

SOMMAIRE

Introduction.....	7
1. Le mode de financement des écoquartiers.....	8
2. La gestion des déchets : la collecte pneumatique	8
2.1. Fonctionnement du système.....	8
2.2. Des coûts d'installation et d'exploitation difficilement acceptables	10
2.3. Conclusion	11
3. Energie et réseaux intelligents.....	11
3.1. Bo01, une autonomie énergétique	11
3.1.1. La combinaison des sources de productions énergétique	11
3.1.2. Des performances énergétiques inférieures aux prévisions	13
3.1.3. Les surcoûts financiers conduisant à l'absence de mixité sociale.....	14
3.2. L'écoquartier de Clichy Batignolles, analyse des performances énergétiques	15
3.2.1. La géothermie, source principale de la production énergétique	15
3.2.2. Les réseaux intelligents, outils d'optimisation des systèmes énergétique	17
3.3. Mettre à profit les réseaux intelligents pour changer les comportements de consommation individuels : <i>Smart Community</i> de Kitakyūshū.....	19
3.4. Conclusion	20
4. La mobilité au sein des écoquartiers	21
4.1. L'utilisation de l'énergie produite localement comme carburant	21
4.2. L'incitation et la dissuasion financière	22
4.3. Le développement des modes de transports propres et collectifs.....	22
4.4. L'organisation spatiale en « quartier à courte distances »	23
4.5. Conclusion	23
5. Le cycle de l'eau.....	24
5.1. La gestion des eaux usées encore peu intégrée aux écoquartiers.....	24
5.2. Une gestion des eaux pluviales favorisant l'infiltration naturelle.....	25
5.2.1. De Bonne, une combinaison de canaux et de bassins	25

5.2.2.	Bottière-Chénaie, une gestion zéro tuyaux.....	26
5.2.3.	Clichy Batignolles, réduction des surfaces imperméables/réutilisation des eaux pour l'irrigation	27
5.3.	L'eau, un élément paysager	28
5.4.	Conclusion	28
6.	Préservation et développement de la biodiversité	29
6.1.	Anticiper les mesures de protection	29
6.2.	Des aménagements au service de la continuité écologique	29
6.3.	Une gestion biologique.....	30
6.4.	Le paysage	30
6.5.	Conclusion	31
7.	Conclusion générale	32
8.	Bibliographie tomes 1 & 2	34

Introduction

Les villes occupent aujourd'hui un rôle central dans la transition écologique. Les écocités et écoquartiers sont les terrains d'expérimentations d'actions pour améliorer la gestion des déchets, la production et consommation énergétique, la mobilité, la gestion de l'eau et le développement de la biodiversité. L'objectif de cette étude est de comprendre la conception et le fonctionnement des écocités. Nous déterminerons également si les actions mises en place répondent aux objectifs de durabilité environnementale, économique et sociale.

Pour ce faire, notre étude portera sur plusieurs écoquartiers français, européens et asiatiques représentés sur les cartes ci-dessous. Nous analyserons chaque champ d'action en nous appuyant sur les études de cas citées. Certains procédés intéressants feront l'objet d'approfondissement plus particuliers.

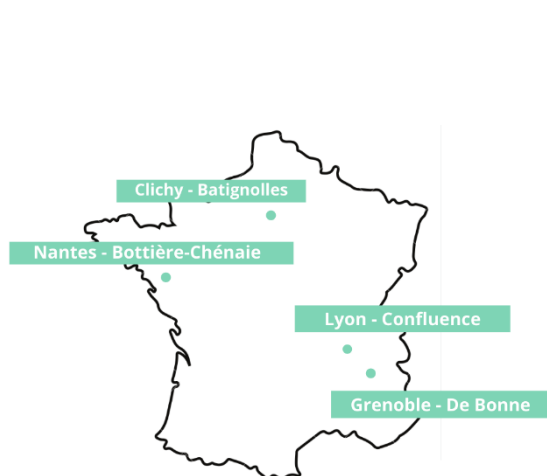


Figure 1 : Carte des études de cas française. Source : réalisation personnelle

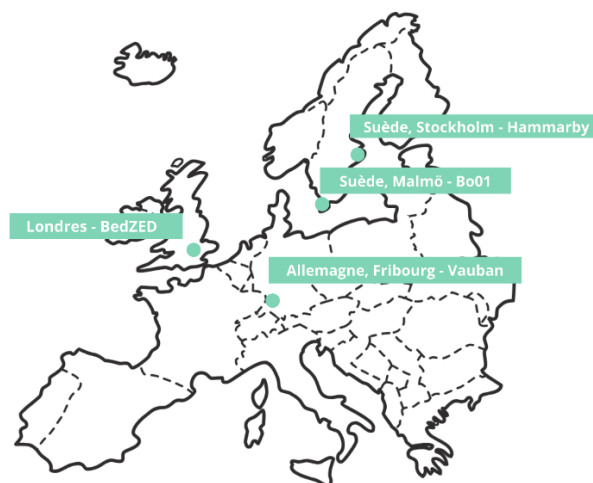


Figure 2 : Carte des études de cas européennes. Source : réalisation personnelle

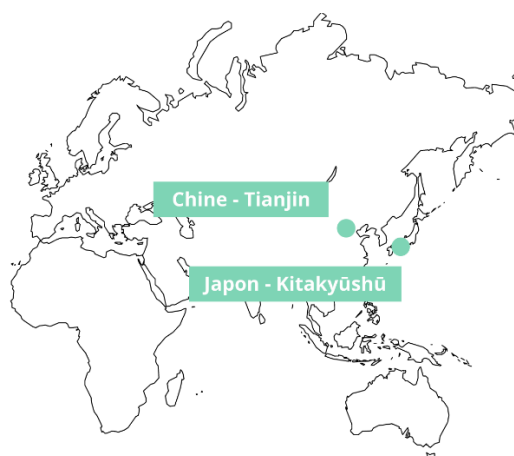


Figure 3 : Carte des études de cas asiatiques. Source : réalisation personnelle

1. Le mode de financement des écoquartiers

Avant toute chose il convient de préciser comment les projets d'écoquartiers sont financés et comment ils sont rentabilisés. Ces précisions permettront une meilleure compréhension du rapport dans lequel nous discutons de l'acceptabilité économique des projets. La figure 4 résume les dépenses et les recettes des concepteurs d'écoquartiers français. Ce principe est propre à la France mais il nous permet d'avoir une vision globale du financement, le principe différant peu pour les autres pays étudiés¹.

Dépenses

Acquisition foncière : achat des terrains, démolition, dépollution, frais de notaire, honoraire du géomètre, impôts fonciers.

Etudes et honoraires techniques : études et honoraires de la maîtrise d'œuvre

Travaux : aménagement des infrastructures (voiries et réseaux divers) et construction des superstructures publiques (école, médiathèque, etc.), assurances.

Communication : réalisation d'un plan de communication et de sensibilisation au projet

Rémunération : rémunération des frais de l'aménageur, de ses prestataires (gestion) et prise d'une marge (liquidité financière).

Frais financiers : rémunération des banques prêteuses à taux actuariel

Recettes

Cessions des charges foncières : vente des droits à construire aux promoteurs privés et bailleurs sociaux et taxe de participation des constructeurs aux équipements publics.

Subventions des acteurs publics locaux : fonds propres, apports de capitaux, participation stratégique au projet (équipement public, acquisition foncière, etc.)

Figure 4 : Mode de financement des écoquartiers français, source (Renauld, 2012)

Quant aux promoteurs privés qui achètent les parcelles pour construire les bâtiments la rentabilité de l'opération repose sur la rapidité de commercialisation. Plus la vente est rapide, moins la durée d'emprunt est longue, moins le poste de frais financier est important (Renauld, 2012).

2. La gestion des déchets : la collecte pneumatique

Dans cette partie nous étudierons le système de collecte pneumatique des déchets mis en place dans l'écoquartier de Clichy Batignolles en France et dans l'écocité de Tianjin en Chine. Le système de collecte pneumatique souterrain inventé en Suède par le groupe ENVAC est très répandu dans les pays nordiques mais très peu en France. Depuis les années 2010, plusieurs projets ont été lancés en Ile de France soit dans le cas de la création de quartier comme Clichy-Batignolles soit dans le cadre du programme de rénovation urbaine de l'ANRU. L'étude des cas de Tianjin et de Clichy-Batignolles nous permettra de déterminer les conditions d'application du système, son efficacité et sa rentabilité financière.

2.1. Fonctionnement du système

Dans l'écoquartier français des bornes ont été installées dans les immeubles pour permettre aux habitants d'y jeter leurs déchets, il y a une borne verte pour les déchets ménagers et une borne jaune pour les emballages recyclables. Pour les professionnels qui auraient besoin de jeter des sacs de

¹ On notera néanmoins que l'Etat en Chine est propriétaire des terres depuis la collectivisation en 1950 il n'y a donc pas de frais d'acquisition de terrain (Thibault, 2015)

plus grandes tailles un système de badge permet d'ouvrir la trappe. Une fois la borne pleine le système enclenche une collecte automatisée, les déchets circulent alors à 70km.h dans un réseau souterrain de 5km jusqu'au terminal de collecte. Les déchets ménagers et recyclables sont collectés séparément : ils circulent dans le même réseau mais pas en même temps. Une fois arrivé au terminal de collecte il y a une vanne d'aiguillage qui permet d'orienter les déchets ménagers et recyclables dans deux conduits différents. Les déchets arrivent alors dans deux machines (une pour chacun des deux types de déchets) appelées cyclones qui dépressurisent l'air et font tomber les déchets dans des compacteurs situés en dessous. L'air qui a permis de convoyer les déchets est dirigé vers une armoire filtrante équipée de cinq filtres à air permettant de retenir les particules fines et de neutraliser les odeurs avant son rejet dans l'atmosphère (Construction21 France, 2011).

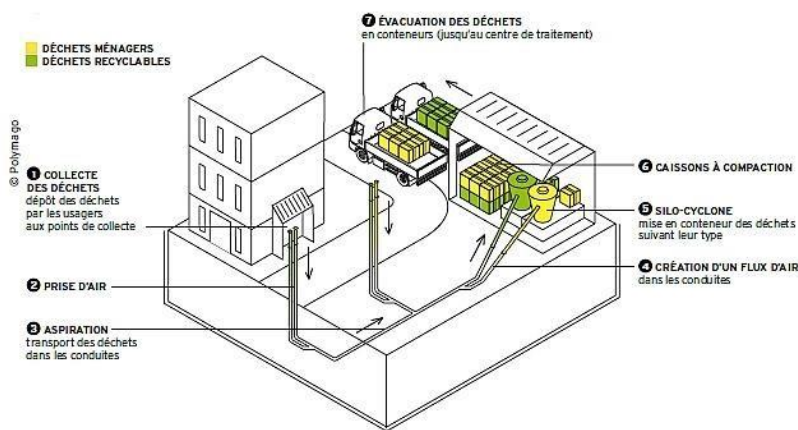


Figure 5 : Schéma du système de collecte pneumatique ENVAC, © Pymago

Lorsque le conteneur est plein le gestionnaire de l'exploitation Véolia Propreté commande son enlèvement. Un camion achemine alors les déchets vers le centre de traitement. Il y a deux rotations par jour pour l'enlèvement des déchets, réduisant ainsi le nombre de kilomètres parcourus en camion par rapport au mode de collecte traditionnel. De plus, des capteurs ont été placés dans les bacs de collecte individuels pour récupérer des données sur le volume, la densité, le nombre et le flux de déchets. Ces données sont transmises à des algorithmes adaptatifs qui permettent d'optimiser le système et notamment la fréquence à laquelle le conteneur doit être enlevé par camion. L'objectif de ces algorithmes adaptatifs est de réduire la consommation d'énergie du système et l'entretien.

Le système de collecte pneumatique est en place depuis 2011 et dessert les 2600 logements de l'écoquartier. Dans le cas de Clichy Batignolles la collecte pneumatique comporte plusieurs avantages par rapport au système de collecte automobile traditionnel (Construction21 France, 2011) :

- ▶ Une réduction de 42% des émissions de gaz à effet de serre
- ▶ Une réduction de 98% des émissions de monoxyde de carbone
- ▶ Une réduction de 86% des émissions oxydes d'azote
- ▶ Une réduction de 90% des émissions de particules fines

Le système induit une consommation électrique supplémentaire mais qui est compensée par la production d'énergie photovoltaïque.

Ce système de collecte pneumatique est également utilisé dans l'écocité de Tianjin en Chine, il a été installé par le même constructeur suédois ENVAC en 2012. Le principe est donc identique mais à une échelle bien plus grande : le réseau de canalisations s'étend sur 10,5 kilomètres et avec une capacité de 87 tonnes de déchets collectés par jour pour une ville en capacité d'accueillir 350 000 personnes (ENVAC, 2019). Le système dessert 32 condominiums et 20 bâtiments publics. En Chine

c'est le premier réseau à séparer les déchets à la source, cela permettrait de recycler 60% des déchets de l'écocité.

La collecte pneumatique permet donc de supprimer les nuisances sonores, visuelles et olfactives causées par le stockage et la collecte des containers. Elle permet aussi de réduire la pollution liée à la circulation des camions-bennes. Cet aménagement présente donc de grands avantages pour la qualité de vie pour les riverains. Cependant, pour qu'un aménagement soit durable il doit être à un coût économiquement acceptable, c'est pourquoi nous nous intéresserons aux coûts d'installation et de fonctionnement de ce système.

2.2. Des coûts d'installation et d'exploitation difficilement acceptables

A Clichy Batignolles le chantier s'élevait à 12 millions d'euros et l'investissement sur 12 ans était de 20 millions d'euros. Les coûts de fonctionnement annuels atteindront à terme 600 000 euros pour 3 500 tonnes de déchets collectés et lorsque le système sera à pleine capacité 700 000 euros pour 7 000 tonnes de déchets. Le système de collecte pneumatique est globalement bien plus coûteux que le système traditionnel : actuellement il fonctionne à 50% de sa capacité et le coût global (investissement et fonctionnement) sur 30 ans est supérieur de 155% à la collecte automobile. Et même à pleine capacité le coût global serait supérieur de 65% soit 234 euros par tonne de déchets au lieu de 142 euros pour la collecte automobile (Ville, 2016).

