



Cofinancé par
l'Union européenne



Publié par la



Stratégie nationale en matière d'efficacité énergétique pour la climatisation et la réfrigération domestique et industrielle au Sénégal



Ce document a été élaboré par le projet **ROCA**
Refroidissement respectueux de l'Ozone et du
Climat en Afrique de l'Ouest et Centrale

Août 2024

Mentions légales

À son titre d'entreprise fédérale, la GIZ aide le gouvernement fédéral allemand à concrétiser ses objectifs en matière de coopération internationale pour le développement durable.

Publié par :

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Sièges de la société
Bonn et Eschborn, Allemagne
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760, Eschborn, Allemagne
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
I www.giz.de/en

Désignation du programme/projet :

Refroidissement respectueux de l'ozone et du Climat en Afrique de l'Ouest et Centrale (ROCA)

Auteurs

Irene Papst, Manuel Prieto García, Nader Hajj Shehadeh, Antoine Azar (HEAT GmbH, membre du Consortium OTB Consult)

Responsable

Guntram Glasbrenner (responsable du mandat), Nils Hansen (responsable de la mise en œuvre) (GIZ Proklima), Eschborn, Allemagne

Conception/Maquette : Kerstin Kress, GIZ Proklima, Eschborn, Allemagne

Crédits photo titre : © giz / Kayfi Business

Sur mandat de

L'union européenne (UE) et le Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ). BMZ : Réferat 424 « Umweltpolitik, Biodiversität, Wald, Meeresschutz »

En coopération avec

Bureau National Ozone du Sénégal, Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC), Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

Personne de contact auprès du commettant/client

Abdoulaye Gaye (GIZ Proklima), Dakar

Cette publication a été réalisée avec le soutien financier de l'Union européenne (UE) et du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ). Son contenu relève de la seule responsabilité de la GIZ et ne reflète pas nécessairement le point de vue de l'Union européenne et du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement.

Contenu

| | |
|---|-----------|
| Contenu | 3 |
| Liste des figures | 5 |
| Liste des tableaux | 8 |
| Liste des abréviations | 9 |
| 1 RÉSUMÉ EXÉCUTIF | 11 |
| 2 ÉVALUATION DE L'ENQUÊTE SUR LES SOUS-SECTEURS DE LA CLIMATISATION ET LA RÉFRIGÉRATION DOMESTIQUE ET INDUSTRIELLE | 14 |
| 2.1 <i>Enquête sur l'inventaire de la climatisation et la réfrigération domestique</i> | 15 |
| 2.2 <i>La formation comprenait les sujets suivants :</i> | 15 |
| 2.2.1 <i>Processus de collecte des données – Climatiseurs et réfrigérateurs domestiques</i> | 15 |
| 2.3 <i>Processus de collecte des données – Réfrigération industrielle</i> | 17 |
| 2.4 <i>Méthodologie de l'enquête sur l'inventaire sectoriel</i> | 18 |
| 2.4.1 <i>Le modèle de stock vintage</i> | 20 |
| 2.4.2 <i>Émissions de réfrigérants</i> | 22 |
| 2.4.3 <i>Émissions énergétiques</i> | 26 |
| 2.5 <i>Réfrigérateurs domestiques</i> | 30 |
| 2.5.1 <i>Évaluation du marché</i> | 30 |
| 2.5.2 <i>Analyse du cycle de vie</i> | 33 |
| 2.6 <i>Climatiseurs d'Air (CA) unitaires</i> | 34 |
| 2.6.1 <i>Évaluation du marché</i> | 34 |
| 2.6.2 <i>Analyse du cycle de vie</i> | 36 |
| 2.7 <i>Réfrigération industrielle</i> | 37 |
| 2.7.1 <i>Evaluation du marché</i> | 37 |
| 3 STANDARD MINIMALE DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE (SMPE) AU SÉNÉGAL POUR LES CLIMATISEURS UNITAIRES ET LES RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES | 40 |
| 3.1 <i>Réfrigérateurs domestiques</i> | 40 |
| 3.1.1 <i>Paramètres U4E pour les réfrigérateurs domestiques</i> | 41 |
| 3.1.2 <i>Norme d'essai pour la consommation annuelle d'énergie (AEC)</i> | 43 |
| 3.1.3 <i>Niveaux des SMPE et étiquettes énergétiques</i> | 44 |
| 3.1.4 <i>Exigences relatives aux réfrigérants et aux agents d'expansion de mousse</i> .. | 47 |
| 3.2 <i>Climatiseurs</i> | 47 |
| 3.2.1 <i>Portée</i> | 47 |
| 3.2.2 <i>Normes et conditions d'essai</i> | 48 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2.3 | Niveaux des SMPE et étiquettes énergétiques pour les climatiseurs au Sénégal 49 | |
| 3.2.4 | Exigences en matière de réfrigérant..... | 53 |
| 4 | APERÇU ET PROJECTION DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ ET DES EMISSIONS PROVENANT DE LA CLIMATISATION ET DE LA RÉFRIGÉRATION DOMESTIQUE AU SÉNÉGAL | 55 |
| 4.1 | <i>Vues générales sur la climatisation et de la réfrigération domestique.....</i> | <i>55</i> |
| 4.2 | <i>Scénarios d'émissions pour le sous-secteur de la réfrigération domestique</i> | <i>60</i> |
| 4.2.1 | Projections des ventes et des stocks | 60 |
| 4.2.2 | Demande d'énergie | 62 |
| 4.2.3 | Émissions directes et leur potentiel de mitigation..... | 62 |
| 4.2.4 | Conclusion – Réfrigération domestique | 63 |
| 4.3 | <i>Scénarios d'émissions pour le sous-secteur des climatiseurs unitaires</i> | <i>65</i> |
| 4.3.1 | Projections des ventes et des stocks | 65 |
| 4.3.2 | Demande d'énergie | 67 |
| 4.3.3 | Émissions directes et leur potentiel de mitigation..... | 67 |
| 4.3.4 | Conclusions – Climatisation domestique | 69 |
| 5 | APERÇU ET PROJECTION DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ ET DES EMISSIONS PROVENANT DE LA CLIMATISATION ET DE LA RÉFRIGÉRATION INDUSTRIELLE AU SÉNÉGAL | 71 |
| 5.1 | <i>Projections des ventes et des stocks</i> | <i>71</i> |
| 5.2 | <i>Demande d'énergie</i> | <i>73</i> |
| 5.3 | <i>Émissions directes et leur potentiel de mitigation.....</i> | <i>75</i> |
| 5.4 | <i>Conclusions – Secteur RAC industriel</i> | <i>77</i> |
| 6 | PROJECTIONS DES EMISSIONS TOTALES – SECTEURS DOMESTIQUE ET INDUSTRIEL | 79 |
| 7 | CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS | 83 |
| 8 | RÉFÉRENCES..... | 84 |
| 9 | ANNEXE | 86 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Évolution de la moyenne de la consommation, du volume et du prix des réfrigérateurs aux États-Unis (Source : Département américain de l'énergie, U4E). | 12 |
| Figure 2: Distribution de l'échantillonnage des climatiseurs d'Air (CA) par ville. | 16 |
| Figure 3: Distribution de l'échantillonnage des réfrigérateurs domestiques par ville. | 16 |
| Figure 4: Émissions incluses dans le champ d'application de ce projet (propre illustration). | 20 |
| Figure 5: Approche pour le calcul des émissions dues aux réfrigérants (propre illustration). | 23 |
| Figure 6: Approche pour le calcul des émissions énergétiques (propre illustration). | 27 |
| Figure 7: Nombre de réfrigérateurs étudiés dans le cadre de l'évaluation du marché et part des modèles disposant d'informations sur la AEC (consommation annuelle d'énergie), séparés selon la catégorie de produit et leur état (Source : Analyse HEAT). | 30 |
| Figure 8: Distribution en volume des réfrigérateurs examinés au Sénégal (Source : Analyse HEAT). | 31 |
| Figure 9: Relation entre le volume ajusté (AV) des réfrigérateurs étudiés et la valeur R (Source : analyse HEAT). | 32 |
| Figure 10: CCV pour les réfrigérateurs au Sénégal pour des volumes ajustés <300 l (gauche) et 300 à <500 l (droite) (Source : analyse HEAT). | 33 |
| Figure 11: Nombre de climatiseurs split étudiés dans l'évaluation du marché et part des modèles disposant d'informations sur l'EER (ratio d'efficacité énergétique), séparés selon la taille et la condition de la capacité de refroidissement (Source : analyse HEAT). | 34 |
| Figure 12: Efficacité en ISO CSPF estimée pour les CA à vitesse variable disponibles dans certaines économies. Source : PNUE. 2019b. , marque rouge ajoutée par l'auteur pour indiquer la moyenne du Sénégal pour les CA unitaires à vitesse variable. | 35 |
| Figure 13: CCV pour les climatiseurs unitaires au Sénégal pour les puissances frigorifiques inférieures à 4,5 kW (à gauche) et entre 4,5 et 9 kW (à droite) (Source : analyse HEAT). ... | 37 |
| Figure 14: Consommation énergétique annuelle maximale (AEC_{Max}) définie dans le règlement type U4E pour les trois différents types de réfrigérateurs. | 43 |
| Figure 15: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs étudiés (basée sur une température ambiante de 32°C), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées. | 45 |
| Figure 16: Comparaison internationale des normes SMPE : Consommation énergétique annuelle maximale en fonction du volume pour les appareils combinés (Réfrigérateur-Congélateur). | 46 |
| Figure 17: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement $\leq 4,5$ kW (sur la base du CSPF estimé pour le groupe climatique 0A), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées. | 50 |
| Figure 18: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement > 4.5 kW à 9.5 kW (basée sur le CSPF estimé pour le groupe climatique 0A), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées. | 51 |
| Figure 19 : Comparaison de certains systèmes de SMPE internationaux. Source : PNUE. 2019b. | 53 |
| Figure 20: Projection de la demande d'électricité au Sénégal pour les deux secteurs étudiés dans le scénario BAU. | 55 |
| Figure 21: Demande d'électricité projetée au Sénégal à partir des deux secteurs étudiés dans le scénario de mitigation. | 56 |

