

FEV.
2019

L'IMPACT SPATIAL ET ENERGETIQUE DES *DATA* *CENTERS* SUR LES TERRITOIRES.

Cécile Diguët IAU ÎdF et Fanny Lopez Eavt
Avec Laurent Lefevre

Synthèse du projet ENERNUM

ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :



CITATION DE CE RAPPORT

Cécile Diguët et Fanny Lopez, *L'impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires*, Rapport Ademe, 2019. Synthèse.

En ligne www.ademe.fr/mediatheque

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 le 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.

Ce document est diffusé par l'ADEME

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

Numéro de contrat : 1717C00015

Étude dirigée et réalisée par Cécile DIGUËT et Fanny LOPEZ.

cecile.diguët@iau-idf.fr

fanny.lopez@marnelavallee.archi.fr

Avec l'appui de Laurent LEVÈVRE (Inria, Université de Lyon) et Rémi LOUVENCOURT (Eavt).

Appel à projet de recherche : APR Energie Durable 2017

Ce projet a été cofinancé par l'ADEME, l'Institut de Recherche CDC et la Fondation Tuck.

Coordination technique - ADEME : Solène MARRY

TABLE DES MATIERES

Constats et enjeux.....	4
17 recommandations pour améliorer la trajectoire des data centers	9

Constats et enjeux

Les coulisses de la *smart city*, du *big data* et de l'optimisation numérique s'incarnent de la façon la plus visible, mais pourtant très discrète, par l'emprise grandissante des *data centers* sur les territoires urbains comme ruraux, métropolitains et périphériques. Les perspectives actuelles de croissance du secteur numérique¹, malgré les limites mises en avant (pénuries de terres et de métaux rares et pollutions des industries extractives², insoutenabilité énergétique³), et le manque de fondements solides pour certaines de ces prévisions, obligent à reconsidérer nos usages et leurs impacts sur les territoires et les systèmes énergétiques, vers des pratiques numériques plus sobres et décroissantes.

1- Les data centers pourraient représenter 13% de l'électricité mondiale en 2030

Une étude de 2015 de Anders Andrae et Tomas Edler du centre R&D de Huawei à Stockholm⁴, estimait que le secteur numérique consommait 7% de l'électricité mondiale en 2013⁵, soit la puissance de 210 réacteurs nucléaires pendant un an (pour sa phase de production et de consommation). Les centres de données représentaient eux 2% de l'ensemble mondial, soit 420 TWh ou 60 tranches nucléaires en fonctionnement continu. Leurs prévisions atteignent un maximum de 13% de l'électricité mondiale consommée par les data centers en 2030, et 51% pour le secteur informatique dans sa totalité, soit respectivement 1130 et 4400 réacteurs nucléaires. Le groupe de travail numérique du think-tank « The shift project » a revu récemment à la baisse ce scénario du pire mais estime cependant que le secteur numérique pourrait représenter 25% de l'électricité mondiale en 2025 (5% pour les data centers), sans se prononcer sur 2030. Enfin, pour la France, l'association Négawatt a tenté l'exercice et estime que le numérique consommait 8,5% de l'électricité du pays en 2015 dont 2% pour les data centers (soit 10 Twh/an)⁶. Il n'existe cependant pas d'étude territorialisant les projections mondiales en France aujourd'hui.

2- Plus de numérique ne résoudra pas la crise écologique et climatique.

Les discours des opérateurs de *data centers* et des entreprises du numérique font craindre un emballement énergétique et infrastructurelle que ces projections reflètent en partie, et dont on craint qu'ils deviennent des prophéties auto-réalisatrices. Les 100 milliards d'objets connectés prévus pour 2030 par Cisco ont déjà été revus à la baisse, et des doutes apparaissent quant à la saturation des consommateurs et la croyance en une croissance illimitée, « toutes choses étant égales par ailleurs ». Rappelons, avec Jonathan Koomey, chercheur de l'université de Stanford, et spécialiste mondial des *data centers*, que de tels discours inflationnistes ont pu, par le passé, mener à un surdimensionnement infrastructurel dommageable⁷. Il cite ainsi un surinvestissement massif en fibre optique aux États-Unis, basé sur un chiffre faux, répété sans être vérifié, dans la seconde moitié des années 1990. Ceci fait également écho aux constats du Gimelec qui souligne le surdimensionnement de nombreux *data centers* de colocation en France, remplis en moyenne à 30% mais calibrés pour une croissance constante. Enfin, il faut rappeler qu'à ce stade, le « smart » ne réduira pas la crise climatique et énergétique, au contraire. Aucune étude ne prouve

¹ Par secteur numérique, nous entendons ici : réseaux, data centers et terminaux informatiques

² Guillaume Pitron, *La guerre des métaux rares, la face cachée du numérique*, 2018, éditions Les Liens qui Libèrent

³ Hugues Ferreboeuf, *Lean ICT*, rapport, The shift project, 2018.