Dans le cas de Tianjin et de Clichy Batignolles la ville et le quartier ont été créés ex nihilo, le système a donc été anticipé et inclus dans le projet global. Mais, on peut se demander si le système est facilement intégrable dans des quartiers ou villes déjà existantes. C'est le cas à Vitry-sur-Seine, une commune au sud de Paris, le marché avait été attribué en 2011 mais le projet n'a finalement vu le jour qu'en 2016. Il a été retardé par « la découverte de terres polluées, des dalles de béton d'anciennes constructions qu'il a fallu retirer, la présence d'un réseau non référencé en sous-sol à déplacer » (Environnement Magazine, 2016). A cela s'ajoute des problématiques d'achat du foncier et de nouvelles contraintes réglementaires empêchant la construction du terminal enterré sous l'habitat. Tous ces contretemps ont entraîné un surcoût : la tranche ferme du projet est passée de 26 millions à 32 millions.

La Suède a pourtant réussi à démocratiser ce système construit par ENVAC, on peut se demander quels sont les facteurs de réussite suédois qui font défaut à France ?

En effet on retrouve ce système de collecte pneumatique dans plusieurs écoquartiers suédois tels que Bo01 ou encore Hammarby, installés au début des années 2000. D'après *l'Etude de benchmark de projets internationaux de collecte pneumatique* (ADME, Trebesses, Whitwham, Ekstrand, & Millers-Dalsjö, 2017) les modèles de financement du projet sont très différents selon les pays. En France, les systèmes de collecte pneumatique sont la propriété des collectivités qui financent les coûts d'investissement et d'exploitation. Ce financement se fait sur la base de la taxe sur l'enlèvement des ordures ménagères ou un dispositif similaire. Tandis qu'en Suède, les coûts d'investissement sont financés par les propriétaires des immeubles connectés : ils payent des droits de connexion qui sont calculés pour couvrir entièrement le coût d'installation du système. Dans le cas où le système doit être installé dans un nouveau quartier et que le projet est porté par la municipalité, celle-ci avance une partie des coûts d'investissement le temps que les logements soient construits et habités. Les coûts de fonctionnement sont ensuite assurés par les usagers qui payent une redevance annuelle (proportionnelle à la surface du logement et répercutée dans les charges locatives) (ADME, Trebesses, Whitwham, Ekstrand, & Millers-Dalsjö, 2017, p34). Dans d'autres pays nordiques les projets sont souvent financés par le développeur ou promoteur immobilier du nouveau quartier, il assure alors le

financement des coûts d'installation qu'il répercute sur le prix de vente des logements. Les coûts de fonctionnement sont comme dans les cas précédents financés par une taxe d'enlèvement des ordures ménagères.

2.3. Conclusion

Pour conclure, le modèle de financement français est bien différent de ceux des pays nordiques, les coûts du projet reposant entièrement sur le financement des collectivités. Le modèle de financement est donc un frein très important au développement de cette solution en France, un financement privé pourrait changer cela. En revanche dans le cas où le système desservirait des logements sociaux comme à Clichy Batignolles le modèle de financement reposant sur un impôt payé par les habitants paraît peu envisageable. En l'état actuel, la collecte pneumatique des déchets n'est pas une solution économiquement durable ni applicable dans n'importe quel contexte urbain. Elle comporte des avantages en termes de qualité de vie et de réduction de la pollution mais les coûts d'installation et de fonctionnement sont bien plus élevés que le mode de collecte traditionnel. L'ADME² a d'ailleurs arrêté de financer des projets de collecte pneumatique sur le territoire français et actuellement aucun autre projet n'est en cours (Environnement Magazine, 2016).

3. Energie et réseaux intelligents

L'énergie est une composante majeure des écoquartiers, d'une part car elle concentre la majorité des innovations techniques et technologies, et d'autre part car la durabilité environnementale du quartier repose sur sa production et consommation en énergies renouvelables. Dans cette partie nous étudierons plusieurs systèmes de production d'énergie, leur articulation, leur efficacité réelle et le rôle des réseaux intelligents (smart grid). Pour ce faire nous analyserons les écoquartiers Bo01 en Suède, Clichy Batignolles, et Kitakyūshū au Japon.

3.1. Bo01, une autonomie énergétique

3.1.1. La combinaison des sources de productions énergétique

L'écoquartier Bo01 situé sur le port Ouest de Malmö est une ancienne friche industrielle portuaire de 22ha. Il a été construit dans le cadre de l'Exposition Européenne de l'habitat en 2001, exposition dédiée à la ville du futur. En 2018 l'écoquartier comptait 10 milles habitants et 800 logements. Les objectifs phares du quartier suédois étaient d'une part de subvenir à 100% des besoins énergétiques du quartier (hors transport) avec une production d'énergie renouvelable locale, et d'autre part d'optimiser le recyclage des déchets. Ces deux objectifs sont directement liés puisque le recyclage des déchets est une des sources de production d'énergie du quartier, nous expliquerons plus tard ce procédé.

La source principale de production électrique du quartier est l'**éolien**. Située à 3km du quartier, sur la côte (favorise la prise au vent), une éolienne d'une puissance de 2MW a été installée, sa production annuelle est estimée à 6,3 millions d kWh. Cette éolienne alimente les ménages, les pompes à chaleur et a station de recharge pour véhicules électriques.

Pour le chauffage et la climatisation les besoins sont assurés grâce à l'exploitation **géothermique** de l'aquifère. Le principe du **stockage d'énergie thermique** dans les eaux souterraines

² Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

est d'emmagasiner une énergie disponible non utilisée dans l'immédiat pour l'utiliser plus tard en période de demande (Editions T.I., Techniques de l'Ingénieur, 2010). Cette technique permet de répondre au problème de stockage de la chaleur. Dans l'écoquartier l'été, la chaleur est injectée et stockée dans l'eau en sous-sol, puis cette chaleur est utilisée en hiver en période de chauffage, limitant ainsi le recours au réseau de chaleur. En hiver l'eau froide est stockée dans le réseau de froid puis utilisé en été pour la climatisation. Une pompe à chaleur réversible permet donc en hiver de remonter une eau à 15°C qui une fois comprimée atteint les 67°C et circule dans le réseau de chaleur. L'eau est ensuite réinjectée à 5°C dans la nappe. En été l'eau souterraine permet de produire du froid et d'alimenter les climatisations. Ce système géothermique est dit à double forage, nous expliquerons cette technique en détail plus tard avec l'étude du quartier de Clichy Batignolles.

En complément de la géothermie une **unité de production de biogaz** devait être construite pour transformer les déchets organiques provenant du traitement des eaux usées (boues des stations d'épuration) et du tri des déchets en biogaz. Ce procédé repose sur la méthanisation (fermentation) : les déchets sont dégradés par la flore microbiologique lorsqu'il n'y a pas d'oxygène dans le milieu et produit un biogaz qui est composé de méthane. Le méthane est alors utilisé comme combustible pour produire de l'électricité, de la chaleur ou du carburant. D'après les recherches de Laporte (2019, p. 41) le biogaz est effectivement utilisé à la fois dans le circuit de chauffage urbain et comme carburant automobile. Cependant d'après l'étude « Bo01 citée de demain » (2016) l'unité de production de biogaz n'aurait finalement pas été installée car près de 60% des déchets organiques présentaient des traces de contaminant et étaient donc inexploitable. Le manque de sources récentes sur ce sujet ne nous permet pas de conclure sur l'existence actuelle de l'unité de biogaz locale. Cependant ce procédé innovant illustre bien le principe de synergie entre les composantes d'un écoquartier. Le système géothermique et le biogaz devait représenter 80% de la production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Des **capteurs solaire et photovoltaïque**³ ont également été installés dans le quartier, ils devaient assurer 15% de la production de chaleur et notamment alimenter la pompe à chaleur en électricité.

L'écoquartier Bo01 aussi est **relié au réseau de chaleur urbain** à distance de la ville de Malmö. La particularité de ce réseau de chauffage est qu'il est alimenté par l'incinération des déchets et des fossiles combustibles. C'est le principe de **cogénération**⁴ : l'incinération des déchets produit de l'électricité et génère de la chaleur fatale, cette chaleur fatale alimente donc le réseau de chaleur urbain. L'usine de cogénération Sysav est commune à la ville de Malmö et à 13 autres municipalités de la région traitant ainsi les déchets de 710 000 habitants. L'usine est entrée en fonction en 1973 et modernisée dans les années 2000. Sysav traite les déchets ménagers et les déchets organiques eux sont vendu à une centrale fabricant des biocarburants. D'après les recherches de Lepesant (2018, p. 181-200) la Suède a trop investi dans la valorisation énergétique des déchets. Le pays dispose de 33 incinérateurs de ce type et en 2015 la capacité d'incinération a dépassé les besoins, obligeant alors la Suède à importer 1,5 million de tonnes de déchets. Cette surcapacité pourrait ébranler le modèle économique de l'entreprise.

³ Le capteur solaire transforme le rayonnement solaire en chaleur tandis que le photovoltaïque produit de l'électricité à partir des rayons du soleil.

⁴ Production simultanée d'énergie thermique et d'énergie mécanique dans une même installation (Le Robert, 2020).



Figure 6 : Usine de cogénération SYSAV, © G. Lepasant.

Finalement les propos d'Eva Dalman, responsable de la Charte de qualité de l'aménagement des espaces publics du quartier Bo01 résume bien la stratégie énergétique mis en place : « Sur le plan technique, l'innovation s'est surtout portée au niveau de la combinaison des procédés » (Laporte, 2019, p 42). L'ingéniosité de cet écoquartier ne repose donc pas sur une accumulation de procédés mais bien sur leur articulation formant un système.

3.1.2. Des performances énergétiques inférieures aux prévisions

Malgré les synergies entre les différents modes de production d'énergie les objectifs de l'écoquartier ne sont pas atteints (*Bo01 "cité de demain"*, 2016). L'objectif initial était de ne pas excéder une consommation maximum de 105 kWh/m²/an pour les bâtiments du quartier, la moyenne nationale pour les appartements étant de 175 kWh/m²/an. Or, la **consommation électrique générale** représentée en bleue sur le graphique ci-dessous dépasse largement les prévisions calculées par les promoteurs en vert. En moyenne la consommation s'élève à 132 kWh/m²/an soit environ 25% plus élevée (Laporte, 2019).

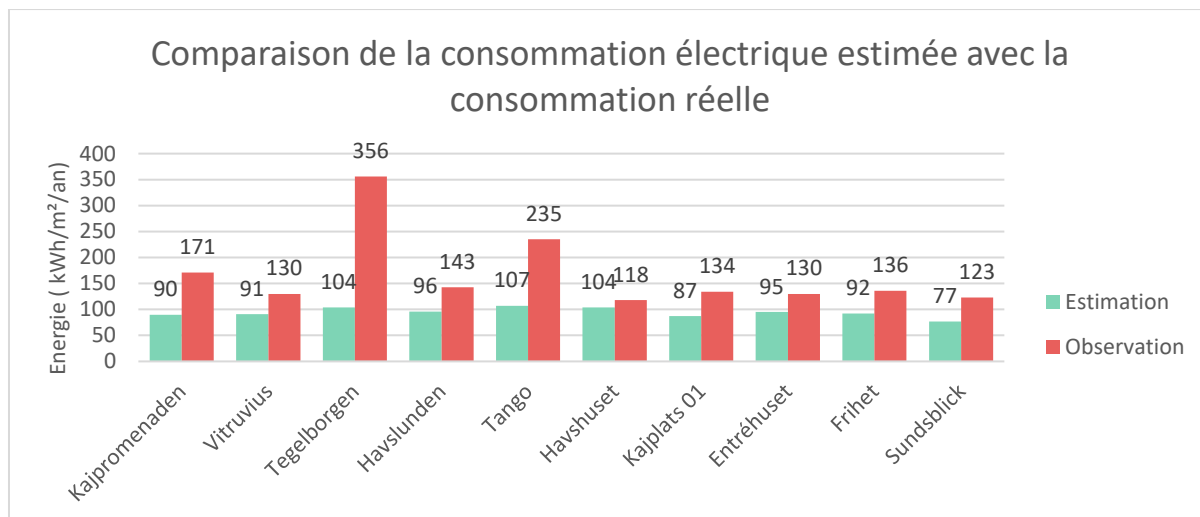


Figure 7 : Comparaison des consommations électrique réelles et estimées, chiffres sources « Bo01 "cité de demain" », 2016

De même, la **consommation réelle de chauffage** est dans l'ensemble supérieure aux prévisions. Les bâtiments "Tegelborgen et Tango sont affectés par de graves problèmes d'installation, qui, parmi d'autres raisons, les font consommer beaucoup plus par rapport aux autres bâtiments" (*Bo01 "cité de demain"*, 2016). Pour les autres bâtiments les causes possibles de ce décalage sont une mauvaise isolation du bâti (par exemple les nombreuses grandes baies vitrées face à la mer sont

architecturalement très esthétiques mais engendrent des ponts thermiques importants) et le confort thermique des occupants plus élevé que prévu.

