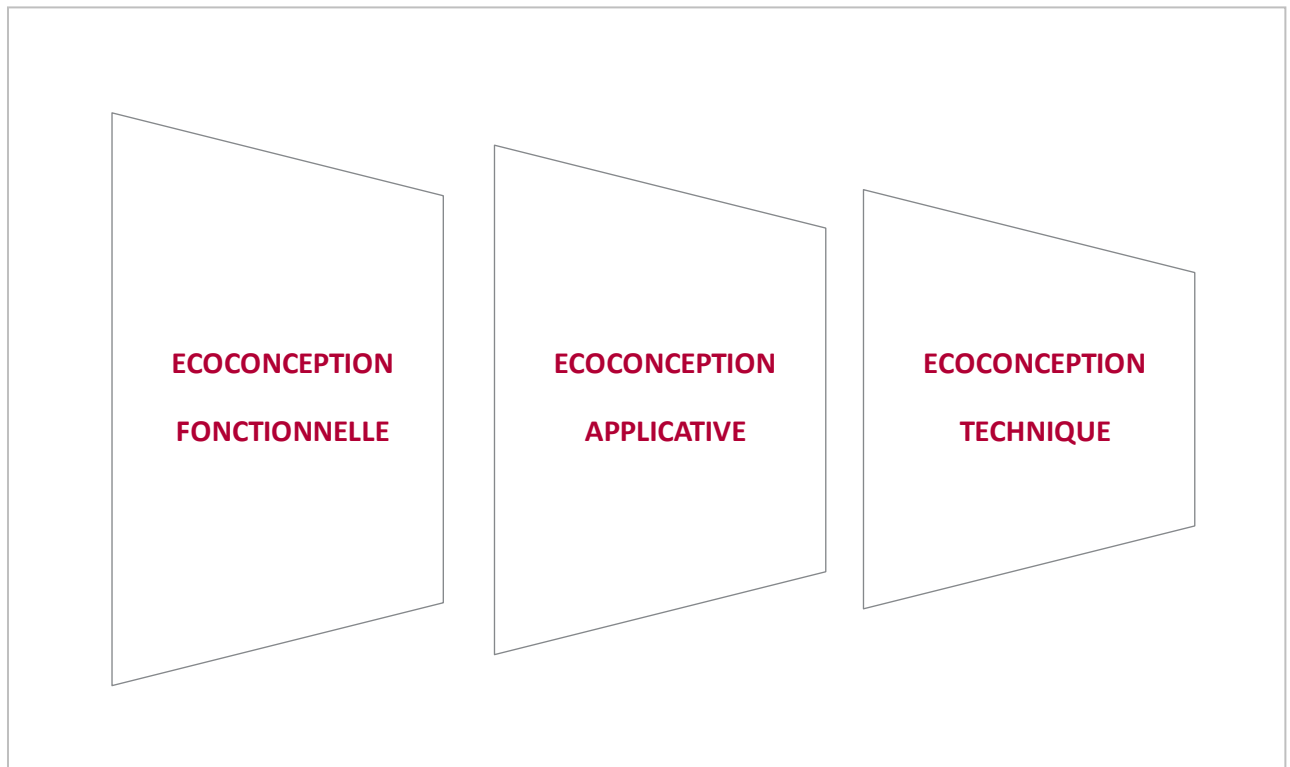
L'approche « Energy Harvesting » permet à certains objets de fonctionner uniquement avec l'énergie collectée dans le bruit ambiant, la lumière captée ou la pression du doigt sur l'interrupteur. Des standards tels que Enocean cherchent à développer ces solutions.

Se pose alors la question de l'organisation du transfert de pratiques économes des appareils en collecte d'énergie vers les appareils à piles, et de même tirer les enseignements des appareils à piles pour le design des appareils sur secteur.

5.8. Ecoconception

Les paragraphes précédents ont fait apparaître le besoin et la faisabilité de « downsizing » des appareils communicants pour diminuer leur taille, leur puissance, leur consommation, leurs émissions CO2, leur empreinte DEEE tout en augmentant leur autonomie et leur praticité. Cela passe par les bonnes pratiques de l'éco-conception.

Figure 54 - Les 3 composantes de l'écoconception



L'écoconception porte sur les trois domaines techniques, logicielle et fonctionnelle

- Ecoconception fonctionnelle : tout commence par la compréhension du besoin et par la conception fonctionnelle sobre et efficace.
- Ecoconception logicielle et applicative : la conception même des logiciels induit plus ou moins d'empreinte énergétique
 - La section 5.9 traite des obésiciels et l'illustre par la fuite en avant de la taille des logiciels, notamment par l'encapsulation de modules.
 - La section 5.10 traite de la capacité à moduler, plutôt que de faire fonctionner en continu l'application à pleine puissance
 - La section 5.11 traite du besoin d'utiliser au mieux les standards
- Ecoconception technique : la première à laquelle on pense. Elle porte sur l'amélioration technique des objets.
 - La section 5.12 traite du marché des boxes pour la sécurité et la santé, du WIFI, et de l'opportunité de la gestion de l'énergie
 - La section 5.13 traite de la réduction ou du maintien des tailles de boîtiers
 - La section 5.14 incite à examiner les technologies SIMless basse énergie longue portée