⁴ Andrae Anders S. G. et Edler Tomas, 2015, "On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030", *Challenges* 6, 2015, pp. 117-157. Dans cette étude, la consommation électrique mondiale en 2013 est estimée à 21 000 TWh et les projections pour 2030 atteignent 61 000 TWh. On compte une production annuelle de 7 TWh pour un réacteur nucléaire.

⁶ Négawatt, <https://decrypterlenergie.org/la-revolution-numerique-fera-t-elle-exploser-nos-consommations-denergie>

⁷ <http://www.koomey.com/post/179556571967>

en effet que le bilan global se fait à la faveur du numérique⁸. Il aggraverait plutôt davantage les problèmes qu'il prétend résoudre⁹, malgré les discours techno-solutionnistes.

3- Des territoires énergétiques déstabilisés par les data centers

Au-delà des prévisions globales citées ci-dessus, les *data centers* ont des impacts spatiaux très peu documentés jusque-là, d'autant plus qu'on note des concentrations importantes de *data centers* dans certains territoires stratégiques (la Plaine St Denis, la Silicon Valley, Marseille...), en mutations et particulièrement vulnérables à certains effets du changement climatique (inondations, vagues de chaleur, sécheresses, incendies...). Si l'on identifie aujourd'hui des zones de polarisation, les *data centers*, dans leur diversité de tailles et d'usages, sont présents sur de très nombreux types de territoires et questionnent à chaque fois leurs projets énergétiques. Comment en tirer un meilleur profit pour les territoires ?

- Démultiplication et redondance infrastructurelle : des profits à tirer pour les territoires

Les *data centers*, quel que soit leur type, possèdent des infrastructures dédoublées en cas de panne : une deuxième alimentation électrique, des batteries et des générateurs de secours au fioul pour la plupart. Cette exigence de redondance pourrait devenir une ressource partagée pour les territoires d'accueil, comme le fait Portland General Electric (Oregon), avec une smart grid connectant 85 clients (dont 5 data centers) possédant des générateurs de secours (121MW au total). La compagnie électrique peut les mobiliser en cas de panne sur son réseau. En échange, elle gère l'entretien et achète le fioul pour tous ces générateurs. Pour autant, il ne faut pas occulter les problèmes de pollution de l'air liés à l'utilisation des générateurs au fioul (qui pourrait être remplacé par du gaz ou de la biomasse).

- Les Big Tech, de nouveaux acteurs énergétiques

Aux États-Unis, certains grands acteurs du numérique sont des accélérateurs de l'usage des énergies renouvelables, en particulier solaire et éolien. Cela leur permet d'assurer une croissance continue de leurs services, grâce à des prix stables et une souveraineté énergétique affirmée aussi bien par des investissements massifs de leur part, que par d'intensives négociations avec les opérateurs énergétiques traditionnels, bousculés par ces demandes rapides et massives de puissance. Facebook et Apple ont ainsi co-investi avec Pacific Corp, opérateur énergétique en Oregon et Californie du Nord, pour créer deux fermes solaires de 15 MW chacune, tout près de leurs *data centers* de Prineville (Oregon). Certains acteurs du numérique ont également rejoint la Renewable Buyers Alliance (RBA) pour négocier collectivement des contrats énergétiques d'EnR. S'ils soutiennent ainsi le développement des EnR, ils ne remettent pas en cause les développements énergétiques de grande échelle. Le secteur numérique aux États-Unis s'inscrit par ailleurs dans une géographie particulière, où trois réseaux électriques fonctionnent de façon quasi autonome (Est, Ouest et Texas) avec des fragilités et une fiabilité moindre qu'en Europe. Cela explique en partie l'appétence des grands acteurs du numérique pour un approvisionnement plus local en EnR, dont ils maîtrisent éventuellement une partie de la ressource. Apple a ainsi créé la filiale Apple Energy, accréditée par la Commission Fédérale de l'Énergie (FERC) et tous les grands du numérique ont développé des compétences très pointues en la matière. Certains portent également la volonté d'autonomie plus loin avec des projets de développement de micro-réseaux comme Microsoft, dans le Wyoming par exemple.