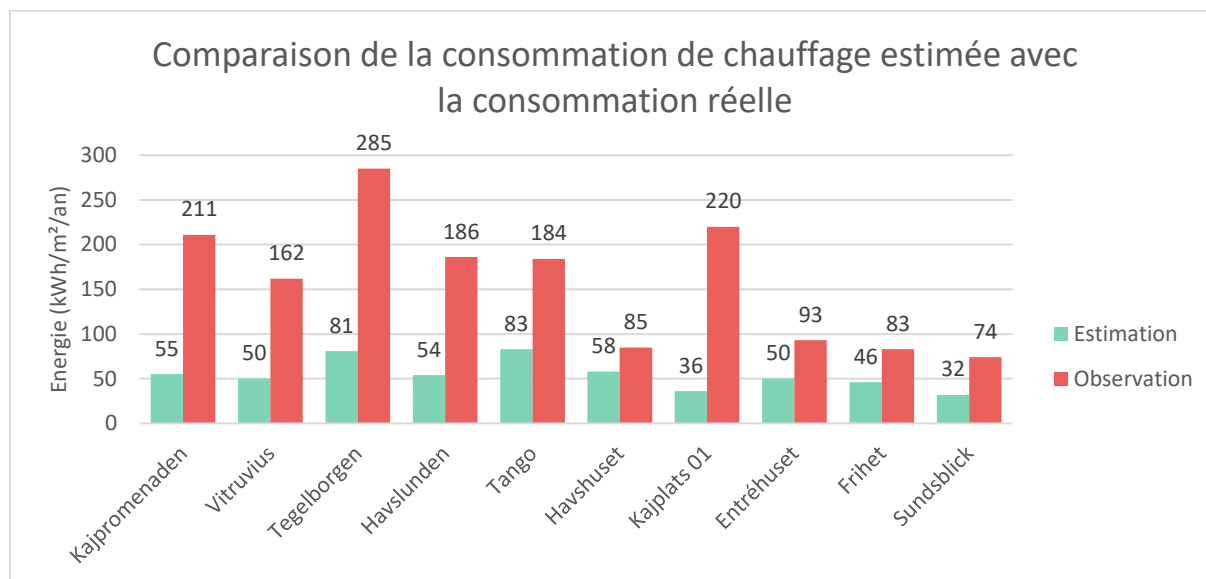


Figure 8 : Comparaison des consommations de chaleur réelles et estimées. Chiffres sources « Bo01 "cité de demain" », 2016

Quant à la production d'énergie issue des capteurs solaires, des panneaux photovoltaïques, du système géothermique et de l'éolienne, elle est également inférieure aux objectifs fixés. Plusieurs éléments permettent d'expliquer ce résultat :

Tout d'abord la géométrie de l'architecture des bâtiments n'est pas optimale, elle ne permet pas aux collecteurs solaires et aux panneaux photovoltaïques de produire la chaleur et l'énergie initialement prévue. La plupart des panneaux photovoltaïques sont disposés horizontalement et non incliné vers le soleil, par conséquent la production d'électricité est moins importante. De même les collecteurs solaires produisent 300 000 kWh au lieu des 500 000 kWh prévu. En ce qui concerne l'exploitation géothermique de l'aquifère souterrain le système a rencontré plusieurs problèmes notamment des dysfonctionnements de la pompe à chaleur mettant le système hors service durant de longues périodes (Bo01 "cité de demain", 2016).

Le positionnement des systèmes et les problèmes techniques rencontrés ont donc contribué à un bilan mitigé avec une production moins importante que prévue et une consommation énergétique dépassant les estimations. Le bilan énergétique de l'écoquartier reste tout de même meilleur que les autres quartiers « classiques » et l'énergie consommée est entièrement renouvelable (le réseau de chaleur urbain de Malmö comble les écarts production/consommation) même si certains systèmes pourraient être optimisées.

3.1.3. Les surcoûts financiers conduisant à l'absence de mixité sociale

Nous allons maintenant nous intéresser aux coûts et à la dimension sociale de ce vaste projet. Tout d'abord il convient de préciser que l'écoquartier a été financé par plusieurs entités :

- ▶ La Ville de Malmö, propriétaire du terrain, a financé l'aménagement des routes et des espaces publics
- ▶ Le gouvernement suédois a financé la construction des bâtiments et infrastructures, des systèmes techniques et la décontamination du sol à hauteur d'environ 24 millions d'euros (SEK 250 millions).
- ▶ **L'Union européenne a participé au financement des systèmes énergétiques.**

Rappelons que l'écoquartier Bo01 a été construit à l'occasion de l'Exposition Européenne de l'habitat de 2001, les contraintes en termes de calendrier et le niveau d'exigence (architectural et énergétique) prévu par la Charte étaient conséquentes entraînant des surcoûts. Ces surcoûts se répercutent aujourd'hui sur la mixité sociale du quartier : le prix d'un logement à Bo01 est deux fois plus élevé que dans le reste de la ville de Malmö. Les habitants du quartier appartiennent aux classes sociales aisées avec un niveau d'éducation élevé.

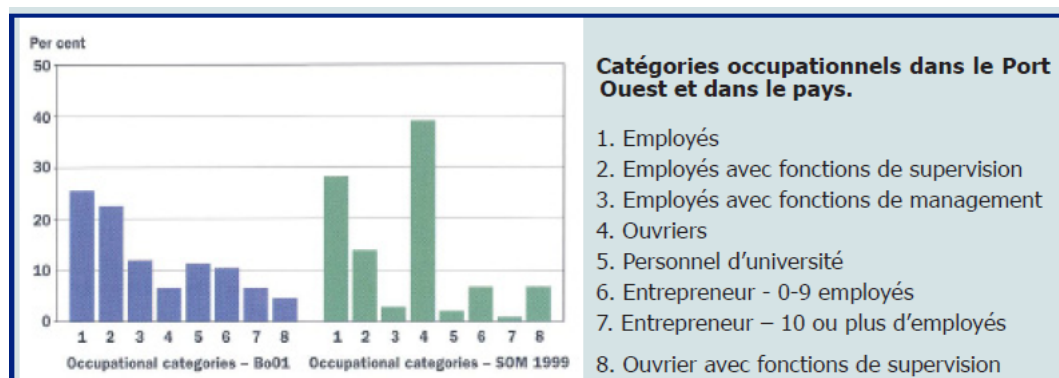


Figure 9 : Représentativité des catégories socio-professionnelles dans le quartier en bleu, à l'échelle nationale en vert. Source : « Bo01 "cité de demain" », 2016

Les coûts de constructions du projet ne permettaient pas d'inclure des logements sociaux dans le quartier malgré l'importance du critère de mixité sociale formulé par les Agendas 21 à propos des écoquartiers. Lors d'un entretien, Eva Dalman (Responsable de la Charte de qualité de Bo01) a expliqué que l'un des points d'amélioration du projet était la mixité sociale, à l'avenir créer des bâtiments avec une densité plus importante dans le quartier pourrait permettre de proposer des logements plus abordables (Laporte, 2019, p 43).

Pour conclure, les installations énergétiques et le projet dans sa globalité sont financièrement et socialement difficilement acceptables. En revanche, le système énergétique est durable : l'énergie consommée est 100% renouvelable bien que les objectifs de production et de consommation ne soient pas atteints. On remarque qu'aucun réseau automatisé n'a été installé pour suivre les performances énergétiques du quartier, ce qui aurait peut-être permis d'atteindre les objectifs de production et de consommation énergétique. Bo01 a été construit au début des années 2000 ce qui peut expliquer l'absence de réseaux intelligents, l'écoquartier BedZED à Londres construit à la même période et ne comporte pas non plus de réseaux intelligents.

Comment atteindre les objectifs énergétiques dans les écoquartiers ? Cas de Clichy Batignolles un écoquartier qui met à profit les réseaux intelligent pour optimiser la production et consommation énergétique.

3.2. L'écoquartier de Clichy Batignolles, analyse des performances énergétiques

3.2.1. La géothermie, source principale de la production énergétique

L'écoquartier de Clichy Batignolles a comme Bo01 misé sur la géothermie pour assurer la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire des habitants, le système est complété par du photovoltaïque. L'écoquartier est situé 600 mètres au-dessus de la nappe de l'Albien, cette nappe d'eau souterraine captive du Bassin de parisien constitue d'une part une réserve d'eau potable de très bonne qualité et d'autre part une source de chaleur pour le système géothermique du quartier. Depuis

1996 cinq forages puisent dans la nappe de l'Albien à Paris et garantissent l'accès à une eau de secours en cas de crise, trois de ces forages alimentent en surface des fontaines publiques.

En 2012 la ville de Paris et Paris Batignolles Aménagement ont décidé de créer un sixième forage situé dans l'écoquartier de Clichy Batignolles, il a été créé et est aujourd'hui exploité par Eau de Paris et la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU). Le forage est situé au niveau du belvédère du Parc Martin Luther King et invisible aux yeux des habitants. L'objectif est de produire 83% des besoins en chaleur : chauffage et eau chaude sanitaire pour les 7 500 habitants du quartier (Ville de Paris, 2017).

La centrale géothermique de Clichy Batignolles repose sur la technique du doublet géothermique comme celle de Bo01. Cela consiste à créer deux puits : un puits pour extraire l'eau chaude et un autre pour réinjecter l'eau dans la nappe après récupération des calories. Le principe de la boucle géothermique est donc le suivant : l'eau est puisée à 650 mètres de profondeur par un forage dit de production où l'eau est à une température de 28°C, elle est ensuite acheminée jusqu'à des échangeurs à plaques⁵ par une conduite calorifugée sur une distance de 400 mètres. L'eau après avoir transmis ses calories à travers les échangeurs est réinjectée dans un puits dit de réinjection à une température de 10°C et à une profondeur de 650 mètres. Les deux puits sont déviés pour permettre en fond de puits un écartement suffisamment important, le forage de réinjection est donc à une distance de 650 mètres du forage de production, cela évite le phénomène de recyclage thermique⁶. Des pompes à chaleur remontent ensuite la température de l'eau à 45°C pour le chauffage et à 65°C pour l'eau chaude sanitaire, alimentant ainsi le réseau de chaleur urbain de la CPCU. En cas de période de pointe ou pour secourir le système un appoint est également assuré par le réseau de chaleur de la CPCU.

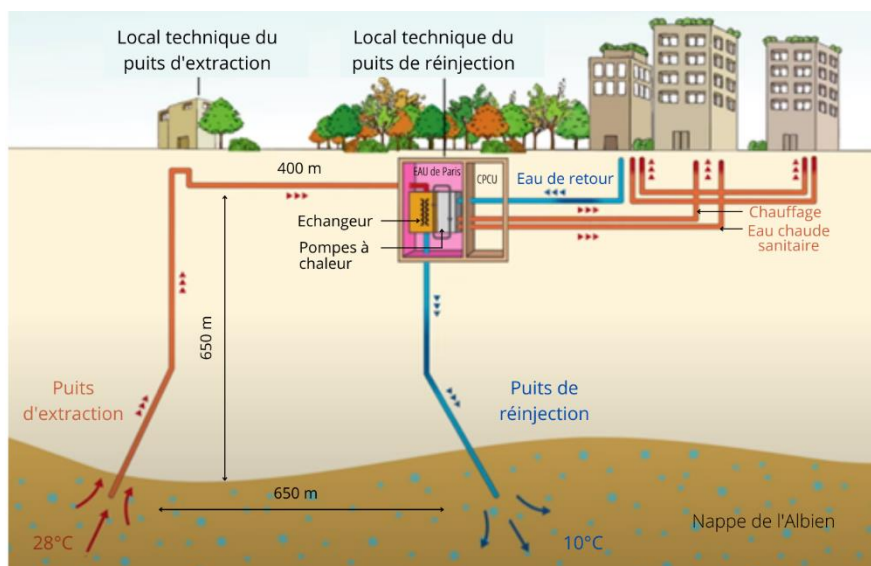


Figure 10 : Schéma du système géothermique à Clichy Batignolles. Reproduit à partir de « Puits géothermiques sur Clichy-Batignolles » - Eau de Paris. (2014, 9 octobre). [Fichier vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=kitOcMeXBDM>

⁵ Le principe repose sur l'alternance dans l'échangeur de plaques contenant un fluide chaud et un fluide froid, cela permet l'échange de chaleur entre ces fluides à travers les plaques.

⁶ Réinjecter une eau à une température différente de celle de la nappe modifie la température de la nappe à proximité du point de rejet. Cette bulle d'eau dont la température est modifiée s'étend au cours du temps, en fonction de la quantité d'eau injectée et de l'écoulement de la nappe. Il est donc important que cette perturbation n'atteigne pas le point de production trop rapidement ou que la perturbation ne soit pas trop importante (Agence régionale de l'Environnement en Lorraine, BRGM, EDF, & ADEME, 2018).

La géothermie permet une production d'énergie propre dans le sens où elle émet très peu de CO₂, d'après la Ville de Paris « pendant l'exploitation de la centrale, les émissions du projet de géothermie à l'Albien sont 5 fois moins importantes que celles dues à une chaudière à gaz de condensation. Ainsi, sur 10 ans, il en résultera une économie d'émission de 35.000 tonnes de CO₂ soit l'équivalent de 15.000 allers-retours Paris-New York en avion. » (Ville de Paris, 2017).

Pour rentabiliser ce projet à 12 millions d'euros l'entreprise publique Eau de Paris mise sur la vente de chaleur à la CPCU. De plus, la création d'un sixième puit d'eau de secours était obligatoire donc intégrer un système géothermique au projet permettrait de rentabiliser la construction du forage (Paris & Métropole aménagement, 2014, 03 : 15-05 : 21). L'écoquartier devrait être entièrement terminé en 2020 il est donc encore tôt pour déterminer si le système géothermique est rentable économiquement parlant. En revanche les performances énergétiques de l'écoquartier de Clichy Batignolles ont fait l'objet d'une étude, comme nous avons pu le constater avec l'étude de Bo01 les performances énergétiques réelles sont souvent inférieures aux objectifs fixés dans les écoquartiers.

Les réseaux intelligents (smart grid) sont-ils la solution pour que les écoquartiers atteignent leurs objectifs énergétiques ?

3.2.2. Les réseaux intelligents, outils d'optimisation des systèmes énergétique

Grâce au réseau de capteurs installé dans certains bâtiments et aux données fournies par Eau de Paris (pour la centrale géothermique), ENEDIS et la CPCU il est possible d'évaluer les performances énergétiques de l'écoquartier de Clichy Batignolles et de déterminer s'il est véritablement durable d'un point de vue énergétique.