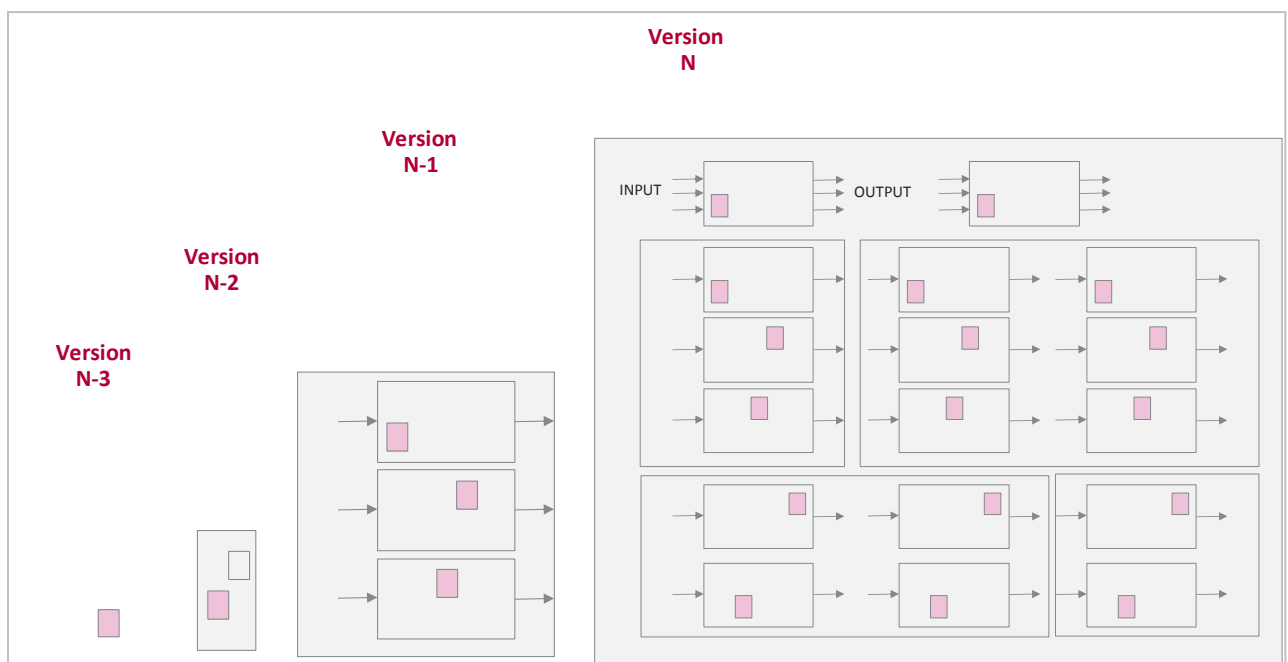
5.9. Des écogiciels, pas des obésiciels

Les Anglo-Saxons parlent de « bloatwares » ou « logiciel qui enfle », ce que l'Office Québécois de la Langue Française propose de traduire par obésiciels (ou inflagiciel, enfliciel, énormiciel, grosiciel, voire grasiciel).

Comme on l'a vu en paragraphe 5.1, un taux de 40% à 80% de cannibalisation des progrès technologiques par l'alourdissement des logiciels et des standards est vraisemblable. Par exemple les besoins en capacité informatique de Windows ont augmenté jusqu'à plus de 150 fois entre la version 95 et la version Seven, avec une obsolescence et un renouvellement accéléré des ordinateurs qui accroissent la pression sur l'environnement.

Une des raisons est la programmation par composants. Elle permet d'économiser du temps en réutilisant des modules existants. Elle s'impose également du fait de l'évolution des versions qui doivent rester compatibles avec les versions précédentes.

Figure 55 - Alourdissement par l'encapsulage non réfléchi de modules



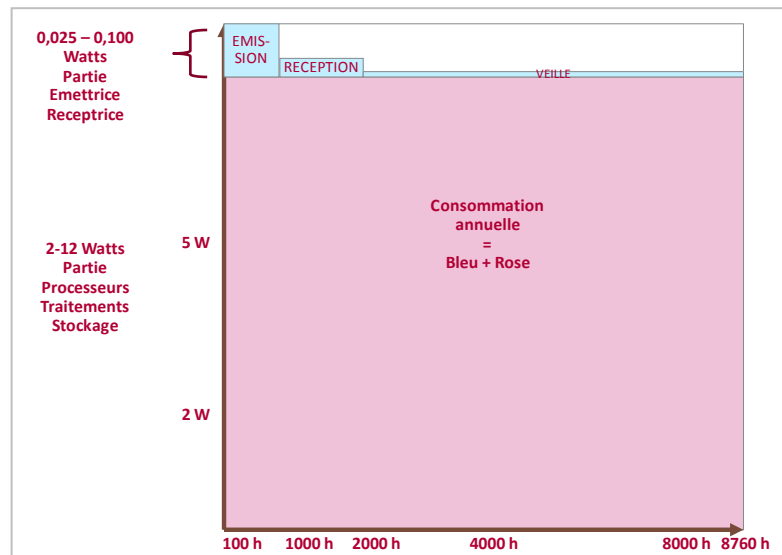
Comme on le voit sur la Figure 55, les parties utiles en rose finissent par ne constituer qu'une partie minime du code utile. Pour réduire la taille des équipements nécessaires, comment n'inclure dans le code que les parties roses? C'est une question d'écoconception autant logicielle que fonctionnelle, dans une logique de sobriété et d'efficacité.

Dans un ordre d'idée différent un des interlocuteurs vus en entretien a évoqué des logiciels et algorithmes auto-adaptatifs indiqués pour les mini-ordinateurs de type Raspberry Pi ou CHIP. Ils sont capables de trouver une solution à un problème d'optimisation sous contraintes lié par exemple au smart home en fonction de la ressource de calcul ou de la mémoire disponible. Ce type de progrès en matière de conception logicielle permet lui aussi de réduire l'équipement nécessaire et le traitement effectué au besoin réel, en termes de précision de calcul ou de temps de traitement.

5.10. Apprendre à moduler

Le mode veille liés aux antennes et leur microcircuit n'est pas un enjeu majeur. La seule partie d'émission-reception pèse de l'ordre de quelques dizaines à centaines de milliwatts par objet, et module de fait selon qu'elle émet ou pas.

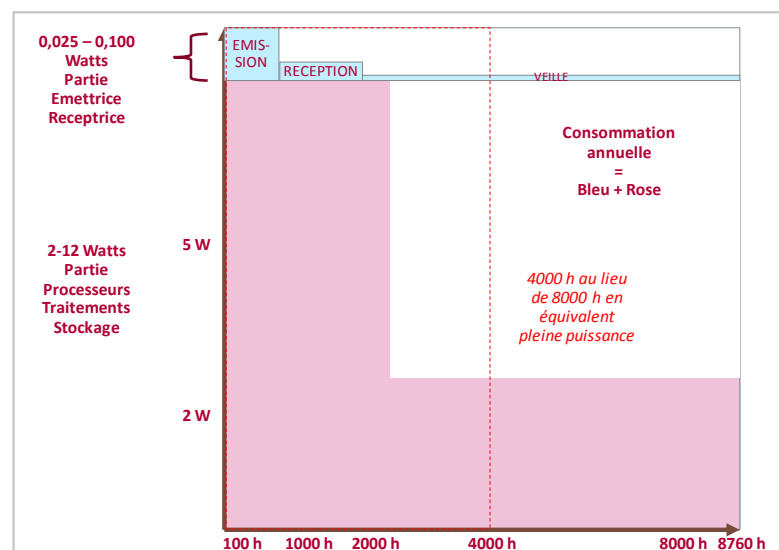
Figure 56 - Consommations relatives du chip émetteur récepteur et de l'ensemble de l'energy manager ou de la gateway



En revanche les boîtiers, energy managers et gateways fonctionnent majoritairement à puissance active continue (de l'ordre de quelques watts 8760 heures par an). Ils questionnent sans arrêt les objets autour d'eux et les serveurs centraux. L'examen des tableaux comparatifs de gateways pour les usages internet montrent soit qu'elles n'ont aucun mode de veille, soit que le mode de veille consomme encore de la moitié au deux tiers de la puissance maximale (8-12 W sur un maximum de 12 à 20 W).