Aucun d'entre eux ne porte cependant de discours sur la sobriété énergétique et numérique nécessaire pour rester sous la perspective d'une augmentation des températures planétaires de 1,5° que pour l'instant rien ne permet de sérieusement d'envisager.

⁸ Deloitte Développement Durable, EcoInfo, Futuribles et le CRÉDOC, *Potentiel de contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux : état des lieux et enjeux pour la prospective*, Étude ADEME 2016.

⁹ Aujourd'hui, le secteur numérique augmente ses émissions de CO2 de 8% par an (alors qu'il devrait les réduire de 5% par an⁹ pour rester sous les 1,5°C d'augmentation des températures planétaires), et pourrait en émettre autant que le secteur automobile en 2025. Source : *Lean ICT*, Rapport, The shift project.

- Des mutualisations difficiles

La chaleur fatale rejetée par les *data centers* constitue une source d'énergie récupérable pour d'autres usages. Leur température moyenne (40 à 50°C) n'est pas un frein pour les réseaux de chaleur urbain les plus récents, et des systèmes de pompes peuvent rehausser les températures pour les réseaux plus anciens.

Pourtant, très peu de projets ont abouti à ce stade, en France ou dans le monde. On peut citer le *data center* de BNP Paribas à Bailly-Romainvilliers (77) qui chauffe le centre nautique voisin, ou celui de Céleste à Noisy-Champs qui chauffe ses propres bureaux, tandis que des systèmes de petite échelle réalisant du calcul à haute performance pour le secteur de la 3D ou du jeu vidéo, sont couplés à des usages résidentiels (les radiateurs de Carnot dans les logements) ou d'usages publics comme les chaudières numériques de Stimergy, qui chauffent une partie de l'eau de la piscine de la Butte-aux-Cailles (Paris 13^{ème}) par exemple. Malgré les travaux prospectifs de la DRIEE, dans les travaux préparatoires au SRCAE en 2012 et de l'Alec Plaine Commune en 2014, la récupération de chaleur reste très rare. Les freins sont de deux ordres : économiques d'abord. En effet, les modèles de rentabilité économique, les intérêts et les temporalités de projets divergent entre les promoteurs de *data centers* qui engagent des retours sur investissements sur des périodes très courtes (entre 2 et 5 ans) alors que la contractualisation pour les réseaux de chaleur, contraint à des engagements sur des durées de 25 à 30 ans. C'est ensuite un frein technique qui limite les initiatives. En effet, il est préférable, pour un opérateur, d'envisager la récupération de chaleur au moment de la construction du *data center* car l'intervention et les travaux sur une installation existante pourraient perturber son fonctionnement et, selon eux, ont un coût souvent trop élevé. La distance raccordable et la température nécessaire doivent être finement étudiées (les réseaux de chaleur en Île-de-France ont des températures généralement comprises entre 60° et 110°C, les *data centers* plutôt 40/50°C). Pour chauffer des bâtiments neufs, il faut également évaluer la pertinence du raccordement et les coûts car, avec les standards de RT 2012 (et les prochains à venir), les besoins de température sont parfois moins élevés. Le développement de la récupération de chaleur reste soumis à une volonté politique qui associe planification urbaine et énergétique. A Stockholm, un exemple particulièrement intéressant a retenu notre attention : le programme « data center parks » développé depuis 2016 qui allie stratégie énergétique, numérique et foncière. Sur du foncier appartenant à la ville, desservi par le réseau de chaud et de froid de la compagnie municipale Exergi, par la fibre de l'entreprise également municipale Stokab et par des puissances électriques importantes et bon marché (Ellevio), il est proposé un bail longue durée à des opérateurs de *data centers* (comme Multigrad et Interxion) pour s'installer, en leur proposant le refroidissement gratuit contre leur chaleur fatale. La ville veut en effet éliminer les 10% encore fossiles de ses sources d'énergie consommées, notamment en récupérant la chaleur émanant des serveurs dans les *data centers*.

