



# Réfrigération efficace

## Problématique

La réfrigération est utilisée pour la conservation des aliments périssables à court et moyen terme. Le froid stoppe la croissance bactérienne et ralentit les réactions chimiques indésirables, permettant aux denrées alimentaires d'avoir une durée de consommabilité accrue. Le froid est essentiel aussi pour la conservation de certains produits pharmaceutiques, dont les vaccins.

Environ 3,6 milliards d'appareils de réfrigération (climatiseurs, réfrigérateurs, congélateurs, chambres froides, etc.) sont utilisés dans le monde et ce nombre augmente de 10 appareils par seconde. Le froid domestique (réfrigérateurs et congélateurs) est la première composante du poste spécifique consommateur d'énergie, suivi de l'éclairage. Il représente 20 % de la consommation des usages spécifiques en électricité dans les ménages. Il constitue un gisement appréciable d'économie d'énergie dans le résidentiel et justifie l'intérêt accru porté à l'efficacité du froid domestique.

Cette fiche vise à mettre à la disposition des professionnels (gestionnaires de programmes d'efficacité énergétique, consultants, etc.) les informations pertinentes sur les technologies et les stratégies à adopter pour une réfrigération efficace dans une région tropicale.

## Principes de base

### L'importance de la chaîne de froid

La chaîne de froid doit respecter trois principes critiques.

1. *Application du froid sur des produits sains* : puisque la réfrigération ralentit les phénomènes d'altération et de multiplication microbienne, il est essentiel que les aliments soient d'excellente qualité et peu contaminés avant réfrigération.
2. *Précocité* : le froid est à appliquer dès que possible après l'abattage ou la récolte, avant toute altération du produit.
3. *Continuité* : chaque type de produits réfrigérés est à maintenir à une température appropriée ; par exemple, une température maximale de 4 °C s'applique aux viandes et aux volailles. Toute élévation de la température du produit au-dessus de cette valeur provoque une accélération de la multiplication microbienne et des phénomènes de dégradation.

L'efficacité de la chaîne du froid dépend du maillon le plus faible. Autrement dit, la température de conservation doit rester aussi constante que possible et en-dessous de cette limite, depuis l'abattage ou la récolte jusqu'à la consommation.

### Le froid mécanique

La production de froid dite mécanique est la plus couramment utilisée dans les réfrigérateurs, les chambres froides et les armoires frigorifiques. Elle repose sur les échanges d'énergie engendrés par les changements d'état d'un fluide frigorigène ou frigorifique qui circule en boucle fermée. Elle comprend plusieurs composantes, qui se retrouvent dans toute installation, y compris les réfrigérateurs.

- *L'évaporateur* est l'organe principal de fabrication du froid. Dans l'évaporateur, le fluide frigorigène liquide se vaporise, sous pression atmosphérique normale. L'énergie requise pour cette transformation est prise dans l'air qui se trouve dans le réfrigérateur. L'air et les aliments qui s'y trouvent sont alors refroidis.
- *Le compresseur* fait monter la pression du fluide frigorigène, qui est toujours gazeux ; sa température augmente également.
- *Le condenseur* est un échangeur thermique ; dans le condenseur, le fluide frigorigène gazeux à pression élevée se refroidit au contact de l'air ambiant, ce qui provoque sa liquéfaction ; la chaleur est évacuée, ce qui explique que l'arrière du réfrigérateur soit chaud.
- *Le détendeur* permet de ramener la pression du fluide frigorigène à sa valeur initiale avant son entrée à l'évaporateur.

### Le froid cryogénique

Le froid cryogénique repose sur la vaporisation à basse température de certains gaz liquéfiés. Ces gaz, au contact direct des aliments, absorbent la chaleur de ces derniers et donc les refroidissent très rapidement. Les deux gaz habituels sont le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) liquide, qui devient gazeux à -78,5 °C sous 1 atmosphère, et l'azote (N<sub>2</sub>) liquide, qui devient gazeux à -196 °C sous 1 atmosphère. Ils sont préalablement liquéfiés industriellement puis stockés sous pression. Ils ne sont utilisés qu'une fois.

La cryogénie est utilisée principalement en applications commerciales et industrielles. Les systèmes de surgélation cryogénique ne

demandent pas un grand investissement financier et ils sont moins volumineux que les systèmes de froid mécanique. Cependant, leurs coûts de fonctionnement, qui dépendent de l'azote et du gaz carbonique, peuvent être beaucoup plus élevés que les coûts d'une réfrigération en froid mécanique.