Gagner 2000 à 4000 heures de fonctionnement représente un gain de 0,2 à 0,4 TWh en 2020 comme en 2030. Cela contribue à maintenir la consommation nationale de la couche TIC des smart grids dans le bas de fourchette à 0,8 TWh plutôt que dans le haut de fourchette à 1,5 TWh.

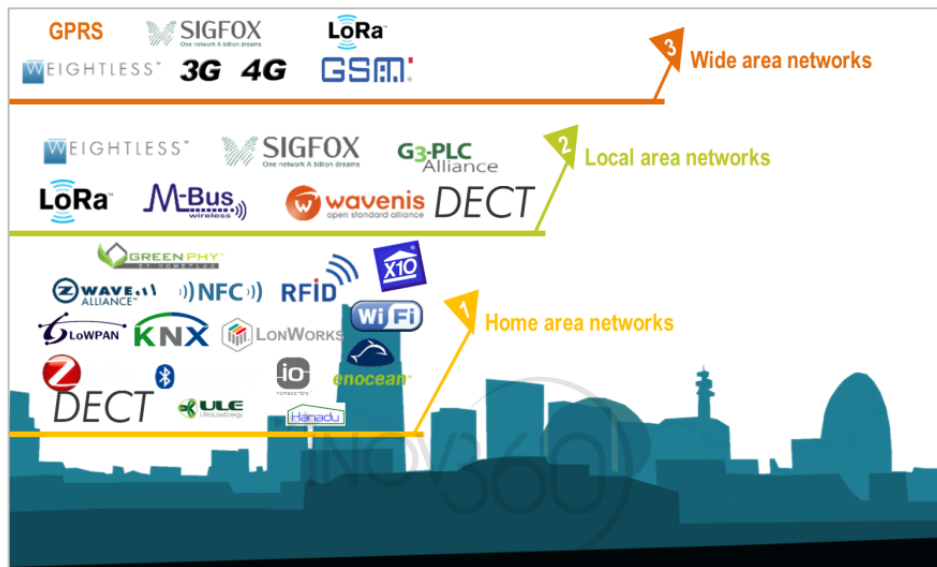
Figure 57 - Volumes de consommation avec modulation de la puissance.



5.11. Le risque de la multiplication des standards

Les standards de communication se multiplient, notamment au niveau local.

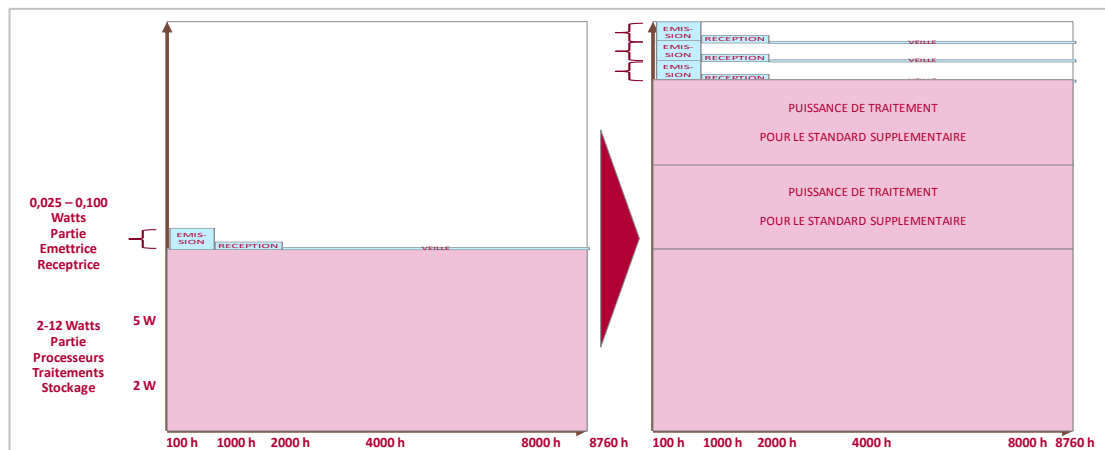
Figure 58 - Quelques standards de communication LAN HAN WAN²⁸



Les microcircuits d'émission-réception consomment peu. Ce ne sont pas eux qui posent problème en cas de multiplication des standards (couches bleues dans la Figure 59).

Le problème vient surtout du nombre de calculs et traitements supplémentaires pour assurer les traductions et les comptabilités en standards.

Figure 59 - Plusieurs standards : plus d'émetteurs-récepteurs, mais surtout plus de traitements



Un boîtier peut être optimisé pour gérer un ou deux standards. En gérant un troisième, on amène à par exemple à brancher sur le boîtier un dongle (une espèce de clé usb), ou si cela est prévu d'emblée à surdimensionner le boîtier.

Il est également fort possible que la multiplication des standards amène à une multiplication par deux ou trois des boxes et des energy managers pour le chauffage, pour les volets, pour la ventilation ... chaque constructeur développant le sien.

Une surconsommation allant de +20 à 200% semblent plausibles selon le nombre de standards à accorder.

²⁸ Source : <http://www.inov360.com/blog/reseaux-sim-les-le-nouvel-eldorado-du-m2m-et-de-linternet-des-objets-2/>

Les cas d'usages ont été évalués pour des installations optimisées. Dans le cas adverse où les boîtiers de gestion se multiplient il n'est pas exclu que la consommation de la couche TIC remonte dans le haut de fourchette de 1,5 à 2 TWh.

Les standards ouverts sont à privilégier, pour faciliter leur reprise et éviter la multiplication d'objets et de boîtiers propriétaires. On notera que les couches intermédiaires des standards de type Zigbee et KNX sont spécifiques et ne sont pas compatibles avec la logique IP, contrairement par exemple à Thread. Cela peut nécessiter des traductions et des capacités de calcul supplémentaires.

