Danfoss Impact
Numéro 3

Feuille de route pour la décarbonation des villes

La lutte contre le changement climatique sera une victoire – ou une défaite – dans les villes

Avant-propos de Mika Kulju
Président, Danfoss Power Electronics & Drives

Gratte-ciels, embouteillages, centres commerciaux et climatiseurs. Il n'est pas difficile de comprendre pourquoi les villes représentent les deux tiers de la consommation d'énergie mondiale et plus de 70 % des émissions annuelles de carbone mondiales[1]. Avec plus de la moitié de la population mondiale vivant dans les villes aujourd'hui, chiffre qui devrait atteindre près de 70 % d'ici 2050[2], nous n'atteindrons pas les objectifs de l'Accord de Paris sans une décarbonation en profondeur des villes.

De nombreuses villes à travers le monde se sont engagées à atteindre des objectifs climatiques ambitieux et prennent des mesures pour réduire leurs émissions. Cependant, comme l'expose le dernier rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), l'objectif de 1,5 °C devient hors de portée et il est probable que le monde dépassera 1,5 °C de réchauffement à court terme si nous « continuons de marcher au lieu de courir »[3]. Le changement climatique a déjà eu des impacts négatifs sur le bien-être humain et les infrastructures urbaines essentielles. Par exemple, les vagues de chaleur et la pollution de l'air se sont intensifiées dans les villes[4]. Pour éviter le pire de la crise climatique, un changement rapide, profond et durable est nécessaire. Ou comme le dit le Secrétaire général des Nations Unies, António Guterres : « Notre monde a besoin d'actions climatiques sur tous les fronts : tout, partout, en même temps. »[5] L'ambition de ce livre blanc est de démontrer comment « tout, partout, en même temps » peut être appliqué dans les villes.

Danfoss Impact
Numéro 3

Les villes offrent certaines des meilleures possibilités pour optimiser l'urbanisme et accélérer une transition écologique. De plus, il existe déjà des technologies accessibles et rentables capables de réduire suffisamment les émissions pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux.[6] En proposant une feuille de route pour une transition urbaine écologique, cela montre comment les villes peuvent agir en tant que leaders ambitieux et inspirants qui mettent en valeur les technologies écologiques et créent des lieux de vie et de travail attrayants. Dans les prochains chapitres, nous analyserons plus en détail l'empreinte carbone de tous les principaux aspects de notre vie en ville : le chauffage et le refroidissement des bâtiments dans lesquels nous vivons, les chantiers qui construisent nos maisons, nos routes et nos lieux de travail, les transports qui nous amènent au travail, les infrastructures qui fournissent nos marchandises et gèrent les déchets et les centres de données qui constituent le pilier numérique de la ville. Au cours des prochaines années, la lutte contre le changement climatique sera une victoire – ou une défaite – dans les villes. Les solutions existent, mais les dirigeants politiques doivent agir pour les développer. N'attendons plus.

« Notre monde a besoin d'actions climatiques sur tous les fronts : tout, partout, en même temps. »

António Guterres, Secrétaire général des Nations Unies

S’appuyant sur des preuves issues de sources fiables, Danfoss Impact est écrit pour montrer comment les technologies d’efficacité existantes peuvent réduire le coût de la décarbonation et accélérer l’électrification de nos économies.

Cette édition spéciale et plus longue de Danfoss Impact vise à fournir une feuille de route concrète aux maires, aux décideurs locaux et aux urbanistes sur la manière d’éliminer tous les principaux facteurs de l’empreinte carbone des villes. Elle analyse comment les technologies disponibles peuvent améliorer le mode de vie des citoyens tout en rendant nos économies plus résilientes et en créant des emplois. Elle offre une vision holistique et concrète des principales opportunités de décarbonation des villes.

Cependant, les solutions présentées ne sont pas exhaustives et le document n’explorera pas l’apport et la construction de sources d’énergie renouvelables. Ce thème a fait l’objet de recherches et d’analyses approfondies. De plus, bien qu’elles ne relèvent pas du champ d’application de ce document, des mesures d’urbanisme telles que la création de villes piétonnes, de parcs et d’espaces ouverts, de zones humides et d’agriculture urbaine pour réduire le risque d’inondation et les effets des îlots thermiques devraient également être mises en œuvre.[7]

Dans les villes, les secteurs du transport et du bâtiment sont les principaux émetteurs de carbone. C’est pourquoi Danfoss Impact met l’accent sur tous les principaux leviers de décarbonation de ces deux secteurs : réduire l’énergie résiduelle grâce à des mesures d’efficacité, électrifier et intégrer les secteurs pour réutiliser l’énergie autrement perdue.

Ce document a été préparé par le service Communication et Développement Durable de Danfoss. Les commentaires ou questions peuvent être adressés à Sara Vad Sørensen, Responsable analyse, à l’adresse suivante : sara.sorensen@danfoss.com.

Vous ne disposez que de 2 minutes ?

Voici les points clés à retenir

Efficacité énergétique. Si toutes les zones urbaines et les villes d’Europe, des États-Unis et de Chine investissaient dans le chauffage et le refroidissement écoénergétiques des bâtiments, cela contribuerait à 20 % des réductions d’émissions nécessaires dans les zones urbaines pour atteindre l’objectif de 1,5 °C de l’Accord de Paris[8]. La réduction de l’énergie résiduelle est possible dans tous les secteurs et les technologies pour y parvenir sont déjà accessibles.

L’électrification des transports urbains nécessite une accélération drastique. De même, une attention politique urgente sur le potentiel de l’électrification de l’ensemble du secteur des transports – y compris le transport maritime et les véhicules lourds – est cruciale. **Si toutes les zones urbaines et les villes d’Europe, des États-Unis et de Chine électrifiaient leurs transports privés et publics, cela contribuerait à 28 % des réductions d’émissions nécessaires dans les zones urbaines pour atteindre l’objectif de 1,5 °C de l’Accord de Paris[9]**. Comme nous le verrons, la technologie pour l’électrification des voitures, des bus et des camions, ainsi que des équipements maritimes et des transports tels que les bateaux urbains, les ferries et les grues existe déjà.

L’intégration sectorielle est un vecteur d’efficacité énergétique et d’électrification et peut, avec le développement des énergies renouvelables, décarboner l’alimentation électrique des villes. Dans les zones urbaines, la densité élevée de bâtiments, d’infrastructures et de services permet de connecter les consommateurs d’énergie urbains aux producteurs d’énergie et de convertir et stocker l’énergie. Les supermarchés, les centres de données et les installations de traitement des eaux usées peuvent tous passer du statut de gros consommateurs d’énergie à celui de fournisseurs d’énergie.

La mise en œuvre de la technologie existante pour les bâtiments, les transports et l’intégration sectorielle peut **combler la moitié de l’écart** dans les réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES) urbaines nécessaires pour atteindre l’objectif de 1,5 °C.[10]

Danfoss Impact
Numéro 3

L'empreinte carbone des villes – une feuille de route

Sur la gauche apparaît une feuille de route pour la décarbonation des villes.

Dans les trois chapitres suivants, nous explorerons les domaines concrets qui constituent les principaux leviers de la décarbonation des villes.

Dans le chapitre 1, nous examinons les émissions liées au chauffage et au refroidissement des bâtiments dans lesquels nous vivons, travaillons et passons notre temps libre.

Dans le chapitre 2, nous examinons les opportunités de décarbonation du secteur des transports – des véhicules de chantier lourds aux voitures et bus qui nous transportent d'un endroit à un autre, en passant par les infrastructures et le trafic dans les ports de la ville.

Dans le chapitre 3, nous examinons certains aspects souvent négligés de l'empreinte carbone des villes, tels que les installations de traitement des eaux usées, les supermarchés qui nous fournissent des produits alimentaires et ménagers ainsi que les centres de données qui servent d'infrastructure numérique aux villes. Ces trois sites partagent le potentiel d'exploiter la plus grande source d'énergie inexploitée au monde : la chaleur excédentaire.

Le chapitre 4 résume les trois principaux leviers de la décarbonation des villes et le chapitre 5 présente des recommandations politiques concrètes pouvant accélérer le déploiement de ces technologies.

Décarbonation du chauffage et du refroidissement dans les villes

Notre feuille de route pour décarboner les villes commence dans les bâtiments où nous vivons, travaillons et passons la plupart de notre temps. Les maisons, les bureaux, les hôpitaux, les écoles et les usines ont tous besoin d'énergie pour l'alimentation, le chauffage et le refroidissement. Dans le monde, les bâtiments sont la deuxième source d'émissions de carbone liées à l'énergie. Au total, 28 % des émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie proviennent de la consommation d'énergie quotidienne dans les bâtiments.[11] Et dans les zones urbaines, les bâtiments peuvent souvent représenter plus de 50 % des émissions.[12]

Alors que le changement climatique progresse et que les températures augmentent inévitablement, la demande d'énergie dans les bâtiments pour maintenir les conditions ambiantes devrait continuer d'augmenter. Les températures élevées et les vagues de chaleur ont déjà commencé à stimuler la demande de climatisation et continueront de le faire.[13] Alors que la population mondiale continue de croître, l'expansion des bâtiments nécessaires pour héberger et servir les communautés en pleine croissance augmentera également. La réduction des émissions des bâtiments est donc essentielle pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris.

Une stratégie efficace de décarbonation des bâtiments doit répondre à la fois aux exigences en matière d'approvisionnement et de demande en énergie. Nous devons simultanément nous assurer que les sources d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments sont décarbonées, tout en nous efforçant de réduire la demande globale en énergie des bâtiments.

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), si nous voulons atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, près de 85 % des bâtiments doivent être prêts pour le zéro carbone, c'est-à-dire être très économes en énergie et utiliser de l'énergie décarbonée.[14] Pour parvenir cet objectif, la plupart des bâtiments existants devraient être rénovés d'ici 2050 et tous les nouveaux bâtiments devront être construits de manière à ne pas émettre de carbone d'ici 2030. Mais nous ne sommes pas sur la bonne voie : en septembre 2022, les taux de rénovation des bâtiments existants étaient d'environ 1 % et doivent doubler, et seuls 5 % des nouveaux bâtiments étaient neutres en carbone.[15]. Cependant, des solutions existent déjà pour atteindre l'efficacité nécessaire dans les bâtiments.

Pour réduire l'intensité énergétique des bâtiments, il faut examiner à la fois les mesures passives et actives qui couvrent le chauffage et le refroidissement des espaces, l'éclairage, la ventilation et l'eau.

Les mesures passives, telles que la conception architecturale ou les améliorations de l'enveloppe du bâtiment, peuvent jouer un rôle important dans la réduction de la demande en chauffage, refroidissement, ventilation, éclairage et autres processus énergivores. Cependant, dans ce document, nous nous concentrerons sur les mesures actives.

Danfoss Impact
Numéro 3

Les mesures actives permettent de réaliser des économies d'énergie en mesurant, en surveillant et en contrôlant la consommation d'énergie d'un bâtiment. Bien que l'installation d'un éclairage ou d'un chauffage écoénergétique soit essentielle pour réduire la consommation d'énergie globale, des mesures actives doivent également être mises en place pour garantir que l'éclairage ou le chauffage est uniquement allumé en fonction de la demande. Qu'il s'agisse de rénover des bâtiments existants ou d'en construire de nouveaux, les mesures actives peuvent offrir un potentiel d'économies d'énergie énorme, rapide et attractif, bien loin d'être exploité aujourd'hui. Les pages suivantes présentent plusieurs technologies existantes avec un grand potentiel d'économies d'énergie. Et bien que la situation géographique détermine souvent les mesures actives les plus judicieuces (par exemple, chauffage vs refroidissement), les exemples suivants sont particulièrement pertinents dans le contexte du chauffage des bâtiments.