## Les fluides frigorigènes

Différents types de fluides frigorigènes peuvent être utilisés. Les chlorofluorocarbures (CFC) et les hydro-chlorofluorocarbures (HCFC) sont maintenant interdits d'usage à cause de leur effet destructeur sur la couche d'ozone. Les hydrofluorocarbures (HFC), qui les ont remplacés, par exemple le fréon, sont les plus utilisés actuellement. Toutefois, ils contribuent au changement climatique et seront progressivement bannis d'ici à 2050, selon l'Amendement de Kigali au Protocole de Montréal sur la protection de la couche d'ozone. En Afrique, la contrainte pour la sauvegarde de l'environnement est également d'actualité, mais la substitution de ces fluides peu respectueux de l'environnement prendra sûrement plus de temps. Les hydrofluoro-oléfines (HFO) ont fait leur apparition pour les remplacer, tandis que les fluides frigorigènes à faible potentiel de réchauffement global, tels que le propane (R290), l'ammoniac (R717) et le CO<sub>2</sub> (R744) sont aussi disponibles, malgré une moindre efficacité. Certains présentent des risques en raison de leur inflammabilité et de leur toxicité. Quant au CO<sub>2</sub>, il n'est ni toxique, ni inflammable, mais il nécessite des pressions de fonctionnement élevées.

## Description technique

### Les types de gestion du froid

Les réfrigérateurs sont caractérisés notamment par le type de gestion de l'air froid (tableau 1). Dans le cas d'équipements qui combinent les fonctions de réfrigération et de congélation, le type de gestion du froid n'est pas nécessairement le même pour les deux fonctions.

Tableau 1. Différents types d'air froid

Équipements	Propriétés
<p>À froid statique : l'air froid circule librement dans l'équipement.</p> <p>Réfrigérateur pas cher, petit réfrigérateur (minibar, table top)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rangement approprié des aliments requis : l'air froid étant plus lourd que l'air chaud, le bas du réfrigérateur est plus froid que le haut.</li> <li>• Dégivrages réguliers nécessaires (un demi-centimètre de givre sur toute la paroi du réfrigérateur représente 30% d'électricité en plus).</li> <li>• Technologie standard, la plus silencieuse, la moins chère et la plus économe en énergie.</li> </ul>

Tableau 1. Différents types d'air froid (suite)

Équipements	Propriétés
<p>À air brassé : l'air froid est brassé par un ventilateur.</p> <p>Réfrigérateur de moyenne gamme et tous les types de réfrigérateurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température homogène.</li> <li>• Peu de dégivrage requis.</li> <li>• Meilleure conservation des aliments.</li> <li>• Air humide donc sans risque d'assèchement pour les aliments</li> </ul>
<p>À air ventilé : l'air froid est ventilé par une colonne située au fond de l'appareil en y injectant un air sec.</p> <p>Réfrigérateur haut de gamme, multiportes, américain</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température homogène.</li> <li>• Aucun dégivrage requis.</li> <li>• Meilleure conservation des aliments.</li> <li>• Peut assécher les aliments.</li> </ul>

## Les classes climatiques et énergétiques

Les normes internationales pour les réfrigérateurs et les congélateurs exigent un seuil maximal de consommation annuelle d'électricité, en fonction des caractéristiques des appareils (taille, configuration technologique à une porte, deux portes, compartiment congélateur, etc.) et de la zone climatique dans laquelle les appareils sont utilisés.

La *classe climatique* correspond aux conditions de température ambiante pour laquelle le bon fonctionnement de l'appareil est garanti. Il existe 8 classes climatiques :

- SN = tempérée élargie → 10 à 32°C
- N = tempérée → 16 à 32°C
- ST = semi-tropicale → 18 à 38°C
- T = tropicale → 18 à 43°C
- SN-T = tropicale élargie → 10 à 43°C
- N-T = tempérée à tropicale → 16 à 43 °C
- SN-ST = subtropicale élargie → 10 à 38°C
- N-ST = tempérée à subtropicale → 15 à 38°C

La *classe énergétique* caractérise l'appareil en fonction de sa consommation électrique, du volume et des différentes performances de l'appareil (type de froid par exemple). Dans les pays qui ont adopté une stratégie d'étiquetage énergétique, l'étiquette apposée sur l'appareil indique la classe énergétique, la consommation annuelle d'électricité et plusieurs autres caractéristiques (figures 1 et 2). L'étiquette énergétique est donc un véritable tableau de synthèse destiné à l'information du consommateur.

Figure 1. Étiquette énergétique pour les réfrigérateurs - Europe (depuis mars 2021)

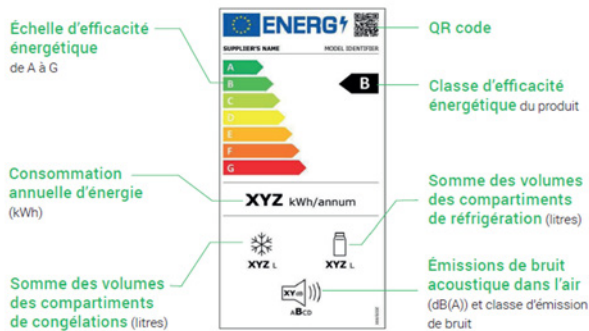
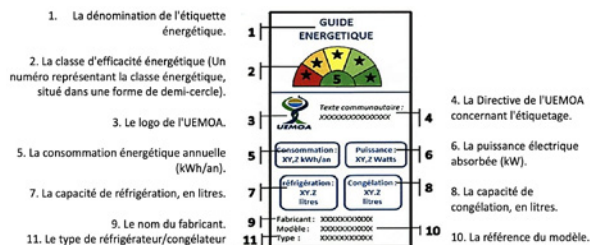


Figure 2. Étiquette énergétique pour les réfrigérateurs - UEMOA



## Les consommations énergétiques typiques

La consommation énergétique des réfrigérateurs varie selon les caractéristiques des appareils. Les réfrigérateurs consomment habituellement moins de 0,5 kWh par jour (182 kWh par an), tandis que les réfrigérateurs-congélateurs intégrés consomment plutôt de l'ordre de 1 kWh par jour (365 kWh par an), dans des conditions de température externe de 32 °C.