| | |
|---|----|
| Figure 22: Projection des émissions dues à la consommation d'énergie des deux applications étudiées au Sénégal pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT). | 56 |
| Figure 23: Projections des émissions directes dues à l'utilisation de réfrigérants pour les deux applications étudiées au Sénégal dans le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT). | 58 |
| Figure 24: Développement du parc de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT). | 61 |
| Figure 25: Ventes de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 telles que résultant du développement supposé (Source : Analyse HEAT). | 61 |
| Figure 26: Consommation d'électricité des réfrigérateurs domestiques au Sénégal entre 2015 et 2050 (Source : Analyse HEAT). | 62 |
| Figure 27: Émissions projetées des réfrigérateurs dans le scénario BAU (Source : Analyse HEAT). | 62 |
| Figure 28: Réductions potentielles des émissions des réfrigérateurs (Source : Analyse HEAT). | 63 |
| Figure 29: Consommation d'énergie des réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE. (Source : Analyse HEAT). | 64 |
| Figure 30: Émissions indirects provenant de l'utilisation de l'électricité des réfrigérateurs dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE (Source : analyse HEAT). | 64 |
| Figure 31: Développement du parc des CA unitaires entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT). | 66 |
| Figure 32: Évolution des ventes des CA unitaires entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT). | 66 |
| Figure 33: Consommation d'électricité des unités de climatisation unitaire au Sénégal 2020-2050 (Source : Analyse HEAT). | 67 |
| Figure 34: Les émissions de GES des unités CA au Sénégal dans la période 2010-2050 en MtCO ₂ eq (Source : Analyse HEAT). | 68 |
| Figure 35: Émissions potentielles dans un scénario de mitigation pour les climatiseurs unitaires au Sénégal (Source : Analyse HEAT). | 69 |
| Figure 36: Consommation d'énergie prévue pour les climatiseurs split dans le scénario BAU et le scénario SMPE. (Source : Analyse HEAT). | 70 |
| Figure 37: Projection des émissions dues à l'utilisation de l'électricité des climatiseurs dans le scénario BAU et le scénario SMPE (Source : analyse HEAT). | 70 |
| Figure 38: Développement du parc RAC industriel entre 2010 et 2050 (Source : Analyse HEAT). | 72 |
| Figure 39: Évolution des ventes des installations industrielles entre 2010 et 2050 (Source : Analyse HEAT). | 72 |
| Figure 40: Consommation d'électricité dans le secteur RAC industriel étudié au Sénégal 2010-2050 (Source : Analyse HEAT). | 74 |
| Figure 41: Consommation d'énergie prévue dans le secteur RAC industriel dans le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT). (Source : Analyse HEAT). | 74 |
| Figure 42 : Emissions directes par sous-secteur de la réfrigération industrielle. | 76 |
| Figure 43: Emissions directes du secteur de la réfrigération industrielle dans les scénarios BAU et MIT. | 76 |
| Figure 44 : Émissions potentielles dans un scénario de BAU pour le secteur RAC industriel au Sénégal (Source : Analyse HEAT). | 77 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figure 45 : Émissions potentielles dans un scénario de mitigation pour le secteur RAC industriel au Sénégal (Source : Analyse HEAT).....</i> | <i>78</i> |
| <i>Figure 46: Emissions totales du secteur de la réfrigération industrielle dans les scénarios BAU et MIT (Source: Analyses HEAT).....</i> | <i>78</i> |
| <i>Figure 47: Emissions totales des sous-secteurs étudiés sur la période 2010-2050.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Figure 48 : Emissions totales des sous-secteurs étudiés sur la période 2020-2030.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Figure 49 : Emissions totales des sous-secteurs étudiés (domestique et industriel) dans les scénarios BAU et MIT.....</i> | <i>80</i> |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Fréquence des types de réfrigérateurs et volumes moyens des réfrigérateurs étudiés ayant une valeur de consommation énergétique (Source : Analyse HEAT)..... | 31 |
| Tableau 2: Coût moyen du cycle de vie [USD] des types de réfrigérateurs courants (Source : analyse HEAT)..... | 33 |
| Tableau 3: Capacité de refroidissement des unités de climatisation unitaires sur le marché sénégalais (source : analyse HEAT)..... | 34 |
| Tableau 4: Synthèse de l'inventaire des installations..... | 38 |
| Tableau 5: Valeurs moyennes des principaux paramètres pour les applications industrielles..... | 39 |
| Tableau 6: Équations de l'AECMax U4E pour les trois catégories de réfrigérateurs à une température ambiante de 32 °C (Source : Règlement type U4E pour les réfrigérateurs). | 42 |
| Tableau 7: : Types de compartiment et températures cibles selon la norme IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020..... | 42 |
| Tableau 8: Classification des appareils frigorifiques (Source : règlement type U4E pour les réfrigérateurs)..... | 44 |
| Tableau 9: Schéma d'étiquetage proposé pour les réfrigérateurs et les congélateurs. | 45 |
| Tableau 10: Calendrier proposé pour la mise en œuvre des SMPE et des étiquettes énergétique pour les réfrigérateurs et les congélateurs..... | 46 |
| Tableau 11: Exigences en matière de PRG et de PACO des réfrigérants..... | 47 |
| Tableau 12: Distribution des heures de température pour le climat 1B (Groupe 2) pour les CA en mode refroidissement. | 49 |
| Tableau 13: Schéma d'étiquetage proposé pour les climatiseurs unitaires (capacités jusqu'à 9,5 kW)..... | 51 |
| Tableau 14: Comparaison entre les SMPE recommandés de U4E et les SMPE de l'UEMOA (capacités jusqu'à 9,5 kW)..... | 52 |
| Tableau 15: Calendrier proposé pour la mise en œuvre du SMPE et des étiquettes pour les CA..... | 52 |
| Tableau 16: Exigences relatives au PRG et au PACO des réfrigérants pour les climatiseurs selon le modèle U4E..... | 53 |
| Tableau 17: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour les deux applications étudiées au Sénégal et les économies associées. | 57 |
| Tableau 18: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour les deux applications étudiées au Sénégal et les économies associées..... | 59 |
| Tableau 19: Facteur de croissance du PIB utilisé pour la projection des stocks dans le secteur RAC industriel. Valeurs historiques prises de la Banque mondiale..... | 71 |
| Tableau 20: Heures de fonctionnement et consommation énergétique moyennes des installations..... | 73 |
| Tableau 21: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées..... | 75 |
| Tableau 22: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées. | 77 |
| Tableau 23: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées..... | 81 |
| Tableau 24: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées. | 82 |

Liste des abréviations

| | |
|----------------------|--|
| CA | Climatiseur d’Air |
| AE | Énergie Annuelle |
| AEC | Consommation annuelle d'énergie |
| BAU | Business as Usual – Scenario De Base |
| BNO (NOU) | Bureau Nationale Ozone |
| CCNUCC | Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques |
| CCV (LCC) | Coût du cycle de vie |
| CEN | Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization) |
| CDN (NDC) | Contribution déterminée au niveau national |
| CO ₂ -eq | Équivalent de dioxyde de carbone |
| CSPF | Facteur de performance saisonnier de refroidissement |
| EE | Efficacité énergétique |
| EER | Ratio d'efficacité énergétique |
| GES | Gaz à effet de serre |
| GIEC | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat |
| GWh | Gigawattheure |
| PRG | Potentiel de réchauffement de la planète |
| HCFC | Hydrochlorofluorocarbones |
| HFC | Hydrofluorocarbures |
| HFC-134a | Tétrafluoréthane |
| HFO | Hydrofluoro-oléfine |
| HPMP | Plan de gestion de l'élimination progressive des HCFC |
| HSPF | Facteur de performance saisonnier de chauffage |
| IEC | Commission électrotechnique internationale |
| IEE | Indice d'efficacité énergétique |
| ISO | Organisation internationale de normalisation |
| KA | Amendement de Kigali |
| kW | Kilowatt |
| kWh | Kilo-watt-heure |
| MIT | Mitigation |
| MP | Protocole de Montréal |
| MRV | Suivi, examen et vérification |
| MTCO ₂ eq | Millions de tonnes d'équivalent de dioxyde de carbone |
| ONG | Organisation non gouvernementale |
| PACO (ODP) | Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone |
| PNUD | Programme des Nations unies pour le développement |
| PNUE | Programme des Nations unies pour l'environnement |
| PU | Polyuréthane |
| R134a | Tétra-fluoro-éthane |
| R22 | Chlorodifluorométhane |
| R290 | Propane |
| R404A | Agent de refroidissement mélangé à partir de R134a 4 %, R143a 52 %, R125 44 %. |
| R410A | Agent de refroidissement mélangé à partir de R32 50 %, R125 50 %. |
| R600a | Isobutane |
| R717 | Ammoniac |
| R744 | Dioxyde de carbone |
| RAC | Réfrigération et conditionnement d'air |

| | |
|-------------|--|
| SACO (ODS) | Substances appauvrissant la couche d'ozone |
| SAE | Énergie annuelle standard |
| SEER | Taux d'efficacité énergétique saisonnier |
| SMPE | Standards Minimales de Performance Energétique |
| TCAC (CAGR) | Taux de Croissance Annuel Composé |
| UE | Union Européenne |

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Le projet ROCA (Refroidissement Respectueux de l'Ozone et du Climat en Afrique de l'Ouest et Centrale) est cofinancé conjointement par l'Union européenne et le ministère fédéral allemand de la Coopération Economique et du Développement (BMZ) et mis en œuvre par la GIZ en tant que contribution à l'initiative mondiale de l'UE « Alliance mondiale contre le changement climatique¹ ». Les Bureaux Nationaux Ozone (BMO) et les ministères appropriés sont les principales parties prenantes de ce projet.

La demande croissante d'électricité a plusieurs implications, principalement des pénuries d'électricité plus fréquentes car la production ne répond pas à la demande accrue, ce qui entraîne d'importants investissements dans des centrales électriques supplémentaires. Cette production supplémentaire d'électricité augmentera les émissions de CO₂, contribuant ainsi au réchauffement de la planète.

Cette demande pourrait être réduite si l'énergie était utilisée plus efficacement. Par rapport au coût économique de l'installation de nouvelles centrales électriques, l'efficacité énergétique (EE) est une alternative peu coûteuse pour répondre aux besoins énergétiques du pays. En outre, les consommatrices/consommateurs économisent sur leur facture d'électricité et les émissions de CO₂ sont réduites.

Les Standards Minimales de Performance Energétique (SMPE) et les étiquettes d'efficacité énergétique constituent l'un des outils les plus utiles pour augmenter le niveau d'efficacité énergétique des produits sur le marché. Les SMPE indiquent le niveau minimum d'efficacité énergétique des produits qui peuvent être introduits sur le marché, en éliminant les appareils les moins efficaces. L'étiquetage énergétique informe le consommateur des possibilités d'économies d'énergie et des avantages environnementaux liés au choix de produits plus efficaces, ce qui augmente les ventes des produits les plus efficaces et prépare le marché à l'application de normes plus restrictives à l'avenir. Par exemple, le règlement européen sur l'étiquetage stipule que l'étiquette doit être révisée et mise à jour pour devenir plus ambitieuse lorsque la classe d'efficacité énergétique supérieure contient plus de 30 % des produits et/ou que les deux classes d'efficacité énergétique supérieures contiennent plus de 50 % des produits. En outre, dans les pays où l'électricité est totalement ou partiellement subventionnée par l'État, l'amélioration de l'efficacité énergétique des produits de consommation permettra également à l'État de réaliser des économies, qui pourront être reversées à la société grâce à des programmes de rabais destinés à aider les consommateurs à acheter des produits plus efficaces.

On pourrait penser qu'une augmentation continue de l'efficacité des produits implique une augmentation de leur prix. Cependant, l'expérience a montré que les prix des produits efficaces diminuent à mesure que de nouvelles technologies apparaissent avec des modèles encore plus efficaces. La Figure 1 montre le cas des réfrigérateurs aux États-Unis, où la consommation moyenne d'énergie diminue continuellement en raison de la mise en œuvre et de l'actualisation permanente des normes d'efficacité énergétique, sans que le prix n'augmente.

¹ <https://gcca.eu/>

Dans ce sens, de plus en plus de pays mettent en œuvre des normes et des étiquettes dans le monde entier, en incluant d'abord les produits les plus consommateurs d'énergie, tels que les réfrigérateurs et les climatiseurs, puis en intégrant d'autres produits électriques.

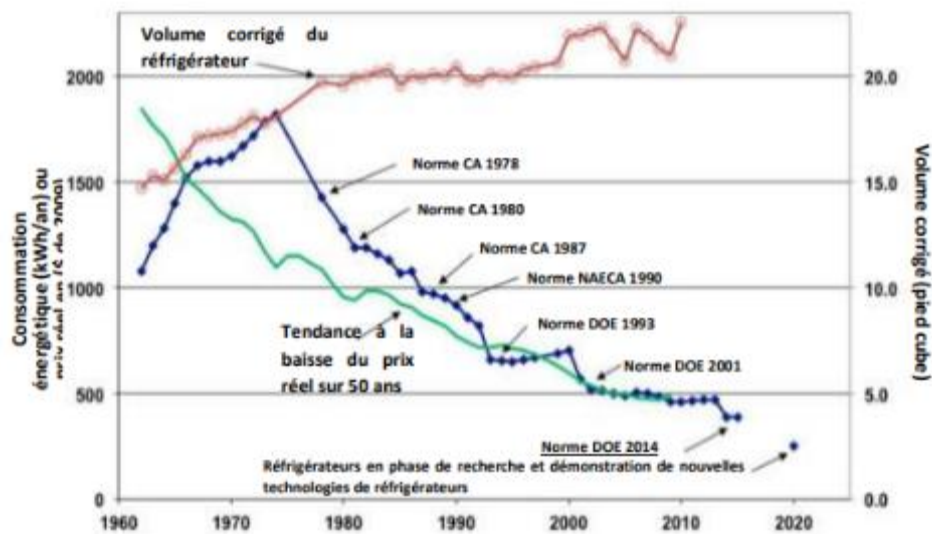


Figure 1: Évolution de la moyenne de la consommation, du volume et du prix des réfrigérateurs aux États-Unis (Source : [Département américain de l'énergie, U4E](#)).

Ce rapport recommande l'application de la réglementation en matière d'efficacité énergétique au Sénégal selon un processus en deux étapes : 1) application des normes et des étiquettes existantes dès que possible et de façon obligatoire, 2) mise à jour des normes à un niveau plus strict au plus tard en 2026, suivie d'une deuxième mise à jour en 2027 pour les réfrigérateurs et en 2028 pour les climatiseurs domestiques.

Sur la base des données recueillies et des meilleures pratiques internationales, des recommandations sont fournies pour les normes d'efficacité énergétique et d'étiquetage énergétique pour les réfrigérateurs et les climatiseurs domestiques. Sont fournis aussi, des recommandations concernant les installations industrielles et les moyens pour réduire les émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) provenant de ce secteur.