Thermostats

Économisez 7 % sur l’énergie finale dans un immeuble résidentiel

L’un des moyens les plus simples d’économiser de l’énergie est de maintenir automatiquement le niveau de température d’une pièce à l’aide d’un thermostat. Aussi simples soient-ils, les robinets thermostatiques permettent d’économiser jusqu’à 7 % de l’énergie finale dans un immeuble résidentiel avec un délai d’amortissement d’un an.[16] Pourtant, de nombreux bâtiments n’appliquent toujours pas cette mesure simple. Dans toute l’UE, les robinets thermostatiques ont le potentiel d’économiser 130 TWh d’énergie de chauffage par an sans affecter le confort thermique des foyers.[17] Les économies d’énergie peuvent être encore augmentées avec un thermostat électronique à régulation numérique qui peut être réglé en fonction du comportement des occupants, par exemple en abaissant la température ambiante lorsqu’un bâtiment est vide.

Équilibrage hydronique

Économisez 10 % sur l’énergie finale dans un immeuble résidentiel

De nombreuses unités de chauffage ou de refroidissement utilisent un système hydronique qui transfère l’eau à travers les tuyaux et les radiateurs pour chauffer ou refroidir les bâtiments. La résistance à l’écoulement à l’intérieur du système fluctue, sauf si elle est contrôlée. Par conséquent, les radiateurs plus proches de la pompe deviennent plus chauds que leur température prévue, tandis que les radiateurs plus éloignés de la pompe sont plus froids. Cette inefficacité signifie que l’eau est souvent surchauffée et que des plus grandes pompes sont installées pour atteindre les personnes vivant loin de la pompe. En plus des thermostats, l’installation de vannes d’équilibrage automatique avec régulateur de pression différentielle permet d’obtenir des températures intérieures idéales, de réduire les coûts d’exploitation et d’améliorer l’efficacité.

Dans un immeuble résidentiel, un système d’équilibrage hydronique peut permettre d’économiser jusqu’à 10 % d’énergie finale avec un délai d’amortissement d’un an.[18]

Danfoss Impact
Numéro 3

Modèles de contrôle prédictif

Économisez jusqu’à 20 % sur les coûts énergétiques d’un bâtiment

Les modèles de Les modèles de régulateur prédictif sont pilotés par l’intelligence artificielle en utilisant les données du bâtiment, de la météo et de l’utilisateur pour prédire la demande en chauffage et ventilation. En utilisant ces contrôleurs, les bâtiments peuvent préchauffer avant les heures de pointe ou réduire le chauffage lorsque le soleil est sur le point de briller sur les façades du bâtiment, économisant ainsi de l’énergie. Des observations sur 100 000 appartements équipés de cette technologie basés principalement en Finlande ont montré une réduction moyenne de la consommation d’énergie liée au chauffage et à la ventilation de plus de 7 % et 10 % respectivement.

Parallèlement, en déplaçant la consommation vers la période la plus économique, le système permet d’économiser jusqu’à 20 % sur les coûts énergétiques d’un bâtiment.[19] En 2021, une collectivité londonienne a installé des modèles de contrôle prédictif dans huit bâtiments résidentiels. Au cours des 11 premiers mois de fonctionnement, la technologie a permis de rembourser son coût initial et d’économiser 600 MWh de chaleur, soit l’équivalent du chauffage de 50 foyers au Royaume-Uni pendant un an.

Pompes à chaleur

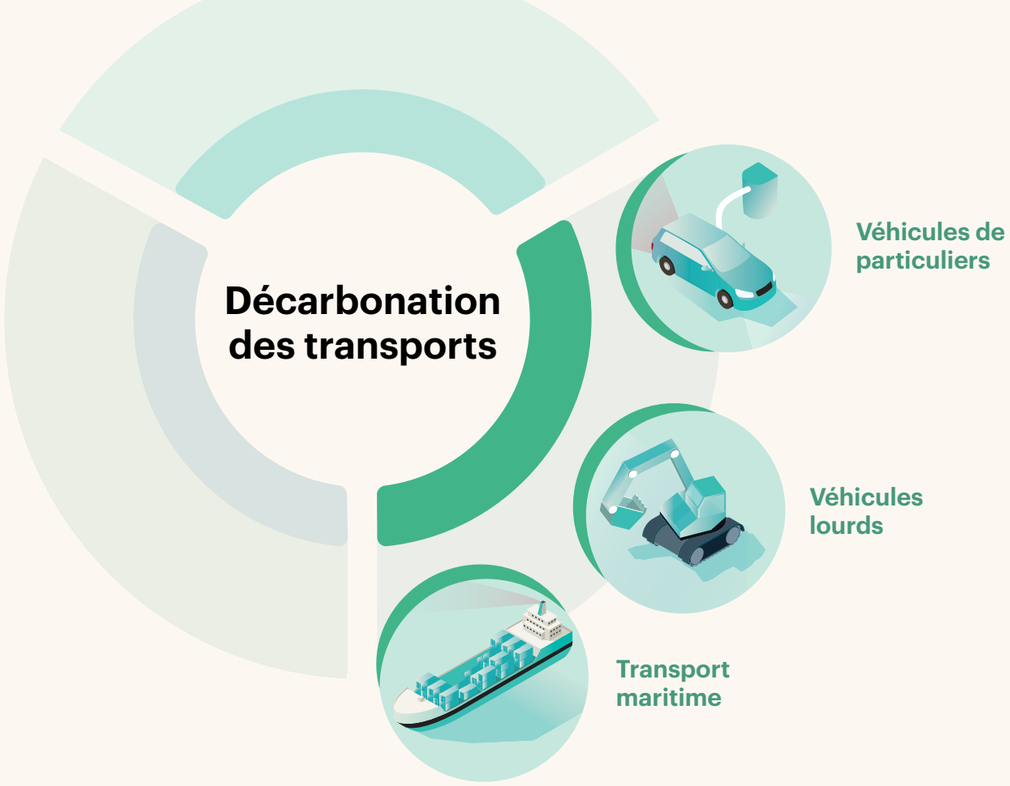
Économisez 2/3 sur l’électricité utilisée par rapport aux équipements électriques traditionnels

Les pompes à chaleur augmentent la chaleur à basse température stockée dans l’air, la roche, le sol ou les eaux souterraines à un niveau de température utilisable. Les bâtiments s’en servent pour chauffer nos espaces de vie, nos bureaux et l’eau. Parce qu’elles améliorent la chaleur au lieu de la produire, les pompes à chaleur peuvent, en moyenne, maintenir un bâtiment chaud avec seulement un tiers de l’électricité utilisée par les équipements électriques traditionnels.

Les pompes à chaleur peuvent également assurer le refroidissement, éliminant ainsi le besoin d’un climatiseur pour les 2,6 milliards de personnes qui vivront dans des régions nécessitant à la fois chauffage et refroidissement d’ici 2050. L’AIE estime que les pompes à chaleur ont le potentiel de réduire les émissions mondiales de CO_2 d’au moins 500 millions de tonnes en 2030, soit l’équivalent des émissions annuelles de CO_2 de toutes les voitures en Europe aujourd’hui.[20] Bien que l’adoption des pompes à chaleur ait augmenté ces dernières années, elles représentaient toujours moins de 10 % des ventes mondiales d’équipements de chauffage en 2021, tandis que les équipements à combustibles fossiles représentaient 45 %.[21] Et ce, malgré des coûts énergétiques inférieurs pour le foyer ou l’entreprise moyen utilisant une pompe à chaleur que pour ceux utilisant une chaudière à gaz.[22]

Décarbonation des transports urbains

De la voiture pour se rendre au travail, aux transports des biens de consommation ou aux véhicules tout-terrain qui construisent la ville, tous les moyens de transport dépendent de quantités importantes d'énergie. Les transports représentent 37 % des émissions de CO_2 des secteurs d'utilisation finale et dépendent principalement des combustibles fossiles.[23] Dans les grandes villes, 33 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre sont générées par les transports.[24] Les transports urbains ont également un impact négatif sur la santé humaine en émettant du bruit et de la pollution atmosphérique dans les villes, ainsi qu'en générant environ la moitié des émissions mondiales d'oxyde d'azote (NO_x).[25] Chaque année, 7 millions de personnes meurent prématurément en raison de la pollution atmosphérique.[26]



Dans cette section, nous évaluons les défis et les possibilités de réduction des émissions des transports urbains. Nous nous concentrons plus précisément sur trois principaux composants des émissions des transports urbains : les véhicules de particuliers, les véhicules lourds[27] et les transports dans et sur les ports urbains.

Électrification des véhicules de particuliers

Le transport routier représente 77 % des émissions liées au transport.[28] La majeure partie de ces émissions provient des véhicules de particuliers[29], ce qui représente plus de la moitié des émissions mondiales liées au transport.[30] Heureusement, les ventes de véhicules électriques ont connu une croissance exponentielle ces dernières années. Les véhicules électriques deviennent plus abordables avec un temps de charge plus rapide et plus performants. Les ventes mondiales de véhicules électriques ont augmenté à 14 % du total des ventes de véhicules en 2022, contre seulement 1 % en 2017, et sont sur la bonne voie pour représenter 18 % des ventes en 2023.[31] L'AIE prévoit que les véhicules électriques représenteront environ une voiture neuve sur trois d'ici 2030, ce qui signifierait une réduction des émissions annuelles équivalente à l'ensemble de l'économie allemande. En Chine, en Europe et aux États-Unis, la part moyenne des voitures électriques dans les ventes totales devrait augmenter d'environ 60 % d'ici 2030.[32]

Pour un transport durable en ville, il est essentiel de disposer de véhicules électriques abordables et de bornes de recharge accessibles. En effet, la transition vers les véhicules électriques est déjà encouragée par les gouvernements. Par exemple, l'objectif du gouvernement norvégien est que tous les nouveaux véhicules de particuliers soient électriques, rechargeables ou hybrides d'ici 2025[33], tandis que le gouvernement californien vise 2035[34].

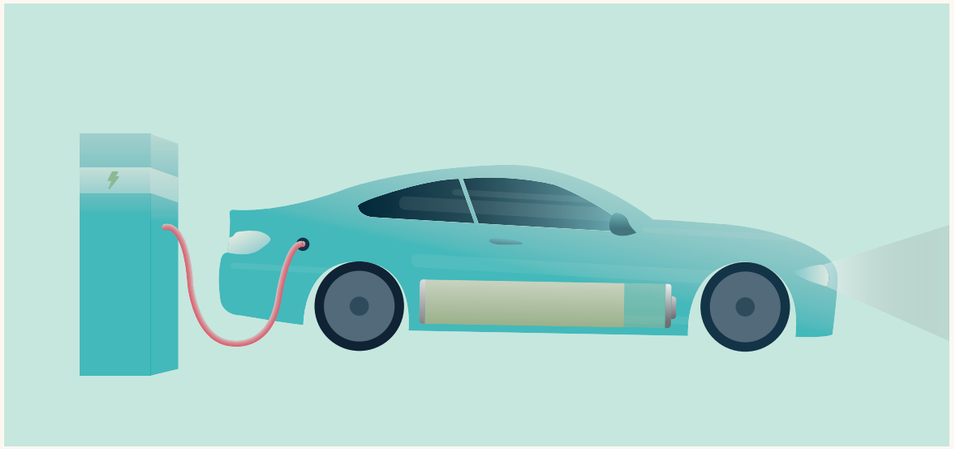
Malgré ces développements récents et encourageants, certains obstacles à la transition vers les véhicules électriques restent à venir, en particulier les obstacles liés aux minéraux essentiels utilisés dans leurs batteries. Les batteries modernes sont fabriquées à partir de nombreux minéraux, tels que le lithium, le nickel et le cobalt. La disponibilité limitée de ces éléments devrait poser un défi à l'adoption mondiale des véhicules électriques.[35] Une analyse portant sur l'adoption des véhicules électriques en Chine – le plus grand marché mondial des véhicules électriques – suggère que les prix élevés des matériaux essentiels pourraient entraver l'adoption des véhicules électriques en Chine, entraînant une augmentation de 28 % des émissions de carbone liées au transport routier entre 2020 et 2060. En outre, une hausse des coûts du lithium, du cobalt, du nickel et du manganèse pourrait entraîner une baisse du pourcentage de véhicules électriques sur les routes chinoises de 49 % à 35 % en 2030 et de 67 % à 51 % en 2060.[36]

Cependant, comme nous pouvons le voir avec l'électrification des véhicules, il existe des technologies écoénergétiques qui peuvent accélérer l'adoption sur le marché des véhicules électriques et réduire la contrainte sur les ressources minérales.