L'efficacité des équipements varie entre les essais en laboratoire et les usages réels. La consommation peut facilement doubler sous l'effet d'une utilisation inappropriée. Un exemple typique est le cas des réfrigérateurs utilisés pour la vente de boissons, qui sont habituellement très chargés et fréquemment ouverts.

## Les réfrigérateurs hors réseau

Des solutions de réfrigération à faible consommation et pouvant être connectées à une source d'électricité 12V/24V, produite par des panneaux solaires par exemple, sont disponibles. Elles s'appliquent en particulier aux zones hors réseau ou desservies par des réseaux de mauvaise qualité et peuvent remplacer les systèmes de réfrigération au gaz ou au kérosène. Ils incluent des réfrigérateurs solaires directs, sans batterie, avec stockage thermique permettant une autonomie durant jusqu'à plusieurs jours sans alimentation

solaires. Des solutions basées sur le paiement de « services de froid » de chambres froides, installées par exemple sur les marchés et permettant de réduire les pertes de produits frais, sont également explorées dans plusieurs pays.

Les prix « *Global LEAP* » portant sur les réfrigérateurs permettent d'identifier et promouvoir les meilleurs appareils hors-réseau disponibles, selon leur coût, leur qualité, leur durabilité, leur adaptabilité hors réseau, leur efficacité énergétique. Les résultats sont disponibles en ligne (voir références). La coalition « *Efficiency for Access* », qui promeut l'efficacité énergétique comme catalyseur des efforts d'accès à l'énergie propre, inclut les réfrigérateurs dans ses programmes en raison de la croissance de la demande des consommateurs pour le refroidissement hors-réseau dans les secteurs domestique, commercial et agricole (voir références).

## Stratégies de mise en œuvre et résultats attendus

### L'étiquetage énergétique, au cœur des stratégies d'efficacité énergétique

Différentes mesures peuvent être envisagées pour promouvoir le déploiement de réfrigérateurs efficaces. Normes, codes, information, certification, etc. La fiche PRISME sur les Programmes régionaux d'efficacité énergétique (voir références) présente les grandes catégories d'intervention possible, qui ne sont pas répétées ici.

Parmi les mesures développées par un très grand nombre de pays se trouve l'étiquetage énergétique des réfrigérateurs. En plus d'aider les consommateurs à choisir des réfrigérateurs plus efficaces, les étiquettes contribuent à encourager les fabricants à améliorer leurs produits pour qu'ils soient mieux évalués. Il est intéressant de noter que l'étiquette utilisée en Europe jusqu'à début 2021 utilisait des catégories A+, A++ et A+++ , non prévues initialement. La nécessité de créer ces nouvelles catégories, meilleures que la catégorie A initiale, fut le résultat de l'augmentation de l'efficacité énergétique des appareils au cours des années. La nouvelle étiquette inclut une nouvelle échelle reflétant mieux l'efficacité des nouveaux équipements.

L'UEMOA et ses 8 pays membres (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinée Bissau, Mali, Niger, Sénégal et Togo) ont adopté l'étiquetage énergétique des appareils électroménagers, projet mis en œuvre dans le cadre du Programme régional d'amélioration de l'efficacité énergétique. Une norme régionale d'étiquetage énergétique et une étiquette énergétique des réfrigérateurs ont été adoptées. La directive n° 04/2020/CM/UEMOA du 26 juin 2020, portant étiquetage énergétique des lampes électriques et des appareils électroménagers neufs dans les États membres de l'UEMOA, a été

publiée. Parmi les quatre laboratoires régionaux équipés en matériel de test de performances énergétiques, deux laboratoires sont spécialisés pour les réfrigérateurs : le Centre autonome de contrôle de conformité aux normes de performance énergétique, au Bénin, et le Laboratoire de contrôle de qualité des composants photovoltaïques, au Sénégal.