L'adoption de normes avancées d'efficacité énergétique ainsi que la transition vers des réfrigérants à faible potentiel de réchauffement global (PRG) sont nécessaires pour réaliser des réductions significatives des GES. Il est recommandé qu'en plus de l'étiquette convenue dans le cadre de l'UEMAO sur l'efficacité énergétique des appareils de réfrigération et de climatisation, l'étiquette contienne également des informations sur le fluide frigorigène utilisé, sa quantité et son PRG.

L'adoption de normes et d'étiquettes de plus en plus ambitieuses n'entraînera pas une augmentation des coûts pour les utilisateurs finaux. Avec l'augmentation attendue du coût de l'électricité à l'avenir, l'introduction des normes et des étiquettes énergétiques, couplée à la compréhension de l'analyse du coût du cycle de vie des produits de réfrigérations et de climatisations par les parties prenantes, conduira à des économies d'énergie pour les utilisateurs finaux, ce qui bénéficiera à l'économie Sénégalaise.

Structure du rapport :

- Le chapitre 2 couvre les évaluations du marché pour les climatiseurs unitaires, les réfrigérateurs domestiques (basées sur une étude des modèles proposés à la vente) et la réfrigération industrielle (basées sur une étude des installations industrielles) au Sénégal.
- Sur la base des résultats, des recommandations sur les SMPE et les étiquettes énergétiques sont élaborées et décrites au chapitre 3.
- Le chapitre 4 comprend des projections des ventes d'équipements et des équipements en service (appelés "stock") jusqu'en 2050. La demande d'énergie et les émissions de GES sont projetées pour un scénario de maintien du statu quo (BAU) et pour un scénario de mitigation (MIT), qui est basé sur la mise en œuvre de la proposition de SMPE et l'utilisation des réfrigérants à bas PRG.
- Le chapitre 5 est dédiée à la réfrigération et la climatisation industrielle et traite les mêmes éléments qu'en chapitre 4 e.g., évaluation du marché sénégalais, demande d'énergie, émission de GES et les moyens de réduire ces émissions.
- Une vue générale de la demande d'énergie et des émissions qui en découlent est traitée dans le chapitre 6.
- Le chapitre 7 couvre les principales conclusions et recommandations.

ÉVALUATION DE L'ENQUÊTE SUR LES SOUS-SECTEURS DE LA CLIMATISATION ET LA RÉFRIGÉRATION DOMESTIQUE ET INDUSTRIELLE

Deux enquêtes ont été menées pour fournir la base de données nécessaire à l'analyse de la situation du marché, des équipements utilisés ainsi que leurs émissions actuelles et les projections jusqu'en 2050. La première enquête a recueilli des données sur les réfrigérateurs résidentiels et les climatiseurs split. La deuxième enquête s'est concentrée sur la réfrigération industrielle et certaines applications de la réfrigération commerciale. Le Tableau 1 fournit des détails sur la couverture.

Tableau 1: Sous-secteurs et applications évalués du secteur RAC au Sénégal.

| Sous-secteur | Application | Couvert par cette étude ? |
|---------------------------------|---|--|
| CA unitaire | Autonome (Self-contained) | Non (trop petit en nombre) |
| | Split résidentiel (sans conduits) | Oui |
| | Split avec conduits | Oui, dans l'inventaire industriel (armoire de CA pour data centers) |
| | Rooftop avec conduits | Oui, dans l'inventaire industriel (Centrale de traitement d'air - CTA) |
| | Multi-split, VRF/VRV | Non (trop petit en nombre) |
| Refroidisseur | Pour la climatisation | Oui (sans attribution a des installations spécifiques) |
| | Pour les procédés industriels | |
| CA mobile | Petit : voitures pour passagers, camionnettes, Pick-up, SUV | Non |
| | Grand : Busses, Trains, etc. | Non |
| Réfrigération domestique | Réfrigérateurs et congélateurs | Oui |
| Réfrigération commerciale | Réfrigérateurs et congélateurs standalone | Non |
| | Unité de condensation | Non |
| | Système centralisé (pour supermarchés) | Non |
| Réfrigération industrielle | Standalone (unités intégrales) | Oui (production de glace) |
| | Unités de condensation | Oui (chambre de stockage) |
| | Système centralisé | Oui (tunnels de refroidissement et de congélation) |
| Réfrigération dans le transport | Remorques, camions, camionnettes | Non |

2.1 Enquête sur l'inventaire de la climatisation et la réfrigération domestique

Le processus de collecte de données a été effectué par une équipe de douze enquêteurs locaux contractés par la GIZ, sous la supervision et la gestion de HEAT. Les enquêteurs sélectionnés ont été formés par HEAT sur une période de 2 jours, du 17 et 19 novembre 2021, sur les technologies d'intérêt et sur le processus de collecte de données.

2.2 La formation comprenait les sujets suivants :

- Approche de collecte de données et catégorisation des unités de climatisation et de réfrigération,
- Lecture des plaques signalétiques des appareils sélectionnés,
- Lecture et compréhension des étiquettes énergétiques,
- Lecture et compréhension des fiches techniques et des spécifications,
- Vérification et confirmation des données collectées,
- Téléchargement des données et des photos collectées dans une base de données en ligne spécifiquement créé pour cet inventaire.

Les enquêteurs ont été divisés en quatre groupes, le groupe A enquêtant dans la région de Dakar (les départements de Dakar, Pikine, Guédiawaye et Rufisque), le groupe B dans la région de Thiès (les départements de Mbour et Thiès), le groupe C sur Saint-Louis et le groupe D a été affecté à l'enquête dans la région de Ziguinchor (les départements de Bignona, Ziguinchor et Oussouye)

À la fin de la formation, les enquêteurs ont performé une collecte de données pilotes à Dakar, et une séance de suivi a été tenue avec les experts de HEAT pour examiner ensemble les données recueillies et répondre à toutes les questions et demandes de renseignements avant le lancement officiel des enquêtes dans les quatre régions.

2.2.1 Processus de collecte des données – Climatiseurs et réfrigérateurs domestiques

Les données de cet inventaire ont été recueillies auprès de sources primaires et secondaires.

Pour les **données primaires**, une évaluation complète du marché a été effectuée dans les magasins locaux, les points de vente et les salles d'exposition désignées, avec un total des entrées comme suit :

- Climatiseurs d'Air (CA) unitaires : 264 entrées, de 60 marques.
- Réfrigérateurs domestiques : 255 entrées, de 58 marques différentes.

Pour les climatiseurs unitaires, le total de 264 entrées est réparti entre les différentes villes comme suit (voir Figure 2) :

- Dakar : 114 entrées,
- Saint-Louis : 47 entrées,
- Thiès : 53 entrées,
- Ziguinchor : 50 entrées.

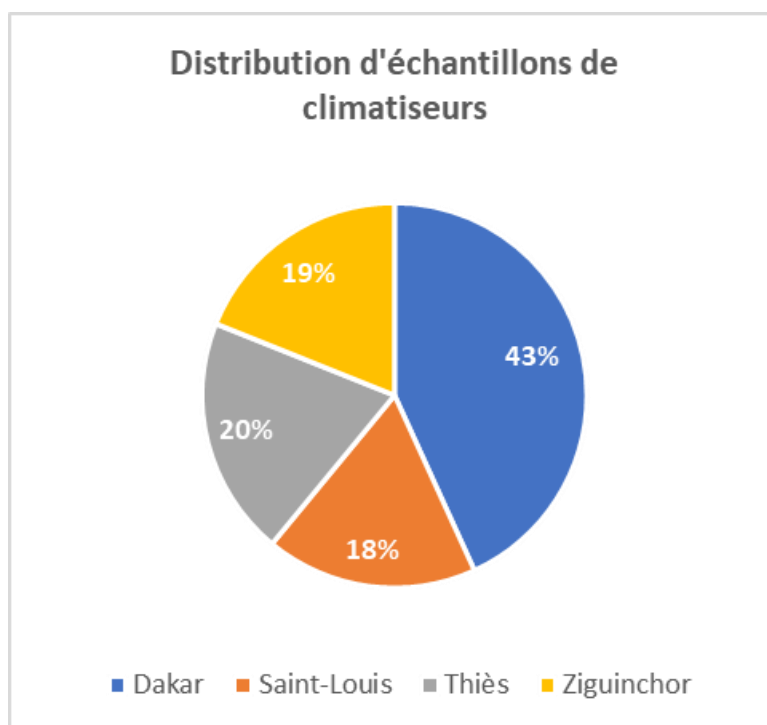


Figure 2: Distribution de l'échantillonnage des climatiseurs d'Air (CA) par ville.

Pour les réfrigérateurs domestiques le total de 255 entrées est réparti entre les différentes villes comme suit (voir Figure 3) :

- Dakar : 99 entrées,
- Saint-Louis : 49 entrées,
- Thiès : 57 entrées,
- Ziguinchor : 50 entrées.

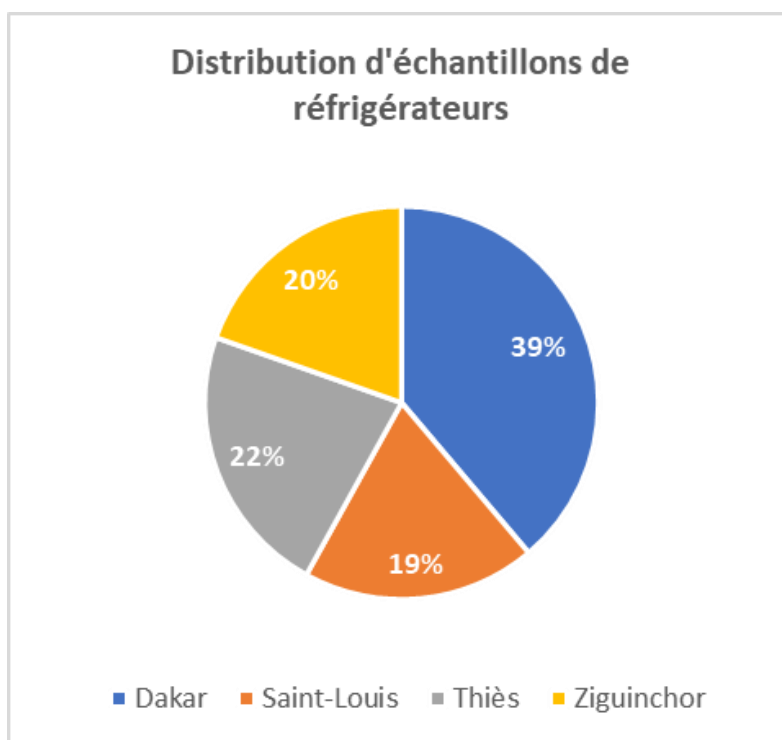


Figure 3: Distribution de l'échantillonnage des réfrigérateurs domestiques par ville.

Des **données secondaires** ont été obtenues à partir de :

- Données statistiques,
- Examen des enquêtes précédentes et des données correspondantes,
- Bureaux des douanes pour les équipements et les fluides frigorigènes importés,
- Documents commerciaux officiels,
- Valeurs par défaut du GIEC,
- Opinions d'experts.

Les données actuelles et historiques sont fondées, lorsqu'elles sont disponibles, sur des données factuelles provenant des sources énumérées ci-dessus. Les projections futures sont fondées sur des données statistiques sur les projections de la croissance démographique et économique.

Une **difficulté** a été rencontrée au cours des travaux de collecte de données à partir des sources de données primaires :

- Réticence à fournir des informations ou volonté de ne fournir que des informations partielles en raison de la politique de confidentialité des entreprises. Cette difficulté a été plus-ou-moins résolue par les enquêteurs en donnant plus d'explications sur les raisons de cette enquête et l'anonymat dans le traitement de ces données.

2.3 Processus de collecte des données – Réfrigération industrielle²

Le froid industriel est un procédé essentiel pour la conservation des denrées alimentaires d'origine animal ou végétal, car il est le seul à préserver les propriétés nutritionnelles des produits. La bonne conservation des denrées périssables repose sur le respect de la chaîne de froid.

La délimitation entre les applications industrielles et commerciales n'est pas toujours possible. En particulier, les installations de stockage ou les refroidisseurs peuvent faire partie des deux secteurs, en fonction de l'utilisation spécifique et de la localisation. Par exemple, une chambre froide située dans une usine de transformation alimentaire peut être considérée comme une application industrielle, tandis qu'une chambre froide dans un supermarché fait partie de la réfrigération commerciale. La technologie est la même, les deux sont des unités de condensation. Dans cette enquête, toutes les chambres froides étudiées sont considérées comme faisant partie du secteur industriel. Des problèmes similaires se posent avec les refroidisseurs et d'autres applications de conditionnement d'air plus importantes. Ils peuvent être utilisés pour le refroidissement de processus ou la climatisation de confort. Les premiers font partie des applications industrielles, les seconds sont généralement comptabilisés comme des unités de climatisation ou des refroidisseurs dans le sous-secteur de la climatisation stationnaire. Dans cette étude, les refroidisseurs sont séparés par taille et non par application. Les unités de traitement d'air et les armoires de climatisation pour les centres de données font partie des applications industrielles.