L'industrie, les autorités et les institutions concernées peuvent surveiller l'évolution des standards et s'organiser autour de consensus, au niveau national et dans les instances internationales.

5.12. Le marché des boxes pour la sécurité et la santé, le WIFI et la gestion de l'énergie : au final une opportunité pour l'Ademe

Les entretiens avec les entreprises spécialisées dans le développement de services à distance ont mis en évidence qu'actuellement c'est la sécurité à distance des biens et des personnes qui tire le marché des boxes, et non pas celui de la gestion énergétique.

Les donneurs d'ordres issus de l'énergie et du bâtiment privilégient des solutions plutôt économes de type ZIGBEE ou KNX (25 mW pour l'émission, peu de traitement).

En revanche les donneurs d'ordre issus de l'assurance ou de la sécurité privilégient le WIFI (au moins 100 mW et des traitements plus lourds). En effet les clients demandent la surveillance par transfert de vidéo en direct, ce que permet le WIFI.

Dans la mesure où l'usage du boîtier est partagé entre la surveillance et sa fonctionnalité d'energy manager, cela ne fait pas plus de consommation électrique pour le pilotage énergétique de la maison que les cas d'usage qui ont été étudiés ici.

Le monde de l'énergie a pu penser que c'était ces boîtiers dédiés à l'énergie qui pouvaient entraîner d'autres marchés comme celui de la surveillance à distance. C'est en fait celui-ci qui se développe spontanément.

Les autorités pourraient étudier les mesures à prendre pour que le marché des boîtiers de sécurité et surveillance à distance puisse aussi être mis au service des opérateurs de gestion de l'énergie. Cela accélérerait la conquête du gisement de flexibilité et de MDE et diminuerait l'empreinte environnementale par partage des équipements entre les deux marchés.

5.13. Boîtiers et Energy Managers : réduction de taille ou maintien des puissances actuelles ?

Les hypothèses retenues ont été les suivantes, en puissances actuelles 2015 :

- Les gateways choisies ont des puissances de 12 W (domicile) et 8 W (à bord des véhicules).
- Les boîtiers de gestion de l'énergie ont des puissances de 2,5 W à 5 W.

L'application de la loi de Moore, même cannibalisée et « ralentie » à 48 mois, conduit à diviser ces puissances par un facteur 1,7 d'ici 2020 et par un facteur 4,6 en 2030 (environ 2 W pour les gateways et 0,5 W pour les energy managers).

Ces puissances sont-elles faibles ? Sur les dernières années, on a pu avoir l'impression que la puissance des boxes est restée stable, avoir une augmentation des puissances de traitement, des débits et des capacités de stockage. Fallait-il envisager une stabilisation, ce qui augmenterait la consommation de la couche NTIC de 0,7 TWh - bien plus en tout car seulement 10% de la consommation des gateways est comptabilisée pour l'usage smart grid ?

En réalité d'une part les gateways d'une puissance de 20 à 30 watts il y a dix ans étaient monnaie courante. Il y a bien eu progrès.

D'autre part il est possible que le principal de l'augmentation de volume du flux de volume voix – vidéo – contenu ait eu lieu pendant la décennie 2010-2020. Une fois la qualité maximale atteinte, comme cela a été le cas pour le son, les besoins en bande passante et en volume n'augmenteraient plus aussi vite après 2020, ce qui justifierait également la possibilité d'une réduction de la taille des boîtiers.

5.14. Complément d'étude ultérieur: les technologies SIMless

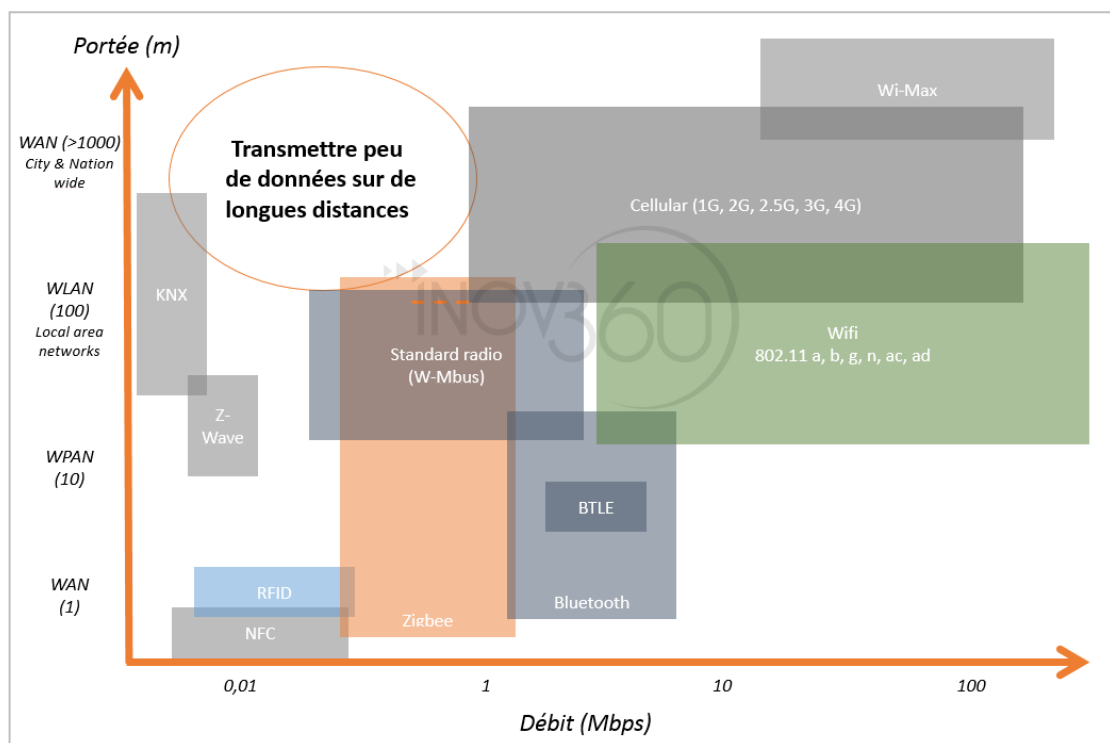
Il conviendrait d'inclure dans une étude ultérieure les solutions SIMless qui sont en plein développement. Les groupes de travail n'ont pas retenu de scénario incluant de technologies SIM-less de type SIGFOX, LORA, WEIGHTLESS.