Initialement l'objectif était pour les bâtiments du quartier de ne pas consommer plus de 50 kWh/m²/an en énergie primaire pour le chauffage, l'eau chaude, l'éclairage et la ventilation. Mais, d'après le rapport du projet CoRDEES⁷, il a été constaté « un décalage entre les performances énergétiques annoncées pour les programmes du secteur Est de l'écoquartier, déjà livrés, et la réalité en phase d'exploitation » (CoRDEES, 2019). L'étude CoRDEES s'est déroulée entre novembre 2016 et octobre 2019, elle a permis d'identifier les causes de ce décalage et de proposer des pistes d'optimisation pour atteindre l'objectif fixé.

Dans ce projet le CoRDEES a joué le rôle de « facilitateur énergétique » : son but était d'aider les propriétaires institutionnels et les syndicats de copropriété à régler les dysfonctionnements. Il est important de comprendre qu'à Clichy Batignolles comme dans de nombreux écoquartiers que le fonctionnement énergétique dépend de beaucoup d'acteurs : opérateurs de réseaux, promoteurs, investisseurs et bailleurs institutionnels, gestionnaires de résidences, syndicats de copropriétaires et leurs syndicats, exploitants de chauffage, entreprises utilisatrices de bureaux, commerçants mais aussi habitants et salariés. La multiplicité des acteurs entraîne une multiplicité des dysfonctionnements possibles, c'est pourquoi le rôle de facilitateur énergétique est important : il centralise les informations recueillies pour identifier les dysfonctionnements.

A Clichy Batignolles l'analyse des données collectées a montré que les consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire étaient supérieures aux objectifs fixés (données de l'année 2018) :

⁷ CoRDEES acronyme de Co-responsibility in District Energy Efficiency & Sustainability, est une expérimentation en grandeur réelle portant sur le fonctionnement énergétique du secteur Ouest de l'écoquartier Clichy-Batignolles. Le projet a été piloté par la Ville de Paris et accompagné par Paris & Métropole Aménagement, Embix, Une autre ville et Mines ParisTech.

- Pour le chauffage la valeur médiane est de 49 kWh/m²/an alors que l'objectif était de 15 kWh/m²/an
- Pour l'eau chaude sanitaire la valeur médiane est de 34 kWh/m²/an pour un objectif fixé à 20

A cela plusieurs causes ont été identifiées :

- Le confort thermique fixé à 19°C est insuffisant, les occupants chauffent plus que prévu.
- Des défauts dans l'enveloppe thermique (potentiels ponts thermiques)
- Un réglage inapproprié des installations de chauffage par les exploitants : la température de l'eau envoyée dans les logements est trop élevée.

Néanmoins comme l'illustre la figure ci-dessous la consommation de chaleur est nettement inférieure à la moyenne nationale même si on est loin de l'objectif fixé :

CONSUMMATION ANNUELLE DE CHALEUR EN kWh/m ² /an	CLICHY-BATIGNOLLES ²		MOYENNE FRANCE
	Objectifs de l'éco-quartier	Médiane sur 13 à 17 bâtiments en 2018	Logements connectés à un réseau de chaleur en 2015 (source : CEREN)
Chauffage	15	49	194
Eau chaude sanitaire	20	34	53

Figure 11 : Comparaison de la consommation annuelle de chaleur de l'écoquartier de Clichy Batignolles avec la moyenne nationale. Source CorDEES 2019

De plus les objectifs fixés à Clichy Batignolles sont particulièrement exigeants par rapport aux autres écoquartiers français :

CONSUMMATION D'ÉNERGIE FINALE POUR LE CHAUFFAGE EN kWh/m ² /an	ZAC DE BONNE À GRENoble	LYON CONFLUENCE	CLICHY BATIGNOLLES
Objectifs	43	60	15
Mesure	63	100	49
Écart	+ 46 %	+ 67 %	+ 266 %

Figure 12 : Comparaison de la consommation énergétique pour le chauffage avec les écoquartiers De Bonne et Confluence. Source CorDEES, 2019

Nous pouvons également constater que les écoquartiers De Bonne et Confluence n'ont pas atteint leurs objectifs de consommation énergétique. L'écoquartier De Bonne à Grenoble a fait l'objet d'une étude réalisée par ENERTECH, dans ce rapport les objectifs énergétiques sont qualifiés d'irréalistes (Enertech, 2011, p. 25). Les prévisions de consommations sont trop optimistes et imprécises puisque plusieurs facteurs ne peuvent pas être maîtrisés par les concepteurs : les données météorologiques (bien plus variables que prévu), le régime des vents et donc les infiltrations d'air, la température de chauffage dans les habitations, ou encore la consommation électrodomestique. Le rapport évoque également des « carences » techniques dans la conception et la réalisation d'écoquartiers propres au territoire français, source de malfaçons et de mauvais réglages des équipements énergétiques (Enertech, 2011, pp. 25,27).

Néanmoins, à Clichy Batignolles le réseau intelligent a permis de constater que le taux d'énergies renouvelables du réseau de chaleur est proche de l'objectif : en 2018, 78% de la chaleur apportée aux bâtiments était d'origine renouvelables. L'objectif de 85% n'est donc pas encore atteint

mais la collecte des données a permis d'identifier le problème : la température de l'eau qui est renvoyée dans le réseau après avoir circulée dans les bâtiments est trop élevée (<58°C durant l'été) et entraîne donc un dysfonctionnement des pompes à chaleur. Le CoRDEES a alors proposé des travaux correctifs aux maîtres d'œuvres concernés, ces derniers sont incités à le faire grâce à un tarif dégressif mis en place par la CPCU si la température respecte la norme.

La directrice aménagement de Paris Batignolles Aménagement résume bien la problématique commune à beaucoup d'écoquartiers : "L'acte de construire n'est pas suffisant" (Environnement Magazine, 2017). En effet, intégrer une collecte et une analyse des données permet de tendre vers la ville intelligente qui optimise son fonctionnement et atteint ses objectifs de performance environnementale. Au-delà des outils numériques, la gouvernance énergétique dans les écoquartiers pourrait être amenée à évoluer (Environnement Magazine, 2017). Une gouvernance collective où chacun des acteurs serait coresponsable de la performance environnementale du quartier, peut-être même tenu à résultats avec un système de pénalités financières (CoRDEES, 2019, p25).

Mais, la ville intelligente a un coût, le projet CoRDEES a nécessité 5,4 millions d'euros dont 4,3 financés par l'Union Européenne dans le cadre du programme Action urbaine innovante. Le financement de projets similaires dans d'autres écoquartiers peut donc être un frein malgré son efficacité.

Finalement, le projet CoRDEES a permis de montrer que l'instrumentalisation des bâtiments d'un écoquartier est un très bon moyen pour qu'il atteigne ses objectifs de durabilité en termes de production et conception d'énergie. Le réseau intelligent permet d'identifier les dysfonctionnements et le facilitateur énergétique peut en déduire les ajustements à faire.

Comme l'explique le rapport de performance Enertech sur l'écoquartier de Grenoble « l'une des leçons que nous devons retenir [...] est que la performance finale sera le résultat de très nombreuses influences allant des concepteurs à la maintenance des installations en passant par l'utilisateur et la qualité de la construction » (Enertech, 2011, p.26). Changer les habitudes de consommation des habitants apparaît alors comme un facteur non négligeable pour améliorer les performances énergétiques des écoquartiers.

3.3. Mettre à profit les réseaux intelligents pour changer les comportements de consommation individuels : *Smart Community* de Kitakyūshū

Au Japon, le changement des comportements individuels est une dimension centrale dans le développement des villes intelligentes. Le Ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie nippon (METI) a financé plusieurs programmes destinés à faire de certaines villes comme Kitakyūshū des exemples en matière d'énergies et de systèmes sociaux innovants (Leprêtre, 2019).

En 2011, dans l'écoquartier Higashida (Kitakyūshū) le programme financé par le METI et piloté par Toshiba a permis de développer l'utilisation de l'hydrogène comme ressource énergétique. L'usine de sidérurgie Nippon Steel (implantée à Kitakyūshū) génère lors de son fonctionnement de la vapeur d'hydrocarbures, de cette vapeur est capté de l'hydrogène qui alimente un pipeline de 1,2km dans lequel circule le gaz. Le pipeline dessert plusieurs bâtiments expérimentaux : le musée, plusieurs commerces, la station de recharge de véhicules et quelques habitations. Dans les bâtiments des piles à combustible, créées par Toshiba, transforment l'hydrogène en énergie électrique (« *HySut : Hydrogen Town Project* », 2017). Cependant on ne peut pas considérer ce système comme durable, l'hydrogène étant capté à partir de vapeurs d'hydrocarbures.

Le programme du METI a permis à l'échelle de la ville de développer un réseau intelligent dit « Community Energy Management System » (CEMS) et d'instaurer **un système d'incitation sociale**. Le CEMS collecte les données de consommation d'électricité et grâce à l'historique des consommations et aux prévisions météorologiques il prévoit les pics de demande en électricité. Le CEMS informe alors les consommateurs (ménages, bureaux, usines) via une plateforme (*figure 13*) et leur demande de réduire leur consommation. Pour les inciter à réduire leur consommation une **tarification dynamique** a été instaurée : le prix de l'électricité varie entre 0,11 et 1,15€ /kWh selon les creux ou pics de consommation (Leprêtre, 2019). Ce système est similaire au principe des heures creuses et pleines en France mais à la différence de ce dernier il transmet des informations en temps réel aux habitants. Des coupons de réductions valables au centre commerciale et dans d'autres commerces sont attribués aux habitants qui passe du temps hors de leur domicile en période de forte chaleur, n'utilisant ainsi pas la climatisation. L'objectif de ces systèmes **d'incitation sociale** est donc de maîtriser la consommation et de changer les comportements individuels qui impactent la performance énergétique globale d'un écoquartier ou d'une écocité. Au Japon l'incitation sociale est très rependue car la récompense des comportements n'est pas seulement économique il y aussi une forme de reconnaissance sociale qui y est associée (Leprêtre, 2016). On peut se demander si ce système aurait fonctionné à Bo01 ou Clichy Batignolles, le confort thermique élevé des habitants étant source de surconsommation aurait peut-être été maîtrisé.

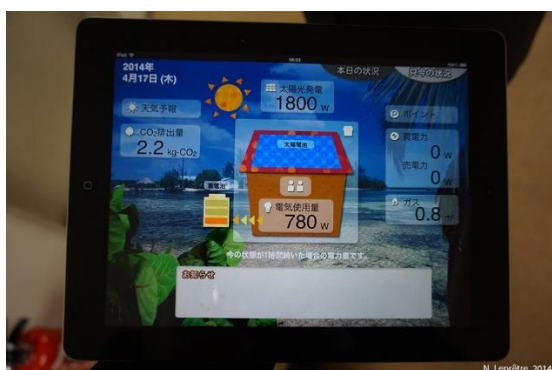


Figure 13 : Interface de gestion de la consommation pour les particuliers, © N. Leprêtre, 2014.

3.4. Conclusion

Pour conclure, la production d'énergie dans les écoquartiers repose sur la mobilisation de plusieurs sources d'énergies locales et de proximité : le système de production local est relié aux autres réseaux urbains (comme Bo01 et Clichy Batignolles reliés au réseau de chaleur urbain). Comme l'explique Taoufik Souami les écoquartiers sont conçus pour atteindre l'autonomie énergétique mais pas l'autarcie : ce sont les synergies entre les sources de production locales et externes qui permettent au quartier d'être durable (Souami, 2009, p. 75). Il s'agit également de tirer parti des ressources locales qu'elles soient naturelles (aquifères permettant la géothermie) ou relatives à l'activité humaine (récupération de l'hydrogène de l'usine Nippon Steel) c'est pourquoi les modèles énergétiques des écoquartiers sont différents et en quelque sorte « sur mesures » (Souami, 2009, p. 72). Nos études de cas ont permis de montrer que la technologie numérique a un rôle à jouer dans les écoquartiers. Les objectifs de production et de consommation d'énergie sont rarement atteints mais il convient de rappeler que ces aléas sont propres au caractère expérimental des écoquartiers. Intégrer des réseaux intelligents aux écoquartiers permettrait d'optimiser le système énergétique, de changer les comportements des consommateurs et d'atteindre les objectifs initialement fixés. Cette solution est

en revanche relativement couteuse comme le montre le projet CoRDEES à Clichy Batignolles, le mode de financement des réseaux intelligents reste à améliorer.

4. La mobilité au sein des écoquartiers

Le bilan énergétique global des écoquartiers ne porte pas uniquement sur l'impact du bâti, il tient également compte de l'impact des transports. Selon une étude de l'agence européenne pour l'environnement les voitures représentent 60,7% des émissions liées au transport routier en Europe (2019). L'objectif des écoquartiers est donc de réduire au maximum l'utilisation de la voiture individuelle et à moteur thermique. Nous avons pu identifier grâce à nos lectures que la stratégie des écoquartiers reposait principalement sur quatre axes : l'utilisation de l'énergie produite localement comme carburant, l'incitation ou dissuasion financière, le développement des modes de transports propres et collectifs et l'aménagement spatial du quartier.

4.1. L'utilisation de l'énergie produite localement comme carburant

Tout d'abord, afin de réduire les émissions de CO₂ causées par les véhicules à moteurs thermiques certains écoquartiers comme Kitakyūshū et Bo01 utilisent l'énergie produite localement pour alimenter respectivement des véhicules à hydrogène et électriques.