Dans la plupart des pays membres de l’UEMOA, les activités sont en cours d’exécution ; des textes de lois sont votés et des décrets sont définis pour accompagner ces initiatives. Par exemple, au Bénin, il est fait obligation aux concessionnaires, distributeurs, importateurs et aux consommateurs d’importer et de mettre sur le marché des équipements (lampes, climatiseurs et réfrigérateurs/congélateurs) à performance énergétique approuvée. À cette fin, la définition du seuil de performance énergétique exigé pour les réfrigérateurs au Bénin s’est basée sur une approche comparative qui consiste à sélectionner, parmi les normes minimales de performance énergétique (NMPE) existantes sur le marché international, celles qui semblent les plus appropriées pour le contexte du pays, notamment celles d’où proviennent les appareils importés, principalement l’Europe et l’Asie (tableau 2)

Tableau 2. Seuils de performance énergétique des réfrigérateurs au Bénin\*

Taille de réfrigérateurs	Consommation annuelle maximale (kWh/an)
Petite (moins de 200 litres)	400
Moyenne (entre 200 et 350 litres)	425
Grande (plus de 350 litres)	450

\* Norme sur les réfrigérateurs fixée par décret n°2018-563 du 19 décembre 2018, applicable depuis le 30 juin 2020

### La question des réfrigérateurs usagés

Il est attendu que la mise en œuvre des programmes nationaux d’efficacité énergétique freine l’importation et le commerce des réfrigérateurs et des climatiseurs usagers, provenant principalement des dépôts de matériel et équipements en fin de vie en Europe et aux États-Unis. Notamment, ces appareils électroménagers ne réuniront pas les conditions d’éligibilité pour pouvoir pénétrer les marchés de la sous-région.

### Laboratoires de test

Les laboratoires destinés aux tests énergétiques sont d’une importance critique dans le dispositif de mise en place d’un programme de normalisation et d’étiquetage, notamment en raison de leur rôle dans le contrôle de conformité des classes de produits ciblés par les normes. Par ailleurs, les laboratoires contribuent à la crédibilité de la volonté des autorités de mettre effectivement les normes de performance en application.

L’objectif principal des laboratoires de test est de caractériser l’équipement du point de vue de l’efficacité énergétique. Il existe plusieurs types de laboratoires en fonction des équipements électriques et électro-ménagers à contrôler. Les laboratoires de test des appareils électro-ménagers, notamment les réfrigérateurs, ont pour rôle de contrôler la conformité des valeurs des paramètres de performances indiquées sur les appareils mis en vente, avec celles prévues par les normes minimales de performance énergétique, dans le pays ou dans la région concernée. Le but poursuivi par cette action est de certifier les performances énergétiques spécifiées par le constructeur, le concessionnaire ou le distributeur des appareils électriques et de permettre aux consommateurs d’avoir une idée claire sur les équipements de meilleures performances afin de faire un choix conséquent. Les normes, à travers des textes réglementaires, qui servent de référence pour les contrôles des appareils sont prises au niveau national, sous régional ou régional.

Les essais sur un réfrigérateur, dans un laboratoire de test, portent essentiellement sur :

- L’éclairage avec des sources de lumière LED.
- Les mesures des classes énergétiques et climatiques.
- Les mesures de l’efficacité énergétique (consommation kWh/an).
- Les tests de pouvoir de congélation (quantité d’aliments, en kg, que l’appareil peut congeler en 24 heures).
- Les tests d’autonomie de réfrigération.
- Les tests de niveau sonore.

### Difficultés rencontrées

Les difficultés rencontrées dans les projets de promotion de réfrigération efficace relèvent souvent de barrières institutionnelles au niveau de la mise en œuvre et de barrières au niveau des bénéficiaires.

#### Barrières institutionnelles de mise en œuvre

- Vulgarisation insuffisante des textes de loi dans la mise en œuvre des politiques d’efficacité énergétiques des pays.
- Manque de formation des cadres intervenant pour le compte des laboratoires de test.
- Inexistence de laboratoire de test accrédité.

#### Barrières au niveau des bénéficiaires

- Méconnaissance des réglementations par la population.
- Analphabétisme d’une part importante des bénéficiaires.
- Méconnaissance des réfrigérateurs efficaces par la population.
- Ignorance de la population face à l’acquisition des réfrigérateurs neufs.
- Faible pouvoir d’achat des ménages.
- Perméabilité des frontières.

## Bénéfices attendus

Les bénéfices attendus de l'usage des réfrigérateurs sont environnementaux, énergétiques et économiques :

- Contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Réduire la consommation en énergie électrique.
- Baisser le coût de la facture d'électricité.
- Rentabiliser l'activité économique, par exemple la vente des produits halieutiques, (voir étude de cas), voire soutenir la création d'activités génératrices de revenus.

## Conclusion

L'objectif de la réfrigération efficace est de réduire les coûts de réfrigération en améliorant les performances énergétiques de l'appareil. Les coûts d'achat des systèmes efficaces, généralement plus élevés, sont compensés par la réduction de la consommation d'électricité.