La communication montante sous la forme de messages courts est établie (12 octets pour SIGFOX). La possibilité de communication descendante semble encore faire l'objet d'une attention critique de la part des observateurs spécialisés.

Un cas d'usage à étudier du point de vue des consommations serait celui associant Linky et l'ERL pour la descente d'ordres et une solution SIMless pour la remontée d'information entre les objets et l'opérateur de service.

En effet le cas d'usage 2B Linky + ERL a l'avantage d'offrir une solution suffisante pour de nombreux cas simples. Il a l'inconvénient de ne pas permettre de remonter d'information : pas de mesures, pas d'indication d'état. Les appareils se sont-ils déclenchés, l'effacement a-t-il eu lieu, l'utilisateur a-t-il préféré débrayer l'ordre pour une raison ou une autre ? Le problème pourrait être résolu avec la combinaison des deux canaux descendants et montants ERL et SIMless, voire avec cette seule dernière solution.

Figure 60 - Technologies SIMless pour le segment bas débit longue distance²⁹ (cercle rouge)



5.15. Intelligence centralisée ou locale ?

La conception des cas d'usage n'oppose pas l'un à l'autre. En particulier dans les scénarios D les energy managers sont d'une catégorie supérieure et permettent la mise en œuvre d'algorithmes complexes locaux.

Cela n'exclut pas les datacenter centraux d'effectuer leurs propres optimisations, de confronter les données locales avec les données météorologiques ou de circulation, ainsi que les données liées à la vie du véhicule ou des clients recueillies sur leur smartphones. Il y aura alors probablement des échanges d'instruction et d'intelligence entre les deux systèmes.

²⁹Source : <http://www.inov360.com/blog/reseaux-sim-less-le-nouvel-eldorado-du-m2m-et-de-linternet-des-objets-2/>

5.16. Quelles recommandations pour le domaine SVEL ? Watts et Milliwatts des TIC négligeables face aux kW de la charge ?

Le pilotage de la charge du véhicule électrique est celui des quatre domaines étudiés où les TIC sont les plus consommatrices en kWh par client, de l'ordre d'une centaine de kWh par an. Cela représente l'équivalent de 500 km parcourus et 3 à 5% des consommations annuelles du véhicule.

La multiplicité des équipements (domicile, travail, espace public) pour un seul véhicule - qui par ailleurs n'est pas chargé tous les jours – expliquent ce résultat. Sans surprise, les cas d'usage les plus avancés C et D sont plus consommateurs que les cas d'usages A ou B. Cela tient

- au nombre d'objets communicants
- à la taille des datacenters centraux.

Il est apparu dans les entretiens une différence de maturité entre les boîtiers pour le Smart Home et ceux pour la Charge VEL. D'une part le véhicule électrique et ses modes de charge sont encore en émergence. La préoccupation des développeurs de solution est en priorité de concevoir et faire émerger les bons produits et les usages.

D'autre part la consommation de la couche TIC paraît dérisoire à côté des puissances mises en jeu pour la charge elle-même (plusieurs kW) pour un concepteur de solutions de charge. Cela ne semble pas justifier de porter une attention aux matériels. Par exemple on choisira une alimentation peu chère, peu performante et fort consommatrice pour alimenter les cartes électroniques, essentiellement par manque d'attention à ce sujet jusqu'à présent .

Des pistes de travail peuvent être les suivantes :

- Porter attention à la qualité des matériels même secondaires (alimentations , etc).
- Encourager le monde du VEL à s'inspirer des qualités d'équipement du monde spécialisé du Smart Home et de l'internet des objets, légèrement en avance du fait de leur contraintes propres.
- Travailler les passages en mode veille sur la partie principale des équipements (pas que la partie émission –réception) : chaque point de recharge ne voit au mieux passer qu'un véhicule tous les deux jours, voire des ratios d'utilisation journalière de 50% (hypothèse prise dans la présente modélisation).
- Eventuellement étudier un scénario où le comptage, le pilotage intelligent et la communication avec le central sont « embarqués » sur le véhicule ? Ce cas d'usage n'est pas immédiat dans sa conception et sa faisabilité, mais mérite d'être étudié du fait de l'enjeu. Il pourrait permettre de diviser par deux ou trois le nombre de compteurs, de gateways, de charge managers. Il reste « à terre » les informations provenant du bâtiment et une infrastructure simplifiée.

6. Conclusions : enseignements et pistes d'approfondissement

L'étude a permis de construire une image du Smart Grid à l'horizon 2020 et 2030 à l'aide de quelques cas d'usages simples et d'un modèle réutilisable qui portent sur les quatre domaines principaux

- Smart Meter Linky
- Smart Home
- Pilotage de la charge des véhicules électriques
- Pilotage et observabilité du réseau public de distribution

Le Smart Grid en France se caractérise par les ordres de grandeurs suivants :

- 150 millions d'objets connectés en 2020, 350 millions en 2030
- Un volume de données de « seulement » 0,1% à 1% de la datasphère française à ces dates
- Une consommation totale de la couche TIC située (a nouveau « seulement ») entre 0,8 TWh et 1,5 TWh
- La majeure partie de la consommation vient du comptage, suivi du smart home. Les cas d'usages du Smart Home peuvent représenter quelques dizaines de kWh par an et par client, et jusqu'à 150 kWh pour les cas d'usage avancés, soit 1 à 5% de la consommation d'un client.
- La part du pilotage de la charge de véhicules électriques vient en troisième, mais elle est importante rapportée à chaque client puisqu'elle représente 2 à 5% de l'énergie de charge. L'observabilité et le pilotage du réseau consomment peu d'énergie par client.
- Le fonctionnement de la couche TIC consommerait 9% à 32% des gains MDE annuels
- L'énergie grise multiplierait le coût énergétique par un facteur 1,2 à 4,4, mais le retour sur investissement carbone reste dans presque tous les cas positif
- Les temps de retour énergétique et CO2 sont moyens en 2020, avec une petite chance qu'elle qu'il n'y ait pas de temps de retour positif à cet horizon. Les temps de retours sont corrects à bons en 2030 (<1 an à 5 ans, sur une durée de vie des équipements de 5 à 10 ans)
- 35 à 70 millions de Déchets Electriques et Electroniques sont générés annuellement (DEEE) : l'enjeu est au moins aussi important que celui de la consommation d'électricité

La consommation électrique de la couche TIC dépendra de la façon dont on tire au mieux profit des progrès technologiques traduits dans la Loi de Moore, en particulier de la prise en compte ou non des bonnes pratiques d'écoconception fonctionnelle, logicielle et technique dans une logique de sobriété, d'efficacité et de mix de solutions pertinentes.