À Kitakyūshū le développement de la mobilité est directement lié à l'hydrogène que la ville produit. Elle expérimente l'utilisation de trois véhicules à hydrogène de chez Honda et Toyota, et depuis 2013 elle teste un bus à hydrogène Toyota. La ville a aussi installé une station-service alimentée par le pipeline à hydrogène. La station assure la recharge des véhicules à hydrogène mais aussi des véhicules électriques. Elle est équipée pour cela de panneaux photovoltaïques et d'une pile à combustible. Si cette expérience s'avère concluante la ville prévoit d'installer une seconde station hydrogène pour accompagner le développement des véhicules. Le coût de cette station est estimé entre 3,7 et 4,5 millions d'euros (500 - 600 millions de yens), en comparaison une station essence classique coûte en moyenne 200 000 euros en France. Si les infrastructures liées à l'hydrogène sont si couteuses c'est en partie à cause des nombreuses contraintes de sécurité (Faivre d'Arcier, Lecler, Granier, & Leprêtre, 2016). Le Japon y est particulièrement sensible après l'accident de Fukushima, l'hydrogène étant très inflammable, explosif dans certaines conditions et toxique lorsqu'il est inhalé en forte concentration. Les installations sont donc complexes et couteuses. Quant à la durabilité environnementale les véhicules à hydrogènes n'émettent pas de carbone pendant leur fonctionnement, cependant l'hydrogène est capté à partir des vapeurs d'hydrocarbures de la centrale Nippon Steel (Loisel, 2013). La source de production n'est donc pas écologique. Cette solution, propre au contexte industriel de Kitakyūshū, paraît alors difficilement répliquable dans l'immédiat compte tenu de son caractère expérimental, des coûts associés et de la source de production non écologique.

Nous pouvons également citer le cas de Bo01 en Suède où la station alimente les véhicules en biogaz et en électricité. L'électricité est produite par l'éolienne située à l'Est du quartier.

Mais parfois mettre à disposition des carburants plus écologiques ne suffit à démocratiser leur utilisation. Dans l'écoquartier BedZED situé en périphérie de Londres des bornes de recharge électrique alimentées par les panneaux photovoltaïques du quartier avaient été installées mais elles ont finalement été retirées faute de véhicules électriques dans le quartier.

4.2. L'incitation et la dissuasion financière

Pour pallier à ce genre de problème plusieurs écoquartiers ont mis en place des systèmes d'incitation ou de dissuasion financière. A Kitakyūshū les habitants bénéficient de subventions à l'achat de véhicules hybrides ou électriques, par exemple au cours de l'année 2014 environ 730 véhicules ont été financés. Pour dissuader les habitants de posséder une voiture à BedZED et Vauban-Fribourg en Allemagne les coûts de stationnement sont volontairement élevés : acheter une place de parking coûte 17 500€ à Vauban et la location d'une place de parking à BedZED coûte 240 euros/an. Dans l'écoquartier Vauban 25% des habitants se sont engagés à vivre sans voiture (ne possèdent pas de voiture lors de l'emménagement et pour minimum 10 ans). En revanche à BedZED cette mesure n'a pas été suffisante puisque les habitants se stationnent dans les quartiers voisins.

4.3. Le développement des modes de transports propres et collectifs

Pour réduire la pollution de l'air en ville les écoquartiers mise sur la réduction de la place de la voiture individuelle. Elle doit être compensée par une offre de transport transports propres⁸ et collectifs suffisamment efficace pour convaincre les usagers.

Pour ce faire, Vauban-Fribourg en Allemagne et Hammarby en Suède ont prolongé leur ligne de tramway pour relier le quartier au centre-ville (ARENE Ile-de-France & IMBE, 2005, pp. 106, 114). Ces opérations sont relativement couteuses et portées par les collectivités, elles ont donc un impact non négligeable sur le coût total d'un projet d'écoquartier. L'absence de service de transports efficace nuit énormément à l'attractivité du quartier. L'écocité de Tianjin a de grandes difficultés à vendre et louer ses logements⁹ en partie à cause de l'absence de tramway (le projet est en suspend). Seules quelques lignes de bus existent mais ne desservent que la zone économique de Tanggu situé à 16km de l'écocité. Aucun service n'est mis en place au sein de la ville pourtant très étendue (30km²) ni pour la relier à la ville mère située à 45km (Li, Bonhomme, & Deroubaix, 2018, p. 10). Compte tenu de l'échelle de la ville les coûts de création de la ligne de tramway sont probablement un frein important au projet. Ces opérations sont donc couteuses mais demeurent nécessaires pour attirer des habitants et assurer la rentabilité financière du projet d'écoquartier.

Nous avons également pu constater que les stations de véhicules en autopartages sont largement rependues dans les écoquartiers qu'ils soient français ou étrangers. On retrouve ce dispositif à Kitakyūshū, Vauban-Fribourg, Hammarby, De Bonne ou encore Confluence à Lyon. Les stations d'autopartages sont gérées par des entreprises ou opérateurs privées. Les coûts de mise en place et de gestion sont assurés par ces derniers et n'ont donc aucune incidence sur le coût global d'un projet d'écoquartier. A Lyon par exemple c'est l'opérateurs européen Transdev en partenariat avec Toshiba qui gère le service d'autopartage de véhicules électriques¹⁰. En revanche, les véhicules en

⁸ Il convient de préciser que par transports propres on entend ici des transports ne générant pas de pollution ou de gaz à effet de serre durant leur utilisation. L'impact de la production et du recyclage des batteries des véhicules électriques est aujourd'hui très controversé, c'est pourquoi nous ne prendrons en compte que l'impact en phase exploitation.

⁹ En 2015 seul 30 000 personnes sur les 350 000 prévus habitaient la ville, aujourd'hui le phénomène de « ville fantôme » s'est atténué mais les logements et bureaux sont loin d'être tous occupés (Thibault, 2015).

¹⁰ Ce système d'autopartage fait partie d'un programme piloté par le NEDO agence japonaise (équivalent de l'ADEME) avec le Grand Lyon et Toshiba, il s'agit du même programme dont fait partie Kitakyūshū, le programme vise à exporter les techniques et firmes japonaises en matière de ville intelligente (Lepître, 2019).

autopartage ne sont pas toujours neutres en carbone ce qui pourrait rendre le système écologiquement discutable, à Vauban et Hammarby notamment les véhicules sont à moteur thermique. Mais, à Vauban par exemple 1260 habitants sur 3600 utilisent ces véhicules. Il y a donc 63 véhicules en autopartage (1 pour 20 personnes) qui sont certes polluants mais évitent potentiellement la production et la circulation de 1260 véhicules individuels. Ce système est donc globalement durable d'un point de vue environnemental même pour les pools de véhicules classiques. D'un point de vue social aucune étude n'a été menée sur le profil des utilisateurs, il serait intéressant de voir si ces véhicules sont financièrement accessibles pour des habitants aux revenus modestes (par exemple à Confluence à Lyon 30min coûtent 5€).

4.4. L'organisation spatiale en « quartier à courtes distances »

Finalement nous avons pu constater grâce à nos études de cas que l'agencement spatial des écoquartiers est pensé pour réduire les besoins en déplacement. Dans l'écoquartier Bo01 les arrêts de bus sont situés à moins de 300 mètres des habitations, il y a de nombreuses rues piétonnes et cyclables et très peu de voies autorisées aux voitures. Elles sont situées majoritairement en périphérie du quartier, limitée à 30km/h et ne desservent ni les commerces et ni les restaurants (figure 14) (Laporte, 2019, p. 23). On remarque que les parkings sont situés en périphérie du quartier, c'est également le cas dans l'écoquartier de Vauban où deux garages collectifs ont été construits à l'entrée du quartier (figure 15) (ARENE Ile-de-France & IMBE, 2005). Cela permet de limiter la circulation des voitures dans l'enceinte du quartier mais c'est également un gain de place : les aménageurs peuvent intégrer plus de logements et donc avoir une meilleure rentabilité financière du projet (cf. partie 1. Mode de financement).

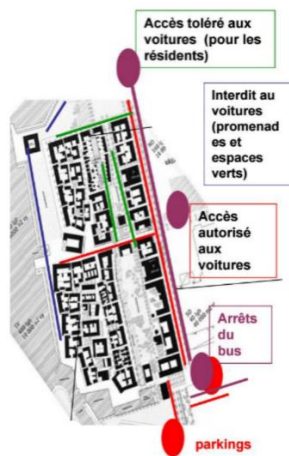


Figure 14 : Carte des mobilités, Bo01. Source M. Laporte (2019)



Figure 15 : Garages collectifs, Vauban-Fribourg. Source ARENE Ile-de-France & IMBE (2005)

A Vauban les aménageurs ont aussi appliqué une politique globale de “quartier à courtes distances” qui se traduit par une distance maximale de 700 mètres entre les logements et les commerces ou écoles (ARENE Ile-de-France & IMBE, 2005, p.78). Cette politique de quartier à courtes distances est donc applicable uniquement dans des écoquartiers peu étendus, une telle politique serait par exemple difficilement répliquable dans une écocité comme Tianjin.

4.5. Conclusion

Dans les écoquartiers étudiés nous avons pu constater que les carburants alternatifs produits localement étaient très peu développés, seul deux écoquartiers (Kitakyūshū et Bo01) ont installé des stations de carburants. Dans le cas de Kitakyūshū la production de l'hydrogène n'est pour l'instant pas durable. Ensuite, des mesures d'incitation ou de dissuasion financière (subvention d'achat, coûts de stationnement) sont mises en place pour que les transports propres soient préférés à la voiture traditionnelle. L'agencement du quartier est fait de sorte à réduire les besoins en déplacement des habitants du quartier et de ceux qui y travaillent. La question de la mobilité est donc anticipée en amont de la conception du projet, elle est déterminante dans la répartition des logements, commerces, transports et autres services. Réduire l'utilisation de la voiture individuelle reste difficile, elle est très ancrée dans nos modes de vie, les mesures précédentes s'avèrent parfois inefficaces comme à BedZED. Les véhicules en autopartage peuvent être une réponse écologique pour remplacer les véhicules individuels. Pour finir, développer une offre de transports en commun efficace est essentielle pour attirer des habitants, des entreprises et ainsi assurer la rentabilité financière de l'écoquartier.

5. Le cycle de l'eau

5.1. La gestion des eaux usées encore peu intégrée aux écoquartiers

Au cours de nos recherches nous avons constaté que la gestion des eaux usées était très peu traitée dans les écoquartiers étudiés, seuls Bo01 à Malmö et BedZED à Londres présentent des solutions de traitement durables et locales.

Dans l'écoquartier suédois les eaux usées sont traitées dans la station d'épuration de Malmö de sorte à extraire les métaux lourds et les composants phosphorés. Les métaux lourds¹¹ sont réutilisés et les éléments phosphorés sont transformés en engrais pour l'épandage des champs à proximité. Après traitement l'eau est rejetée dans la mer. Les boues issues du traitement seraient récupérées et utilisées par l'unité de production de biogaz locale, comme expliqué précédemment nous ne pouvons pas confirmer l'existence de l'unité de biogaz locale (contractions entre les sources) mais l'association du traitement des eaux et de la production d'énergie reste intéressante.

A BedZED la gestion des eaux usées commence d'abord par une réduction de leur volume à la source. Dans les habitations on retrouve des toilettes à basses consommations, des baignoires à plus faible contenance, des réducteurs de pression etc. Les logements sont également pré-équipés d'appareil électroménager à faibles consommations comme des machines à laver consommant 39L d'eau par cycle au lieu de 100L pour les modèles classiques. Ces dispositifs ont permis de réduire la consommation d'eau : en moyenne les habitants consomment 87 litres d'eau par personne par jour soit 40% de moins que la moyenne au Royaume Uni, réduisant ainsi le volume d'eaux usées.

Le traitement des eaux usées était assuré par une station d'épuration locale. *The Green Water Treatment Plant* en anglais est un système de traitement biologique des eaux usées : les éléments comme le phosphore ou l'azote présents dans l'eau sont absorbés par des plantes et le reste par des bactéries, ensuite l'eau est désinfectée par des rayons UV et peut alors être réutilisée pour

¹¹ Le zinc, le plomb, le chrome, le mercure etc. Même si les métaux lourds sont le plus souvent présents à l'état de trace, ils restent très dangereux, puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans les organismes. La bioaccumulation désigne la capacité de certains organismes à absorber et concentrer dans tout ou une partie de leur organisme certaines substances chimiques.

l'alimentation des chasses d'eau (en complément de l'eau de pluie). Cette station fonctionnait et était acceptée par les habitants car elle était bien intégrée dans le paysage mais elle a dû être démantelée car elle n'était pas financièrement durable. La station avait été surdimensionnée par rapport à la taille du quartier.



Figure 16 : Green Water Treatment Plant. Source « Beddington Zero Energy Development », 2016.

5.2. Une gestion des eaux pluviales favorisant l'infiltration naturelle

Les enjeux autour de la gestion des eaux pluviales sont nombreux : avec l'artificialisation des sols, l'intensification des précipitations et des tempêtes dû au réchauffement climatique, il faut s'attendre à une augmentation du risque inondation ainsi qu'à une surcharge des systèmes d'assainissement et de rétention des eaux. Maîtriser le ruissèlement, l'infiltration, le stockage et la dépollution des eaux pluviales est donc un enjeu majeur pour les villes durables. Dans cette partie nous verrons à travers trois études de cas quelles solutions sont mises en place et comment elles s'articulent.

5.2.1. De Bonne, une combinaison de canaux et de bassins

A Grenoble la gestion des eaux pluviales représente un enjeu important du projet, les précipitations sont relativement denses et surtout la nappe phréatique est située à seulement trois mètres de profondeur.