## Références

- CLASP, 2019. Global LEAP Awards - 2019 Buyer's Guide for Outstanding Off-Grid Refrigerators (en anglais seulement) [https://storage.googleapis.com/e4a-website-assets/2019-Global-LEAP-Refrigerators-Buyers-Guide\\_final.pdf](https://storage.googleapis.com/e4a-website-assets/2019-Global-LEAP-Refrigerators-Buyers-Guide_final.pdf)

- Efficiency for Access, 2021. 2021 Appliance Data Trends. <https://storage.googleapis.com/e4a-website-assets/2021-ApplianceDataTrends.pdf>
- Kone M., 2020. Programmes régionaux d'efficacité énergétique : objectifs, composantes et organisation. Fiche PRISME de l'IFDD. <https://www.ifdd.francophonie.org/publications/fiche-technique-prisme-programmes-regionaux-defficacite-energetique-objectifs-composantes-et-organisation-2020/>
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2019. Directives pour un modèle de réglementation : les réfrigérateurs écoénergétiques et respectueuses du climat. [https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2020/06/FR\\_U4E\\_Refrigerators\\_Model-Regulation\\_20200622.pdf](https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2020/06/FR_U4E_Refrigerators_Model-Regulation_20200622.pdf)  
Information complémentaire [https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2020/06/FR\\_U4E\\_Refrigerators\\_Supporting-Info\\_20200622.pdf](https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2020/06/FR_U4E_Refrigerators_Supporting-Info_20200622.pdf)
- Séminaire en ligne de l'IFDD, « Étiquetage des appareils électroménagers et code d'efficacité énergétique des bâtiments neufs dans l'UEMOA », 24 septembre 2020. <https://formation.ifdd.francophonie.org/sel-etiquetage-appareils-electromenagers-code-efficacite-energetique-batiments-neufs-uemoa/>

Les fiches techniques PRISME (Programme international de soutien à la maîtrise de l'énergie) sont publiées par l'IFDD.

**Auteur :**

Clément AHOUANNOU, expert en efficacité énergétique, chercheur affilié au Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Bénin, [ahouannouc@gmail.com](mailto:ahouannouc@gmail.com).

**Directrice de la publication :**

Cécile Martin-Phipps, Directrice, IFDD

**Comité éditorial :**

Ibrahima Dabo, Spécialiste de programme, IFDD  
Boufeldja Benabdallah, Spécialiste de programme a.i., IFDD

**Appui à l'édition et à la diffusion :**

Louis-Noël Jail, Chargé de communication, IFDD  
Marilyne Laurendeau, Assistante de communication, IFDD

**Supervision technique :**

Maryse Labriet, Eneris Consultants,  
[info@enerisconsultants.com](mailto:info@enerisconsultants.com)

**Édition et réalisation graphique :**

Sudo, agence numérique

ISBN 978-2-89481-351-5

*Clément AHOUANNOU est enseignant-chercheur affilié au laboratoire d'énergétique et mécanique appliquées de l'Université d'Abomey-Calavi, au Bénin. Il a été le directeur général et le directeur adjoint respectivement à l'Agence béninoise d'électrification rurale et de maîtrise d'énergie (ABERME) et à l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC).*



*L'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD) est un organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF). Il est né en 1988 de la volonté des chefs d'État et de gouvernement des pays francophones de conduire une action concertée visant le développement du secteur de l'énergie dans les pays membres. En 1996, cette action a été élargie à l'environnement. Basé à Québec (Canada), l'Institut a aujourd'hui pour mission, notamment, de :*

- contribuer au renforcement des capacités nationales et au développement de partenariats dans les domaines de l'énergie et de l'environnement,
- promouvoir l'approche développement durable dans l'espace francophone.

Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)

200, chemin Sainte-Foy, bureau 1.40, Québec, Québec, G1R 1T3, Canada

Téléphone : +1 418 692-5727

Télécopie : +1 418 692-5644

Courriel : [ifdd@francophonie.org](mailto:ifdd@francophonie.org)

Site Internet :

[www.ifdd.francophonie.org](http://www.ifdd.francophonie.org)

Décembre 2021

## Étude de cas : Réfrigération des produits carnés et halieutiques au Bénin

### Description

Le Groupement de Femmes Revendeuse des Produits Frais (GFR-PF) est une association de femmes qui mènent la même activité de vente des produits frais de pêche et d'élevage, dans un quartier urbain aux abords de la mer et de la lagune de Cotonou, au Bénin. Après une année d'activité et pour répondre aux exigences légales de l'évolution du groupement, le GFR-PF est devenu une petite entreprise sise dans l'un des marchés de Cotonou, sur les périmètres de la marine marchande.

À l'issue d'une visite réalisée par les élèves ingénieurs de l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) du Bénin en 2018-2019, ces derniers ont étudié les méthodes de conservation utilisées par le groupement et ont proposé des améliorations.

La méthode de conservation utilisée initialement était une pratique rudimentaire qui recourait à cinq bassins réalisés en parpaing poli avec un enduit de ciment, de volume utile unitaire de 685 dm<sup>3</sup>, pour la conservation des produits frais enfouis dans la paillette de glace. Par la suite, le groupement a récupéré de vieilles enceintes de congélateur dans les entrepôts d'équipements usagés venus de l'extérieur et munies de compresseur hermétique encore fonctionnel alimenté au fréon 22. Finalement, grâce aux analyses des élèves ingénieurs, le groupement de femmes a opté pour l'acquisition d'équipements neufs écoénergétiques et respectueux du climat, soit cinq réfrigérateurs combinés de grande capacité, équipés de fluide frigorigène R 600a.