Une certaine vigilance reste de mise, qui amène à formuler les recommandations suivantes.

On s'attachera dans le développement de nouvelles solutions notamment à

- Réduire en priorité la consommation et la taille des équipements (downsizing), notamment ceux qui sont déployés à grande échelle chez les particuliers. Dimensionner les boxes et appareils à l'optimum, éviter les surdimensionnement ou les surpuissances observées dans le monde multimédia
- Développer des boîtiers « communicants » sachant moduler leur activité
- Développer l'écoconception logicielle, applicative et technique pour sortir de la logique d'obésiciel et entrer dans la logique d'écogiciel.
- Développer les savoir-faire en algorithmes qui s'auto-adaptent au temps, aux capacités de calcul et aux capacités mémoire disponibles
- Favoriser les transferts de savoir faire de sobriété des objets en Energy Harvesting aussi bien vers les objets à pile que vers les objets sur secteur
- Favoriser les standards ouverts, interopérables à chaque niveau du modèle OSI³⁰, compatibles de bout en bout avec la logique d'internet des objets avec peu de « traductions » pour minimiser les puissances de calcul et le nombre de boîtiers propriétaires
- Mutualiser les équipements, notamment chez les particuliers. Utiliser l'engouement pour les boxes en lien avec la sécurité ou la santé pour y ajouter les services à l'énergie ; gagner en mutualisation des consommations comme en capture du gisement de flexibilité et de MDE
- Inciter clients et opérateurs à utiliser au mieux leurs équipements, non seulement pour la flexibilité, mais aussi pour générer des économies d'énergies

³⁰ Le modèle OSI (*Open Systems Interconnection*) décrit en 7 couches les fonctionnalités nécessaires aux communications entre systèmes informatiques et leur organisation.

En règle générale cette étude constitue un premier pas, qu'il conviendra d'approfondir et de compléter, notamment en termes de compréhension de l'effet de cannibalisation de la loi de Moore ; de prise en compte de l'effet parc ; de nouveaux cas d'usages permis par les technologies SIMless basse fréquence longue portée ; de bilan énergétique et carbone incluant la fabrication ; d'amélioration du bilan matière du point de vue des déchets DEEE.

Conclusion

Un déploiement de technologies smart grids compatible avec la transition énergétique aboutirait, d'après les premiers résultats de cette étude, à une consommation liée à la couche TIC d'environ 1 terawattheure en 2030, pour l'ensemble des cas d'usage. Cette estimation est très dépendante d'hypothèses sur l'efficacité réelle des progrès technologiques liés au TIC. Cette consommation est principalement liée aux objets qui seront déployés massivement, et dans une moindre mesure aux infrastructures centralisées. En comparaison avec les pertes sur le réseau de distribution (20-30 TWh annuels), cette consommation est relativement faible et dénote une certaine efficacité énergétique déjà prise en compte par les développeurs de technologies. Il paraît important cependant de rappeler que les objets pris en compte dans cette étude, comme une borne de recharge de véhicule électrique ou le compteur communicant Linky par exemple, certes, consomment de l'énergie, mais apportent en contrepartie une vaste palette de services au service de la transition énergétique. Ils contribueront à améliorations importantes de fonctionnement et de service notamment dans les réseaux de transport et de distribution d'électricité ainsi qu'à une meilleure maîtrise de la demande en énergie grâce à un pilotage plus fin.

7. Annexe I

7.1. Liste des annexes

Annexe I Entités et personnes consultées, Glossaire, Liste es tableaux, Liste de figures

Annexe II : Résultats 2020 et 2030 détaillés

Annexe III : Hypothèses détaillées

7.2. Entités et personnes consultées

Le consultant a travaillé en deux temps avec différentes parties prenantes:

- Ateliers de cadrage : un premier temps en début de mission sous la forme de discussions préalables puis d'un atelier de cadrage des cas d'usage par domaine (Smart Meter, Smart Home, Smart Charge Véhicule Electrique, Smart Réseau de Distribution) en mars 2015,
- Echanges et modélisation: un second temps d'échanges par téléphone et par mail autour d'hypothèses et de résultats intermédiaires sur les différents sujets utiles aux évaluations des ordres de grandeur recherchés.

Les entreprises et personnes consultées ont été les suivantes :

ADEME, Alain ANGLADE, Maxime PASQUIER, Gaëlle REBEC, Martin REGNER, **ALSTOM**, Niels SIBERT, **CAPGEMINI**, Philippe BOUERE, Eric GRIEHSE, Thierry JOURDAN, Jacques MILLERY, Thierry DE GUYER, Frédéric WARIN, **CNR**, Arnaud CUISSON, **EDF**, Guillaume ANTOINE , Olaf MAXANT, Yves DHERBECOURT, **ELD SRD**, Emilie CHEVRIER, **ERDF**, Alexis PHELIZON, Marc DE POSSESSE, Jean-Marie GARRAUD, Francis GALLON, Michel CORDONNIER, Marc DELANDRE, **G2 MOBILITY** , Guillaume TOUCHAIS, **ENGIE ECOMETERING**, Guillaume LEHEC, **GIREVE** , Gilles BERNARD, **GRENOBLE INP** , Damien PICAULT, **IES**, Gil SOUVIRON, **IJENKO**, Rhita CHATILA, **LANDYS & GYR**, Michel MICHOU, **LEGRAND**, Daniel DUMOUCHEL, **MINES PARIS TECH**, Georges KARINIOTAKIS, **ORANGE**, Marc VAUTIER, Laurent CHIVOT, **PARK & PLUG**, Pascal TOGGENBURGER, **RENAULT**, François COLET, **SOGETI HT**, Fabien SENLANNES, Philippe RAVIX, **SCHNEIDER**, Claude RICAUD, Teddy RUEZ.