Pour des contraintes de temps et de mobilité et par respect aux TDR, le consultant s'est focalisé sur les trois principales régions qui polarisent 70% des activités économiques du pays :

- La région de Dakar : qui est la capitale administrative et économique du Sénégal. Elle représente le quart de la population et regroupe 40% des entreprises³. Cette région est le premier marché de consommation des produits alimentaires d'origine animale et végétale au Sénégal.

² Plus de détails dans le rapport complet de l'inventaire produit par le consultant de la GIZ.

³ GIZ 2022. Rapport d'inventaire des RAC en Secteur Industriel au Sénégal.

- La région de Thiès : qui est la première zone de débarquement de produits halieutiques avec 44.9% de la production nationale. Ainsi on y retrouve plusieurs chambres de congélation et la majeure partie des fabriques de glace.
- La région de St Louis : avec son important quai de pêche et la richesse de la vallée du fleuve Sénégal représente un pilier dans le développement économique du pays. La vallée du fleuve est une vaste zone de production agricole renforcée par l'implantation des DACs (Domaine Agricole Communautaire).

Pour une étude représentative nous avons choisi un échantillon d'installations frigorifiques des différents sous-secteurs des RAC dans les régions de Dakar, Thiès et St Louis. Cet échantillon représente 40% des installations présentes sur le marché. Sur ce nous avons fait une extrapolation pour estimer la quantité de fluide frigorigène et les types de fluide utilisés dans les installations frigorifiques.

Les appareils de réfrigération et de climatisation (RAC) ont été regroupés en sous-ensembles suivant les applications et/ou leur puissance. Les applications couvertes par cet inventaire sont :

- Chambre froide négative,
- Chambres froide positive,
- Tunnel de congélation,
- Fabrique de glace,
- Les refroidisseurs (chillers),
- Centrale de traitement d'air (CTA, ou Air Handling Unit (AHU) en anglais),
- Armoire de climatisation pour datacenter.

2.4 Méthodologie de l'enquête sur l'inventaire sectoriel

L'échantillon de données collecté est utilisé pour estimer le statu quo des appareils actuellement disponibles sur le marché.

L'évaluation est basée sur la méthodologie de niveau 2 du GIEC couvrant à la fois le fluide frigorigène, c'est-à-dire les émissions directes, et les émissions liées à l'énergie, c'est-à-dire les émissions indirectes, pour les appareils de refroidissement utilisés. Sur la base des projections des ventes et des stocks d'équipements, hypothèses détaillées par sous-secteur au chapitre 0, cette méthodologie est utilisée pour calculer les émissions futures du scénario de base, la consommation d'énergie jusqu'en 2050 et l'effet des options de mitigation.

La méthodologie de niveau 2 proposée permet la préparation d'actions de mitigation des GES (telles que les contributions déterminées au niveau national (CDN)) dans les sous-secteurs RAC pertinents et l'intégration du secteur de la réfrigération et de la climatisation (RAC) dans le développement des CDN et le rapport des actions de mitigation dans le cadre des Communications Nationales (NC) et des rapports de mise à jour biennaux (BUR) dans le cadre des engagements avec la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

L'estimation des émissions directes, liées aux réfrigérants, pendant toutes les étapes de la vie de l'appareil comprend les réfrigérants qui sont introduits dans les produits nouvellement fabriqués, disponibles dans les systèmes en fonctionnement (stocks annuels moyens) et ceux qui restent dans les produits au moment de leur mise hors service. Les émissions indirectes, liées à l'électricité, représentent l'électricité utilisée pendant le fonctionnement des appareils.

L'échantillon de données collecté est utilisé pour estimer le statu quo des appareils actuellement disponibles sur le marché. Ces informations alimentent le modèle de stock vintage, dans lequel l'utilisation de réfrigérant et l'efficacité énergétique des modèles vendus sont projetés pour un scénario de statu quo et un scénario de mitigation, qui est informé par le Standard Minimale de Performance Energétique (SMPE) proposée - appelée génériquement "activité de projet" dans la description de la méthodologie.

L'activité du projet affecte directement deux sources d'émissions : (1) l'utilisation de réfrigérants (émissions directes) et (2) la consommation d'électricité du réseau découlant de l'utilisation d'appareils de refroidissement et de réfrigération⁴ (émissions indirectes). Les émissions de référence et les émissions du projet incluent donc les deux termes comme dans l'équation 1 :

$$\textbf{Equation 1 : } EM_{totale,y} = EM_{refrigérant\ utilisé,y} + E_{electricité\ utilisé,y}$$

Où

| | |
|-------------------------------|---|
| $EM_{total,y}$ | Émissions annuelles totales de gaz à effet de serre résultant de l'exploitation de climatiseurs monoblocs [t CO ₂ eq]. |
| $EM_{refrigérant\ utilisé,y}$ | Émissions annuelles de gaz à effet de serre provenant des réfrigérants utilisés pour les climatiseurs monoblocs [t CO ₂ eq]. |
| $EM_{electricité\ utilisé,y}$ | Émissions de gaz à effet de serre dues à l'électricité utilisée pour faire fonctionner les climatiseurs monoblocs [t CO ₂]. |

La réduction des émissions est calculée en faisant la soustraction des émissions de références représentant la somme des émissions de réfrigérants et de consommation d'énergie sur le total des émissions du projet.

La limite du projet est dans le cadre où les unités de climatisation ou les réfrigérateurs sont utilisés, comme le montre la Figure 4. Les émissions provenant des chaînes d'approvisionnement en réfrigérants et du transport de l'électricité ne sont pas incluses, car elles sont en dehors du champ d'application de la théorie du changement du projet et de ses interventions associées.

Les caractéristiques des deux sources - réfrigérant et consommation d'énergie - sont très différentes et nécessitent des méthodologies d'estimation différentes. Cependant, toutes deux sont basées sur un modèle de stock existant, dans lequel les appareils présentant certaines caractéristiques, telles que le type de réfrigérant et l'efficacité énergétique, sont suivis tout au long de leur cycle de vie. Ainsi, pour chaque année, le nombre de climatiseurs individuels ou de réfrigérateurs avec un réfrigérant spécifique est connu (calculé ou estimé) parmi les ventes annuelles, le stock et les unités qui sont mises hors service.

⁴ Les méthodes d'estimation de la consommation d'énergie diffèrent selon le type d'appareil.

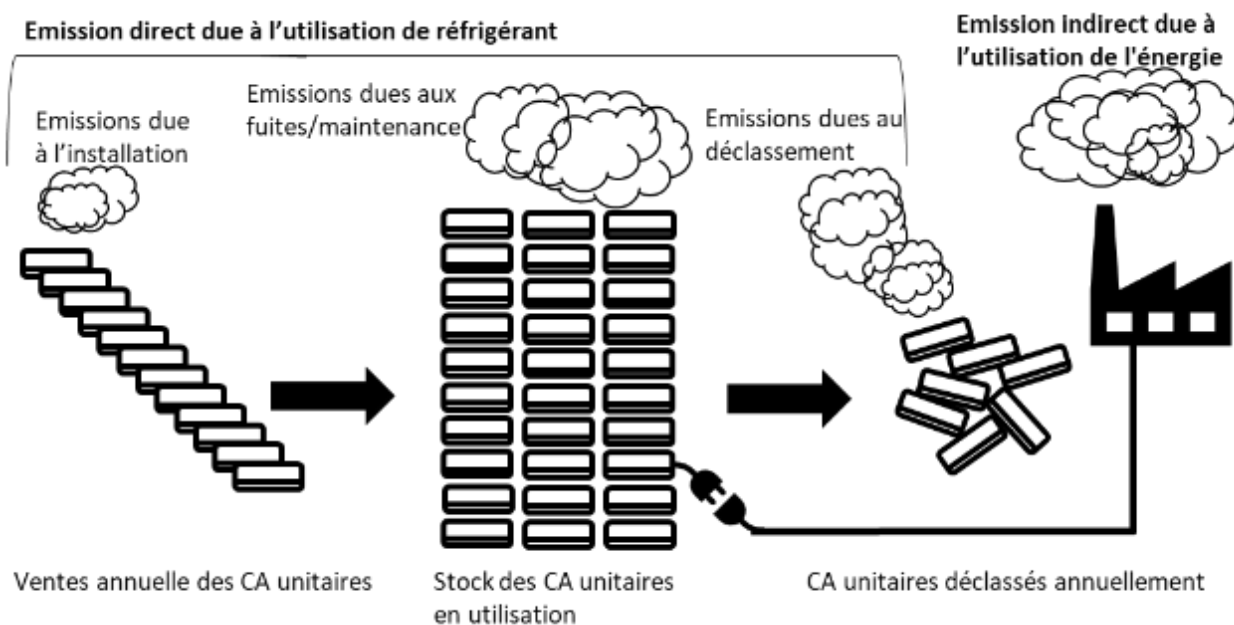


Figure 4: Émissions incluses dans le champ d'application de ce projet (propre illustration).

L'objectif de la méthodologie est de permettre une approche sectorielle, par laquelle des paramètres unitaires moyens sont développés pour obtenir des résultats sectoriels représentatifs avec un effort raisonnable. Les résultats de l'inventaire des équipements sont une série chronologique d'émissions de référence passées et présentes, permettant une projection des émissions de référence futures et des effets des scénarios de mitigation possibles.

2.4.1 Le modèle de stock vintage

L'utilisation de modèles de stocks pour suivre les émissions de réfrigérants est recommandée dans le GIEC (2006)⁵ Guidelines for National GHG Inventories pour l'approche du facteur d'émission de niveau 2. Un modèle de stock vintage est utilisé pour suivre la composition du stock d'unités en termes d'utilisation de réfrigérants et d'efficacité énergétique. Cette opération est effectuée séparément pour chaque type d'appareil. Chaque année, le nombre d'appareils vendus est ajouté au stock et le nombre d'appareils mis hors service est déduit. Pour les appareils ajoutés et déclassés, leurs caractéristiques en termes de réfrigérant utilisé et d'efficacité énergétique sont soit contrôlées, soit estimées sur la base des tendances du marché. Ainsi, la composition du stock est mise à jour chaque année et l'évolution de l'utilisation des réfrigérants et de l'efficacité énergétique du stock peut être suivie.

Les formules utilisées sont les mêmes pour modéliser les évolutions passées et futures du marché. Ce qui est différent, c'est la manière dont les caractéristiques des unités sont déterminées. Pour les évolutions passées, des études de marché ou des enquêtes peuvent être utilisées comme base pour l'extrapolation à l'échelle du stock. Les évolutions futures sont basées sur les projections de stocks ou de ventes et sur d'autres hypothèses concernant l'utilisation des réfrigérants et les améliorations de l'efficacité énergétique, en tenant compte de la mise en œuvre de l'amendement de Kigali et des politiques établies pour améliorer l'efficacité énergétique.

Le calcul des émissions est effectué à l'aide des paramètres des unités suivies et du nombre d'appareils possédant des valeurs de paramètres particulières, telles que la capacité, l'efficacité énergétique, le

⁵ <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

réfrigérant et la charge de réfrigérant. Les formules pour la constitution du stock et la répartition des paramètres sont les suivantes. Les ventes de l'année en cours sont ajoutées au stock à la fin de l'année et font donc partie du stock des années suivantes jusqu'à leur mise hors service. De même, le nombre d'appareils déclassés est soustrait du stock à la fin de l'année.

La série chronologique pour la constitution du stock commence suffisamment tôt pour couvrir une rotation complète du stock. Au cours des premières années, lorsque l'année étudiée correspond à la durée de vie du produit du premier millésime (les ventes de la première année), le stock se constitue et aucun déclassement d'appareils n'est inclus. La première année, lorsque le stock est représentatif, est l'année où une durée de vie complète est couverte. Pour les climatiseurs individuels, cette durée est généralement d'environ 10 ans, mais la durée de vie exacte du produit dépend des circonstances nationales et est déterminée au niveau national. Pour les réfrigérateurs, la durée de vie du produit est généralement comprise entre 15 et 20 ans.