### Stratégie de mise en œuvre et financement

Les élèves ingénieurs ont réalisé une étude de faisabilité et dimensionné cinq nouvelles unités de réfrigération pour l'activité menée par le GFR-PF, en tenant compte des préoccupations du GFR-PF, telles que la réduction de la consommation d'énergie, l'augmentation du stock de produits et la disponibilité permanente de ces derniers. Les réfrigérateurs choisis furent de type combiné américain à 3 portes et de 520 litres, de classe énergétique A+. Le choix a été réalisé en tenant compte de la disponibilité locale de l'équipement, de sa capacité et de ses performances énergétiques. Les élèves ingénieurs ont également rédigé un document d'exploitation et bonnes pratiques des équipements.

Pour acquérir les équipements, le GFR-PF a réalisé un prêt bancaire auprès d'une institution financière locale, avec un taux de remboursement de 8% dégressif, sur 2 années consécutives.

### Résultats techniques et financiers

Un bilan économique a été calculé pour montrer les gains engendrés par l'investissement dans la réfrigération efficace. Il convient tout d'abord de connaître les consommations annuelles d'énergie (CEA) pour les équipements installés, les réfrigérateurs-combinés.

#### Produits conservés

Les produits réfrigérés sont variés (tableau 1).

Tableau 1. Produits conservés à l'unité de réfrigération de GFR-PF

Produits frais conservés	Quantité/mois (kg)	CONDITIONS DE CONSERVATION		
		Température (°C)	Type d'emballage	Durée maximale
Poisson (carpes rouges, noires, chinchard, sardine, sole, silure, bar)	1450	0 à 2 °C	Sans emballage	1 à 7 jours
Viandes de (bœuf, caprin, porc, lapin)	540	4 °C	Sans emballage	1 à 2 semaines
Viande de volaille éviscérée (poulet, dinde, canard, pigeon)	700	4 °C	Plastique perméable à l'O <sub>2</sub>	1 à 7 jours
Gésiers	100	24 °C	Plastique perméable à l'O <sub>2</sub>	2 semaines

## Détermination de la consommation annuelle d'électricité (CEA)

La ville de Cotonou est considérée comme une région de classe climatique T (tropicale), selon la classification présentée dans la fiche.

La consommation annuelle d'électricité (CEA) se calcule comme suit :

$$CEA_{\max} \text{ (kWh)} = 0,288 \times VC + 210$$

$$VC = \sum (V_i \times K_i \times F_i) \quad i=1 \text{ à } n \text{ compartiments}$$

$$K = (T_1 - T_c) / (T_1 - T_2)$$

avec

VC volume corrigé en fonction des températures des différents compartiments

$V_i$  volume dans le compartiment correspondant (congélateur 124 litres ; réfrigérateur 396 litres)

$K_i$  facteur correctif du volume

$F_i$  facteur correctif de congélation ;  $F = 1,1$  pour la fonction sans givre (dégivrage automatique) dans les compartiments basse température ; sinon  $F = 1,0$ .

$T_1$  température ambiante de référence du pays (32°C)

$T_2$  température du compartiment denrées fraîche (4°C)

$T_c$  température du compartiment individuel concerné (réfrigérateur 4°C ; congélateur -12°C).

Les calculs permettent d'obtenir :

$$K_{\text{réfrigérateur}} = (32 - 4) / (32 - 4) = 1$$

$$K_{\text{congélateur}} = (32 - (-12)) / (32 - 4) = 1,57$$

$$VC = 124 \times 1,57 \times 1,1 + 396 \times 1 \times 1,1 = 214,15 + 435,6 = 649,75 \text{ soit } 650 \text{ litres}$$

Pour les cinq réfrigérateurs-combinés, nous avons une consommation annuelle totale de :

$$CEA_{\max} \text{ (unitaire)} = 0,288 \times 650 + 210 = 397,2 \text{ soit } 400 \text{ kWh}$$

$$CEA_{\max} \text{ (5 réfrigérateurs)} = 5 \times 400 = 2\,000 \text{ kWh}$$

## Bilan économique

Le bilan économique repose sur les bénéfices engendrés par la vente des produits frais et les dépenses du regroupement (tableau 2a et 2b).

Tableau 2a. Bilan économique (réfrigérateurs neufs)