Tout d'abord, pour inciter les promoteurs à intégrer des systèmes de régulation des eaux pluviales aux îlots les maîtrises d'ouvrages ont imposé un système d'infiltration par îlot, avec par conséquent une redevance assainissement propre à chaque bâtiment et proportionnelle au débit rejeté au réseau unitaire. Pour réduire les coûts ultérieurs les promoteurs équipent donc au mieux les bâtiments (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011). Compte tenu des précipitations et de la proximité de la nappe phréatique l'infiltration et le stockage des eaux devaient donc être conçus pour éviter les remontées de nappe et pour soulager le système d'assainissement. Pour ce faire, une trentaine de puits d'infiltration combinés à un système de décantation et de dépression sont répartis sur le quartier (Observatoire régional des opérations innovantes pour la maîtrise des eaux pluviales, 2014). Les puits servent à infiltrer soit l'eau de ruissèlement direct puisque le dessus du puits est perméable soit l'eau acheminée par le réseau de tranchées drainantes qui longent les chemins piétons (en revanche les eaux de la chaussée sont raccordées au réseau public). Les toitures végétalisées permettent d'infiltrer une partie des précipitations. Pour évacuer le trop plein d'eau elles sont raccordées aux puits d'infiltration ou à des bassins d'infiltration qui sont enterrés au milieu des îlots d'habitations. Les bassins ornementaux sont alimentés par la nappe phréatique puisqu'elle est proche de la surface, l'eau est préalablement

dépolluée par un système d'oxygénation afin d'éviter le développement de bactéries ou virus (ibid.). En cas de trop plein les bassins sont raccordés aux puits d'infiltrations. L'eau des bassins est en permanence renouvelée : chaque semaine un tiers de l'eau est vidée et utilisée pour l'arrosage. Sur le plan financier, la réalisation du système d'arrosage est revenue à 50 000 euros à la collectivité pour 4 millions d'euros d'aménagements paysagers soit environ 1,25 % du cout total, sans compter le gain économique sur le long terme grâce à la réutilisation de l'eau (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011). Enfin, les espaces verts sont nombreux et répartis sur l'ensemble du quartier (figure 17), favorisant ainsi l'infiltration naturelle des eaux pluviales.



Figure 17 : Plan masse du quartier. Source Renault, 2012



Figure 18 : Bassin d'ornementation de l'espace commercial. Source Renault, 2012

5.2.2. Bottière-Chénaie, une gestion zéro tuyaux

A Bottière-Chénaie les promoteurs ont également été tenu d'équiper au mieux les bâtiments (toitures végétalisées et cœur d'îlots perméables) pour limiter le ruissèlement : le cahier des charges de cession de terrain intègre des coefficients de ruissèlement maximum à respecter (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011).

La particularité du quartier est sa gestion des eaux pluviales dite « zéro tuyaux » : le quartier est parcouru par un réseau de noues végétalisées qui acheminent l'eau et d'autres plus profondes qui stockent l'eau. Les rives des noues profondes sont maintenues par des fascine saules ou des gabions de pierres (Atelier de paysages Bruel Delmar, s. d.). L'avantage de ce système zéro tuyau est qu'il nécessite très peu d'entretien (juste un faucardage annuel¹²) et qu'il est donc peu coûteux. Un canal maintenu en eau traverse le quartier et permet de stocker l'eau (figure 19).

¹² Opération qui consiste à couper et exporter les roseaux et autres herbacées poussant dans l'eau des fossés, rivières, canaux, watingues et autres étangs ou surfaces toujours en eau.



Figure 19 : Canal de recueil des eaux pluviales. Source (Atelier de paysages Bruel-Delmar, s. d.)

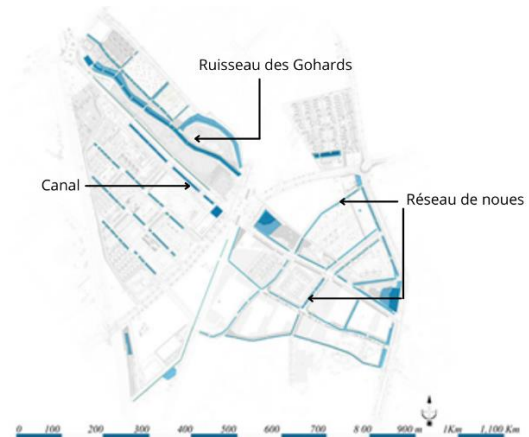


Figure 20 : Schéma de recueil des eaux pluviales. Réalisé à partir de (Atelier de paysages Bruel Delmar, s. d.)

Le ruisseau des Gohards anciennement busé a été entièrement remis à ciel ouvert par les aménageurs, il collecte l'eau qui est naturellement traitée par des plantes fixatrices des pollutions (phytoremédiation). L'imperméabilisation des sols est limitée pour favoriser l'infiltration et réduire le risque inondation : les parkings notamment sont en pavés de grès non-jointés. Les aménageurs ont également créé des « jardins de pluie » dont certains sont fermés au public avec en surface une couche de schistes qui favorise l'infiltration. De plus, cela contribue à la réduction des îlots de chaleur causés principalement par les revêtements en béton. Les jardins familiaux et certains espaces verts privés sont équipés de récupérateurs d'eau et d'éoliennes qui assurent le pompage mécanique pour l'irrigation (*op. cit.*). Comme le montre le schéma de recueil des eaux pluviales (figure 20) l'eau occupe une place centrale dans le quartier, c'est un élément structurant qui contribue à la qualité paysagère du site.

5.2.3. Clichy Batignolles, réduction des surfaces imperméables/réutilisation des eaux pour l'irrigation

A Clichy Batignolles les efforts ont été portés sur perméabilisation des sols : les chaussées imperméables ne constituent que 12% de la surface totale de l'écoquartier. Il a été estimé que les toitures végétalisées, espaces verts et autres surfaces perméables ont permis de réduire les rejets au réseau de 50% pour les parcelles publiques et de 70% pour les parcelles privées (Paris Batignolles Aménagement, 2017). Dans le parc Martin Luther King les eaux de pluie suivent un cycle de récupération et de réutilisation (*figure 21*). Elles d'abord sont récupérées par des rigoles ou par des fossés humides. Puis, elles sont acheminées vers une cuve de stockage enterrée, la cuve alimente le bassin « biotope » et le réseau d'irrigation du parc qui couvre 40% des besoins en eau (*ibid.*). Le bassin biotope alimente à son tour la cuve de stockage (en cas de surplus d'eau) et le fossé humide (en période sèche) via un pompage mécanique assuré par une éolienne. L'eau du bassin est naturellement épurée par des plantes fixatrices de pollution (*ibid.*).

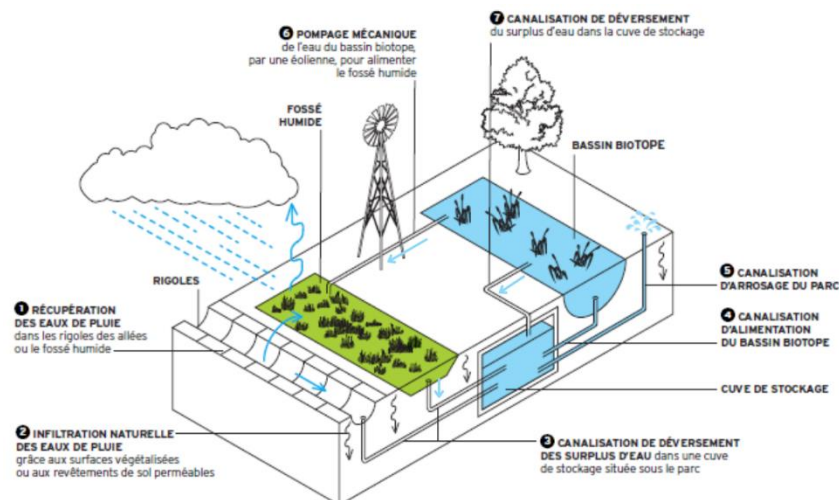


Figure 21 : Schéma du de récupération des eaux pluviales du parc Martin Luther King. Source (Paris Batignolles Aménagement, 2017).

5.3. L'eau, un élément paysager

Comme nous avons pu le constater l'eau est élément très présent dans le paysage de certains écoquartiers tels que De Bonne ou Bottière-Chenaie. L'approche paysagère est donc tout aussi importante que l'approche technique de la gestion des eaux pluviales. A Nantes des gradins réalisés par l'agence paysagiste Bruel-Delmar longent par endroit les noues, elles deviennent alors un élément esthétique du paysage et un espace pour les habitants. Le canal est aménagé avec des pontons et passerelles pour que les habitants y accèdent.



Figure 22 : Gradins et aménagements du canal, Bottière-Chénaie, © Nantes Métropole

Dans l'écoquartier suédois Bo01 l'eau est mise en valeur par des rigoles en pierres traversant les rues et acheminant les eaux pluviales collectées jusqu'à un canal à ciel ouvert.



Figure 23 : Rigoles de collecte et canal, Bo01, © E.A.U Architectes

5.4. Conclusion

Pour conclure, des alternatives durables de gestion des eaux usées sont mises en place comme à Malmö et BedZED mais elles sont peu démocratisées et perfectibles (BedZed). La gestion des eaux usées reste encore traditionnelle même dans les écoquartiers. Quant à gestion des eaux pluviales elle est faite de manière à favoriser l'infiltration naturelle, limitant ainsi le recours au réseau public et station de traitement. Les collecteurs sont à ciel ouvert, ils constituent à la fois un élément technique et paysager. De plus, les ouvrages à ciel ouvert sont moins coûteux que les ouvrages enterrés. Pour répondre au mieux à ces enjeux l'ADEME recommande aux porteurs de projet d'intégrer plusieurs acteurs dès la phase de conception : urbaniste, architecte, paysagiste, écologues et bureau d'études hydrauliques. Cependant, en France il a été constaté que les écologues étaient trop peu souvent associés à la gestion de l'eau dans les écoquartiers (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011). Leur expertise est pourtant importante puisque les ouvrages à ciel ouvert contribuent à créer un maillage de corridors biologiques : la trame verte et bleue¹³.

6. Préservation et développement de la biodiversité

L'eau et les espaces verts constituent un maillage de réservoirs de biodiversité, l'enjeu d'un écoquartier est de concilier le développement de ces espaces en ville et l'activité humaine. Dans cette partie nous verrons comment l'enjeu de la biodiversité est appréhendé dans la phase de conception des écoquartiers. Puis nous déterminerons quels aménagements sont réalisés et comment ils sont gérés. Enfin nous discuterons de l'enjeu paysager de la biodiversité.

6.1. Anticiper les mesures de protection

Tout d'abord, la protection et le développement de la biodiversité sont anticipées en amont du projet car ils peuvent être déterminants dans la conception du quartier. En effet les écoquartiers sont souvent construits sur des friches (De Bonne, Clichy-Batignolles) ou des zones non urbanisées (Bottière-Chénaie, Tianjin, BedZED), ces espaces sont donc susceptibles d'abriter des espèces faunistiques et floristiques. Il serait contradictoire pour construire un écoquartier de détruire ou altérer l'environnement existant. Des diagnostics et études d'impact environnementaux sont donc réalisées en amont de la conception du projet. L'objectif est de mettre en place des mesures pour éviter, réduire ou compenser les impacts en phase chantier et après réception. Elles sont réalisées par un écologue qui assure ensuite le suivi du chantier. Ces études environnementales ne se résument pas à des inventaires faunistiques et floristiques, elles ont aussi pour but d'identifier les interactions entre les espèces, et les interactions entre les espèces et leur environnement.

6.2. Des aménagements au service de la continuité écologique

Pour préserver ces interactions les mesures visent à créer une continuité écologique (ou maillage écologique). Les aménagements urbains ne doivent pas fragmenter l'habitat des espèces. Dans l'écoquartier De Bonne des petits pontons ont été installés au bord des bassins pour permettre aux crapauds d'en ressortir (Renauld, 2012, p. 153). De même, à Bottière-Chénaie les pentes des berges sont douces pour permettre aux batraciens de passer d'un milieu à l'autre. A Malmö, le parc de l'écoquartier est parcouru par une passerelle piétonne surélevée afin de ne pas entraver les

¹³ La Trame verte et bleue est un réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques. C'est une démarche issue du Grenelle de l'Environnement (2007) qui vise à maintenir et à reconstituer un réseau d'échanges entre les espèces animales et végétales.

déplacements de la faune. Des mesures visent également à limiter la pollution lumineuse. A Bottière-Chénaie l'éclairage public a été choisi (selon la longueur d'onde) pour ne pas entraver la vie animale nocturne (*ibid.*). En effet, certains animaux sont attirés par les lampadaires et s'y retrouvent coincés, d'autres les évitent, par exemple une rangée de lampadaires représente un obstacle qui fragmente leur habitat. Cela peut aussi perturber leur comportement et dérégler les rythmes biologiques, les chiroptères notamment qui recherchent le noir pour l'hivernage ou la reproduction (Sordello, 2017).

Les aménagements liés à la collecte des eaux de pluie ont aussi un rôle important dans le développement de la biodiversité. Les collecteurs d'eau pluviale à ciel ouvert tels que bassins, noues, ruisseaux etc. constituent des milieux aquatiques et humides propices au développement de la faune et la flore comme le bassin paysager « biotope » (*figure 21*) à Clichy Batignolles. Le milieu humide abrite des insectes qui vont à leur tour attirer des oiseaux insectivores. Les toits végétalisés peuvent aussi constituer des habitats pour certaines espèces d'abeilles : l'humidité favorise le développement d'espèces florales qui attirent les pollinisateurs (Dusza, 2017).

6.3. Une gestion biologique

En termes de gestion des espaces verts les écoquartiers mettent place une lutte dite biologique plutôt que phytosanitaire. La lutte biologique consiste à utiliser autant que possible des prédateurs naturels pour lutter contre les ravageurs. Par exemple, la coccinelle est utilisée pour manger les pucerons qui eux mangent les plantes ou fruits. Le coût est le même que celui de la lutte sanitaire (Belvalette, Bleomelen, Delhay, Mouginot, & Muba, 2011). Le fauchage tardif¹⁴ est également favorisé, permettant ainsi aux insectes pollinisateurs de disséminer les graines et contribuer à la pollinisation. A Bottière-Chénaie des zones sont volontairement laissées en « friche », elles ne sont pas accessibles au public et sont délimitées par de la gavinelle de châtaigner¹⁵ qui permet de laisser passer les animaux (Capitales Françaises de la Biodiversité, 2015). L'objectif est de créer un espace de développement de la biodiversité sans gestion ni intervention de l'homme. Ce principe de friche naturelle a aussi été mis en place à Bo01.