- Des pressions sur les systèmes électriques

En France, les très fortes puissances électriques nécessaires aux *data centers* sont un sujet délicat et relativement opaque : Enedis ne peut partager de données précises publiquement sur les consommations réelles, étant donné le devoir de discrétion qu'elle assure envers ses clients. Les *data centers* tentent de capter d'importantes puissances pour freiner la concurrence. Ils demandent en général une puissance plus forte que celle qu'ils souscriront finalement, mais cela bloquera un certain nombre de MW pendant des mois, le temps que leur demande remonte la file d'attente. Et comme précisé plus haut, plusieurs années passeront ainsi, avant que le *data center* ne consomme véritablement la puissance qu'il a souscrite. Il y a donc une mobilisation induite de puissance électrique pouvant pénaliser d'autres usages dans un territoire, mobilisation qui pousse par ailleurs à des nouveaux investissements sur les infrastructures de transport et de distribution, comme des postes sources.

Aux États-Unis, on note également une forte pression des *Big Tech* et des opérateurs de colocation pour que les opérateurs de transport électrique investissent dans de nouvelles infrastructures, alors que les États promeuvent de plus en plus les « non wire alternatives » c'est-à-dire une meilleure gestion de la demande, et le développement de micro-réseaux. Le cas de Prineville en est ici aussi une illustration : Pacific Corp, Apple et Facebook exigent ainsi que la Bonneville Power Administration finance une nouvelle ligne THT au cœur de l'Oregon.

Dans le marché américain, on observe une situation de concurrence très forte entre les acteurs du numérique et les acteurs historiques de l'électricité. Les GAFAM développent de plus en plus leur autonomie énergétique via des infrastructures de production sur site ou à proximité. Facebook et Microsoft par exemple, sont fortement engagés dans le développement de micro-réseaux à l'exemple du projet de parc de data center de Microsoft dans le Colorado qui produira 200 MW sur site.

4- Secteur public et infrastructures numériques, un lien à renforcer

Le secteur public (Etat, collectivités locales, établissements publics, universités, hôpitaux...) dispose de capacités de stockage en propre, et s'appuie également sur des acteurs privés du cloud et de l'hébergement. Le secteur de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, sur lequel le rapport propose un focus, illustre une volonté de rationalisation de leurs installations de traitement et de stockage de données. Il souligne également les difficultés rencontrées pour mutualiser ces capacités entre acteurs publics, malgré les besoins et la pertinence du projet. Cela s'explique en partie par la méconnaissance du secteur numérique par les décideurs, les complexités d'une gouvernance mutualisée et par certains freins juridiques.

Alors que le secteur public a joué un rôle majeur dans le développement des infrastructures électriques, ferroviaires, maritimes, ou hydrauliques, et que de nombreuses collectivités re-municipalisent le service public de l'eau (la ville de Paris par exemple) ou dispose d'un acteur public pour le gaz et l'électricité (GEG à Grenoble), la question de l'implication du secteur public dans des data centers écologiquement exemplaires, justement territorialisés (en fonction des usages) et efficacement mutualisés peut légitimement se poser.

5- Les data centers confortent les hiérarchies urbaines en place, le caractère servant des territoires et favorise le mitage dans le périurbain et le rural

Le système technique numérique a suivi les réseaux précédents dans ses tracés et implantations : la fibre court le long des réseaux urbains, routiers et ferroviaires, et les data centers s'installent à proximité. Loin de l'idée que le numérique allait abolir les distances et bousculer les hiérarchies urbaines en place, à l'inverse les infrastructures numériques confortent les géographies actuelles.

- Les grandes métropoles mondiales comme Paris, Londres, New York ou Los Angeles sont les plaques tournantes d'internet, et on trouve dans leurs hyper-centres des bâtiments numériques sur-équipés, à la fois *data center* et point d'échange internet majeur. Indispensables à certaines activités économiques pour lesquelles la latence doit être la plus faible possible, ils fonctionnent en complémentarité directe avec leurs anciennes zones de services urbains ou d'industries des 19^{ème} et 20^{ème} siècles : Plaine Commune pour Paris, le New Jersey pour New York, ou encore Santa Clara et San José pour San Francisco et la Silicon Valley.
- Ces nouvelles zones d'activités numériques connaissent une concentration croissante des *data centers* car chaque nouvel arrivant améliore la connectivité de l'ensemble et leur proximité réduit les coûts de raccordement en fibre entre eux. Cette polarisation s'accompagne d'une pression foncière et environnementale croissante pour ces territoires, aggravant leurs fragilités face notamment aux manifestations climatiques extrêmes actuelles et à venir.
- Enfin, les acteurs les plus puissants du numérique, les *Big Tech*, déploient des *data centers* dans les territoires ruraux et périurbains : l'Oregon, l'Iowa, en Irlande, en Suède ou aux Pays Bas par exemple. Face à des collectivités ou à des États affaiblis, ces acteurs posent leurs conditions dans une négociation asymétrique qui pousse certains territoires à sur-calibrer des infrastructures énergétiques, hydrauliques et viaires pour pouvoir accueillir quelques dizaines, ou centaines d'emploi si l'on inclut les phases de construction, mais

aussi à opérer un dumping fiscal dommageable. Ce mitage spatial va par ailleurs à l'encontre de la nécessaire protection des sols contre l'artificialisation, pourtant indispensable pour rester sous des températures acceptables dans le futur.