« Les décideurs politiques, les dirigeants de l'industrie et les investisseurs doivent être très vigilants et ingénieux afin de [...] garantir un approvisionnement durable en minéraux essentiels. »[37]

Fatih Birol, Directeur exécutif de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)

Cas : L'efficacité énergétique peut accélérer l'électrification des véhicules



Les composants électroniques utilisés dans un véhicule électrique peuvent avoir un impact significatif sur son efficacité énergétique. Plus spécifiquement, les modules d'alimentation écoénergétiques peuvent avoir un impact sur la quantité de puissance perdue lors du transfert de la puissance de la batterie au moteur.[38] Dans une voiture électrique, l'électricité est stockée dans une batterie, elle passe ensuite par une transmission tandis que le module d'alimentation régule le flux de puissance entre la batterie et le moteur électrique. Les modules de nouvelle génération en carbure de silicium, appelés modules d'alimentation SiC, réduisent la perte de puissance sous forme de chaleur et offrent 60 à 80 % de pertes d'énergie en moins par rapport aux modules traditionnels. Les modules SiC peuvent également contribuer à réduire le poids et la taille d'autres composants tels que le système de refroidissement, ce qui peut réduire davantage le poids total du véhicule et ainsi le rendre plus écoénergétique.

Selon les spécifications techniques et l'application du véhicule, les modules d'alimentation écoénergétiques peuvent réduire efficacement la taille des batteries de 5 à 10 %. Sinon, la perte de puissance plus faible augmente l'autonomie de 4 à 10 % sans même modifier la taille des batteries, ce qui accroît encore l'acceptation de la mobilité électrique dans la société.[39,40,41,42]

Réduction de

5 à 10 %

de la taille de la batterie possible grâce à des mesures d'efficacité énergétique

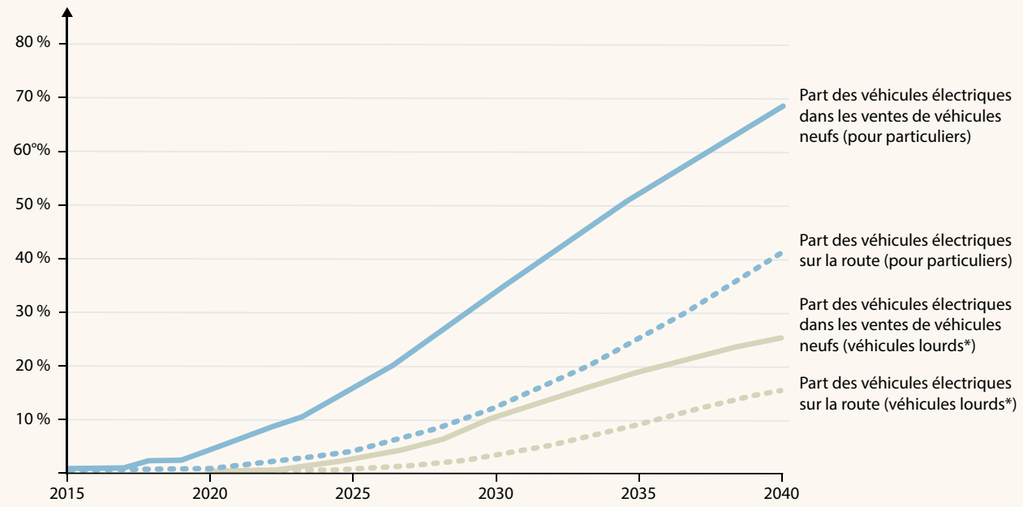
Décarbonation des véhicules lourds

Bien que les ventes de véhicules de particuliers aient connu une accélération spectaculaire, ce n'est pas le cas des véhicules lourds. Les camions, les bus urbains et les bus longue distance sont responsables de plus de 6 % des émissions totales de GES de l'UE et de plus de 25 % des émissions de GES du transport routier.[43]Il en va sans doute de même dans le reste du monde. En Chine, par exemple, les véhicules lourds émettent environ la moitié des émissions de GES de tous les types de véhicules.[44]

En 2022, près de 66 000 bus électriques ont été vendus dans le monde entier, ce qui ne représente que 4,5 % environ de toutes les ventes de bus. L'électrification des flottes de bus urbains représente une opportunité unique de réduire les émissions dans le secteur des transports tout en améliorant la qualité de l'air dans les villes.[45] De plus, si nous voulons atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, les investissements dans les bus électriques devront doubler au cours des deux prochaines décennies.[46]

Du côté des autres véhicules lourds tels que les engins de chantier, les progrès en matière d'électrification sont loin d'être les mêmes que ceux des véhicules électriques de particuliers (voir figure 1). Une attention doit être portée aux possibilités de réduction des émissions de carbone des véhicules lourds pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux. L'efficacité énergétique est la clé de la réduction immédiate des émissions et ouvre la voie à l'électrification des transports lourds. Examinons les engins de chantier, et plus particulièrement les pelleteuses, pour comprendre les défis et les opportunités.

Figure 1 : Véhicules de particuliers vs. véhicules lourds



Source : BNEF. 2021

*Les véhicules lourds sont des véhicules tout-terrain de plus de 15 tonnes.

Les engins de chantier du monde entier émettent 400 MT de CO_2 par an,[47] soit autant que les émissions de l'aviation internationale.[48] 50 % de ces émissions proviennent des pelleteuses.[49] À première vue, il peut sembler simple de suivre la même voie que les véhicules de particuliers : les rendre électriques et les recharger avec de l'énergie issue de sources renouvelables. Mais cela est plus facile à dire qu'à faire.

Premièrement, par rapport aux véhicules de particuliers, les pelleteuses doivent travailler beaucoup plus dur et beaucoup plus longtemps entre les charges, ce qui signifie qu'elles ont besoin de batteries extrêmement volumineuses pour s'adapter à la productivité de l'équivalent diesel. Par conséquent, les pelleteuses entièrement électriques consomment beaucoup de ressources pour la batterie et sont onéreuses. Le coût total de possession sur leur durée de vie dépasse toujours de loin celui des machines diesel.

Deuxièmement, tous les chantiers de pelleteuses ne disposent pas d'une énergie de charge suffisante pour alimenter une flotte de pelleteuses électriques. Les chantiers qui dispose d'une telle possibilité sur site sont souvent très grands, comme les carrières, et nécessitent le remplacement des batteries sur le terrain au début et à la fin de chaque période de travail et leur recharge des batteries dans le dépôt. Étant donné que les batteries pèsent des tonnes, cela pose des défis opérationnels.

Troisièmement, le réseau ne bénéficie pas d'une énergie écologique illimitée et la quantité d'énergie écologique supplémentaire nécessaire pour électrifier la flotte de pelleteuses n'est pas anodine : une estimation approximative indique que si toutes les pelleteuses du monde étaient électriques, elles consommeraient autant d'énergie que celle générée par toutes les éoliennes offshore du monde aujourd'hui.[50]

Malgré ces défis, l'industrie se tourne déjà vers l'électrification. Aujourd'hui, il existe de très petites machines électriques jusqu'à 3 tonnes et elles fonctionnent souvent en centre-ville.

Cependant, pour avoir un impact substantiel sur les émissions de CO_2 dans le secteur, des solutions pour les machines de plus de 10 tonnes sont nécessaires, car ces machines ne représentent que 56 % des unités vendues, mais contribuent à 92 % des émissions de CO_2.[51]

La clé de la décarbonation de ces machines réside dans des technologies écoénergétiques qui peuvent immédiatement réduire l'utilisation du diesel dans les pelleteuses tout en relevant certains défis de l'électrification. L'amélioration de l'efficacité réduit la taille des batteries, la quantité de puissance de charge requise et la quantité de production d'énergie renouvelable nécessaire pour obtenir les mêmes performances.

Pour les chantiers de construction, nous nous concentrons sur les pelleteuses pour comprendre les solutions qui peuvent être utilisées aujourd'hui afin de réduire l'énergie gaspillée et la consommation de diesel liées aux véhicules lourds, ouvrant la voie à une électrification complète de ces véhicules, comme le montre la figure 2. Jusqu'à récemment, les chantiers de construction à faibles émissions semblaient utopiques, mais les innovations sur le marché gagnent en vitesse et transforment le secteur de la construction. De nombreuses villes du monde entier accordent désormais la priorité à différentes manières de réduire les émissions et la pollution provenant du secteur de la construction. Cependant, le rythme doit s'accélérer sans attendre si nous voulons atteindre les objectifs climatiques mondiaux.

Cas : Décarbonation des chantiers de construction

L'ampleur de l'activité de construction mondiale devrait augmenter considérablement dans les décennies à venir, et la décarbonation des véhicules lourds tels que les pelleteuses est essentielle si les villes doivent réduire les émissions de GES.

Les systèmes des pelleteuses d'aujourd'hui ne sont efficaces qu'à 30 %, ce qui signifie que 70 % de l'énergie produite par le moteur est perdue au lieu d'aider le godet de la pelleteuse à déplacer la terre. Pour identifier les pertes d'énergie d'un véhicule lourd, il ne suffit pas de regarder son moteur. Dans les engins de chantier, un système hydraulique se compose d'une pompe qui met les fluides (huile) sous pression pour transmettre la puissance du moteur afin d'effectuer des travaux tels que soulever ou creuser. Que le véhicule soit équipé d'un moteur électrique ou d'un moteur thermique, la consommation d'énergie du véhicule peut être considérablement réduite par des mesures d'efficacité énergétique. Par exemple, la consommation d'énergie peut être considérablement réduite lorsque le véhicule n'est pas en fonctionnement grâce à des solutions telles que les pompes à déplacement variable, le déplacement numérique, les pompes à vitesse variable et les variateurs décentralisés. En outre, les pertes sur le système hydraulique, essentielles pour de nombreux véhicules tout-terrain, peuvent être considérablement réduites avec les technologies existantes, et les systèmes de récupération d'énergie peuvent recycler l'énergie dans le système.

Ces mesures d'efficacité énergétique permettent aux pelleteuses d'effectuer plus de travail avec un moteur plus petit et moins de carburant, et réduisent la capacité de la batterie nécessaire pour les électrifier jusqu'à 24,8 %.[52]

La technologie se développe rapidement et certaines de ces mesures peuvent permettre d'économiser 15 à 30 % de carburant sur les pelleteuses de plus de 15 tonnes tout en augmentant la capacité de travail des machines. Bientôt, il sera possible d'appliquer cette technologie à toutes les tailles de pelleteuses et même d'atteindre des économies de carburant allant jusqu'à 50 %.[53]

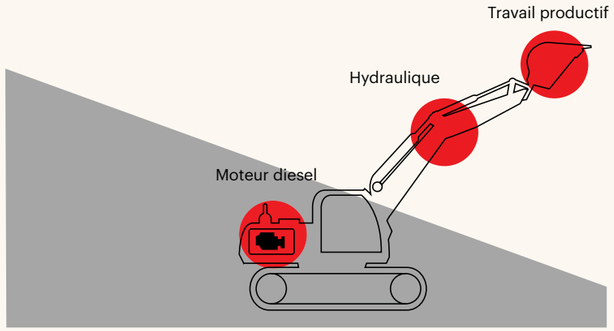
15 à 30 %

d'économies de carburant grâce à l'efficacité énergétique

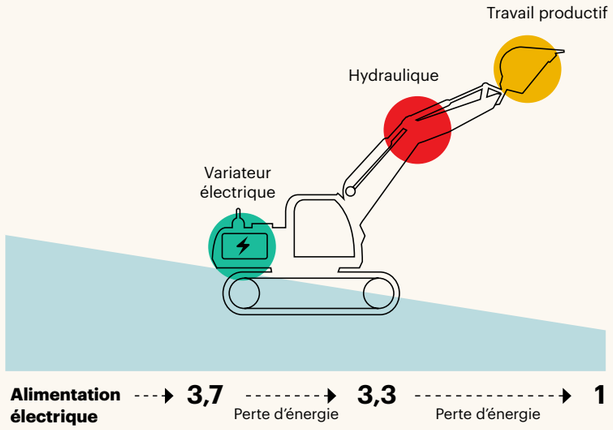
Figure 2 : Pelleteuse entièrement électrique

En combinant l'électrification et les solutions écoénergétiques, seuls 25 % de l'apport énergétique sont nécessaires pour déplacer la même quantité de terre. Cet exemple souligne le potentiel de l'efficacité énergétique et de l'électrification d'une pelleteuse classique de 16 tonnes.