Ainsi, pour les années comprises dans la durée de vie du premier millésime, la formule de constitution du stock est la suivante :

$$\textbf{Equation 2 : } Stock_y = Stock_{y-1} + Ventess_{y-1} - EOL_{y-1}$$

$$\textbf{Equation 3 : } EOL_{y-1} = 0$$

Où :

Ventes_y Nombre d'unités d'appareils vendus au cours de l'année y

Stock_y Nombre d'appareils utilisés au cours de l'année y

y Une année spécifique

Pour les années où la durée de vie du produit du premier millésime est dépassée, le nombre d'appareils déclassés est inclus dans la formule.

$$\textbf{Equation 4 : } Stock_y = Stock_{y-1} + Ventess_{y-1} - EOL_{y-1}$$

$$\textbf{Equation 5 : } EOL_{y-1} = Ventess_{y-LT-1}$$

Où

EOL_y Nombre d'appareils qui sont mis hors service dans l'année y

LT Durée de vie du produit de l'appareil [y]

La composition du stock en termes d'appareils utilisant un certain réfrigérant ou ayant une certaine efficacité énergétique est calculée selon le même principe que pour la constitution du stock. Les formules sont présentées ici pour la répartition des réfrigérants. Pour l'efficacité énergétique, elles suivent la même logique. La formule pour les années de la durée de vie du premier millésime additionne simplement les ventes d'appareils contenant un certain réfrigérant. Ce calcul est répété pour chaque réfrigérant présent sur le marché.

$$\text{Equation 6 : } Stock_{r,y} = Stock_{r,y-1} + Ventés_{y-1} * RefDistrVentés_{r,y-1} - EOL_{r,y-1}$$

$$\text{Equation 7: } EOL_{r,y-1} = 0$$

Où

| | |
|-------------------------------|--|
| Stock _{r,y} | Nombre d'appareils en service l'année y qui contiennent du réfrigérant r |
| Ventes _{r,y} | Nombre d'appareils vendus au cours de l'année y qui contiennent du réfrigérant r |
| RefDistrVentés _{r,y} | Portion d'appareils dans les ventes de l'année y, contenant du réfrigérant r |

Pour les années où la durée de vie du premier millésime est dépassée, le nombre d'unités mises hors service contenant le réfrigérant spécifique est inclus dans la formule.

$$\text{Equation 8 : } Stock_{r,y} = Stock_{r,y-1} + Ventés_{y-1} * RefDistrVentés_{r,y-1} - EOL_{r,y-1}$$

$$\text{Equation 9 : } EOL_{r,y-1} = Ventés_{y-LT-1} * RefDistrVentés_{r,y-LT-1}$$

Où

| | |
|--------------------|---|
| EOL _{r,y} | Nombre d'appareils qui sont mis hors service au cours de l'année y contenant un réfrigérant r |
|--------------------|---|

2.4.2 Émissions de réfrigérants

La méthodologie utilisée pour calculer les émissions de réfrigérants est basée sur la désagrégation de niveau 2 des lignes directrices et des formats de rapport de la CCNUCC et du GIEC 2006. Elle suit l'approche du facteur d'émission, dans laquelle l'occurrence des émissions tout au long du cycle de vie d'un appareil est suivie. Selon le GIEC 2006, quatre phases du cycle de vie sont incluses, comme présenté dans l'équation 10.

$$\text{Equation 10 : } E_{totale,t} = E_{conteneurs,t} + E_{charge,t} + E_{duree\ de\ vie,t} + E_{fin\ de\ vie,t}$$

Où :

| | |
|-----------------------------|---|
| t | Une certaine période de temps, généralement un an. |
| E _{conteneurs,t} | Liées à la gestion des conteneurs de réfrigérants [t CO ₂ eq]. |
| E _{charge,t} | Émissions liées à la charge de réfrigérant : connexion et déconnexion du conteneur de réfrigérant et du nouvel équipement à charger [t CO ₂ eq]. |
| E _{durée de vie,t} | Émissions annuelles des banques de réfrigérants associées aux six sous-applications pendant l'exploitation (émissions fugitives et ruptures) et l'entretien [t CO ₂ eq]. |
| E _{fin de vie, t} | Émissions à la fin de vie du système [t CO ₂ eq] |

Le périmètre du projet exclut les émissions qui proviennent de lieux autres que ceux où les appareils sont utilisés. Ainsi, les émissions provenant des conteneurs de réfrigérant sont exclues. Il s'agit également d'une

précaution contre le double comptage, car les émissions provenant de la manutention des conteneurs sont généralement calculées à un niveau plus désagrégé - par exemple, à partir de l'entrée de réfrigérant en vrac enregistrée.

Comme les émissions se produisent à différents moments de la vie d'un appareil, il est important de se référer aux émissions d'une année spécifique.

La première partie de la formule est équivalente à E_{charge} , la deuxième partie à $E_{duree-de-vie}$ et la troisième partie à $E_{fin-de-vie}$ de la formule ci-dessus. Les émissions incluses dans les limites du projet sont illustrées en Figure 5 avec l'exemple des climatiseurs unitaires, mais la logique est la même pour tous les appareils, en utilisant des facteurs d'émission spécifiques aux appareils.

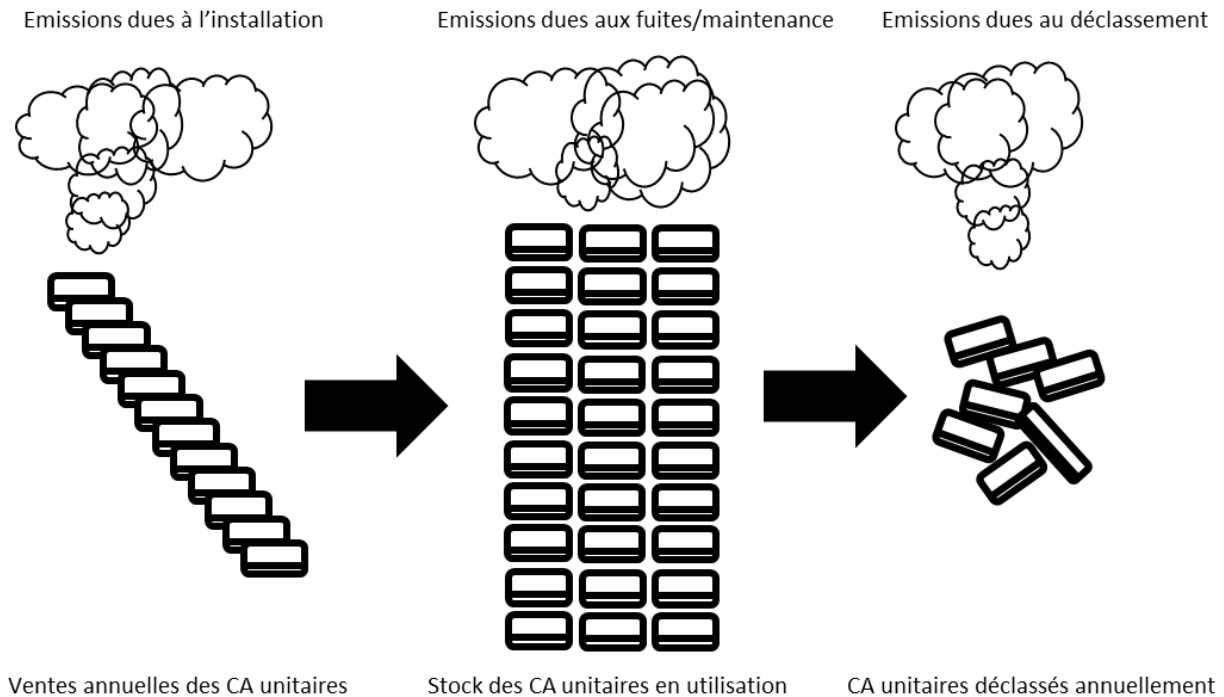


Figure 5: Approche pour le calcul des émissions dues aux réfrigérants (propre illustration).

Equation 11 : $EM_{refrigérant\ utilisé,y}$

$$= \sum_r (Ventes_{r,y} * IC * EF_{fy} + Stock_{r,y} * IC * EF_{utilisé} + EOL_{r,y} * IC * EF_{EOL}) * PRG_r / 1000$$

Equation 12 : $EM_{refrigérant\ utilisé,LT} = IC * (EF_{fy} + EF_{utilisé} * (LT - 1) + EF_{EOL}) * PRG_r / 1000$

Où :

- r Espèces de réfrigérants (principalement R22, R410a, R32, R290)
- $Ventes_{r,y}$ Nombre d'appareils vendus l'année y , utilisant le réfrigérant r
- $Stock_{r,y}$ Nombre d'appareils en service l'année y , utilisant le réfrigérant r
- $EOL_{r,y}$ Nombre d'appareils qui sont mis hors service au cours de l'année y , utilisant le réfrigérant r
- IC Charge initiale moyenne de l'appareil [kg]
- EF_{fy} Facteur d'émission pour le réfrigérant pendant l'installation, en pourcentage de la charge initiale [%].

| | |
|----------------|---|
| $EF_{utilise}$ | Facteur d'émission pour le réfrigérant pendant l'utilisation, en pourcentage de la charge initiale [%]. |
| EF_{EOL} | Facteur d'émission pour le réfrigérant pendant la mise hors service, en pourcentage de la charge initiale [%] |
| PRG_r | Potentiel de réchauffement global (sur 100 ans) du réfrigérant r , tel qu'indiqué dans le sixième rapport d'évaluation du GIEC sur le réfrigérant r . |
| LT | Durée de vie moyenne de l'appareil [années] |

Les valeurs par défaut des facteurs d'émission et des charges initiales sont fournies par le GIEC 2006, mais les valeurs déterminées au niveau national sont préférables.

Pour calculer les réductions d'émissions, les émissions sont calculées pour les conditions de base et les conditions du projet. Il est donc important d'analyser l'influence des interventions du projet sur les paramètres. Les actions de mitigation influencent généralement le choix du réfrigérant dans les ventes unitaires et/ou les facteurs d'émission.

Pour déterminer la réduction des émissions de réfrigérants résultant de l'introduction d'appareils utilisant un réfrigérant naturel, la formule ci-dessus est appliquée uniquement pour le nombre d'appareils efficaces en vente.

Equation 13 : $ER_{refrigérant\ utilisé, NatRef, y}$

$$= (Ventes_{NatRef, y} * IC * EF_{fy} + Stock_{NatRef, y} * IC * EF_{utilisé, BL} + EOL_{NatRef, y} * IC * EF_{EOL, BL}) * (PRG_{BL} - PRG_{NatRef}) / 1000$$

Equation 14 : $ER_{refrigérant\ utilisé, CAvert, LT}$

$$= IC * (EF_{fy} + EF_{utilisé, BL} * (LT - 1) + EF_{EOL, BL}) * (PRG_{BL} - PRG_{NatRef}) / 1000$$

Où :

| | |
|--|--|
| $ER_{utilisation\ de\ réfrigérants\ Nat, y}$ | Réduction des émissions due à l'introduction de réfrigérants naturels au cours de l'année y [t CO ₂ eq] |
| $ER_{utilisation\ de\ réfrigérant\ Nat, LT}$ | Réduction des émissions due à l'introduction d'un réfrigérant naturel pendant la durée de vie de l'appareil [t CO ₂ eq] |
| $Sales_{NatRef, y}$ | Nombre d'appareils vendus utilisant des réfrigérants naturels au cours de l'année y |
| $Stock_{NatRef, y}$ | Nombre d'appareils utilisant des réfrigérants naturels en service l'année y , tel que calculé par le modèle vintage modèle de stock |
| $EOL_{NatRef, y}$ | Nombre d'appareils utilisant des fluides frigorigènes naturels qui sont mis hors service au cours de l'année y , tel que calculé par le modèle de stock ancien |
| IC | Charge initiale moyenne de réfrigérant de l'appareil [kg] |
| EF_{fy} | Facteur d'émission pour le réfrigérant pendant l'installation, en pourcentage de la charge initiale [%] |

| | |
|---------------------------|---|
| $EF_{\text{utilise, BL}}$ | Facteur d'émission pour le fluide frigorigène pendant l'utilisation, en pourcentage de la charge initiale [%] dans la ligne de base |
| $EF_{\text{EOL, BL}}$ | Facteur d'émission pour le réfrigérant pendant la mise hors service, en pourcentage de la charge initiale [%] dans la ligne de base |
| PRG_{BL} | Potentiel de réchauffement planétaire moyen (période de 100 ans) des réfrigérants utilisés dans la base de référence, valeurs de PRG telles que fournies dans le sixième rapport d'évaluation du GIEC (car il s'agit de la référence pour les rapports à la CCNUCC) |
| PRG_{NatRef} | Potentiel de Réchauffement Global (période de 100 ans) du réfrigérant naturel utilisé, valeur PRG telle que fournie dans le sixième rapport ⁶ d'évaluation du GIEC (IPCC). |
| LT | Durée de vie moyenne de l'appareil [années] |