6- Les data centers, un nouveau programme immobilier, peu d'architecture

Depuis le développement des *data centers* au début des années 1990, l'industrie est passée d'une phase de transformation de bâtiment à une phase de construction de bâtiments dédiés, en série, avec cependant des différences selon les types de territoires.

- Dans les grandes métropoles, ce sont souvent les anciens centraux téléphoniques qui ont été transformés, comme à New York (anciens sièges de ITT, AT&T, Western Union...), les centraux postaux (Coresite à Los Angeles), mais aussi les bâtiments industriels à structure métallique (pour la presse et le textile dans le Sentier à Paris, une ancienne usine de biscuits à New York, une ancienne usine automobile à Courbevoie). Une nouvelle dynamique de transformation pourrait se développer dans les années à venir, comme l'illustre par exemple le partenariat entre l'entreprise Qarnot, connue pour ses radiateurs numériques, et la chaîne de grande distribution Casino qui vise à transformer une partie de son patrimoine commercial en *data center*.
- Dans les Zones d'Activités Numériques, si la dynamique a aussi commencé par la transformation (Equinix dans les EMGP à Aubervilliers ; Infomart dans une ancienne usine électronique à Hillsboro, près de Portland), très rapidement dans les années 2000, des bâtiments dédiés ont été construits de façon sérielle, avec comme principales préoccupations le caractère fonctionnel et sécurisé de l'ensemble. Ces équipements numériques sont devenus des produits immobiliers d'investissement. De nombreux opérateurs de *data centers* sont d'ailleurs des fonds d'investissement immobilier (Real Estate Investment Trust (REIT) comme Digital Realty ou Equinix).
- A l'inverse des gares pour le réseau ferroviaire ou des usines de production pour le réseau électrique, très peu de latitude a été donnée aux architectes sur ces programmes, qui restent donc largement au format « boîte à chaussures ». A ce stade, aucune ambition d'en faire les nouveaux signaux de la société numérique n'a été portée. Quelques exceptions sont cependant à noter : en France, les réalisations de l'agence Enia spécialisée dans le domaine ; aux Etats-Unis, c'est l'opérateur de *data center* Coresite à Santa Clara, les *data centers* d'entreprises comme Adobe à Hillsboro, conçu par l'agence Gensler, ou encore le *data center* d'Apple à Prineville, qui y perpétue son goût du design.

7- Les tendances du monde des data centers : croissance, interdépendances, centralisation

La première tendance forte est celle de la croissance des *data centers* dans les trois types de territoires identifiés :

- La croissance du *edge* et du *cloud* viendra nourrir le développement de capacités de stockage et de traitement de données dans les hyper-centres métropolitains.
- Les dynamiques de concentration et de polarisation vont se poursuivre dans les Zones d'Activités Numériques. Le cluster *data center* s'étend ainsi de Santa Clara vers San José dans la Silicon Valley, tandis qu'il se déploie au Nord, vers La Courneuve à Plaine Commune.
- Les Big Tech, états-uniens et chinois, poursuivent leur développement et la construction de *data centers* hyperscales, de préférence dans des territoires ruraux et périurbains.

La seconde tendance est l'interdépendance croissante du système technique *data center*. Les configurations informatiques (*edge*, *cloud* en particulier) s'accompagnent d'implantations

spatiales complémentaires sur les territoires entre rural/périurbain (très grands *data centers*) et urbain (colocation et relais *edge*).

- Les entreprises de *cloud* ont de plus en plus besoin des *data centers* de colocation, par leur localisation métropolitaine et donc une faible latence pour les internautes, mais aussi leurs capacités de croissance rapide.
- Le *edge computing* nécessaire à l'internet des objets (IoT) fera des micro *data centers* des relais entre les *data centers* « cœur » et les objets, accroissant les interdépendances fonctionnelles entre eux.