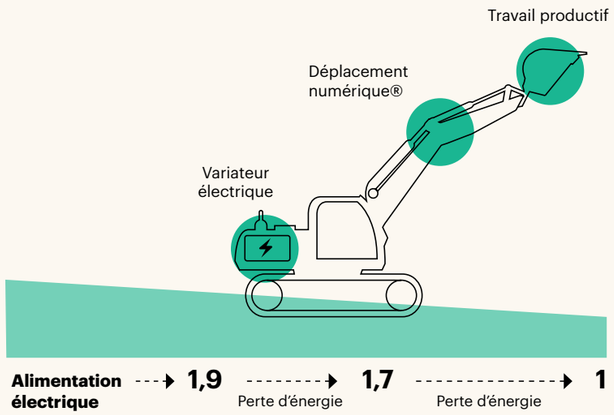
Pour une pelleteuse ICE inefficace, il faut un apport énergétique de 8,3 unités pour produire 1 unité de travail productif.



Pour une pelleteuse électrique avec un système hydraulique classique il faut un apport énergétique de 3,7 unités pour produire 1 unité de travail productif.



Pour une pelleteuse électrique et écoénergétique, il faut un apport énergétique de 1,9 unités pour produire 1 unité de travail productif.



Décarbonation du transport et de l'équipement maritimes

Les ports sont des centres vitaux pour le transport de marchandises et de personnes dans les zones urbaines. Près de 80 % du commerce mondial en volume et 70 % en valeur sont effectués par transport maritime international et toutes les marchandises traversent les ports chaque jour.[54] Le secteur maritime contribue à environ 2,9 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre[55] et le transport maritime intérieur en représente environ un cinquième.[56]

Il existe un grand potentiel inexploité pour réduire l'impact climatique du secteur maritime. Les opportunités ne demandent qu'à être saisies. Les navires ont généralement une durée de vie de 25 à 30 ans et sont alimentés par des moteurs diesel.[57] Cet enfermement dans le carbone peut être résolu en modernisant la flotte existante, ce qui réduirait immédiatement la consommation de carburant et donc l'empreinte carbone du secteur. De plus, des solutions existent déjà pour électrifier entièrement les navires ainsi que l'exploitation dans les ports, et l'approvisionnement écologique peut réduire les émissions des navires lorsqu'ils sont à quai.

Il convient de remarquer que, même si les ports ne sont peut-être pas inclus dans le budget carbone d'une ville, leurs émissions ont des impacts négatifs significatifs sur l'environnement local et la santé publique, et les décideurs urbains ont souvent la possibilité de travailler avec les autorités portuaires pour réduire les émissions et la pollution des ports.

En ce qui concerne l'exploitation portuaire, les chariots cavaliers et les grues fonctionnent dans les ports pendant de nombreuses heures chaque jour. Un chariot cavalier est un véhicule au sol utilisé pour le chargement et le déchargement de conteneurs sur des navires ainsi que pour l'empilage et le transport de conteneurs sur de courtes distances. Même si les grues et les chariots cavaliers fonctionnent généralement avec des moteurs diesel, il est tout à fait possible d'augmenter leur efficacité et de les rendre totalement électriques avec la technologie actuelle.

Par exemple, Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co. (ZPMC) est l'un des plus grands fabricants de machines portuaires au monde. L'entreprise propose de nombreux engins portuaires hybrides et entièrement électriques. L'un d'eux est le chariot cavalier électrique, qui est déjà en service dans le port de Barcelone en Espagne et dans le port sud-africain de Durban.

L'électrification des équipements portuaires peut réduire les émissions, les niveaux sonores et les coûts d'exploitation par rapport aux équipements diesel.

De même, des solutions existent déjà pour limiter les émissions des navires maritimes. L'électrification des navires opérant sur de courtes distances près des côtes, tels que les ferries, les remorqueurs et les bateaux de transport alimentaire, est déjà possible aujourd'hui. Ces navires peuvent fonctionner entièrement sur batterie et être chargés à l'arrêt dans les ports à l'aide de sources d'énergie.

Dans le Grovfjord en Norvège, l'élevage de saumon est un moteur majeur de l'économie locale. Dans le fjord, l'un des premiers bateaux de travail entièrement électriques au monde, Astrid Helene, est désormais en service. Le bateau est chargé d'équipement lourd, dont une grue. Et comme il est entièrement électrique, il fonctionne sans bruit de moteur et sans fumées de diesel. Cet exemple peut être reproduit pour les bateaux de travail des villes du monde entier.[58]

Dans de nombreuses villes, les ferries sont essentiels pour le transport de passagers, de marchandises et de véhicules sur de courtes distances maritimes et terrestres. En 2019, environ 4,27 milliards de passagers et 373 millions de véhicules ont été transportés par des ferries dans le monde entier, dont la plupart en Asie[59]. La majorité des ferries brûlent du diesel, ce qui émet du carbone et pollue l'air : un problème important car de nombreux ferries opèrent à proximité des centres-villes. Les solutions existantes et rentables permettent de construire de nouveaux ferries entièrement électriques, ainsi que de moderniser les ferries existants pour réduire les émissions.

Les améliorations technologiques et des batteries permettent désormais aux navires plus grands de naviguer sur de plus longues distances en utilisant de l'énergie entièrement électrique ou hybride. De plus, il existe un grand potentiel de réduction des émissions des navires lorsqu'ils sont à quai, comme le montre le cas du port de Scheveningen.

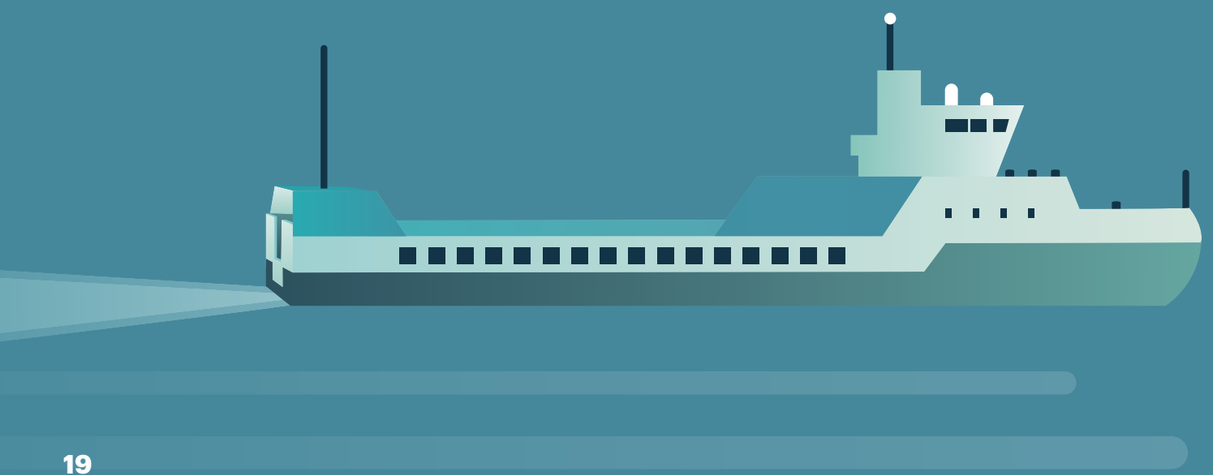
Rénovation de ferries dans les ports taïwanais

La durée de vie des navires comme les ferries est comprise entre 25 et 30 ans, parfois même plus. Par conséquent, la modernisation des ferries à l'aide de solutions hybrides est cruciale pour réduire les émissions du transport maritime. La ville portuaire taïwanaise de Kaohsiung s'appuie sur des ferries maritimes pour transporter des marchandises dans son port très fréquenté et les émissions de ces ferries contribuent de manière significative à la pollution de l'air local.

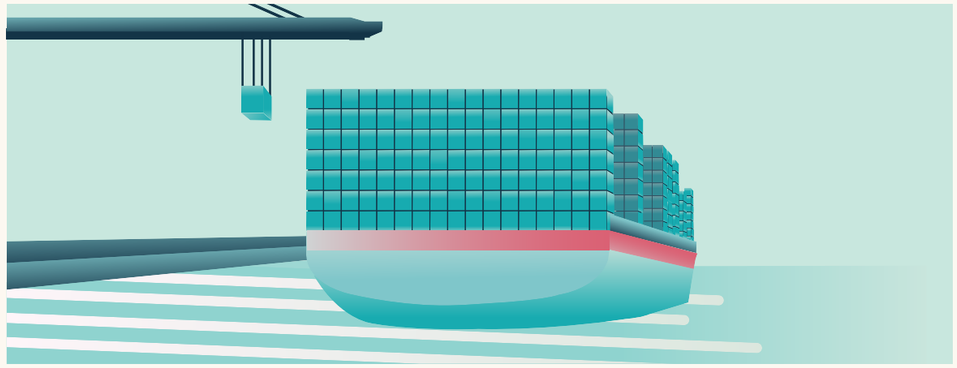
Pour améliorer la qualité de l'air, le gouvernement de la ville a mandaté une compagnie maritime taïwanaise pour réduire les émissions de sa flotte de ferries et notamment, de la ligne de ferries passagers populaire de l'île de Cijian. En 2017, le ferry « Happiness » de 100 tonnes et 23 mètres de long, qui transporte environ 15 000 personnes par jour, est devenu le premier ferry hybride d'Asie.[60] Le nouveau système garantit une croisière purement électrique pendant la moitié du temps de fonctionnement du ferry. Grâce à cette initiative, Happiness a réduit sa consommation de diesel de plus de 30 %[61] et ses économies de carburant sont estimées à environ la moitié des coûts engendrés par le système diesel d'origine.[62] La réduction de la consommation de diesel réduit les émissions de GES et contribue à améliorer la qualité de l'air dans la région. Happiness s'alimente désormais en énergie à partir de la recharge de l'alimentation à quai, une source qui peut être décarbonée.

Ellen, le ferry entièrement électrique le plus long au monde

Entre les îles d'Ærø et d'Als, dans le sud du Danemark, les passagers et les véhicules sont transportés par « Ellen », un ferry de taille moyenne entièrement électrique. En fonctionnement, Ellen réduit de 80 % ses émissions de CO_2 et de 75 à 95 % sa pollution de l'air par rapport à la meilleure alternative technologique au moment de l'évaluation. Ces chiffres passent à 87 % pour le CO_2 et à 86-99 % pour la pollution de l'air par rapport à un ferry plus ancien existant.[63] Les coûts d'exploitation d'Ellen sont nettement inférieurs aux alternatives conventionnelles, ce qui garantit un retour sur investissement supplémentaire de 5 à 8 ans d'exploitation.[64]



Cas : Alimentation écologique à quai dans le port de Scheveningen, aux Pays-Bas



L'alimentation à quai permet de charger les batteries des navires entièrement électriques et hybrides en utilisant l'énergie électrique du réseau lorsqu'ils sont au port. L'alimentation à quai peut également fournir de l'électricité à partir de réseaux locaux à des navires alimentés par des combustibles fossiles, au lieu d'utiliser les générateurs diesel à bord pour tout alimenter, des machines à café des navires aux équipements de communication, en passant par l'éclairage et la ventilation.[65] L'utilisation de l'alimentation à quai permet l'arrêt de la consommation de diesel au port, ce qui signifie à son tour une pollution atmosphérique et sonore locale significativement réduite. Comme les ports sont souvent situés à proximité des environnements urbains, cela a un impact positif sur les riverains.

Le port de Scheveningen est situé au centre de la côte néerlandaise, près de La Haye et accueille plus de 7 500 navires chaque année. Il se compose de trois zones portuaires. Alors que l'électricité à quai dans le deuxième port est déjà disponible pour les vedettes, les petits bateaux de pêche et les bateaux de plaisance, une nouvelle installation industrielle majeure dans les deux autres ports étend la capacité à de nombreux autres navires, y compris les grands navires commerciaux.