En revanche la gestion des espaces verts privés comme les jardins familiaux dépend des usagers. Pour garantir l'application des mesures précédentes des actions de sensibilisation ou des chartes de bonne pratique et bonne conduite peuvent être une solution.

6.4. Le paysage

Au même titre que les aménagements relatifs à l'eau, les aménagements pour favoriser le développement de la biodiversité ont un intérêt paysager. La notion d'écoquartier est associée à la présence d'espaces verts, on s'attend à ce que la végétation occupe une place importante, qu'il y ait des insectes, des animaux etc. La biodiversité du quartier constitue une réelle vitrine pour attirer de potentiels acheteurs ou locataires qui recherchent un cadre de vie agréable. Le paysage contribue donc à la rentabilité du projet dans sa globalité. De plus, les aménagements vus précédemment sont relativement peu coûteux, les concepteurs de projet ont donc tout intérêt à les réaliser.

L'aspect paysager ne doit cependant pas se faire au détriment de la gestion de l'eau. Dans le cas de l'écocité de Tianjin en Chine le sol est constitué de terres salines et alcalines qui ne sont pas favorables au développement de la végétation. De plus, la pluviométrie est relativement faible. La création et l'entretien des espaces verts dans l'écocité représentent donc un « budget eau

¹⁴ Le fauchage tardif consiste à couper et tondre après la période de floraison entre avril et mai.

¹⁵ Clôture avec des morceaux de bois espacés

considérable » (Li, Bonhomme, & Deroubaix, 2018, p. 10). Malgré ce constat et la pénurie d'eau dont souffre la région, le comité administratif de l'écocité n'a pas revu sa stratégie. Des entretiens menés auprès des habitants montrent que le cadre de vie avec de nombreux espaces verts est un critère majeur dans l'achat ou la location d'un appartement à Tianjin. Or, l'écocité a du mal à remplir ses logements, ce qui met en péril la rentabilité du projet (ibid.). Ceci pourrait expliquer pourquoi les gestionnaires maintiennent cette irrigation et végétation inadaptée : pour remplir la ville il est nécessaire de conserver tous ces espaces verts.



Figure 24 : Espaces verts dans l'écocité de Tianjin, © Construction 21

6.5. Conclusion

La biodiversité est une composante majeure dans la conception et le fonctionnement des écoquartiers. La plupart des écoquartiers étudiés ont réalisé des aménagements favorisant le développement de la biodiversité et assurant la continuité écologique (friches naturelles, création de zones humides, passages entre les milieux aquatiques et terrestre, toits végétalisés etc.). Le développement de la biodiversité est étroitement lié à la gestion de l'eau, les réseaux d'eau pluviale à ciel ouvert favorisent grandement ce développement. L'approche paysagère est également importante puisqu'elle participe au cadre de vie que recherche les habitants en venant s'installer dans un écoquartier. Nous avons pu constater que l'approche chinoise de la biodiversité était différente de l'approche européenne. Dans le cas de Tianjin elle est plus centrée sur l'aspect paysager, reléguant notamment la gestion de l'eau au second plan. Quant à l'écoquartier de Kitakyūshū au Japon il ne présente pas de mesures pour développer la biodiversité.

7. Conclusion générale

Ce rapport avait pour ambition de comprendre la conception et le fonctionnement des écocités en se demandant comment elles répondent à des objectifs de durabilité environnementale, économique et sociale. Au moyen de l'étude de plusieurs écocités françaises, européennes et asiatiques il a été possible de déterminer plusieurs champs d'actions qui répondent à ces objectifs.

Hormis le principe de collecte pneumatique utilisé à Clichy Batignolles, Tianjin et Bo01, le traitement des déchets est traditionnel dans les autres écoquartiers étudiés. L'avantage de système est qu'il permet de réduire la pollution liée à la collecte des déchets. Ce système en revanche est très coûteux, le mode de financement français par les collectivités ne rend pas ce système économiquement acceptable.

Des synergies sont possibles entre la production d'énergie renouvelable et la gestion des déchets. La centrale de cogénération de Malmö qui brûle les déchets est environnementalement et financièrement durable (malgré les fragilités dues à la surcapacité). En revanche à Kitakyūshū la production d'hydrogène n'est pas durable puisqu'elle est basée sur la captation de vapeurs d'hydrocarbures et ne constitue pas une source d'énergie renouvelable. Nous avons également pu constater que la géothermie était très utilisée par les écoquartiers notamment Bo01, Clichy-Batignolles, De Bonne, Confluences et Tianjin. Elle souvent associée à d'autres sources d'énergies, telles que l'éolien, le solaire et le photovoltaïque. L'étude de Bo01 et Clichy-Batignolles montre que **l'autonomie énergétique des écoquartiers reposent sur la combinaison et les synergies entre ces procédés**. Les installations énergétiques représentent également un poste de dépense très important mais nécessaires dans les projets d'écoquartier. Les objectifs de productions et de consommation énergétique ne sont en revanche pas atteints dans les écoquartiers étudiés, **les réseaux intelligents (smart grid) tels que celui installé par le CoRDEES sont une piste pour optimiser les performances**.

Quant à la mobilité les écoquartiers développent les réseaux de transports collectifs et alternatifs (véhicules en autopartage) pour réduire l'utilisation de la voiture individuelle. La **politique de « quartier à courte durée »** observée à Vauban et Bo01 implique d'organiser spatialement le quartier en fonction de la mobilité et non d'adapter la mobilité au quartier. La question des transports est donc intégrée en amont de la phase de conception des projets. La voiture individuelle est encore très ancrée dans nos modes de vie il est donc difficile de limiter sa place dans les écoquartiers malgré les mesures mises en place.

En ce qui concerne la gestion locale et durable des eaux usées est très peu traitée seul Bo01 et BedZED ont mis en place des dispositifs. Un système de traitement des eaux usées à plus grande échelle commun aux écoquartiers et à leurs communes permettrait peut-être de viabiliser ce type de projet et d'amortir les coûts (éviter les pertes financières liées au surdimensionnement comme dans le cas de BedZED). La gestion des eaux pluviales dans les écoquartiers est faite de sorte à favoriser au maximum les infiltrations naturelles dans le sol et à construire des ouvrages à ciel ouverts : bassins d'infiltration, puits d'infiltration, noues, canaux, toits végétalisés, surface perméable etc. (De Bonne, Bottière-Chénaie, Clichy-Batignolles, Bo01). De plus ces aménagements sont moins coûteux que les ouvrages de gestion traditionnels autant en termes de construction que d'entretien.

Favoriser les ouvrages à ciel ouvert et réaliser de petits aménagements (passerelles pour batraciens, pentes douces) permet de créer des interactions entre les différents milieux et donc des maillages écologiques. La gestion de ces espaces est biologique et certaines zones sont laissées en « friche », fermées au public, pour permettre à la biodiversité de se développer sans être dérangée par

l'homme. L'approche de la biodiversité dans les études de cas asiatiques est beaucoup moins poussée voire inexistante à Kitakyūshū. Tianjin se concentre uniquement sur l'aspect paysager au dépend de la gestion raisonnée de l'eau. Nous avons pu constater que la qualité paysagère des écoquartiers (avec le confort des logements) était l'un des critères les plus importants recherchés par les habitants. Elle contribue donc grandement à l'attractivité des écoquartiers et donc à leur rentabilité.

La mixité sociale est difficile à respecter dans les écoquartiers. Les coûts de construction élevés ne permettent pas toujours d'inclure des logements sociaux (Bo01, Confluences, Hammarby). On peut voir également les effets négatifs de l'attractivité des écoquartiers : à BedZED des logements initialement occupés par des foyers à faibles revenus ont pris de la valeur du fait de la spéculation immobilière et ont été revendus à des foyers plus aisés générant ainsi un phénomène de gentrification.

Axes d'approfondissements

Nous n'avons pas traité la question de la **participation citoyenne** dans les écoquartiers, ne disposant pas de suffisamment d'informations, mais il est important de préciser quelle constitue un élément important de la fabrique de la ville durable et sociale. Les habitants des écoquartiers peuvent apporter aux aménageurs leur expertise de terrain en tant qu'usagers. De plus, les résultats de bon nombre des mesures citées précédemment dépendent de l'implication des citoyens (tri des déchets, consommation énergétique, utilisation des transports, gestion de la biodiversité sur les espaces privés etc.). De même, la **réutilisation de matériaux et les passations de marchés verts**¹⁶ (green procurement) n'ont pas été étudiés par manque d'informations disponibles sur le sujet. Ce sont néanmoins des éléments déterminants dans l'évaluation de la durabilité environnementale des écoquartiers.

Pour finir, après analyse de tous ces champs d'action nous pouvons souligner et affirmer le caractère systémique du fonctionnement des écocités. Ce sont les combinaisons et les synergies entre toutes ces composantes qui rendent les écocités durables. Les écocités participent à développer et tester des solutions pour lutter contre le réchauffement climatique et adapter l'espace urbain à ses conséquences futures. On peut se demander si les actions mises en place dans les écocités pourront et seront intégrées dans des quartiers et villes déjà existantes. Lutter contre le réchauffement climatique ne peut se faire uniquement en créant de nouvelles villes et quartiers, l'existant doit aussi être repensé et amélioré.

¹⁶ Les passations de marchés verts ou achats écologiques désignent l'utilisation et l'achat de produits et services respectueux de l'environnement, la sélection des entrepreneurs et la définition d'exigences environnementales dans un contrat.

8. Bibliographie tomes 1 & 2

- ADME, Trebesses, G., Whitwham, M., Ekstrand, A., & Millers-Dalsjö, D. (2017, décembre). *Etude de benchmark de projets internationaux de collecte pneumatique et d'analyse de leurs coûts*. Consulté à l'adresse https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/benchmark-collecte_pneumatique-201712-rapportpublique.pdf
- Agence européenne pour l'environnement. (2019, 18 avril). Emissions de CO2 des voitures : faits et chiffres. Consulté le 13 janvier 2021, à l'adresse <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20190313STO31218/emissions-de-co2-des-voitures-faits-et-chiffres-infographie>
- Agence régionale de l'Environnement en Lorraine, BRGM, EDF, & ADEME. (2018, février). *Guide technique Pompe à chaleur géothermique sur aquifère*. Consulté à l'adresse <https://www.geothermies.fr/sites/default/files/inline-files/Guide%20technique-%20pompe%20C3%A0%20chaleur%20geothermique%20sur%20aquif%C3%A8re-conception%20et%20mise%20en%20oeuvre.pdf>
- ARENE Ile-de-France & IMBE. (2005, avril). *Quartiers durables - Guide d'expériences européennes*. Consulté à l'adresse https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/quartiers_durables_guide.pdf
- Atelier de paysages Bruel Delmar. (s. d.). Écoquartier Bottière-Chênaie à Nantes - Parc & Espaces Publics. Consulté le 14 janvier 2021, à l'adresse <http://www.brueidelmar.fr/fr/project/12/ecoquartier-bottiere-chenaie-a-nantes-parc-espaces-publics/>
- Attour, A., & Depret, M.-H. (2014). TIC, soutenabilité et stratégie territoriale des villes durables : le cas des EcoCités en France. *Innovations : Cahiers d'économie et de management de l'innovation*, (Juin), 1-25. Consulté à l'adresse <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01062006>
- *BedZED Beddington Zero Energy Development*. (2016, mai). Consulté à l'adresse <https://ecoquartier.ch/wp-content/uploads/2016/05/BedZED-PresentationDetaillee-1.pdf>
- Belvalette, M., Bleomelen, A., Delhay, J., Mouginot, P., & Muba, C. F. (2011). *Comment intégrer la biodiversité au sein d'un écoquartier ?* Consulté à l'adresse <http://www.dijon-ecolo.fr/dossiers/ecoquartiers/Rapport-etudiants-biodiversite-ecoquartier.pdf>
- *Bo01 "cité de demain"*. (2016, mai). Consulté à l'adresse <https://ecoquartier.ch/wp-content/uploads/2016/05/malmo-ecoquartier-vastra-hammen-bo01.pdf>
- Bruxelles Environnement. (2020, mai). *Fiche de Projet Durable - ZAC De Bonne Grenoble*. Consulté à l'adresse https://besustainable.brussels/wp-content/uploads/2020/05/20200511_fiche-de-projet-GRENOBLE-BONNE_FR.pdf

- Bureau de l'Aménagement opérationnel durable français. (2019). *Campagne de labellisation ÉcoQuartier 2019*. Consulté à l'adresse <http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/assets/articles/documents/guide-de-labellisation-ecoquartier-fev2019.pdf>
- Capitales Françaises de la Biodiversité. (2015). EcoQuartier de la Bottière Chenaie : Démarches de planification en faveur de la biodiversité. Consulté le 15 janvier 2021, à l'adresse <http://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/ecoquartier-de-la-bottiere-chenaie>
- Connaissance des énergies. (2015, 14 avril). Réseau intelligent (Smart Grid). Consulté le 3 avril 2020, à l'adresse <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reseau-intelligent-smart-grid>
- Construction 21. (2018, 7 décembre). Éco-cité de Tianjin (Chine) : Grand Prix Quartier Durable - Green Solutions Awards 2018. Consulté le 17 janvier 2021, à l'adresse <https://www.construction21.org/algerie/articles/h/eco-cite-de-tianjin-chine-grand-prix-quartier-durable-green-solutions-awards-2018.html>
- Construction21 France. (2011). Gestion pneumatique des déchets à Clichy-Batignolles. Consulté le 31 octobre 2020, à l'adresse <https://www.construction21.org/france/infrastructure/fr/gestion-pneumatique-des-dechets-a-clichy-batignolles.html>
- CoRDEES. (2019, octobre). *Projet CoRDEES Co-responsibility in District Energy Efficiency & Sustainability*. Consulté à l'adresse https://www.paris-metropole-amenagement.fr/sites/default/files/2019-10/1909_REX%20CoRDEES%20BAT.pdf
- Curien, R. (2016). L'éco-cité de Tianjin : innovations et limites d'une conception sinosingapourienne d'une ville durable. *Métropolitiques*, 1-8. Consulté à l'adresse <http://www.metropolitiques.eu/L-ecocite-de-Tianjin-innovations.html>.
- Doulet, J.-F. (2015, 27 avril). L'urbanisme chinois et l'émergence du modèle « intégrationniste ». Consulté le 15 mars 2020, à l'adresse <https://www.metropolitiques.eu/L-urbanisme-chinois-et-l-emergence.html>
- Doussard, C. (2019). *Evaluer les éco-quartiers : analyses comparatives internationales* (Thèse). Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02043510v1>
- Dubois, O., & Van Crielingen, M. (2005). *La « ville durable » contre les inégalités sociales ? Compacité urbaine et gentrification à Bruxelles*. Consulté à l'adresse <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.527.9964&rep=rep1&type=pdf>
- Dusza, Y. (2017, janvier). *Toitures végétalisées et services écosystémiques : favoriser la multifonctionnalité via les interactions sols-plantes et la diversité végétale*. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01587757/document>