Les *data centers* vont donc fonctionner encore plus en réseau entre eux, et la croissance des uns entrainera celle des autres : on voit donc la consolidation d'un macro-système numérique, qui semble de moins en moins résilient.

La troisième grande tendance est celle de la centralisation. La dimension macro-systémique centralisée prend le pas sur le système distribué et micro-systémique qui était à l'origine de l'histoire d'internet. Cette tendance, déjà amorcée avec l'avènement du web aux débuts des années 1990, et les besoins en cyber-sécurité, s'est affirmée avec ensuite les volontés de contrôle gouvernemental sur l'information dans de très nombreux pays, de mettre fin à la neutralité du net par les acteurs télécoms, et enfin, par le caractère monopolistique des Big Tech (Google, Facebook, Amazon, Alibaba...) qui contrôlent les principaux services du net et les données de milliards de personnes et entreprises. Malgré un grand nombre d'initiative autour d'un internet distribué et de systèmes de stockage de plus petite échelle et consommateur de moins d'énergie, l'architecture d'internet se centralise de plus en plus, l'intelligence se situant dans les *clouds* et les *data centers*, tandis que les terminaux informatiques sont de plus en plus bridés et faibles en logiciels aussi bien qu'en mémoire. Les internautes deviennent ainsi très dépendants des *data centers*, de leur connectivité, sans avoir aucunement la main dessus.

17 recommandations pour améliorer la trajectoire des data centers

Les autorités publiques n'ont que très peu de pouvoir sur le marché des *data centers* et plus largement sur le développement des infrastructures numériques. Leur rôle est toutefois central pour aller vers un numérique plus sobre, pour mieux l'intégrer dans nos paysages et territoires, pour mieux les réguler et les orienter vers de bonnes pratiques énergétiques et environnementales.

Nous proposons ainsi 3 types de recommandations (dont le détail est disponible dans le rapport complet), ainsi que des études complémentaires à mener.

1- Recommandations gouvernance et acteurs

- RECO 1 : Créer un forum d'échanges « territoires, énergie, numérique »
- RECO 2 : Enrichir l'écosystème des FAI pour la résilience numérique et sociale des territoires
- RECO 3 : Lancer un appel à projet pour des territoires d'expérimentation numériques et écologiques
- RECO 4 : Créer un service public du numérique et des *data centers* publics

2- Recommandations urbanisme et environnement

- RECO 5 : Favoriser au maximum la transformation de bâtiments pour l'installation de *data centers*
- RECO 6 : Plus d'architecture et plus d'hybridation programmatique
- RECO 7 : Intégrer la question *data centers* dans les documents de planification spatiale et les stratégies territoriales
- RECO 8 : Anticiper l'implantation des *data centers* hyperscale et du *edge computing*
- RECO 9 : Mesurer et limiter l'impact environnemental du « smart »
- RECO 10 : Intégrer l'apprentissage et la connaissance des infrastructures numériques dans la politique de développement des tiers lieux et la revitalisation des centre-bourgs

3- Recommandations énergie

- RECO 11 : Sobriété : la soutenir, la quantifier et l'évaluer
- RECO 12 : Concilier planification énergétique et planification urbaine
- RECO 13 : Favoriser la récupération de chaleur et l'accompagner à l'échelon territorial
- RECO 14 : Enedis et la file d'attente : en finir avec la sur-réservation
- RECO 15 : Développer les énergies renouvelables, les productions locales et les micro-réseaux interconnectés sur les sites de *data centers*, en lien avec le réseau traditionnel et les sites voisins
- RECO 16 : Mutualiser par l'interconnexion les infrastructures énergétiques dormantes
- RECO 17 : Promouvoir la diversité infrastructurelle et une approche moins centralisée

4- Etudes complémentaires à mener

Nous proposons également de poursuivre les recherches sur les thèmes suivants :

- Evaluer les risques climatiques spécifiques pour les infrastructures numériques en France
- Etudier la faisabilité d'un opérateur intermédiaire sur la récupération de chaleur fatale des *data centers*
- Evaluer l'impact écologique des infrastructures associatives, décentralisée, distribuées et pair-à-pair
- Approfondir les potentiels du développement de la médiation infrastructurelle dans les tiers lieux en France, comme levier d'emploi et de résilience locale
- Etude complémentaire sur les enjeux d'intégration urbaine, énergétique et territoriale des *data centers* hyperscale et des micro *data-centers* (edge)
- Simuler l'impact des projets « smart » sur l'environnement : outils à développer pour des revues écologiques de projets