Achat des réfrigérateurs efficaces	
Prêt contracté auprès d'une institution financière (remboursable sur 24 mois, taux de 8%)	7 294 725 FCFA
Prix d'achat des unités de réfrigération	6 754 375 FCFA
Durée de vie normale* estimée des équipements	5 ans compte tenu des conditions d'utilisation
Charge financière année 1	
Remboursement du prêt (annuel)	$C_p = 3\,647\,363$ FCFA
Consommation d'électricité annuelle	$C_c = 25\,865 \times 12 = 310\,380$ FCFA
Charge salariale annuelle pour 15 femmes membres du groupement (prime d'encouragement de 2 000 FCFA/jour/personne)	$C_s = 15 \times 2\,000 \times 30 \times 12 = 10\,800\,000$ FCFA
Charges annuelles d'exploitation et de maintenance (évaluées à 10% du coût d'achat des réfrigérateurs)	$C_{em} = 0,1 \times 6\,754\,375 = 675\,437$ FCFA
Amortissement annuel des équipements	$C_a = 6\,754\,375 \times 12 / 60 = 1\,350\,875$ FCFA
Impôts régime forfait (2%)	$I_{bb} = 0,02 \times 27\,031\,380$ FCFA = 540 628 FCFA
<b>Charge financière totale année 1</b>	<b>17 324 683 FCFA</b>
Achats-ventes de produits frais	
Achat des produits frais	5 287 385 FCFA / mois
Vente des produits frais	17 440 000 FCFA / mois
<b>Bénéfice brut annuel sur ventes et achats</b>	<b>27 031 380 FCFA</b>
Bilan	
<b>Bénéfice net année 1</b>	<b>27 031 380 - 17 324 683 = 9 706 697 FCFA</b>

(\* ) Sans panne entraînant l'arrêt de fonctionnement de la machine.

Tableau 2b. Bilan économique (réfrigérateurs usagers)

Achat des réfrigérateurs usager	
Acquisition d'unités de réfrigération usagers (sans crédit)	$200\,000 \times 5 = 1\,000\,000$ FCFA
Pertes de produits frais dus aux arrêts et aux mauvais fonctionnements des équipements (10%)	6 344 862 FCFA
Consommation d'électricité annuelle	$Cc = 63\,348 \times 12 = 760\,176$ FCFA
Achat de paillettes de glace (dû aux pannes)	$Cg = 5\,000/3jrs \times 30 \times 12 = 600\,000$ FCFA
Charge salariale annuelle pour 15 femmes membres du groupement (prime d'encouragement de 2 000 FCFA/jour/personne)	$Cs = 15 \times 2\,000 \times 30 \times 12 = 10\,800\,000$ FCFA
Charges annuelles d'exploitation et de maintenance (forfait)	$Cem = 80\,000 \times 12 = 960\,000$ FCFA
<i>Charge totale année 1</i>	<i>20 465 038 FCFA</i>
Achats-ventes de produits frais	
Achat des produits frais	5 287 385 FCFA / mois
Vente des produits frais	7 202 105 FCFA / mois
<i>Bénéfice brut annuel sur ventes et achats</i>	<i>22 976 640 FCFA</i>
Bilan	
Bénéfice net année 1	$22\,976\,640 - 20\,465\,038 = 2\,511\,610$ FCFA
Bénéfice net année 2 (le paiement des réfrigérateurs usagers a été fait entièrement en année 1)	3 511 610 FCFA

Le bilan est largement positif avec les réfrigérateurs neufs. La marge bénéficiaire avec les réfrigérateurs usagers est beaucoup plus faible qu'avec les réfrigérateurs neufs, y compris en année 2, lorsque les réfrigérateurs usagers ont déjà été entièrement payés. Le groupement GFR-PF est toujours exposé à un déficit financier pour faire face l'achat du premier mois de l'année d'exercice suivant.

Avec les réfrigérateurs usagers, la consommation d'électricité est élevée et les pannes (compresseur, fuites au niveau de l'évaporateur etc.) sont fréquentes. Ces dernières ralentissent les activités de vente et occasionnent des pertes de produits réfrigérés ou congelés et des pertes de ressources financières. Dans le meilleur des cas, les produits frais sont vendus aux enchères. Par ailleurs, la durée de vie des vieux réfrigérateurs est courte, de maximum deux ans. La durée de vie des réfrigérateurs neufs est estimée à 5 ans car l'activité de vente des produits exige une utilisation sévère des appareils. Plusieurs cycles d'ouverture et de fermeture sont opérés pendant la période de vente, exposant ainsi les appareils à un vieillissement accéléré.

## Résistances et difficultés

Quelques résistances ont été observées lors de la mise en œuvre des nouvelles méthodes d'organisation et de gestion des activités du groupement, en l'occurrence la décision d'acquisition des nouveaux équipements, vu le coût excessif à investir, l'ignorance en matière des procédures de prêts financiers, les tracasseries opérationnelles, l'analphabétisme, la méconnaissance des procédures pour le choix des réfrigérateurs efficaces et les règles en matière de bonne gestion des entreprises. L'appui apporté par les élèves ingénieurs a contribué à lever ces barrières.

## Conclusion

Le mode de conservation par le froid a connu une évolution remarquable. Il existe maintenant des réfrigérateurs efficaces dont les performances énergétiques sont prouvées. L'étude de cas montre que les petites et moyennes entreprises y gagneraient financièrement en utilisant ces réfrigérateurs efficaces.

Poissons vendus au marché de Porto Novo, Bénin



Crédit: Cora Unk Photo, Shutterstock



## Encadré. Dimensionnement de l'unité de réfrigération

Le dimensionnement de l'unité de réfrigération a été fait suivant les méthodes basiques de détermination de bilan frigorifique d'une chambre. La démarche a permis de quantifier la somme des apports de chaleur qu'il faudra combattre pour maintenir une enceinte réfrigérée et son contenu à une température de consigne fixée. Il est évident que ce bilan doit être établi avec une bonne précision, car celui-ci a un impact direct sur le coût de l'installation et de l'exploitation de l'unité de réfrigération. La quantité de chaleur à extraire est définie de la manière suivante.

### Bilan frigorifique total

C'est la somme de toutes les quantités de chaleur qui entrent dans l'enceinte. Elle est donnée par :

$$Q = Q_{pa} + Q_m + Q_r + Q_p + Q_e + Q_{me} + Q_{div}$$

$Q_{pa}$  les apports des parois

$Q_m$  les apports générés par les marchandises introduites

$Q_r$  les apports par renouvellement d'air

$Q_p$  les apports dégagés par le personnel

$Q_e$  les apports de l'éclairage

$Q_{me}$  les apports du ou des moteurs de ventilateurs de l'évaporateur

$Q_{div}$  les apports non calculables ou spécifiques.

Cette quantité de chaleur estimée est établie pour une période de 24 heures. On évalue que le compresseur fonctionnera entre 16 heures (chambres froides à température positive) et 20 heures (chambres froides à température négative) par jour. Donc la chaleur à évacuer sera :

$$Q_t = Q/cste$$

$Q$  puissance estimée pour 24 heures (kWh)

$cste$  nombre d'heures de fonctionnement (16 ou 20)

### Bilan frigorifique simple d'une chambre froide positive de 0 à 10 °C

Le calcul du bilan s'établit généralement avec une température extérieure minimum de 25 °C et au maximum de 35 °C.

*Calcul des apports par les parois ( $Q_{pa}$ )*

$$Q_{pa} \text{ (kWh)} = K \times S \times \Delta T \times 24 / 1000$$

$K$  coefficient de transmission thermique des parois ( $W/m^2K$ )

$S$  surface de l'ensemble des parois extérieures sol, murs, plafonds en  $m^2$

$\Delta T$  différence de température entre l'extérieur et l'intérieur de la chambre froide 24 heures

*Calcul des apports par introduction de marchandises ( $Q_m$ )*

$$Q_m \text{ (kWh)} = C \times M \times \Delta T \times 0,000277$$

$C$  chaleur spécifique des denrées ( $kJ/kg \cdot ^\circ C$ )

$M$  quantité (kg) de denrées introduites en 24 heures

$\Delta T$  différence de température entre les denrées au moment de leur introduction et la température de conservation

0,000277 facteur de conversion de kJ en kWh

## Encadré. Dimensionnement de l'unité de réfrigération (suite)

Calcul des apports par renouvellement d'air en 24h ( $Q_r$ )

$$Q_r \text{ (kWh)} = V_{an} \times Q_{m^3} \times 0,000277$$

$V_{an}$  volume d'air introduit en 24 heures suivant volume de la chambre froide en  $m^3$  (tableau 3)

$Q_{m^3}$  quantité de chaleur d'un  $m^3$  suivant T (tableau 4)

0,000277 facteur de conversion kJ en kWh

Tableau 3. Volume d'air introduit en 24h selon le volume de la chambre froide

Volume en $m^3$	Volume air en $m^3/24$ heures
Jusqu'à 5	150
10	280
25	345
50	650
75	850
100	900
150	1 000
200	1 200

Tableau 4. Quantité de chaleur d'un  $m^3$  ( $kJ/m^3$ )

T° intérieure	T°C extérieure		
0 à 5 °C	20 °C	25 °C	35 °C
	32	48	92
	44	60	105

Calcul de quantités de chaleur journalière dégagée par le personnel ( $Q_p$ )

$$Q_p \text{ (kWh)} = Q \times T \times N / 1000$$

Q chaleur dégagée par une personne en W (intensité du travail fourni : dur = 372 W, moyen = 250 W, faible = 200 W)

T temps de présence dans la chambre froide (heures) pour une journée de travail

N nombre de personnes

Calcul des apports de chaleur émise par l'éclairage ( $Q_e$ )

$$Q_e \text{ (kWh)} = 10 \times T \times S / 1000$$

10 puissance de l'éclairage développée ( $W/m^2$ ) selon la convention habituelle des fabricants

T temps de présence humaine dans la chambre froide exprimé en heures, et pour une journée de travail (sans précision, on peut estimer de l'ordre de 0,5 heures)

S surface de la chambre froide ( $m^2$ )

Apports de chaleur émis par la ventilation évaporateur en 24h ( $Q_{me}$ )

$$Q_{me} \text{ (kWh)} = 30 \times S \times 24 \text{ h} / 1000$$

30 puissance développée ( $W / m^2$  de surface chambre froide)

S surface de la chambre froide ( $m^2$ )

Divers apports de chaleur ( $Q_{div}$ )

C'est l'ensemble des apports de chaleur parfois difficilement comptabilisable ou spécifique à une utilisation particulière. On peut majorer la somme précédente de 5% afin de tenir compte des apports non calculés.