Grâce à la nouvelle installation d'alimentation électrique à quai, les navires peuvent arrêter d'utiliser des groupes électrogènes diesel bruyants et polluants lorsqu'ils sont à quai. Cela élimine la pollution de l'air et réduit le bruit ainsi que les vibrations lorsque les moteurs du navire sont à l'arrêt. En moyenne, les navires du port de Scheveningen consomment plus de 100 MWh par mois via la nouvelle alimentation électrique à terre.

Avec une moyenne d'un litre par trois kWh, cela se traduit par une économie mensuelle de plus de 33 000 litres de diesel maritime de haute qualité. [66] Cela entraîne des réductions importantes de la pollution de l'air et environ 60 % d'économies équivalentes en CO_2 avec le mix électrique néerlandais actuel.[67]

33 000

litres

de diesel marin haute qualité économisés par mois

L’avenir des transports décarbonés

- La pertinence de l’électrification va bien au-delà de l’électrification des véhicules de particuliers. La technologie pour l’électrification et la décarbonation des bus, des camions et des pelleteuses, ainsi que des équipements et navires maritimes tels que les grues, les chariots cavaliers, les bateaux urbains, les bateaux de travail et les ferries existe déjà.

- L’amélioration de l’efficacité peut accélérer l’électrification du transport. Qu’il s’agisse de véhicules de particuliers, de véhicules lourds ou de transport maritime, des mesures d’efficacité peuvent réduire la taille des batteries nécessaires, limitant ainsi les besoins en matières premières. L’augmentation de l’efficacité peut également réduire la demande d’infrastructure de charge et augmenter la productivité et l’autonomie du véhicule.

- L’électrification n’est pas une question de « tout ou rien. » Pour certains véhicules qui ne peuvent pas encore être entièrement électrifiés, tels que les engins de chantier et les navires de plus grande taille, il est possible de réduire la taille du moteur diesel et d’électrifier les composants essentiels de la machine, créant ainsi un avantage significatif de l’amélioration de l’efficacité d’un système électrique.

- Les navires peuvent être alimentés en énergie durable lorsqu’ils sont à quai grâce à des technologies facilement disponibles, ce qui réduit considérablement les émissions et la pollution dans les zones urbaines.

Danfoss Impact
Numéro 3

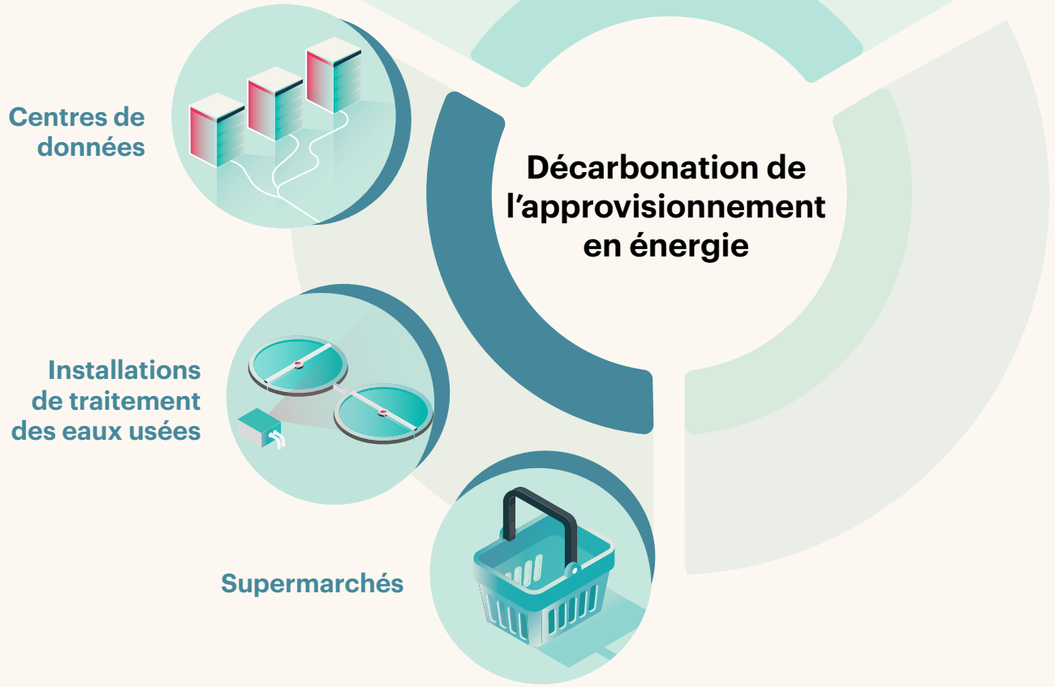
« L’efficacité énergétiquene se limite pas à réduire la demande. Sans elle, les villes ne pourront pas accélérer l’électrification. »

Kim Fausing, Président Directeur Général de Danfoss

Décarbonation de l'approvisionnement en énergie des villes

La dernière étape de la feuille de route de la décarbonation est consacrée sur l'approvisionnement en énergie des villes. Nous verrons comment les activités qui font partie intégrante de la vie dans les villes, telles que les achats et la gestion des déchets, peuvent être décarbonées en examinant l'utilisation de l'énergie dans les villes de manière globale.

La crise énergétique mondiale a déclenché une dynamique sans précédent en faveur de la mise en place des énergies renouvelables. Le monde s'apprête désormais à ajouter autant d'énergie renouvelable au cours des cinq prochaines années qu'il ne l'a fait au cours des vingt dernières.[68]



Il va sans dire que l'expansion des énergies renouvelables jouera un rôle crucial dans la décarbonation des villes et qu'il faudra encore plus d'infrastructures d'énergies renouvelables. Cependant, si notre utilisation de l'énergie verte n'est pas efficace, l'expansion de l'utilisation des énergies renouvelables au rythme actuel ne suffira pas pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux.

La chaleur excédentaire peut représenter une part importante des besoins en chauffage et en refroidissement dans les villes. Rien qu'au sein de l'UE, la quantité de chaleur excédentaire correspond presque à la demande énergétique totale de l'UE en chauffage et en eau chaude dans les bâtiments résidentiels et tertiaires.[69] Il en va sans doute de même à l'échelle mondiale. Pour exploiter la chaleur excédentaire, une approche globale de l'utilisation de l'énergie dans les villes est cruciale. Pour en savoir plus sur le potentiel de la chaleur excédentaire, consultez le deuxième numéro de Danfoss Impact.

Qu'est-ce que la chaleur excédentaire ? Chaque fois qu'une machine fonctionne, elle génère de la chaleur. Prenez simplement la chaleur derrière votre réfrigérateur. Il en va de même à plus grande échelle avec l'ensemble des supermarchés, centres de données, usines et installations de traitement des eaux usées de la ville. Comme nous le verrons, cette chaleur peut être réutilisée.

L'utilisation de la chaleur excédentaire constitue le troisième levier crucial de la feuille de route pour la décarbonation des villes. Ci-dessous, nous nous penchons sur trois sources spécifiques de chaleur excédentaire dans les villes et nous examinons comment elles peuvent être utilisées.

Approche globale de l'approvisionnement énergétique urbain

Historiquement, la chaleur excédentaire issue des centrales électriques et des aciéries était réutilisée en raison des températures très élevées. Mais, avec l'évolution de la technologie, de nombreuses autres sources produisant une chaleur excédentaire à basse température sont devenues réutilisables. Ce qui signifie que même les villes sans grande industrie disposent de nombreuses sources de chaleur excédentaire qui représentent une quantité considérable d'énergie. La chaleur excédentaire provenant des installations de traitement des eaux usées, des centres de données, des supermarchés et des stations de métro sont des exemples de sources de chaleur excédentaire présentes dans toutes les villes.

Il existe plusieurs façons d'utiliser la chaleur excédentaire. La manière la plus simple de le faire est de la réintégrer dans les mêmes processus. L'une des façons d'utiliser la chaleur résiduelle en interne est d'installer un dispositif de récupération de chaleur. Les dispositifs de récupération de chaleur permettent d'utiliser la chaleur résiduelle pour des processus à un niveau de température similaire ou plus bas. Comme le montre le cas des supermarchés, la chaleur excédentaire peut être utilisée pour chauffer le magasin et produire de l'eau chaude sanitaire. Cependant, la densité de l'infrastructure dans les villes permet d'utiliser la chaleur excédentaire de manière encore plus systématique et à plus grande échelle grâce à l'intégration sectorielle et à l'énergie collective.

L'intégration sectorielle ou le couplage sectoriel désigne le processus d'optimisation de la combinaison d'au moins deux secteurs différents de la demande et de la production énergétiques (c'est-à-dire l'électricité, le chauffage, le refroidissement, le transport et les procédés industriels). L'intégration sectorielle consiste à maximiser les synergies entre les secteurs, ainsi qu'à convertir et à stocker l'énergie. Cela peut se produire à petite et grande échelle grâce à l'urbanisme et aux réseaux d'énergie collective. L'urbanisme peut tirer parti du potentiel de l'intégration sectorielle et de la chaleur excédentaire en reliant les producteurs d'énergie aux consommateurs d'énergie par le biais d'un réseau intelligent. De grandes synergies peuvent se produire lorsqu'un producteur de chaleur excédentaire, par exemple un centre de données, est situé à proximité d'entités qui peuvent acheter et utiliser de grandes quantités de chaleur excédentaire (par exemple, l'horticulture). L'étude des possibilités de telles synergies entre les producteurs d'énergie et les utilisateurs dans l'urbanisme s'appelle la planification de grappes industrielles et contribue à la décarbonation de notre système énergétique. En outre, la collaboration entre des entreprises voisines a montré qu'elle apportait des avantages économiques à la fois à l'acheteur et au vendeur.

Les avantages de l'intégration sectorielle peuvent être encore augmentés grâce au chauffage collectif.

Énergie urbaine : Décarbonation du chauffage et du refroidissement urbains

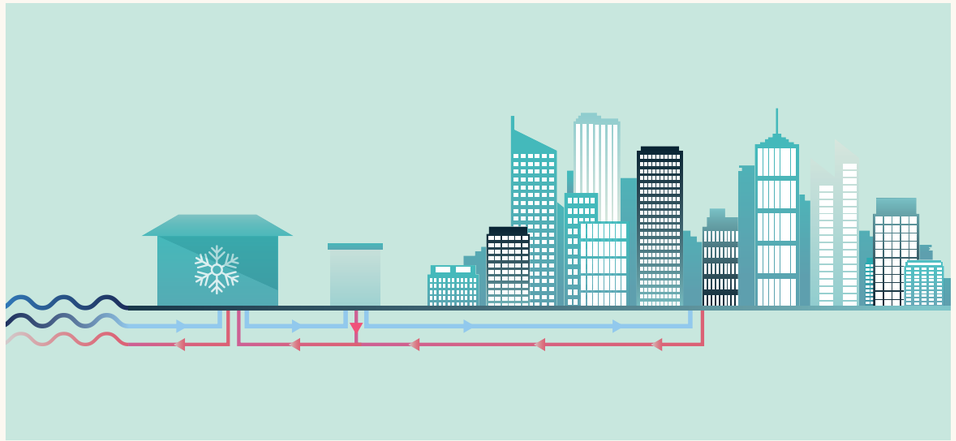
L'énergie collective est un système collectif qui alimente toute une zone en chauffage ou en refroidissement. Le réseau de chaleur urbain exploite la chaleur provenant d'une combinaison de sources, telles que les ressources renouvelables (solaire, géothermique et biomasse) et les ressources fossiles, telles que les centrales électriques, et la distribue à travers les conduites aux utilisateurs finaux sous forme d'eau chauffée. Un système de refroidissement urbain, quant à lui, refroidit l'eau dans une installation centrale, puis la distribue à travers les conduites aux utilisateurs finaux.

Aujourd'hui, la grande majorité de la production mondiale d'énergie urbaine repose sur les combustibles fossiles. Selon l'AIE, le monde doit doubler la part de ressources écologiques dans le chauffage collectif d'ici 2030 pour atteindre la neutralité carbone.[70] Si nous y parvenons, cela contribuera à réduire de plus d'un tiers les émissions de GES provenant de la production de chaleur.