7.3. Glossaire, sigles et acronymes

ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AIE	Agence internationale de l'énergie
BEMS	Building energy management system
BT	Basse tension
CALC	Calcul
CDC	Courbe de charge
CDU	Cas d'usage
CPL	Courants porteurs en ligne
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DEEE	Déchets d'équipements électriques et électroniques
DEIE	Dispositif d'échange d'informations d'exploitation
DSM	Demand side management
DSO	Distribution System Operator – opérateur du réseau de distribution
ECS	Eau chaude sanitaire
EM	Energy manager
ENR	Energie renouvelable
ELD	Entreprise locale de distribution
ERL	Emetteur radio Linky
FLEX	Flexibilité
GPRS	General Packet Radio Service
GRD	Gestionnaire de Réseau de Distribution

GTB	Gestion technique de bâtiment
GTW	Gateway
GWh	Gigawattheure
HS	Horo-saisonnier
HTA	Haute tension A
IoT	Internet of things
IRVE	Infrastructures de recharge pour Véhicules Electriques
ISO	International Organization for Standardization
IT	Information technology
kWh	Kilowattheure
LAN	Local area network
MAN	Metropolitan area network
MDE	Maitrise de la demande d'énergie
MID	Measuring instruments directive
NTIC	Nouvelles technologies de l'information et de la communication
OMT	Organe de manœuvre télécommandé
PA	Poste asservi
PAN	Personal Area Network
PCCN	Poste de contrôle commande numérique
PdR	Point de recharge
PUE	Power Usage Effectiveness (Indicateur d'efficacité énergétique)
PV	Photovoltaïque
PWM	Pulse Width Modulation
REI	Réseaux électriques intelligents
RF	Radio Frequency
RFID	Radio frequency identification
SH	Smart Home
SI	Système d'information
SM	Smart Meter
SRPD	Smart réseau public de distribution
STO	Stockage
SVEL	Smart pilotage de la charge de véhicules électriques
TAR	Tarification
TCFM	Télécommande centralisée à commande musicale
TIC	Technologies de l'information et de la communication
UI	User interface
UX	User experience
VEL	Véhicule électrique
VMC	Ventilation mécanique contrôlée
WAN	Wide area network

7.4. Liste des tableaux

TABEAU 1 - CHIFFRES CLÉ 2020 & 2030 – CONSOMMATIONS TOTALE D'ÉLECTRICITÉ, AVEC ET SANS LOI DE MOORE	6
TABEAU 2 - kWh ANNUELS PAR CLIENT ET PAR DOMAINE EN 2020 ET EN 2030 (MOYENNE ET MIN-MAX ENTRE PARENTHÈSES)	6
TABEAU 3 - LES 13 CAS D'USAGES.....	17
TABEAU 4 - MODES ET TYPES DE COMMUNICATION POUR LES CAS D'USAGE SVEL	45
TABEAU 5 - NOMBRE D'ACTES DE FLEXIBILITÉ PAR CAS D'USAGE ET PAR CLIENT	52
TABEAU 6 – SÉLECTION DES COEFFICIENTS DE CANNIBALISATION	53
TABEAU 7 - TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET COEFFICIENTS D'AMÉLIORATION POUR CHAQUE FAMILLE	54
TABEAU 8 – EXTRAPOLATION FRANCE 2020 ET 2030 - HYPOTHÈSES DE MIX DES CAS D'USAGES.....	55
TABEAU 9 - CHIFFRES CLÉ 2020 & 2030 – CONSOMMATIONS TOTALE D'ÉLECTRICITÉ, AVEC ET SANS LOI DE MOORE	56
TABEAU 10 –NOMBRE D'OBJETS, DONNÉES STOCKÉES ET DATACENTERS 2020	57
TABEAU 11 - NOMBRE D'OBJETS, DONNÉES STOCKÉES ET DATACENTERS 2030	57
TABEAU 12 – GWh kWh Wh POUR LES QUATRE DOMAINES 2020	58
TABEAU 13 - GWh kWh Wh POUR LES QUATRE DOMAINES 2030	58