- EcoQuartier de la Bottière Chenaie | Capitales Françaises de la Biodiversité. (s. d.). Consulté le 7 avril 2020, à l'adresse <http://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/ecoquartier-de-la-bottiere-chenaie>
- Editions T.I., Techniques de l'Ingénieur. (2010, 10 avril). Géothermie de surface - Aquifères superficiels et stockage thermique souterrain. Consulté le 30 décembre 2020, à l'adresse <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/environnement-et-construction-42552210/geothermie-de-surface-be8593/>
- Emelianoff, C. (2004). L'urbanisme durable en Europe : à quel prix ? *Ecologie & politique*, N°29(2), 21-36. <https://doi.org/10.3917/ecopo.029.0021>
- Enertech. (2011, avril). *Grenoble - ZAC De Bonne - Evaluation par mesure des performances énergétiques des 8 bâtiments construits dans le cadre du programme européen Concerto*. Consulté à l'adresse https://www.enertech.fr/modules/catalogue/pdf/66/zdb_rapport-synthese_fr
- ENGIE. (s. d.). Géothermie - Réseau de chaleur Clichy-Batignolles. Consulté le 6 décembre 2020, à l'adresse <https://www.engie.fr/actualites/geothermie-clichy-batignolles/>
- ENVAC. (2019, 18 septembre). ENVAC Sino-Singapore Tianjin Eco-City. Consulté le 31 octobre 2020, à l'adresse <https://www.envacgroup.com/casestudies/sino-singapore-tianjin-eco-city/>
- Environnement Magazine. (2016, 13 octobre). Collecte pneumatique : le mystère français. *Environnement Magazine*. Consulté à l'adresse <https://www.environnement-magazine.fr>
- Environnement Magazine. (2017, 6 juin). L'écoquartier Clichy-Batignolles en quête d'un facilitateur énergétique. Consulté le 28 décembre 2020, à l'adresse <https://www.environnement-magazine.fr/energie/article/2017/06/06/49550/ecoquartier-clichybatignolles-quete-facilitateur-energetique>
- Faivre d'Arcier, B., Lecler, Y., Granier, B., & Leprêtre, N. (2016, janvier). *Des éco-quartiers aux « smart cities » : quel rôle pour l'électro-mobilité ? Une comparaison France-Japon - Projet SMARTMOB*. Consulté à l'adresse http://isidoredd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Temis/0083/Temis-0083737/22383_B.pdf
- France Nature Environnement. (2019, mars). *Intégration des enjeux de biodiversité dans les ÉcoQuartiers*. Consulté à l'adresse <http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/assets/articles/documents/integration-des-enjeux-de-biodiversite-dans-les-ecoquartiers.pdf>
- Gonzalez, F. (2018, 23 avril). Kitakyushu : de l'Eco-Town à la Smart City. Consulté le 9 avril 2020, à l'adresse <https://medium.com/caium/kitakyushu-de-leco-town-%C3%A0-la-smart-city-9b3812cdaf0f>
- Gourdon, J., & Pisani, F. (sous presse). *Villes de demain*. *Le Monde*.

- Henry, A. (2013). *Aménagement des éco-quartiers et de la biodiversité* (Thèse). Consulté à l'adresse <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00910820>
- *HySut : Hydrogen Town Project* . (2017, 24 décembre). [Fichier vidéo]. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=SFT3R3L_ayQ
- La Banque Mondiale. (s. d.). Population urbaine. Consulté le 15 avril 2020, à l'adresse <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Lanotte, H., & Rossi, D. (2020). Argument écologique et dissonance cognitive des clients-usagers dans la mise en place d'un transport souterrain des déchets au sein d'écoquartiers. *Revue de l'organisation responsable*, 15(2), 1-2. <https://doi.org/10.3917/ror.152.0039>
- Laouedj, A. (2016, 6 novembre). Approche fonctionnaliste [Diapositives]. Consulté à l'adresse <https://fr.slideshare.net/AsmaLaouedj/approche-fonctionnaliste>
- Laporte, M. (2019, mars). *Les quartiers écologiques européens - Etude du quartier Bo01*. Consulté à l'adresse https://issuu.com/margotlaporte/docs/prsentation_mmoire_master
- Lepesant, G. (2018). *Énergies nouvelles, territoires autonomes ? (Transaire(s)) (French Edition)*. Consulté à l'adresse <https://books.openedition.org/pressesinalco/17525?lang=fr>
- Leprêtre, N. (2016). *Les transformations de l'action publique au prisme des réseaux électriques intelligents. Le cas des expérimentations de smart communities au Japon* (Thèse). Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01414743>
- Leprêtre, N. (2019, octobre). *Les villes « intelligentes » au Japon*. Géoconfluences. Consulté à l'adresse <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/japon/corpus-documentaires/villes-intelligentes>
- *Les Défis Urbains 2016 récompensent l'écoquartier Bottière-Chenaie à Nantes*. (2016, 24 décembre). [Fichier vidéo]. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=rQPimy3MsiU>
- Les Entreprises du Paysage. (2020, 20 février). Les bienfaits sur le climat. Consulté le 15 janvier 2021, à l'adresse [https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/tout-savoir-sur-les-bienfaits-du-vegetal/climat/#:%7E:text=Les%20espaces%20verts%20att%C3%A9nuent%20les,en%20ville%20de%203%20mani%C3%A8res.&text=Gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20l'%C3%A9vapotranspiration%2C%20les,r%C3%A9cup%C3%A9rant%20l'%C3%A9nergie%20solaire\).](https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/tout-savoir-sur-les-bienfaits-du-vegetal/climat/#:%7E:text=Les%20espaces%20verts%20att%C3%A9nuent%20les,en%20ville%20de%203%20mani%C3%A8res.&text=Gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20l'%C3%A9vapotranspiration%2C%20les,r%C3%A9cup%C3%A9rant%20l'%C3%A9nergie%20solaire).)
- Li, Y., Bonhomme, C., & Deroubaix, J.-F. (2018). Un modèle de développement urbain durable peut-il s'exporter ? La construction de « l'exemplaire » éco-cité de Tianjin. *Nouvelles approches du régime politique sous Xi Jinping*, 93-104. Consulté à l'adresse <https://journals.openedition.org/perspectiveschinoises/8281>

- Loisel, M. (2013, 2 février). Japon - Créer une ville sans carbone. Consulté le 18 janvier 2021, à l'adresse <https://www.ledevoir.com/monde/asie/369902/creer-une-ville-sans-carbone#>
- Mancebo, F. (2011). La ville durable est-elle soluble dans le changement climatique ? *Environnement urbain*, 5, 1-9. <https://doi.org/10.7202/1005873ar>
- Ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales. (2020, 20 mars). Démarche ÉcoQuartiers. Consulté le 13 avril 2020, à l'adresse <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/demarche-ecoquartiers>
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (s. d.). Explorateur ÉcoCités. Consulté le 7 mars 2020, à l'adresse <https://explorateur.ecocites.logement.gouv.fr/#ecocite=territoire-seine-aval>
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2018, 17 juillet). Préfiguration d'une approche IBA pour les ÉcoCités. Consulté le 15 mars 2020, à l'adresse <http://www.ecocites.logement.gouv.fr/prefiguration-d-une-approche-iba-pour-les-ecocites-a171.html>
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. (2011). *Etude sur la gestion de l'eau dans les projets présentés à l'appel à projets EcoQuartiers*. Consulté à l'adresse http://www.eau-poitou-charentes.org/IMG/pdf/rapport_definitif_etude_eau_eq2009-novembre_2011.pdf
- Ministère Territoires et Collectivités. (2016, 15 juin). *Ecoquartier de la ZAC de Bonne à Grenoble* [Fichier vidéo]. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=3tqxNJP4HZo>
- Moritz, M. (2016). Big data et villes éco-intelligentes. *I2D - Information, données & documents*, 53(1), 62. <https://doi.org/10.3917/i2d.161.0062>
- Observatoire régional des opérations innovantes pour la maîtrise des eaux pluviales. (2014). *Écoquartier De Bonne, Grenoble, préserver la nappe*. Consulté à l'adresse http://www.graie.org/graie/BaseDonneesTA/9_38_Grenoble_Bonne.pdf
- Paris Batignolles Aménagement. (2017). *Présentation Ecoquartier de Clichy Batignolles*. Consulté à l'adresse https://archive-clichy-batignolles.paris-et-metropole-amenagement.fr/sites/default/files/exe_cb_dossierpresse-fr_220217.pdf
- Pavan, B. (2012, 15 juin). A Grenoble, les ratés du premier écoquartier français. *Le Monde*. Consulté à l'adresse <https://www.lemonde.fr>
- *Puits géothermiques sur Clichy-Batignolles - Eau de Paris*. (2014, 9 octobre). [Fichier vidéo]. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=kitOcMeXBDM>
- Renaud, V. (2012). *Fabrication et usage des écoquartiers français : éléments d'analyse à partir des quartiers De Bonne (Grenoble), Ginko (Bordeaux) et Bottière-Chénaie (Nantes)*. Consulté à l'adresse <http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0052/these.pdf>

- *Reportage Hikari : la Smart City en test à Lyon*. (2015, 12 novembre). [Fichier vidéo]. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=n7fndMTN6cU>
- Sordello, R. (2017). Les conséquences de la lumière artificielle nocturne sur les déplacements de la faune et la fragmentation des habitats : une revue. *Le Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois*, (119), 39-54. Consulté à l'adresse <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-31917-lumiere-deplacements-sordello.pdf>
- Souami, T. (2009). Conceptions et représentations du territoire énergétique dans les quartiers durables. *Flux*, n° 76-77(2), 71-81. <https://doi.org/10.3917/flux.076.0071>
- Souami, T. (2013). De l'écoquartier à la ville intelligente. Dans *Le développement durable à découvert* (p. 112-113). Consulté à l'adresse <https://books.openedition.org/editions-cnrs/10663?lang=fr#authors>
- Super User. (2018, 24 octobre). L'écoquartier Bottière-Chénaie à Nantes. Consulté le 7 avril 2020, à l'adresse <https://www.nantesimmo9.com/ecoquartier-bottiere-chenais-nantes>
- Thibault, H. (2015, 27 novembre). En Chine, le mirage des écocités. Consulté le 18 janvier 2021, à l'adresse https://www.lemonde.fr/planete/article/2015/09/28/pla-serie-climat-la-ville-revee-des-officiels-chinois-publication-samedi_4774929_3244.html
- Torregrossa, M. (2013, 9 septembre). Lyon - L'autopartage électrique SunMoov' investit l'écoquartier de la Confluence. Consulté le 12 janvier 2021, à l'adresse <https://www.avem.fr/actualite-lyon-l-autopartage-electrique-sunmoov-investit-l-eco-quartier-de-la-confluence-4367.html>
- Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., & Laganier, R. (2012). La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? *Développement durable et territoires*, 3(1). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9208>
- Van Eeckhout, L. (2015, 18 septembre). A Lyon, Hikari, le premier îlot urbain à énergie positive. *Le Monde*. Consulté à l'adresse <https://www.lemonde.fr>
- Ville de Paris. (2017, 3 mars). Clichy-Batignolles : un quartier entier chauffé par la géothermie. Consulté le 27 décembre 2020, à l'adresse <https://www.paris.fr/pages/clichy-batignolles-un-quartier-entier-chauffe-par-la-geothermie-4582>
- Ville, F. (2016, 8 décembre). Enquête : faut-il abandonner la collecte pneumatique des déchets ? *La Gazette des Communes*. Consulté à l'adresse <https://www.lagazettedescommunes.com>
- Voiron-Canicio, C. (2015). « La ville résiliente » de quelles résiliences parle-t-on ? Présenté à Innovatice City 2015, Nice, France. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2922.8644>

Directeur de recherche :
Vincent Rotgé

Océane Fleurent
PFE/DAE5
ITI
2020-2021

Comprendre les écocités et leur fonction : Approche comparative française et internationale

Résumé :

La présente étude a pour objectif de comprendre la conception et le fonctionnement des écocités en se demandant comment elles répondent à des objectifs de durabilité environnementale, économique et sociale. L'étude de plusieurs écocités françaises, européennes et asiatiques nous permet de déterminer les actions mises en place pour améliorer la gestion des déchets, la production et consommation énergétique, la mobilité, la gestion de l'eau et le développement de la biodiversité. La durabilité de ces actions réside dans leur combinaison et synergies. Les coûts de construction des écoquartiers et écocités sont conséquent et parfois ne permettent pas d'inclure de logements sociaux, dérogeant à l'objectif de mixité sociale.

Mots Clés : écocités, écoquartiers, changement climatique, gestion des déchets, énergies renouvelables, réseaux intelligents, mobilité, cycle de l'eau, biodiversité.