Aujourd'hui, les systèmes d'énergie urbains permettent un approvisionnement en chaleur décarbonable. L'un des principaux points forts des systèmes d'énergie collective est leur capacité à intégrer différentes sources de chaleur qui peuvent remplacer les combustibles fossiles pour le chauffage et le refroidissement. À mesure que la technologie de l'énergie collective évolue, de plus en plus de sources de chaleur écologiques peuvent être exploitées dans le système. Aujourd'hui, le système de chaleur urbain dit de 4ème génération permet d'intégrer des sources de chaleur à très basse température dans le système d'énergie urbaine et de fournir du chauffage pour les nouveaux bâtiments qui peuvent fonctionner à basse température. Le fait que de plus en plus de sources d'énergie écologiques puissent être utilisées pour le chauffage et le refroidissement urbains place les systèmes d'énergie urbains au centre de la transition écologique.

Un autre avantage crucial de l'énergie urbaine est qu'elle favorise l'équilibrage du réseau. L'un des principaux défis pour décarboner notre réseau et augmenter l'électrification est de s'assurer que l'offre s'adapte à la demande. En considérant le système énergétique de manière globale et en reliant différentes sources d'énergie, l'énergie urbaine permet une utilisation flexible de l'énergie. Cela permet de compenser les écarts entre l'offre et la demande afin que nous puissions exploiter toute la capacité du réseau. Il sera particulièrement important d'équilibrer les pics à mesure que nous augmenterons l'utilisation des énergies renouvelables et que l'électrification se mettra en place.

Cas : Les systèmes de refroidissement urbains consomment deux fois moins d'énergie que les climatiseurs



Dans un système de refroidissement urbain, l'eau refroidie est fournie aux bâtiments commerciaux et résidentiels par le biais de conduites provenant d'une centrale de refroidissement. L'eau froide pour le refroidissement urbain est fournie par des ressources d'eau froide naturelles et gratuites comme la mer, les lacs, les rivières ou les réservoirs souterrains, ou est produite à partir de la chaleur résiduelle de la production d'énergie ou des industries, ou via des refroidisseurs électriques centraux. L'eau froide du système de refroidissement urbain peut être produite la nuit et distribuée aux heures de pointe le jour. Cela réduit le besoin en refroidisseurs pendant les heures de pointe et réduit les coûts d'exploitation car l'électricité est moins chère et les températures ambiantes sont plus basses la nuit.

Environ 10 % de la demande mondiale en électricité provient du refroidissement des espaces et l'AIE estime que d'ici 2050, environ deux tiers des foyers du monde pourraient disposer d'un climatiseur.[71]

Selon des études internationales, la demande de refroidissement des bâtiments commerciaux et résidentiels augmentera de manière exponentielle dans les années à venir, en particulier dans les pays à revenu élevé et les économies émergentes en Inde, en Chine et en Indonésie.[72] Cependant, les systèmes de refroidissement urbains consomment deux fois moins d'énergie que les climatiseurs et réduiront également la consommation de F-gas nocifs pour l'environnement.[73]

Les systèmes de refroidissement urbains existants dans les villes telles que Paris, Dubaï, Helsinki, Copenhague et Port Louis ont prouvé que le refroidissement urbain peut être au moins deux fois plus efficace que les systèmes décentralisés traditionnels.[74] À Dubaï, par exemple, 70 % de l'électricité est consommée par des climatiseurs et pour répondre à la demande de refroidissement, la ville a développé l'un des plus grands réseaux de refroidissement urbain au monde. D'ici 2030, 40 % de la demande de refroidissement de la ville sera satisfaite par le refroidissement urbain.[75]

Centres de données : des consommateurs d'énergie aux producteurs d'énergie

Il existe des milliers de centres de données dans le monde, dont beaucoup sont situés dans des villes.[76] Les centres de données sont simplement des bâtiments qui fournissent de l'espace, de l'électricité et du refroidissement pour l'infrastructure réseau et qui sont remplis de différentes quantités de serveurs. Alors que les données sont au cœur de l'économie numérique mondiale d'aujourd'hui, les centres de données sont devenus essentiels au fonctionnement de nos vies et activités quotidiennes. Les centres de données consomment également beaucoup d'électricité. L'alimentation et le refroidissement des milliers de serveurs nécessitent beaucoup d'électricité. Selon l'AIE, en 2021, les centres de données ont consommé 220-320 TWh d'électricité, ce qui représente environ 1 % de la demande mondiale finale en électricité[77] et suffisamment d'électricité pour alimenter environ 20 à 30 millions de foyers américains.[78] Pour réduire l'empreinte carbone, il est crucial d'optimiser à la fois l'efficacité énergétique des systèmes de refroidissement des centres de données et d'utiliser la chaleur excédentaire des centres de données. Il existe de nombreux exemples où la chaleur excédentaire des centres de données peut être réutilisée pour chauffer des bâtiments voisins par le biais d'un micro-réseau. Elle peut également être exportée vers le réseau d'énergie urbain plus large.

Dans la ville de Francfort-sur-le-Main, plusieurs projets sont en cours afin d'aider la ville à extraire la chaleur excédentaire issue des centres de données et à l'utiliser pour répondre à l'ensemble de sa demande en chaleur des foyers et bureaux privés. Il a été estimé que la chaleur résiduelle des centres de données de Francfort pourrait, d'ici 2030, couvrir l'ensemble de la demande en chaleur de la ville provenant des ménages privés et des immeubles de bureaux.[79]

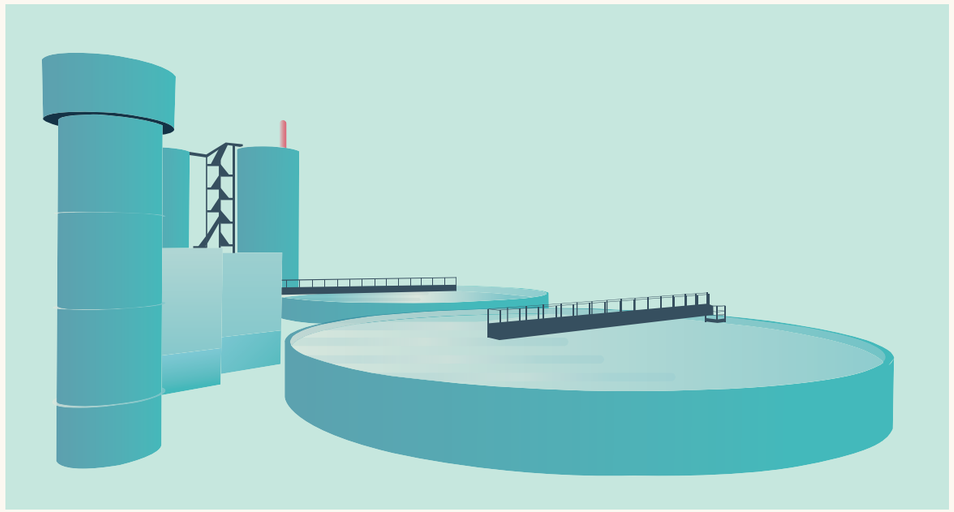
À Dublin, Amazon Web Services a construit la première solution durable sur mesure en Irlande pour fournir de la chaleur à faible émission de carbone à une banlieue de Dublin en pleine croissance. Dans un premier temps, le centre de données récemment achevé fournira de la chaleur à 47 000 m^2 de bâtiments du secteur public. Il fournira également de la chaleur pour 3 000 m^2 d'espace commercial et 135 appartements à loyer modéré. Ce projet permettra de réduire les émissions de CO_2 de 1 500 tonnes par an.[80]

Les installations urbaines de traitement des eaux usées en tant que producteurs d'énergie

L'approvisionnement en eau et l'assainissement sont une partie indispensable mais souvent négligée de l'infrastructure urbaine. Fournir aux citoyens un accès à de l'eau potable et à des installations sanitaires propres demande d'énormes quantités d'énergie. Les installations de traitement des eaux usées sont présentes dans la plupart des villes du monde. Et comme elles sont souvent exploitées par des municipalités, elles peuvent représenter jusqu'à 20 % des factures d'électricité municipales.[81]

Il existe un potentiel important d'économies d'énergie dans le secteur de l'eau grâce à une utilisation systématique de l'énergie excédentaire. Les eaux usées contiennent des quantités importantes d'énergie embarquée. Les boues peuvent être extraites des eaux usées et pompées dans les digesteurs. Ceux-ci produisent du biogaz, principalement du méthane, qui peut ensuite être brûlé pour produire de la chaleur et de l'électricité. Avant que l'eau assainie ne soit libérée, elle peut être refroidie à l'aide d'une pompe à chaleur qui alimente le réseau de chauffage urbain local en chaleur. Par conséquent, les installations de traitement des eaux usées ont le potentiel de passer de consommateurs d'énergie à producteurs d'énergie.

Cas : Production d'énergie à partir des eaux usées



Dans la ville d'Aarhus, au Danemark, l'installation de traitement des eaux usées de Marselisborg, exploitée par Aarhus Vand, a réussi à réduire sa consommation d'énergie tout en augmentant sa production d'énergie. Entre 2016 et 2021, l'installation de traitement des eaux usées de Marselisborg a produit près de 100 % d'énergie en plus de celle nécessaire pour le traitement des eaux usées. L'énergie produite a couvert les besoins de l'ensemble du cycle de l'eau d'une zone urbaine de 200 000 habitants, y compris la distribution d'eau potable et la récupération des eaux usées des logements, découplant ainsi essentiellement l'eau de l'énergie. Le retour sur investissement a été de 4,8 ans. Il a été estimé que l'optimisation et la numérisation des processus ont contribué à 70 % des améliorations.[82]

L'Objectif de développement durable des Nations Unies 6.3 préconise une réduction de 50 % des eaux usées non traitées d'ici 2030.[83] Équiper les installations de traitement des eaux usées existantes et futures de technologies de pointe pourrait permettre d'économiser 300 millions de tonnes d'émissions équivalentes de CO_2 par an. Cela permettrait également d'économiser 350 TWh d'énergie par an[84], ce qui représente environ un dixième de l'approvisionnement en énergie de l'Allemagne[85]. Enfin, la chaleur excédentaire des effluents peut être pompée vers les réseaux de chauffage urbains, fournissant potentiellement 10 à 15 % de la demande mondiale en chaleur résidentielle.[86]

300
millions de tonnes
d'émissions équivalentes de CO_2 peuvent être économisées par an

Cas : Vos courses peuvent chauffer votre maison

Les supermarchés font partie intégrante des villes du monde entier, offrant un accès pratique à la nourriture et aux fournitures ménagères. Cependant, ils font également partie des bâtiments commerciaux les plus énergivores.[87]

Au Royaume-Uni, les supermarchés consomment environ 3 % de la production d'électricité du pays.[88] Le maintien de la fraîcheur des aliments dans les vitrines réfrigéréeq et les congélateurs représente la majeure partie de la consommation d'énergie d'un supermarché. Cela peut sembler contre-intuitif mais les vitrines réfrigérées, les congélateurs et les réfrigérateurs produisent une quantité importante de chaleur. Toute personne ayant senti la chaleur à l'arrière de son réfrigérateur peut le confirmer. Ces systèmes de refroidissement génèrent des quantités importantes de chaleur excédentaire souvent libérée dans l'atmosphère.

Cependant, cela n'est pas inévitable. La technologie de récupération de chaleur existante permet de réutiliser la chaleur excédentaire des vitrines réfrigérées pour chauffer l'eau utilisée dans le supermarché ainsi que le bâtiment et la chaleur excédentaire non réutilisée dans le supermarché peut être fournie au réseau de chauffage urbain. Dans une petite ville du sud du Danemark, le supermarché local SuperBrugsen a économisé une quantité considérable d'énergie en surveillant les systèmes de refroidissement et en réutilisant et en vendant la chaleur excédentaire des systèmes de refroidissement. **Depuis 2019, 78 % de la consommation de chaleur de SuperBrugsen est couverte par la chaleur réutilisée des processus de refroidissement.** Et le supermarché a vendu 134 MWh à d'autres bâtiments locaux via le réseau de chauffage urbain.[89]

78 %

de la consommation de chaleur est couverte par la chaleur réutilisée des processus de refroidissement

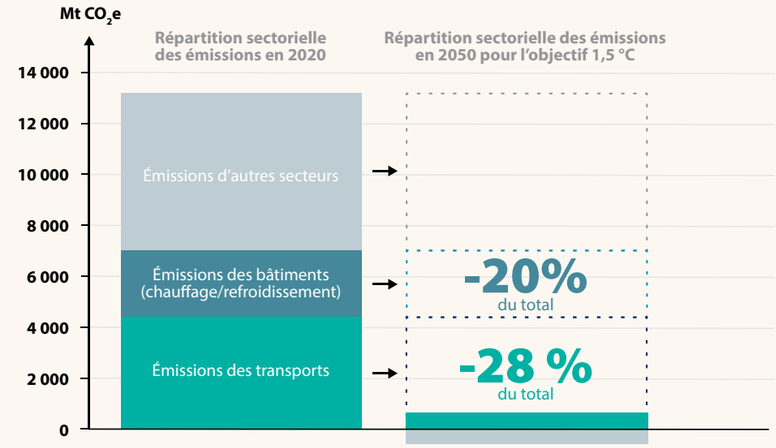
Économie d'énergie. Électrification. Intégration.

Trois étapes pour décarboner les villes

En regardant les différents exemples et secteurs examinés ci-dessus, nous pouvons voir trois tendances clés qui conduisent à une transition écologique réussie dans les villes : 1) Économie d'énergie, 2) Électrification et 3) Intégration.

Sur la base des scénarios de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), une étude Navigant a quantifié l'adoption de la technologie pour l'objectif de 1,5 °C pour une sélection de villes en Europe, aux États-Unis et en Chine.[90] Les émissions provenant des transports, du chauffage et du refroidissement des bâtiments représentent plus de la moitié des émissions urbaines. Pour que les villes atteignent l'objectif de 1,5 °C en 2050, les émissions provenant des transports doivent être réduites de 28 %, celles du chauffage et du refroidissement des bâtiments de 20 % et celles d'autres secteurs de 52 %, y compris l'électrification des véhicules lourds. L'étude Navigant révèle que les bâtiments écoénergétiques et l'électrification des transports – tous deux rendus possibles par l'intégration sectorielle – peuvent combler la moitié de l'écart de réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessaire pour rester en dessous de l'objectif de 1,5 °C. Et seules les technologies existantes sont prises en considération. En outre, des mesures d'efficacité énergétique dans d'autres secteurs, tels que les véhicules lourds, peuvent apporter une contribution supplémentaire. Examinons de plus près ces trois principaux facteurs de réduction des émissions urbaines.

Figure 3 : Vers l'objectif de 1,5 °C dans les zones urbaines



28 % des réductions d'émissions proviendront des transports, 20 % du chauffage et du refroidissement des bâtiments et 52 % des autres secteurs. Le transport ne peut pas atteindre zéro émission.[91]

Économie d'énergie

Les mesures d'efficacité énergétique peuvent considérablement réduire la quantité d'énergie que nous utilisons dans nos villes, réduire les coûts et améliorer la santé et le bien-être des citoyens urbains. Bien que les mesures d'efficacité soient souvent associées aux bâtiments, il est possible de réduire l'énergie résiduelle dans de nombreux aspects de notre vie en ville. Comme nous l'avons vu sur les chantiers de construction, une meilleure efficacité du système dans les véhicules lourds peut réduire considérablement la consommation de diesel et ouvrir la voie à l'électrification en réduisant la taille des batteries nécessaires pour une pelleteuse plus performante. Il en va de même pour les véhicules de particuliers, où des modules de puissance efficaces peuvent augmenter l'autonomie de la voiture, augmentant ainsi efficacement l'adoption sur le marché des véhicules électriques. En outre, tout, des centres de données aux installations de traitement des eaux usées et aux supermarchés, peut réduire la consommation d'énergie en surveillant et en ajustant la consommation d'énergie.

Cependant, si l'on considère uniquement les bâtiments, ceux-ci représentent 28 % de toutes les émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie[92] et 40 % de l'utilisation de l'énergie primaire urbaine.[93] Le chauffage et le refroidissement inefficaces des bâtiments sont donc des causes majeures d'émissions et de pollution de l'air dans le monde.

Pour que les villes restent sous l'objectif de 1,5 °C en 2050, 20 % de la réduction des émissions doit provenir des bâtiments, y compris une série de mesures d'efficacité énergétique, comme le montre le chapitre 1. Cela équivaut à réduire 2 500 Mt d'émissions annuelles en 2020 à 0 Mt d'ici 2050, ce qui représente 10 % des émissions annuelles actuelles des zones urbaines dans le monde. Cela nécessitera l'adoption rapide de la technologie existante pour un chauffage et un refroidissement écoénergétiques des bâtiments dans les villes. Cela signifie que le taux de rénovation des bâtiments, souvent inférieur à 1 % aujourd'hui, devra augmenter à environ 2 à 3 % pour que les villes atteignent l'objectif de 1,5 °C.[94] Par conséquent, plusieurs villes vont devoir tripler leurs activités de rénovation actuelles. Et même dans ce cas, la transformation des bâtiments existants peut prendre 30 ans ou plus.

La'efficacité énergétique est cruciale pour atteindre nos objectifs de neutralité carbone. En fait, à l'échelle mondiale, une efficacité énergétique accrue peut permettre de réduire d'un tiers les émissions nécessaires pour atteindre la neutralité carbone.[95] Sans une augmentation constante de l'efficacité énergétique, nous ne pouvons tout simplement pas développer les énergies renouvelables suffisamment rapidement pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux. Les mesures d'efficacité énergétique réduisent la pression sur les réseaux électriques et augmentent la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique des villes. En outre, une attention particulière sur l'énergie résiduelle deviendra de plus en plus importante dans la lutte future contre le changement climatique en raison de la croissance des populations et de la demande croissante en énergie. Par exemple, les demandes en refroidissement augmenteront considérablement dans les villes, où l'effet d'îlot de chaleur urbain peut augmenter les températures de 3 à 4 °C par rapport aux zones environnantes. Les avantages de l'efficacité énergétique vont au-delà du climat. L'amélioration de l'efficacité énergétique et la demande en énergie évitée associée pourraient contribuer à réduire les factures énergétiques mondiales des ménages d'au moins 650 milliards de dollars par an d'ici 2030[96], tout en promouvant la santé et le bien-être des milliards de personnes qui vivent en ville.

Électrification

L'électrification jouera un rôle crucial dans la transition écologique. Dans le domaine du transport urbain en particulier, il doit y avoir une accélération drastique. De même, une attention urgente est nécessaire pour accélérer l'électrification des transports lourds et de l'industrie maritime. Comme nous l'avons vu, les technologies requises existent déjà pour l'électrification complète des camions, des bateaux urbains, des bateaux de travail et des ferries, ainsi que des équipements tels que les chariots cavaliers et les grues utilisés dans les ports.

Si toutes les zones urbaines d'Europe, des États-Unis et de Chine électrisaient leurs transports privés et publics, elles contribueraient à 28 % de la réduction des émissions nécessaire pour atteindre l'objectif de 1,5 °C de l'Accord de Paris.[97] Cela sans tenir compte des potentiels d'électrification des véhicules lourds. Cependant, la contribution varie par région et par ville – 17 % en Europe, 24 % aux États-Unis et 37 % en Chine.[98]

Alors que nous décarbonons progressivement notre production d'électricité, nous devrons également électrifier les industries et les bâtiments de nos villes qui étaient auparavant alimentés par des combustibles fossiles. Par exemple, le remplacement des chaudières à combustibles fossiles par des pompes à chaleur plus efficaces montre que l'efficacité énergétique et l'électrification sont souvent les deux côtés de la même pièce. L'électrification peut conduire à des réductions des émissions, à la fois en remplaçant les énergies fossiles par la production d'électricité renouvelable et en économisant de l'énergie grâce aux technologies électriques plus performantes. Par exemple, les navires électriques à batterie sont presque deux fois plus efficaces que les navires équipés d'un moteur à combustion interne, et l'efficacité accrue compensera le prix plus élevé des navires électriques en tenant compte d'une durée de vie de 20 à 25 ans.[99]

En électrifiant les transports, nous pouvons réduire les émissions de gaz à effet de serre ainsi que la pollution de l'air, qui menace de plus en plus la santé des citoyens dans les villes. Les technologies d'électrification actuellement disponibles ont le potentiel de réduire les émissions de NO_X de 90 % par passager-kilomètre d'ici 2050.[100]

Intégration

L'intégration sectorielle favorise l'efficacité énergétique et l'électrification. Dans les zones urbaines, la densité élevée de bâtiments, d'infrastructures et de services signifie que nous pouvons connecter les consommateurs d'énergie urbains aux producteurs d'énergie et bénéficier de sous-produits tels que la chaleur excédentaire. L'intégration sectorielle est donc un moyen efficace d'économiser de grandes quantités d'énergie, augmentant ainsi la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique urbain et accélérant la transition vers un système énergétique électrifié alimenté par des énergies renouvelables.

L'intégration sectorielle – et plus particulièrement les systèmes d'énergie urbains – est un moyen efficace de convertir et de stocker l'énergie et de stabiliser le réseau, ce qui n'en sera que plus important à l'avenir, car l'approvisionnement fluctuant en énergie renouvelable dans le système énergétique augmentera considérablement. L'un des principaux défis pour décarboner notre réseau et augmenter l'électrification est de s'assurer que l'offre s'adapte à la demande. En reliant différentes sources d'énergie, l'intégration sectorielle avec le stockage d'énergie thermique permet une utilisation flexible de l'énergie et de compenser les écarts entre l'approvisionnement et la demande, afin que nous puissions exploiter toute la capacité du réseau.

Comme nous l'avons vu dans les supermarchés, les centres de données et les installations de traitement des eaux usées, il existe de nombreuses sources inexploitées de chaleur excédentaire dans nos villes qui peuvent être utilisées ailleurs. **En fait, selon une estimation récente, la chaleur excédentaire provenant de sources accessibles dans les zones urbaines peut couvrir 10 % de la demande énergétique totale de l'Union Européenne.[101]** En utilisant la chaleur excédentaire pour le chauffage et le refroidissement, nous pouvons économiser l'électricité à plus haute valeur (de plus en plus écologique) pour les secteurs des transports et de l'industrie.

Politique
Recommandations

Une décarbonation profonde des villes nécessite une approche complète et holistique impliquant de multiples parties prenantes, y compris les gouvernements locaux, les entreprises et les résidents. Vous trouverez ci-après quelques-unes des initiatives cruciales, mais la liste n'est pas exhaustive.

Des stratégies d'économie d'énergie systématiques peuvent permettre d'économiser de l'énergie dans tous les secteurs.

- La réduction de l'énergie résiduelle dans tous les secteurs commence par la cartographie de l'utilisation de l'énergie afin d'identifier les domaines d'amélioration. Rendre obligatoire la planification énergétique, définir des objectifs et des plans ambitieux et réalisables à court, moyen et long terme, ainsi qu'un cadre réglementaire approprié pour inciter les investissements.
- Saisir d'abord les gains rapides car ils peuvent servir de levier financier pour une rénovation plus approfondie ou des projets de construction durables. L'optimisation des systèmes de chauffage, de refroidissement et de ventilation dans le parc immobilier public constitue un gain rapide (voir p. 10-11). Ces mesures peuvent être mises en place immédiatement avec des délais d'amortissement très courts et sans compromettre les efforts d'économie d'énergie à long terme.
- Concevoir et mettre en œuvre des codes énergétiques obligatoires pour les bâtiments neufs et existants afin d'accélérer la transition vers des bâtiments à carbone zéro et d'augmenter le taux de rénovation du parc immobilier.
- Définir des normes de performance énergétique minimum pour soutenir l'adoption d'équipements écoénergétiques. Les étiquettes énergétiques peuvent stimuler davantage le marché et sont particulièrement adaptées aux produits prêts à l'emploi dont les principaux groupes cibles sont les consommateurs finaux.
- Mettre en place des stratégies de rénovation à long terme, y compris une réglementation et des incitations appropriées pour stimuler la rénovation, utiliser les énergies renouvelables et augmenter les taux de rénovation des bâtiments existants. Actuellement, les taux de rénovation sont souvent inférieurs à 1 % et doivent augmenter à au moins 2 à 3 % par an dans la plupart des régions pour atteindre 1,5 °C d'ici 2050.[102]
- Encourager le remplacement des systèmes techniques de construction fonctionnant à l'aide de combustibles fossiles pour le chauffage des espaces, l'eau chaude sanitaire et le refroidissement par ceux utilisant des énergies renouvelables, telles que les pompes à chaleur ou les réseaux d'énergie urbains.
- Assurer ou faciliter l'accès aux financements pour la mise en œuvre. Une façon de le faire est d'utiliser ou de demander des modèles économiques financiers innovants tels que les ESCO (Energy service company).