Dans le cas où la formation des techniciens et techniciennes fait partie des activités du projet, son effet de réduction des émissions sur les émissions de tous les appareils en service est calculé sur la base du stock annuel total des équipements en service qui utilisent un réfrigérant de référence. Les émissions sont calculées en additionnant les fuites annuelles du stock et le réfrigérant émis à la fin de la vie de l'équipement. Les deux valeurs sont exprimées en pourcentage de la charge initiale de l'équipement. Les améliorations apportées à la récupération et à l'élimination en toute sécurité des réfrigérants, ainsi que les contrôles d'étanchéité réguliers, permettent d'obtenir des pourcentages plus faibles.

$$\textbf{Equation 15 : } ER_{\text{refrigerant use, training, y}} = \text{Stock}_{\text{BL, y}} * IC * (EF_{\text{use, BL}} - EF_{\text{use, PR}}) * PRG_{\text{BL}} / 1000$$

$$\textbf{Equation 16 : } ER_{\text{refrigerant use, training, LT}} = IC * (EF_{\text{use, BL}} - EF_{\text{use, PR}}) * (LT - 1) * PRG_{\text{BL}} / 1000$$

Où :

| | |
|---|--|
| $ER_{\text{utilisation de réfrigérants, formation, y}}$ | Réduction des émissions résultant de la formation des techniciens et techniciennes au cours de l'année y [t CO ₂ eq] |
| $ER_{\text{utilisation de réfrigérant, formation, LT}}$ | Réduction des émissions due à la formation des techniciens et techniciennes pendant la durée de vie de l'appareil [t CO ₂ eq] |
| $\text{Stock}_{\text{BL, y}}$ | Nombre de climatiseurs individuels utilisés qui ne sont pas des réfrigérants naturels au cours de l'année y, tel que calculée par le modèle de stock vintage |
| IC | Charge initiale moyenne de réfrigérant de l'appareil [kg]. |
| $EF_{\text{use, BL}}$ | Facteur d'émission pour le fluide frigorigène pendant l'utilisation, en pourcentage de la charge initiale [%] dans la ligne de base. |

⁶ GIEC (IPCC), 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

| | |
|---------------|--|
| $EF_{use,PR}$ | Facteur d'émission pour le réfrigérant pendant l'utilisation, en pourcentage de la charge initiale [%], en raison de la formation. |
| PRG_{BL} | Potentiel de réchauffement planétaire moyen (période de 100 ans) des réfrigérants utilisés dans la base de référence, valeurs de PRG telles que fournies dans le sixième rapport d'évaluation du GIEC. |
| LT | Durée de vie moyenne d'un appareil [années] |

Tout effet de réduction des émissions résultant de la formation des techniciens et de l'amélioration de l'infrastructure de collecte des réfrigérants est calculé sur la base de la quantité de réfrigérants collectés qui est livrée aux points de collecte.

$$\text{Equation 17 : } ER_{refrigerant\ use, collection, y} = (A_{EOL, PR, y} - A_{EOL, BL, y}) * GWP_{BL} / 1000$$

Où :

| | |
|--|---|
| $ER_{refrigerant\ utilise, collection, y}$ | Réduction des émissions due à l'amélioration de la collecte des réfrigérants au cours de l'année y [t CO ₂ eq] |
| $A_{EOL, PR, y}$ | Quantité de réfrigérant collectée l'année y pendant la période du projet [kg]. |
| $A_{EOL, BL, y}$ | Quantité moyenne de réfrigérant collecté au cours d'une année précédant la période du projet [kg]. |
| PRG_{BL} | Potentiel de réchauffement global moyen (sur 100 ans) des réfrigérants utilisés dans la base de référence, valeurs de PRG telles que fournies dans le sixième rapport d'évaluation du GIEC. |

Il convient de noter que le réfrigérant contenu dans les équipements préchargés n'est pas comptabilisé dans la consommation du pays d'importation, mais dans celle du pays de fabrication, afin d'éviter un double comptage. Toutefois, toute fuite de l'équipement préchargé après sa fabrication a lieu dans le pays où l'équipement est utilisé.

2.4.3 Émissions énergétiques

Les émissions dues à la consommation d'énergie ne se produisent que pendant la phase d'utilisation des appareils. La production d'électricité utilisée par les appareils entraîne des émissions dans les centrales électriques en fonction du mix énergétique national (Figure 6 en prenant l'exemple des climatiseurs unitaires).

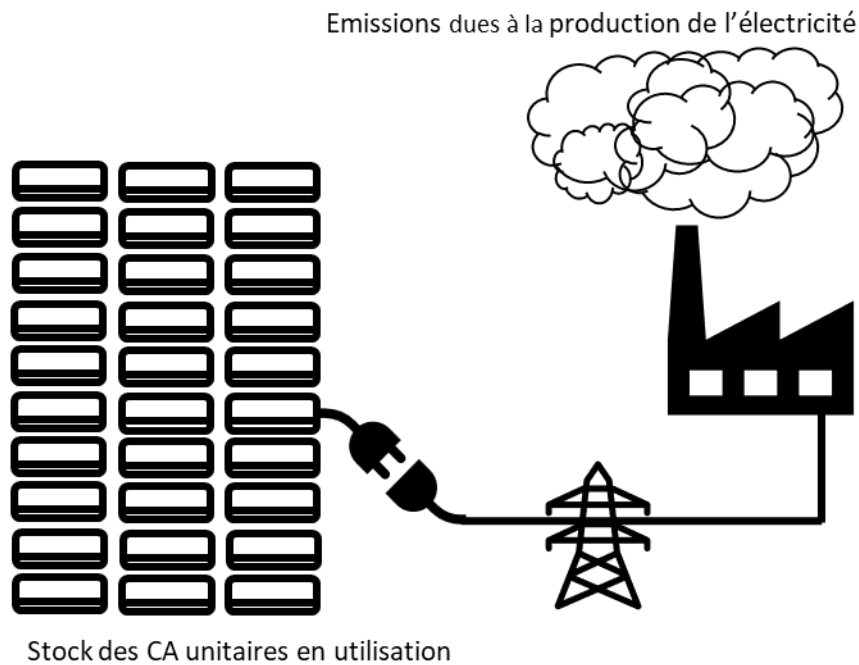


Figure 6: Approche pour le calcul des émissions énergétiques (propre illustration).

Le paramètre déterminant pour l'estimation des émissions dues à la consommation d'énergie (c'est-à-dire les émissions indirectes de GES) est la consommation moyenne d'énergie d'un appareil en fonction de son efficacité énergétique, de ses heures de fonctionnement avec les conditions de charge associées et du facteur d'émission du réseau national.

Pour les climatiseurs unitaires, les coefficients d'efficacité énergétique (EER) et les coefficients d'efficacité énergétique saisonnière (SEER) ou les facteurs de performance de la saison de refroidissement (CSPF) et la consommation d'énergie correspondante sont mesurés et calculés dans des conditions définies, conformément à la norme ISO 16538. Leur valeur pour déterminer la consommation énergétique "réelle" est limitée, car le profil de température utilisé pour le calcul ne correspond pas aux conditions météorologiques locales.

La meilleure solution est d'entreprendre une enquête représentative sur le terrain pour déterminer la consommation énergétique moyenne des appareils de climatisation pour un pays spécifique. Une possibilité de calculer une consommation d'énergie plus représentative qu'en utilisant les conditions normalisées (comme spécifié par la température standard des bacs comme dans la norme ISO 16358), est de continuer à utiliser la méthode de calcul de la norme ISO 16358, mais d'utiliser les températures des bacs spécifiques au groupe climatique comme établi dans les réglementations modèles U4E pour les climatiseurs split⁷.

Ces calculs donnent une charge totale saisonnière de refroidissement (CSTL) et une consommation d'énergie saisonnière de refroidissement (CSEC) spécifiques au climat.

Des procédures de calcul distinctes sont utilisées pour les modèles de compresseurs à vitesse fixe et les modèles à vitesse variable. Les données d'entrée requises pour les modèles à vitesse fixe sont la capacité de refroidissement, la puissance absorbée et l'EER aux conditions de conception, qui sont les paramètres définis pour chaque classe d'EER.

⁷ https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2021/11/U4E_AC_Model-Regulation_EN_2021-11-08.pdf

Pour les CA de type onduleur, des points de données supplémentaires à mi-capacité sont nécessaires. En l'absence de données mesurées, celles-ci sont estimées en supposant une performance supérieure de 4% par rapport à la pleine charge⁸.

Les températures des bacs spécifiques au climat appliqué, les valeurs EER et CSPF définies, ainsi que la consommation d'énergie annuelle calculée pour chaque classe EER sont fournies en annexe.

$$\textbf{Equation 18 : } EC_{EER,y,e} = CSEC_e \text{ (ISO 16538)}$$

$$\textbf{Equation 19 : } EM_{energy\ use,y,e} = EC_{EER,y,e} * GEF/1000$$

$$\textbf{Equation 20 : } EM_{energy\ use,y} = \sum_e EC_{EER,y,e} * Stock_e * GEF/1000$$

Où :

| | |
|--|--|
| EC _{EER,y,e} | Consommation d'électricité au cours de l'année y de l'unité dans la classe d'efficacité énergétique e [t CO ₂ eq] |
| EM _{consommation d'énergie,y} | Émissions provenant de l'utilisation de l'énergie d'une chambre CA pour l'année y [tCO ₂ eq] |
| e | Classe d'efficacité énergétique, telle que définie dans le modèle |
| Stock _e | Appareils en stock avec le EER spécifique, tel que calculé par le stock de millésime |
| GEF | Facteur d'émission du réseau électrique national, tel que répertorié dans la base de données de l'IFI ⁹ [kg CO ₂ /kWh] |

Pour les réfrigérateurs, la méthodologie recommandée dans le règlement type U4E pour les réfrigérateurs est suivie. Le règlement type utilise la consommation énergétique moyenne (AEC) telle que définie dans la norme IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020. Comme les heures de fonctionnement ne dépendent pas autant du climat que pour les climatiseurs, le calcul standard de la consommation d'énergie est considéré comme représentatif, comme indiqué au chapitre 3.1.1.

$$\textbf{Equation 21 : } EC_{EER,y,e} = AEC_e \text{ (IEC 62552)}$$

$$\textbf{Equation 22 : } EM_{energy\ use,y,e} = EC_{EER,y,e} * GEF/1000$$

⁸ En appliquant cette amélioration avec les températures standard des bacs, la règle empirique de CSPF/EER=1,13 est respectée.

⁹ Lien vers la base de données de l'IFI :

https://newsroom.unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_IFI_Default_Grid_Factors_2021_v3.2_0.xlsx

$$\text{Equation 23 : } EM_{energy\ use,y} = \sum_e EC_{EER,y,e} * Stock_e * GEF/1000$$

Où :

| | |
|--------------------------------------|---|
| EC _{EER,y,e} | Consommation d'électricité au cours de l'année y de l'unité dans la classe d'efficacité énergétique e [t CO ₂ eq] |
| EM _{consommation d'énergie} | Émissions provenant de la consommation d'énergie des réfrigérateurs de l'année y [t CO ₂ eq] |
| e | Classe d'efficacité énergétique, telle que définie dans le modèle |
| Stock _e | Appareils en stock avec le EER spécifique, tel que calculé par le stock de millésime |
| GEF | Facteur d'émission du réseau électrique national, tel que répertorié dans la base de données de l'IFI ¹⁰ [kg CO ₂ /kWh] |

Scénario de base

Le scénario de base (BAU) pourrait inclure le calendrier de réduction progressive des HFC¹¹ stipulé par l'amendement de Kigali. En d'autres termes, la mise en œuvre complète de l'amendement de Kigali est supposée se produire dans le scénario de référence (voir note de bas de page 11) ; toute réduction d'émissions réalisée par le projet s'ajoute complètement aux réductions d'émissions réalisées par l'amendement de Kigali.

Pour simuler l'impact du calendrier de réduction des HFC prévu par l'amendement de Kigali dans le scénario BAU, une analyse détaillée doit être réalisée. La consommation maximale de HFC (tonnes par substance) autorisée par l'amendement de Kigali doit être traduite en émissions de GES (tCO₂eq) qui devraient résulter de cette consommation¹².