7.1. Liste des figures

FIGURE 1 – CONSOMMATION TOTALE D'ÉLECTRICITÉ DE LA COUCHE TIC POUR LES 4 DOMAINES DE SMART GRIDS	5
FIGURE 2 - CONSOMMATION DE LA COUCHE TIC PAR FAMILLE D'OBJETS EN 2020	7
FIGURE 3 - SENSIBILITÉ DES GWh FRANCE 2020 ET 2030 AU TAUX DE CANNIBALISATION DE LA LOI DE MOORE	8
FIGURE 4 - REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA CANNIBALISATION DE LA LOI DE MOORE	19
FIGURE 5 - SYNTHÈSE DE LA DÉMARCHE DE MODÉLISATION.....	20
FIGURE 6 – CARTOGRAPHIE DES ACTEURS ET ÉQUIPEMENTS – DOMAINE SM LINKY	22
FIGURE 7 - THÉMATIQUES INFLUENÇANT LES FLUX ET LES CONSOMMATIONS – DOMAINE SM LINKY	24
FIGURE 8 - DESCRIPTION QUALITATIVE DES CAS D'USAGES 1A, 1B ET 1C – DOMAINE SM LINKY	25
FIGURE 9 – DESCRIPTION ANALYTIQUE DES CAS D'USAGES 1A, 1B ET 1C – DOMAINE SM LINKY	25
FIGURE 10 – CHOIX DE MODÉLISATION POUR LES CAS D'USAGES 1A, 1B ET 1C – DOMAINE SM LINKY.....	26
FIGURE 11 – CARTOGRAPHIE DES ACTEURS ET ÉQUIPEMENTS – DOMAINE SH SMART HOME	27
FIGURE 12 - THÉMATIQUES INFLUENÇANT LES FLUX ET LES CONSOMMATIONS – DOMAINE SH SMART HOME	30
FIGURE 13 - DESCRIPTION QUALITATIVE DES CAS D'USAGE 2A, 2B, 2C ET 2D – DOMAINE SH SMART HOME	31
FIGURE 14 - DESCRIPTION ANALYTIQUE DES CAS D'USAGE 2A, 2B, 2C ET 2D – DOMAINE SH SMART HOME	32
FIGURE 15 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 2A – DOMAINE SH SMART HOME	33
FIGURE 16 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 2B – DOMAINE SH SMART HOME	33
FIGURE 17 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 2C – DOMAINE SH SMART HOME	34
FIGURE 18 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 2D – DOMAINE SH SMART HOME	34
FIGURE 19 – CARTOGRAPHIE DES ACTEURS ET ÉQUIPEMENTS – DOMAINE SVEL CHARGE DES VÉHICULES.....	36
FIGURE 20 – THÉMATIQUES INFLUENÇANT LES FLUX ET LES CONSOMMATIONS – DOMAINE SVEL CHARGE VEL	40
FIGURE 21 - DESCRIPTION QUALITATIVE DES CAS D'USAGE 3A, 3B, 3C ET 3D – DOMAINE SVEL CHARGE VEL	41
FIGURE 22 - DESCRIPTION ANALYTIQUE DES CAS D'USAGES 3A, 3B, 3C ET 3D – DOMAINE SVEL CHARGE VEL	42
FIGURE 23 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 3A – DOMAINE SVEL CHARGE VEL	43
FIGURE 24 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 3B – DOMAINE SVEL CHARGE VEL.....	43
FIGURE 25 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS 3C & 3D – DOMAINE SVEL CHARGE VEL	44
FIGURE 26 - LES MODES 1 2 3 4 DE RECHARGE DES VEL	45
FIGURE 27 – HYPOTHÈSES D'ÉQUIPEMENT POUR LES CAS D'USAGES 4A ET 4B – DOMAINE SRPD RÉSEAU.....	48
FIGURE 28 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 4A	49
FIGURE 29 - CHOIX DE MODÉLISATION POUR LE CAS D'USAGE 4B	50
FIGURE 30 - HYPOTHÈSES DE RÉPARTITION DES MW DU DATACENTER (DC) SELON SA FINALITÉ PRINCIPALE.....	50
FIGURE 31 – HYPOTHÈSES TECHNIQUES POUR LES DATACENTERS.....	51
FIGURE 32 – CHIFFRES CLÉ 2020 & 2030 – CONSOMMATION TOTALE D'ÉLECTRICITÉ PAR DOMAINE.....	58
FIGURE 33 - ANALYSE DES GWh FRANCE 2020 PAR CAS D'USAGES.....	59
FIGURE 34 - ANALYSE DES GWh FRANCE 2030 PAR CAS D'USAGES.....	59
FIGURE 35 - ANALYSE GWh FRANCE 2020 PAR FAMILLE D'OBJETS COMMUNICANTS.....	60
FIGURE 36 - ANALYSE GWh FRANCE 2030 PAR FAMILLE D'OBJETS COMMUNICANTS.....	60
FIGURE 37 - ANALYSE DES GWh FRANCE 2020 PAR NIVEAU.....	61
FIGURE 38 - ANALYSE DES GWh FRANCE 2030 PAR NIVEAU.....	61
FIGURE 39 - ANALYSE 2020 PAR CLIENT, PAR FAMILLE D'OBJETS COMMUNICANTS POUR CHAQUE CAS D'USAGE	62
FIGURE 40 - ANALYSE 2030 PAR CLIENT, PAR FAMILLE D'OBJETS COMMUNICANTS POUR CHAQUE CAS D'USAGE	62
FIGURE 41 - CONSOMMATIONS 2020 PAR CLIENT ET PAR NIVEAUX	63
FIGURE 42 - CONSOMMATIONS 2030 PAR CLIENT ET PAR NIVEAUX	63
FIGURE 43 - CONSOMMATIONS 2020 PAR ACTE DE FLEXIBILITÉ PAR CLIENT	64
FIGURE 44 - CONSOMMATIONS 2030 PAR ACTE DE FLEXIBILITÉ PAR CLIENT	64
FIGURE 45 - CONSOMMATIONS 2020 PAR ACTE DE FLEXIBILITÉ PAR USAGE PILOTÉ	65
FIGURE 46 - CONSOMMATIONS 2030 PAR ACTE DE FLEXIBILITÉ PAR USAGE PILOTÉ	65
FIGURE 47 - CONSOMMATIONS 2020 PAR CAS D'USAGE ET PAR FONCTION	66
FIGURE 48 - CONSOMMATIONS 2030 PAR CAS D'USAGES ET PAR FONCTION.....	66
FIGURE 49 - SENSIBILITÉ DES GWh FRANCE 2020 ET 2030 AU TAUX DE CANNIBALISATION DE LA LOI DE MOORE	67
FIGURE 50 – COÛT ÉNERGÉTIQUE ANNUEL (SM & SH) COMPARÉ AUX GAINS DE MDE ANNUELS 2020	68
FIGURE 51 – COÛT ÉNERGÉTIQUE ANNUEL (SM & SH) COMPARÉ AUX GAINS DE MDE ANNUELS 2030	69
FIGURE 52 - TEMPS DE RETOUR D'INVESTISSEMENT CO2 DU SMART GRID (APPROCHE PAR PROXIES)	70
FIGURE 53 - CONSOMMATIONS SUR SECTEUR, SUR PILE, EN ENERGY HARVESTING	73
FIGURE 54 - LES 3 COMPOSANTES DE L'ÉCOCONCEPTION	74

FIGURE 55 - ALOURDISSEMENT PAR L'ENCAPSULAGE NON RÉFLÉCHI DE MODULES.....	75
FIGURE 56 - CONSOMMATIONS RELATIVES DU CHIP ÉMETTEUR RÉCEPTEUR ET DE L'ENSEMBLE DE L'ENERGY MANAGER OU DE LA GATEWAY ..	76
FIGURE 57 - VOLUMES DE CONSOMMATION AVEC MODULATION DE LA PUISSANCE.	76
FIGURE 58 - QUELQUES STANDARDS DE COMMUNICATION LAN HAN WAN	77
FIGURE 59 - PLUSIEURS STANDARDS : PLUS D'ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS, MAIS SURTOUT PLUS DE TRAITEMENTS.....	77
FIGURE 60 - TECHNOLOGIES SIMLESS POUR LE SEGMENT BAS DÉBIT LONGUE DISTANCE (CERCLE ROUGE)	79

8. Annexe II – Tableaux exhaustifs de résultats

8.1. Résultats 2020

8.2. Résultats 2030

9. Annexe III – Hypothèses détaillées

9.1. Domaine Smart Meter LINKY (SM)

9.2. Domaine Smart Home (SH)

9.3. Domaine Pilotage de la charge de véhicules électriques (SVEL)

9.4. Domaine Observabilité et pilotage des réseaux de distribution (SRPD)

9.5. Actes de flexibilités par an

9.6. Puissance des équipements

9.7. Datacenters

9.8. Communications et standards

9.9. Lois de Moore

---0---

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr