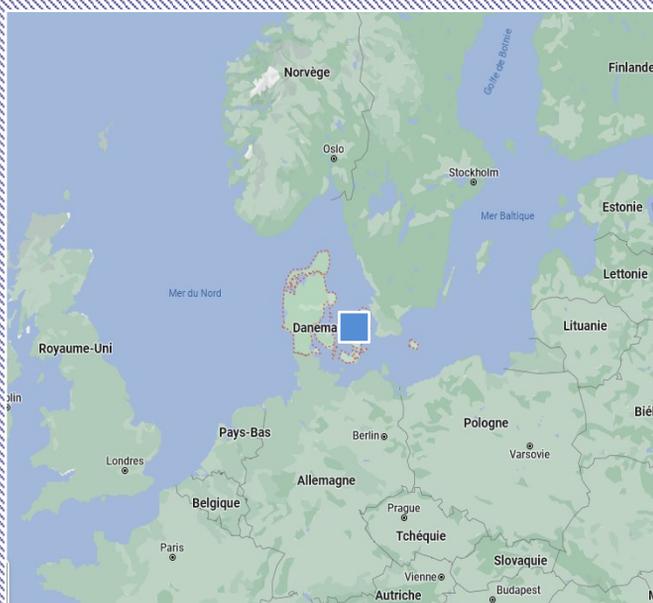


RÉSEAU DE FROID COPENHAGUE - DANEMARK

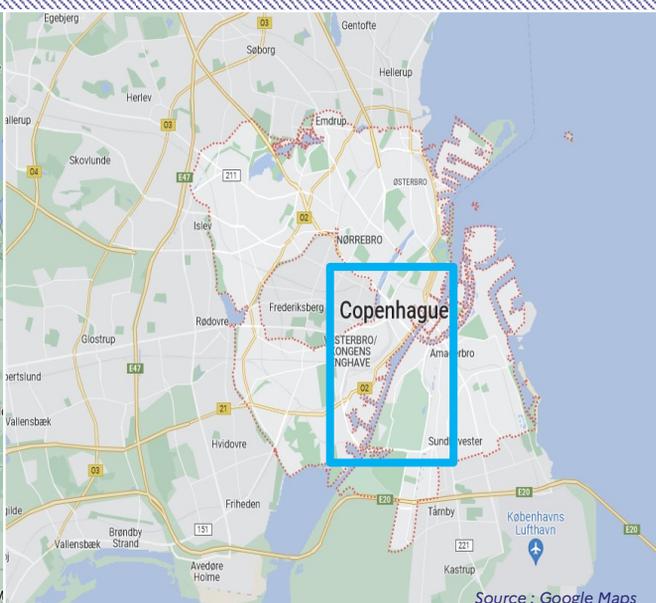


LE RÉSEAU DE FROID EN QUELQUES CHIFFRES

- Année de création : **2010**
- Puissance de l'installation : **87 MW**
- Quantité de froid livrée annuellement : **NC**
- Bilan CO₂ : 67 % de réduction par rapport au refroidissement traditionnel
- Longueur du réseau : **24 km**
- Points de livraison : **100 clients**



Localisation de Copenhague



Localisation approximative du réseau

Source : Google Maps

CONTEXTE LOCAL ET DESCRIPTION DU TERRITOIRE



GÉOGRAPHIE ET CLIMAT (Source Wikipedia)

- Géographie : La ville de Copenhague est située sur la côte orientale de l'île de Seeland, mais aussi sur l'île plus petite d'Amager, laquelle se trouve face au détroit d'Øresund, qui relie la mer du Nord à la mer Baltique et sépare le Danemark de la Suède.
- Le climat de la ville est océanique (Cfb selon la classification de Köppen) avec comme record de chaleur 33,8 °C le 12 août 1975 et une température moyenne annuelle de 9 °C.

Relevé météorologique de Copenhague

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	-2	-2,4	-0,6	2,3	7,2	11,3	12,9	12,6	9,8	6,7	2,7	-0,5	6
Température maximale moyenne (°C)	1,9	2	4,8	9,5	15	19,2	20,4	20,3	16,7	12,1	7,1	3,7	12

DÉMOGRAPHIE

- Population de la commune : 653 658 habitants (2023)
- Superficie : 88,25 km²
- Densité de la commune : 7 407 hab/km²

CARACTÉRISTIQUES DU TISSU URBAIN

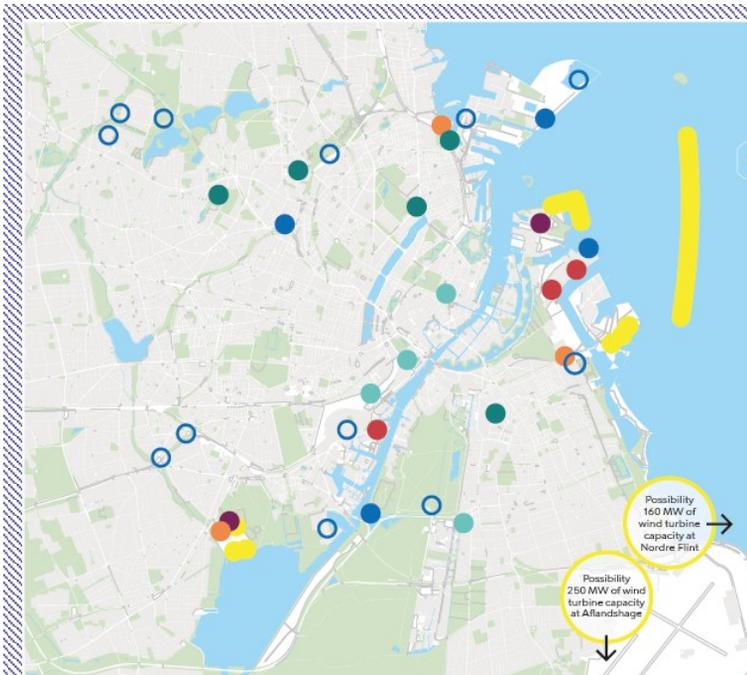
- Une forte densité du tissu urbain, comportant les sièges du parlement national (le Folketing), du gouvernement et de la monarchie danoise, le cœur industriel et financier du pays.
- Un fort maillage de ponts, parcs et fronts de mer.

DESCRIPTION TECHNIQUE DU RÉSEAU



TYPES D'IMMEUBLES DESSERVIS

- Le réseau dessert 100 clients majeurs, principalement des bâtiments commerciaux et industriels, hôtels et installations de centres de données. Ces clients sont aussi des abonnés du réseau de chaleur.
- Le secteur résidentiel n'est pas raccordé.
- Le réseau dessert notamment :
 - Hôtel Tivoli,
 - Centre des Congrès,
 - Bureaux de la société immobilière Jeudan,
 - La banque Sydbank A/S à Kongens Nytorv,
 - Bureaux du groupe de média Egmont
 - Bâtiment de la confédération des Industries danoise,
 - Musée national du Danemark,
 - Magasins,
 - Marché de Høje Taastrup,...



- Existing heat pumps/geothermal energy
- Potential heat pumps/geothermal energy
- Heating and power plants
- Heating plants
- Waste-water treatment facilities
- District cooling plants
- Electricity production
- Town gas plants

Installations énergétiques à Copenhague

Source : CPH 2025 - Climate Plan

ARCHITECTURE GÉNÉRALE DE L'INSTALLATION

Le réseau est constitué de quatre centrales de production:

- Centrale de Tietgensgade, opérationnelle depuis 2010,
- Centrale d'Adelgade, opérationnelle depuis 2013,
- Centrale d'Ørestad, opérationnelle depuis 2019,
- Centrale de Nordhavn, opérationnelle depuis 2021,

TECHNOLOGIE DE PRODUCTION DU FROID

Le système de refroidissement urbain de Copenhague utilise l'eau de mer puisée dans le port de la ville.

- En hiver, lorsque la température de l'eau du port est suffisamment froide (inférieure à 5,2°C) et que la demande de refroidissement est faible, cette dernière est couverte par du « Free cooling ».
- Lorsque la température de l'eau de mer est comprise entre 5,5 °C et 11,5 °C, le fonctionnement est combiné : l'eau de mer permet un « pré-refroidissement » puis des refroidisseurs à absorption et à compression prennent le relais pour porter l'eau à la température souhaitée.
- Dans le cas où la température de l'eau de mer est supérieure à 11,5 °C, celle-ci est trop chaude pour être utilisée en « pré-refroidissement », de sorte que les refroidisseurs à absorption et à compression assurent entièrement le refroidissement.
- Chaque degré économisé grâce au pré-refroidissement à l'eau de mer permet d'économiser 15 % d'électricité au niveau du refroidisseur.
- Ces centrales sont ainsi basées sur du « free cooling » avec la boucle d'eau de mer, des groupes froid à compression électriques et des groupes froid à absorption utilisant la chaleur issue du surplus des installations de cogénération en été.
- Du côté de Kastруп (Nord de l'aéroport), Taarnby Forsning exploite une centrale énergétique (chaud et froid) avec un système de refroidissement urbain basé sur symbiose entre quatre pompes à chaleur, la géothermie avec les eaux souterraines, les eaux usées et un réservoir de stockage d'eau glacée.

RÉGIMES DE TEMPÉRATURE

- Départ de la centrale : 5,5°C
- Livraison en sous-station : 6 - 8°C
- Retour à la centrale : 15,5°C



Systèmes de réfrigération
Source : Engineering Tomorrow - Danfoss

PUISSANCE DE L'INSTALLATION

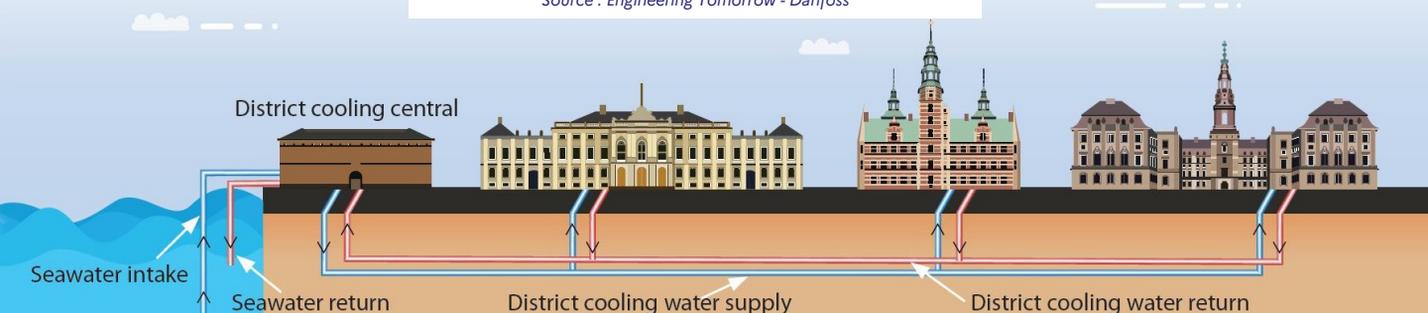
- Puissance totale installée : 87 MW
- Bilan CO2 : revendication de réduire de 70 % des émissions de CO2, de 40 % les coûts totaux et d'augmenter l'efficacité énergétique de 5 à 10 en comparaison des autres solutions de refroidissement électriques décentralisées.
- Pour exemple, le système de réfrigération de la centrale d'Adelgade (ancienne centrale électrique située près de la place Kongens Nytorv) se compose de :
 - Un échangeur de chaleur de 1200 kW, utilisé directement pour un refroidissement naturel par eau de mer, ce qui donne un coefficient de performance (COP) de 20,
 - deux compresseurs à vis de 3,5 MW,
 - un compresseur à piston de 1,3 MW,
 - Un refroidisseur par absorption de 3 400 kW, alimenté à la vapeur.
- Le refroidisseur par absorption est alimenté par la chaleur excédentaire provenant de la centrale de cogénération d'Amagerværket. Une grande partie de la vapeur est générée par des biocarburants et des déchets incinérés.

ZOOM SUR LA PRODUCTION DE FROID PAR LA CENTRALE D'ADELGADE

Cooling production	share
Free cooling	29,3%
Electrical chiller	42,4%
Absorption chiller	28,3%
Total cooling production	100,0%

Illustration du réseau de froid de Copenhague

Source : Engineering Tomorrow - Danfoss



MAÎTRISE D'OUVRAGE ET EXPLOITATION

HOFOR - Greater Copenhagen Utility est la plus grande entreprise de services publics au Danemark. Un million de Danois dépendent de leurs approvisionnements (chaleur, froid, gaz, eaux, électricité, les services de traitement des eaux usées). L'entreprise appartient à 8 municipalités et la Ville de Copenhague détient 73 % de l'entreprise. HOFOR exploite le système de refroidissement urbain. Parmi ses clients, 50 % utilisent le refroidissement urbain pour du froid de confort (pour maintenir un climat intérieur confortable dans les bureaux, les magasins...), 40 % l'utilisent pour du froid de process (salles de serveurs, installations de traitement ou équipements hospitaliers) et 10 % pour les installations de congélations.

ÉLÉMENTS FINANCIERS

Le tarif appliqué pour la fourniture de froid comprend :

- (1) Le tarif de capacité en fourniture (équivalent au R2 en France)
- (2) Le tarif de consommation de froid ((équivalent au R1 en France)
- (3) Le tarif relatif à la température de retour (équivalent au R3 en France)

LES PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT

ÉVALUATION DES SITES POTENTIELS POUR LE DÉVELOPPEMENT DU REFROIDISSEMENT URBAIN

Source: Global District Energy Climate Awards

- Quinze secteurs ont été identifiés pour le développement du refroidissement urbain dans la municipalité de Copenhague.
- Les sept secteurs marqués en jaune sur la carte ci-contre peuvent faire l'objet d'un déploiement du réseau de froid dès à présent. Ces sept sites ont ensemble une demande de refroidissement d'environ 150 MW (capacité de production de froid), illustrant ainsi le potentiel de refroidissement à Copenhague.

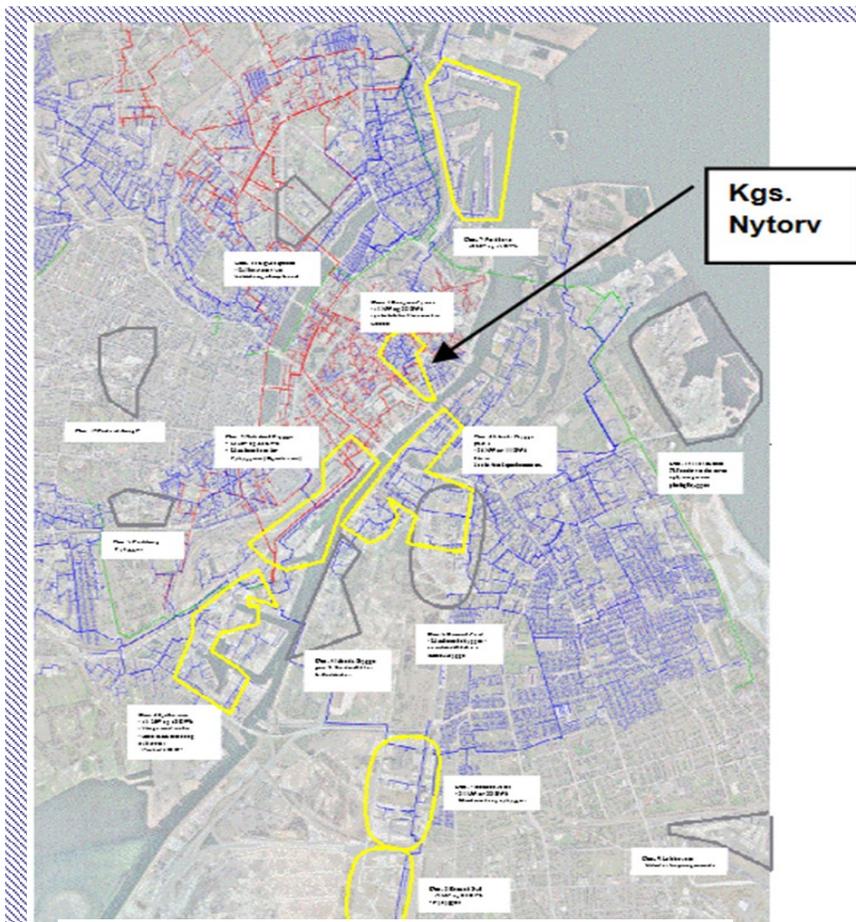
ZOOM SUR LE MODÈLE DANOIS DES RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID

A Copenhague, tous les opérateurs de chauffage sont des mutuelles à but non lucratif ou des coopératives, ou propriété de la municipalité.

RISQUE ET GOUVERNANCE : dans le modèle à but non lucratif ou coopératif, l'autorité locale prend en charge une large part du risque, au début. Une fois que la mutuelle est bien établie, les risques pour l'autorité locale diminuent. Certains risques peuvent être transférés aux entrepreneurs pour la conception et la construction.

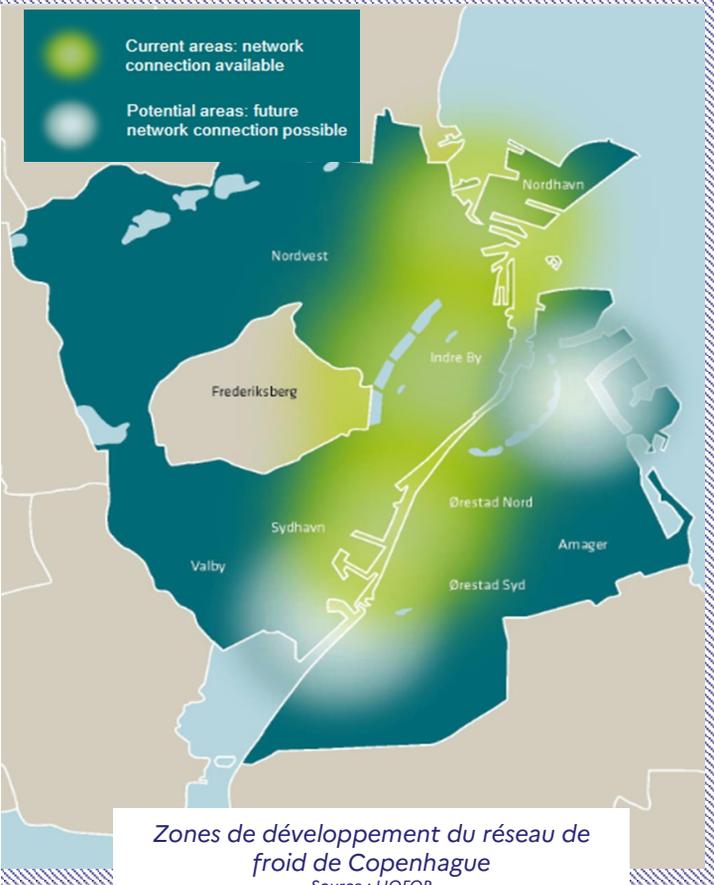
SOURCES DE FINANCEMENT : dans ce modèle, la municipalité peut devoir assumer le risque, en garantissant le remboursement du prêt à faible taux que les entités nouvellement créées ne pourraient pas obtenir sans utiliser le pouvoir de crédit de la municipalité. Une fois que la mutuelle aura remboursé ses emprunts à taux bas, le risque pour l'autorité locale diminuera grandement. La présence de l'autorité locale permet de lever des fonds à bas coût.

CONTRÔLE : la structure de gouvernance est représentative, par des membres élus. En échange de la garantie de la dette, l'autorité locale peut demander ou se voir offrir une représentation au conseil.



Secteurs potentiels pour développer le réseau de froid

Source : Copenhagen_Denmark_District_Energy_Climate_Award.pdf



AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ DU RÉSEAU DE FROID

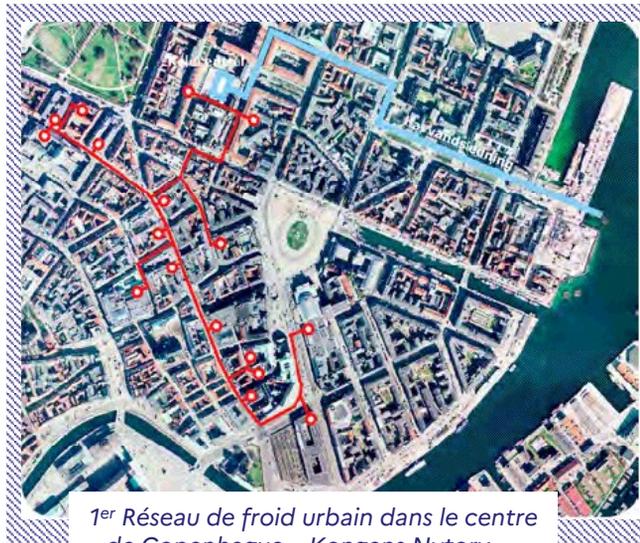
- Le réseau de refroidissement urbain géré par HOFOR s'étend au fur et à mesure de l'arrivée de nouveaux clients. Le nombre de systèmes de refroidissement urbain passera de 5 systèmes à plus de 20 systèmes, principalement avec stockages d'eau glacé, cogénération de chaleur et de froid et des systèmes de stockage saisonniers (ATES*) en symbiose avec le chauffage urbain.

*ATES : Le stockage d'énergie thermique dans les aquifères

← La carte ci-contre montre les zones (en vert) où le réseau est déjà présent et les zones (en blanc) où un développement prochain est prévu.

MOTIVATIONS DE LA DÉCISION DE CONSTRUIRE UN RÉSEAU DE FROID

- La solution réseau de froid coûte moins cher (45 % d'économies pour les clients), prend moins de place et ne fait pas de bruit, par comparaison avec un refroidissement individuel conventionnel.
- La mise en place de réseau de froid urbain contribue à la démarche de conversion des systèmes de services publics à Copenhague afin d'atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2025.
- Le refroidissement urbain est similaire à l'approvisionnement collectif en chauffage urbain et constitue une alternative écologique aux systèmes de refroidissement individuels. La principale source de refroidissement urbain à Copenhague est le refroidissement naturel à base d'eau de mer. Cette source serait en effet très difficilement exploitable au travers de systèmes de refroidissement individuels.
- Le froid en réseau permet de réduire les coûts d'exploitation, les coûts de maintenance ainsi que les coûts liés à l'approvisionnement énergétique et à l'apport en capital.
- L'approvisionnement énergétique et la livraison du froid en réseau est par ailleurs d'une grande fiabilité.
- Des réseaux enterrés, notamment au sein de la ville, permettent de diminuer drastiquement l'impact visuel tout en garantissant un confort d'été.



Source : Copenhagen_Denmark-District_Energy_Climate_Award.pdf

SOURCES ET AUTRES LIENS UTILES

- <https://www.forbes.com>
- <https://www.danfoss.com>
- <https://www.districtenergyaward.org>
- <https://stateofgreen.com>
- <https://c2e2-uneppccc.org>
- <https://dbdh.dk/>