Par rapport à d'autres applications RAC, il existe des alternatives aux HFC dans les climatiseurs split et la réfrigération domestique. Par conséquent, on peut supposer que l'adoption de ces alternatives (par exemple, R600a et R290) sera mise en œuvre plus tôt que dans d'autres sous-secteurs afin de rendre le quota restant disponible pour les sous-secteurs où les alternatives sont difficiles à mettre en œuvre. Selon le calendrier de Kigali, les pays partenaires doivent réduire leur consommation de HFC de 30 % d'ici 2035 par rapport à la situation de référence. C'est à ce moment-là que l'on peut supposer que l'introduction de climatiseurs individuels utilisant du R290 s'accélère (aussi bien l'accélération des ventes des réfrigérateurs domestiques utilisant le R600a) en raison de la pression exercée par le quota de Kigali et augmente régulièrement pour atteindre une part de marché de 80 % en 2045.

¹⁰ Lien vers la base de données de l'IFI :

https://newsroom.unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_IFI_Default_Grid_Factors_2021_v3.2_0.xlsx

¹¹ Il s'agit d'hypothèses conservatrices. Comme les bases de référence sont déterminées au niveau national, il se pourrait bien que le BAU ait 2010 comme année de référence et que le KA ne soit pas inclus.

¹²L'amendement de Kigali limite la consommation maximale de réfrigérants HFC en vrac, mais il ne tient pas compte des quantités de réfrigérants importées dans les appareils RAC préchargés. La consommation de réfrigérants HFC prise en compte concerne donc l'utilisation de réfrigérants lors du premier remplissage et de l'entretien. Le nivellement des étapes de réduction est basé sur la consommation moyenne de HFC de 2020 à 2022, y compris 65 % de la consommation de HCFC pour la même période (niveau de référence selon l'amendement de Kigali).

En ce qui concerne le développement d'évaluations de l'efficacité énergétique, les politiques (si elles existent) qui sont en place avant le début du projet sont incluses dans la base de référence.

Scénario de mitigation

Le scénario de mitigation est déterminé par l'action du projet national et les développements sont suivis de près.

Projection des potentiels de mitigation

La même méthodologie est appliquée pour calculer le potentiel de mitigation futur. Au lieu d'utiliser des données de suivi, on projette les effets attendus d'une intervention politique sur les paramètres d'entrée, en utilisant le modèle de stock ancien.

2.5 Réfrigérateurs domestiques

2.5.1 Évaluation du marché

L'évaluation du marché est basée sur l'enquête auprès des magasins au Sénégal, comme illustré ci-dessous dans la Figure 7.

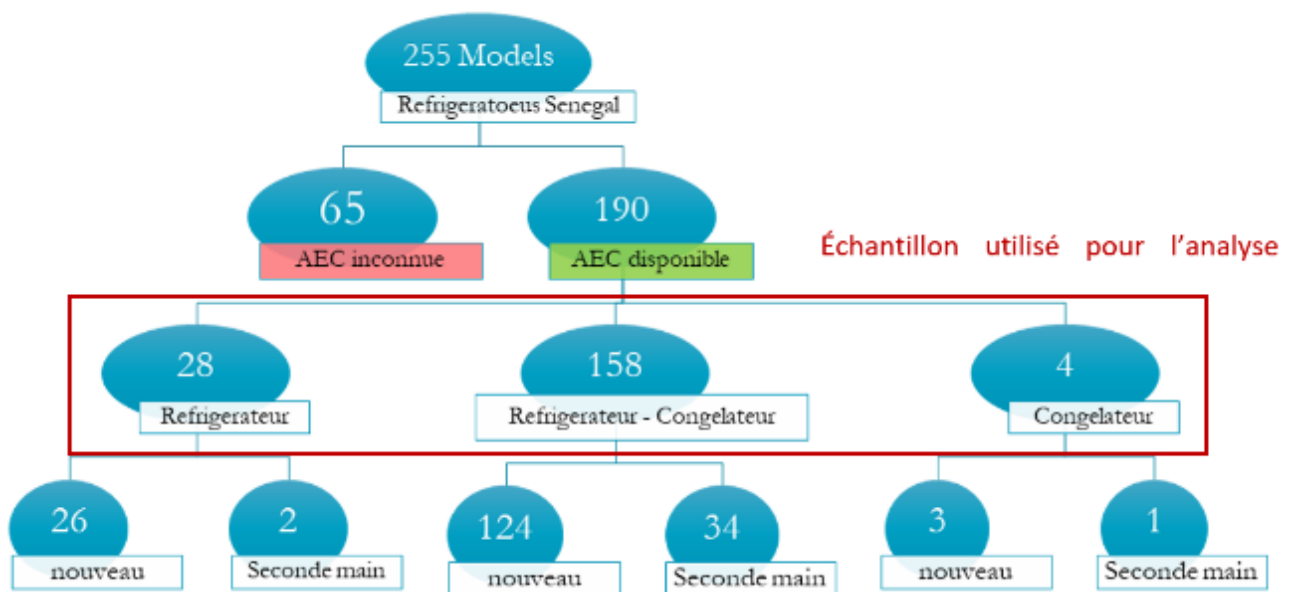


Figure 7: Nombre de réfrigérateurs étudiés dans le cadre de l'évaluation du marché et part des modèles disposant d'informations sur la AEC (consommation annuelle d'énergie), séparés selon la catégorie de produit et leur état (Source : Analyse HEAT).

En outre, la plupart des réfrigérateurs sur le marché sont destinés à des tailles inférieures à 500 litres (Tableau 1 et Figure 8) avec une taille moyenne de 306 litres combinés (réfrigérateur plus congélateur).

Tableau 1: Fréquence des types de réfrigérateurs et volumes moyens des réfrigérateurs étudiés ayant une valeur de consommation énergétique (Source : Analyse HEAT).

| Type | Fréquence | Volume moyen (l) |
|----------------------------|------------|------------------|
| Réfrigérateur de bouteille | 1 | 200 |
| Congélateur inférieur | 109 | 359 |
| Porte française | 3 | 575 |
| Congélateur complet | 3 | 418 |
| Réfrigérateur complet | 8 | 187 |
| Mini-réfrigérateur | 32 | 114 |
| Side-by-Side | 4 | 610 |
| Congélateur supérieur | 30 | 274 |
| Total | 190 | 306 |

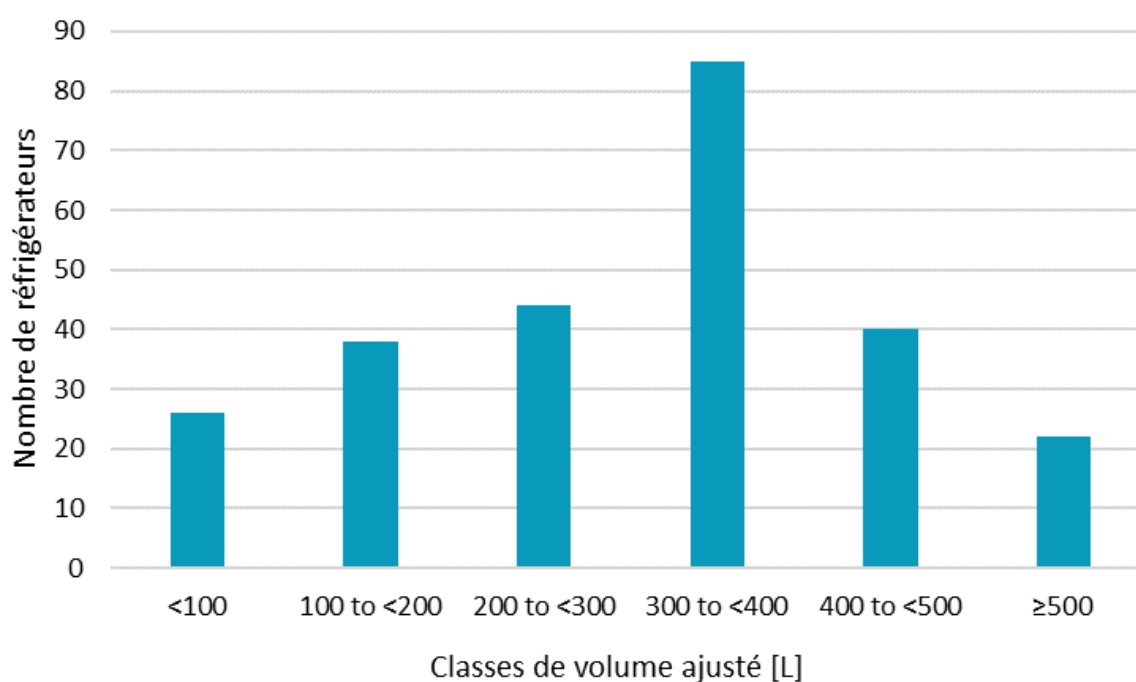


Figure 8: Distribution en volume des réfrigérateurs examinés au Sénégal (Source : Analyse HEAT).

73 % des réfrigérateurs évalués portent une étiquette d'efficacité énergétique, qui repose sur des normes d'essai propres au pays d'origine. La plupart des étiquettes énergétiques sont de l'UE (G à A+++), avec certains du Ghana (1 étoile à 5 étoiles) et d'autres d'Afrique du Sud (D to A+++). Il est donc très difficile pour les consommateurs de prendre des décisions éclairées ou de comparer l'efficacité énergétique, étant donné le large choix d'étiquettes et d'équipements différents. Cela indique l'importance d'une politique efficace, régionale et nationale, sur l'efficacité énergétique des appareils comme les SMPE et l'étiquetage énergétique obligatoires.

La mesure de l'efficacité énergétique utilisée dans cette étude est la valeur R, qui compare la consommation énergétique annuelle déterminée (testée) d'un modèle de réfrigérateur à une consommation énergétique

annuelle maximale théorique. En utilisant la méthode basée sur la réglementation du modèle U4E¹³, détaillée au chapitre 3.1.1, la valeur R est utilisée pour permettre la comparaison entre les modèles en termes de consommation d'énergie.

Une valeur R inférieure à 1,25 est considérée comme une faible efficacité. Ainsi, 80% des modèles de réfrigérateurs sur le marché présentent une faible efficacité énergétique comme le montre la Figure 9.

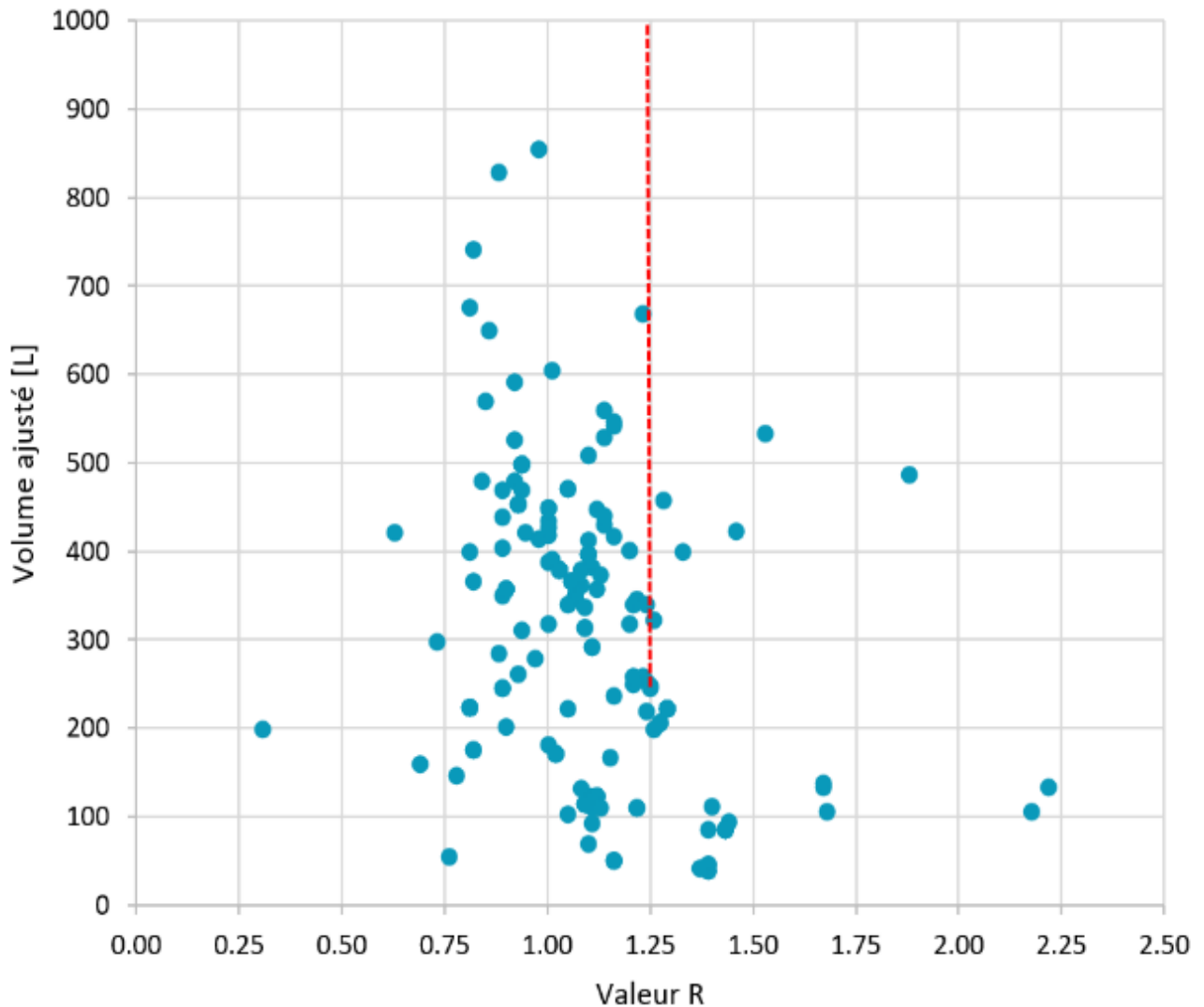


Figure 9: Relation entre le volume ajusté (AV) des réfrigérateurs étudiés et la valeur R (Source : analyse HEAT).