Danfoss Impact
Numéro 3

Électrifier les transports par le biais d'investissements, de réglementations et d'incitations

- Investir dès maintenant dans l'électrification de la flotte de la ville (véhicules, bus, bateaux urbains, ferries). L'électrification des transports lourds, même partielle, entraîne également des économies de coûts et d'énergie considérables et peut être effectuée immédiatement.
- Investir dans une infrastructure de charge électrique et encourager l'installation de points de charge dans des lieux (semi-)publics tels que des immeubles de bureaux, des parkings, des supermarchés et des attractions touristiques. Introduire des incitations au stationnement et d'autres incitations fiscales pour passer à l'électrification des transports.
- Si la politique nationale le permet, utiliser la réglementation locale et les options d'autorisation pour créer des chantiers de construction à faibles ou zéro émission et électrifier le trafic de fret et de livraison de marchandises du dernier kilomètre en centre-ville.
- Utiliser les accords de franchise avec les opérateurs de transport public pour appliquer des objectifs zéro émission pour les bus, les taxis, etc.
- Encourager l'installation d'une alimentation électrique à quai dans les ports et présenter un plan pour faire en sorte que tous les navires utilisent l'alimentation électrique à quai lorsqu'ils sont au port.

Une planification énergétique globale peut tirer parti des synergies entre les secteurs.

- En général, la planification obligatoire du chauffage et du refroidissement permettra aux villes d'évaluer le potentiel et d'utiliser au mieux les ressources disponibles localement. La planification doit couvrir tous les composants du système énergétique urbain : bâtiments résidentiels et tertiaires, chauffage et électricité, industrie, transport, eau et traitement des déchets.
- En fonction du système énergétique existant, la planification énergétique peut révéler à la fois un potentiel à petite échelle (comme la formation des bonnes incitations à la récupération de chaleur) et le potentiel d'opportunités à plus grande échelle, comme le déploiement du chauffage urbain. Il est essentiel que le champ d'application de la planification de la chaleur soit large et détaillé et qu'elle inclut également les sources potentielles futures de chaleur excédentaire, telles que les installations Power-to-X.
- Développer et décarboner le chauffage et le refroidissement urbains dans la mesure du possible, y compris en combinaison avec des pompes à chaleur, et montrer la voie en connectant les bâtiments publics.

Références

1. IEA (2021). Empowering Cities for a Net Zero Future, p. 3
2. IEA (2021). Empowering Cities for a Net Zero Future, p. 3
3. Bloomberg (2023). Warming Above 1.5C Likely in Near Term Unless World Acts Now, UN Says
4. IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change, p. 16
5. UN General Secretary (2023). Antoniou Guterres: Comments on Release latest IPCC report.
6. IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change, p. 68
7. IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change, p. 22
8. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 6
9. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 18
10. Navigant (2020). How to reach the 1,5C target in urban areas, p. 3
11. World Green Buildings (2019). Bringing embodied carbon upfront, p. 16
12. C40 Cities (2018). 19 Global Cities Commit to Make New Buildings "Net-Zero Carbon" by 2030
13. Harvard School of Engineering and Applied Sciences (2022). In a hotter world, air conditioning isn't a luxury, it's a lifesaver.
14. IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, p. 143
15. IEA (2022). Technology and Innovation: Pathways for Zero-carbon-ready Buildings by 2030 - Introduction
16. Ecofys (2017). Optimizing the energy use of technical building systems – unleashing the power of the EPBD's Article 8, p. 55-60
17. Eu.bac (2017). White Paper on Room Temperature Controls, p. 4
18. Optimising the energy use of technical building systems, Ecofys, p. 59 (apo-nid205381.pdf)
19. Danfoss. Leanheat – for building owners
20. IEA (2022). Heat Pumps, p. 110
21. IEA (2022). Heat Pumps
22. IEA (2022). Heat Pumps, p. 15
23. IEA (2022) Transport: Tracking progress
24. OECD (2020). Decarbonising Urban Mobility with Land Use and Transport Policies, p. 4
25. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 17
26. WHO (2021). New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution.
27. European Commission (2014). Questions and Answers on the Commission strategy for reducing Heavy-Duty vehicles' fuel consumption and CO2 emissions: HDVs comprise of busses, trucks and coaches (more than 3.5 tonnes or 8 seats)
28. IEA (2022). Transport: Tracking progress
29. Due to a variance in terminology across sources, we refer to both "passenger vehicles" and "cars" in this section. Generally, cars, light trucks, and light vans are categorized as passenger vehicles, while heavy vans, city buses, long-distance buses, and semi-trucks (lorries) are categorized as "heavy duty vehicles" alongside construction vehicles and other large machinery.
30. IEA (2022). Transport sector CO2 emissions by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030.
31. IEA (2023). Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions, p. 14
32. IEA (2023). Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions, p. 15
33. Regjeringen.no (2021). Norway is electric
34. California Air Resources Board (2022). California moves to accelerate to 100% new zero-emission vehicle sales by 2035
35. The Economist (2023). Cobalt, a crucial battery material, is suddenly superabundant
36. Wang, H., Feng, K., Wang, P. et al. (2023). China's electric vehicle and climate ambitions jeopardized by surging critical material prices. Nature Communications, 14 (1246).
37. IEA (2022). Global electric car sales have continued their strong growth in 2022 after breaking records last year
38. Businesswire (2022). Global and China Automotive IGBT and SiC Industry Report 2022
39. IDTechEx (2023). Power Electronics for Electric Vehicles 2023-2033 (Sample pages) p. 6
40. Power Electronics Europe (2018). Issue 3 p 22-25. SiC-Based Power Modules Cut Costs for Battery-Powered Vehicles
41. Power Electronic News (2022). The Role of SiC in E-Mobility
42. Danfoss calculations.
43. European Commission (2023). European Green Deal: Commission proposes 2030 zero-emissions target for new city buses and 90% emissions reductions for new trucks by 2040.
44. International Council on Clean Transportation (2022). The evolution of heavy-duty vehicles in China: A retrospective evaluation of CO2 and pollutant emissions from 2012 to 2021., p. 4
45. GlobalNewsWire (2022). Global Electric Bus Markets Report 2022-2027 – Reduction in Battery Prices & Increasing Demand for Emission-Free and Energy-Efficient Mass Transit Solutions
46. World Resources Institute (2019). Barriers to Adopting Electric Buses, p. 5
47. IDTechEx (2022). Electric Construction Machines Vital for Greener Construction.
48. JRC (2022). CO2 emissions of all world countries.
49. KOMATSU (2010). Introduction of Komatsu genuine hydraulic oil KOMHYDRO HE.
50. Danfoss (2023). FPC2023 Danfoss, p. 12.
51. Danfoss (2023). FPC2023 Danfoss, p. 9.
52. Danfoss (2022). Danfoss Digital Displacement & Editron: An efficient electro-hydraulic system for mobile applications.
53. Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
54. UNCTAD (2015). Review of Maritime Transport
55. European Commission (2023). Reducing emissions from the shipping sector
56. IMO (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study, p. 2, Table 1. The global shipping emissions are 1056 Mt CO2, the average emissions from vessel-based and voyage-based international shipping are 829.5 Mt, leaving 226.5 Mt as domestic shipping emissions – about one fifth of the global shipping emissions.
57. Safety4Sea (2020). Do you know what happens to a ship when it's too old to sail anymore?
58. Danfoss (2019). Goodbye to NOx gases: on board a fully electric workboat.
59. Interferry (2021). Economic Impact of the global ferry industry, p. 4
60. SOIC (2019). Youtube video: Ferry happiness
61. Happiness Is a Hybrid-Electric Ferry - IEEE Spectrum
62. Ship Technology (2017). New hybrid electric ferry launched in Taiwan.
63. Eferry (2020), E-ferry project - Evaluation of the E-ferry, p. 118-119. The CO−2 and air pollution savings are derived from Table 52. E-ferry green electricity is considered zero emission, so the table presents absolute emissions. The savings are expressed as percentage reduction from an LMG50.1 to an e-ferry running on electricity from the Danish grid mix 2019.
64. Eferry (2020), E-ferry project - Evaluation of the E-ferry, p. 108-109
65. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 22
66. Danfoss (2018). Scheveningen harbor environmentally upgrades with clean shore power, p. 2
67. Marine diesel: 3.10669 kg CO2e/Liter marine diesel (DEFRA conversion factors 2022) x 33,000 Litres saved marine diesel = 102,521 kg CO2e. Electricity: 0.402 kg CO2e/kWh (European Environmental Agency's Netherland GHG emission intensity of electricity generation) x 100,000 kWh = 40,200 kg CO2e. The savings are 61% from marine diesel emissions to electricity emissions.
68. IEA (2022). Renewable power's growth is being turbocharged as countries seek to strengthen energy security
69. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University, p. 54
70. IEA (2022). District Heating
71. IEA (2018). The Future of Cooling, p. 26 & 59
72. IEA (2018). The Future of Cooling, p. 11
73. Danfoss (2016). Making the case for district cooling, p. 3
74. Danfoss (2016). Making the case for district cooling, p. 3
75. MarkNtel (2023). UAE District Cooling Market Research Report: Forecast (2023-2028)
76. Statista (2022). Data Centers – statistics & facts
77. IEA (2022). Data Centres and Data Transmission Networks
78. EIA (2022). How much electricity does an American home use?. A US household uses 10,632 kWh/year. Datacenters consume 220-320 TWh/year and 1 TWh = 1x109 kWh. 220x109 kWh / 10,632 kWh/household = 20x106 households and 320x109 kWh / 10,632 kWh/household = 30x106 household. Thus 20 to 30 million households can be powered by 220 to 320 TWh.
79. eco Association of the Internet Industry (2021). Data centres as Gamechangers for Urban Energy Supply: City of Frankfurt am Main Could Cover Most of its Heating Needs by 2030 with Waste Heat.
80. SDCC (2023). Tallaght District Heating Network and Energy Centre officially opened.
81. Copeland & Carter (2017). Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use, Congressional Research Service, p. 6
82. Danfoss (2022). A path to an energy neutral water sector
83. United Nations (2022). Goal 6 Ensure access to water and sanitation for all
84. DHI A/S (2022). Analysis of the potential contribution to energy and climate neutrality from Danish technology within the global wastewater sector, p. 4
85. IEA (2022). Europe. Germany's total energy supply in 2020 was 11,654,314 TJ, equivalent to 3237 TWh. 350 TWh / 3237 TWh = 0.11, or about one tenth.
86. DHI A/S (2022). Analysis of the potential contribution to energy and climate neutrality from Danish technology within the global wastewater sector, p. 4
87. Government of Canada (2019). Energy benchmarking for supermarkets and food stores
88. The Grocer (2022). How supermarkets can recycle energy to beat rising costs
89. Danfoss (2022). The local supermarket, the power of excess heat, p. 4
90. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 5: London (UK), Rotterdam (The Netherlands), New York (US), and Shanghai (China).
91. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 5
92. World Green Buildings (2019). Bringing embodied carbon upfront, p. 16
93. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 6
94. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 7
95. IEA (2022). The Value of urgent action on energy efficiency, p. 7
96. IEA (2022). The Value of urgent action on energy efficiency, p. 3
97. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 18
98. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 18
99. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 22
100. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 17
101. Lygnerud, K. & Langer S. (2022). Urban Sustainability: Recovering and Utilizing Urban Excess heat. Energies 15(24), 9466
102. Navigant (2020). How to reach the 1,5 °C target in urban areas, p. 7

Danfoss Impact
Numéro 3

whyee.com

En savoir plus sur la manière dont les solutions d'efficacité énergétique peuvent accélérer la transition écologique.

© Danfoss 2024