En ce qui concerne les principaux réfrigérants présents sur le marché Sénégalais, 90% des modèles étudiés utilisent le réfrigérant naturel R600a (isobutane), tandis que les 10% restants utilisent l'hydrofluorocarbure R134a, dont le PRG est de 1530 et dont l'utilisation sera progressivement réduite en vertu de l'amendement de Kigali.

Les principales marques d'appareils de réfrigération au Sénégal sont Astech, Beko, Samsung, Westpool, Haier et Hisense, la majorité étant importée de Chine, de la Turquie et de l'UE.

¹³ <https://united4efficiency.org/resources/model-regulation-guidelines-for-energy-efficient-and-climate-friendly-refrigerating-appliances/>

2.5.2 Analyse du cycle de vie

Le coût du cycle de vie (CCV) d'un réfrigérateur comprend le prix d'achat plus les coûts annuels de consommation d'électricité. Comme le prix de l'électricité de réseau au Sénégal se situe dans le segment de prix intermédiaire dans le monde, avec 0,21 USD/kWh¹⁴, les coûts de fonctionnement des appareils sont une partie importante dans le calcul du LCC. Le Tableau 2 ci-dessous montre le coût moyen du CCV pour les types de réfrigérateurs les plus courants au Sénégal.

Tableau 2: Coût moyen du cycle de vie [USD] des types de réfrigérateurs courants (Source : analyse HEAT).

| | < 300 l | 300-500 l | > 500 l |
|-----------------------|---------|-----------|--------------|
| Congélateur supérieur | 602 | 1118 | 1591 |
| Congélateur inférieur | 857 | 1129 | 1540 |
| Mini-réfrigérateur | 650 | 859 | Aucun modèle |

Pour le Sénégal, on observe une nette tendance à la diminution du CCV au fur et à mesure que les appareils deviennent plus efficaces énergétiquement, cette tendance étant plus prononcée pour les petits réfrigérateurs, de moins de 300 litres (Figure 10).

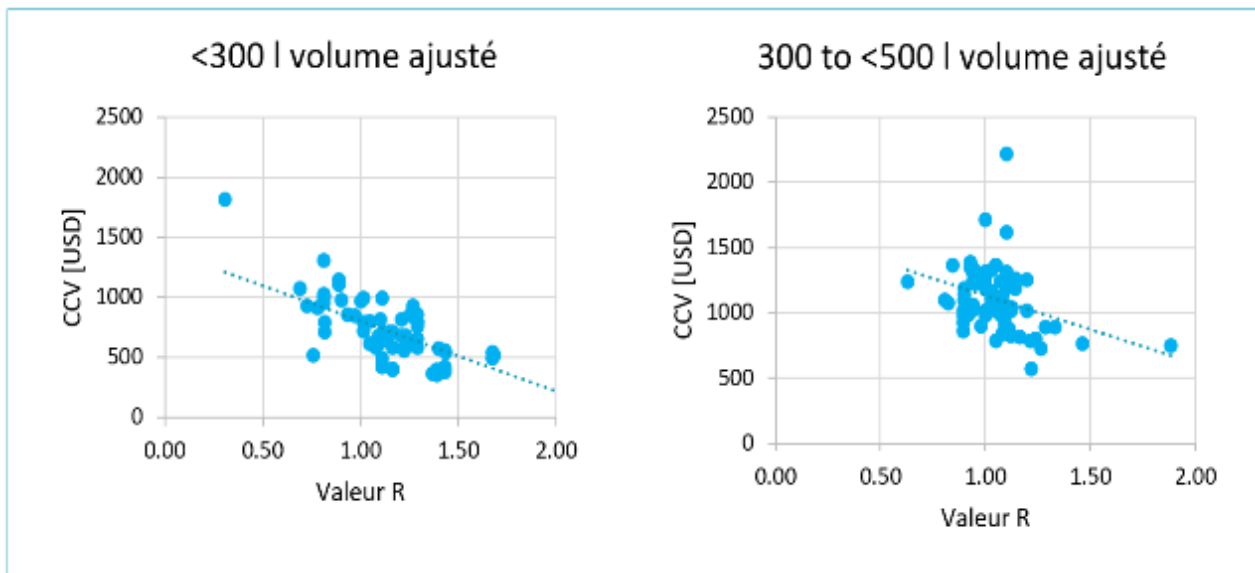


Figure 10: CCV pour les réfrigérateurs au Sénégal pour des volumes ajustés <300 l (gauche) et 300 à <500 l (droite) (Source : analyse HEAT).

Par conséquent, avec la mise en œuvre des normes d'efficacité énergétique, une diminution significative du coût du cycle de vie est à prévoir. En outre, 28 % des modèles présentent des valeurs d'efficacité très faibles ($R < 1$), ce qui a un effet d'orientation sur le marché, en particulier lorsque les modèles les plus performants, dont l'efficacité est supérieure à $R = 1,5$, peuvent être encouragés par exemple par des réductions d'impôts.

¹⁴ <http://www.senelec.sn/wp-content/uploads/2020/09/Tarification-2019.pdf>

2.6 Climatiseurs d’Air (CA) unitaires

2.6.1 Évaluation du marché

Le climat très chaud et humide du Sénégal, avec une température moyenne annuelle de 26 degrés et six mois (saison sèche) de températures moyennes atteignant les 30°C, fait de la climatisation une nécessité plutôt qu'un luxe et la demande est élevée pour un pays à faible revenu.

L'évaluation du marché des climatiseurs domestiques (split) est basée sur l'enquête auprès des magasins au Sénégal, comme illustré ci-dessous dans la Figure 11, où le EER représente le Ratio d’Efficacité Energétique et le CF représente la Capacité Frigorifique des CA exprimée en Kilowatt (KW).

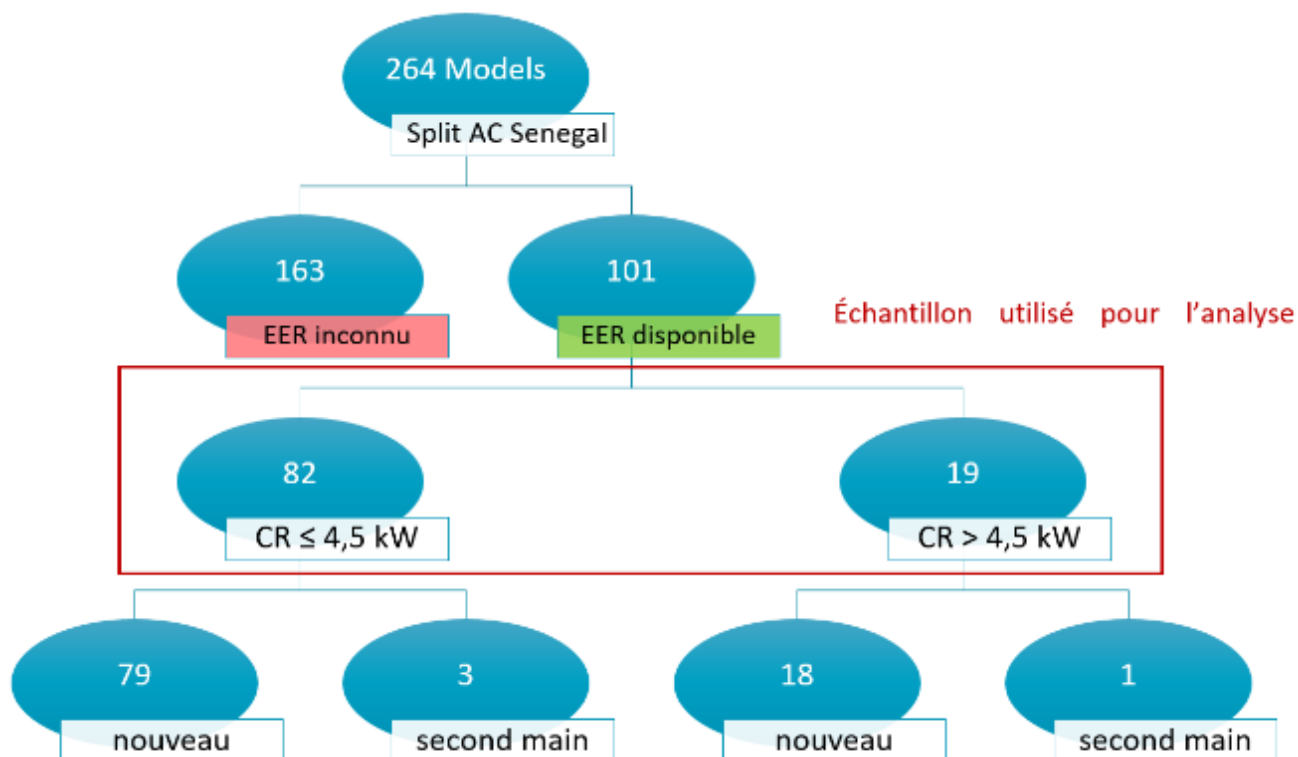


Figure 11: Nombre de climatiseurs split étudiés dans l'évaluation du marché et part des modèles disposant d'informations sur l'EER (ratio d'efficacité énergétique), séparés selon la taille et la condition de la capacité de refroidissement (Source : analyse HEAT).

Le marché résidentiel sénégalais de la climatisation est actuellement dominé par des unités équipées de compresseurs à vitesse fixe de petite et moyenne taille, relativement inefficaces. Environ 37% des modèles sont équipés d'un onduleur (vitesse variable). 80% des unités étudiées ont des capacités de 4,5kW ou moins, tandis que les unités plus grandes constituent 20% des modèles étudiés. (Tableau 3).

Tableau 3: Capacité de refroidissement des unités de climatisation unitaires sur le marché sénégalais (source : analyse HEAT).

| Taille | Proportion du marché | Vitesse fixe | Type d'onduleur |
|----------------------|----------------------|--------------|-----------------|
| ≤4.5 kW total | 80% | 50% | 30% |
| > 4,5 à ≤ 9 kW total | 20% | 14% | 7% |

Les niveaux d'efficacité sur le marché sont relativement faibles, avec un CSPF (Cooling Seasonal Performance Factor, ISO 16358, utilisant des données de température spécifiques au pays comme indiqué dans la réglementation du modèle U4E) de 3,09 pour les unités à vitesse fixe et un CSPF moyen de 3,16 pour les modèles à onduleur. Ces valeurs sont faibles par rapport aux normes SMPE existantes dans de nombreux pays. Pour faciliter la comparaison, le CSPF spécifique au climat est converti en CSPF en utilisant les températures des bacs ISO : 3,68 pour les unités CA à vitesse fixe et 3,65 pour le type onduleur. Figure 12 montre la moyenne au Sénégal pour les CA du type onduleur en comparaison avec les modèles disponibles dans les économies sélectionnées. Cela montre que des modèles à rendement plus élevé sont disponibles. De même, l'absence de réglementation en matière d'efficacité signifie que 64% du marché repose sur des modèles sans onduleur, qui ont généralement un prix d'achat inférieur mais un coût de fonctionnement plus élevé car moins efficaces.

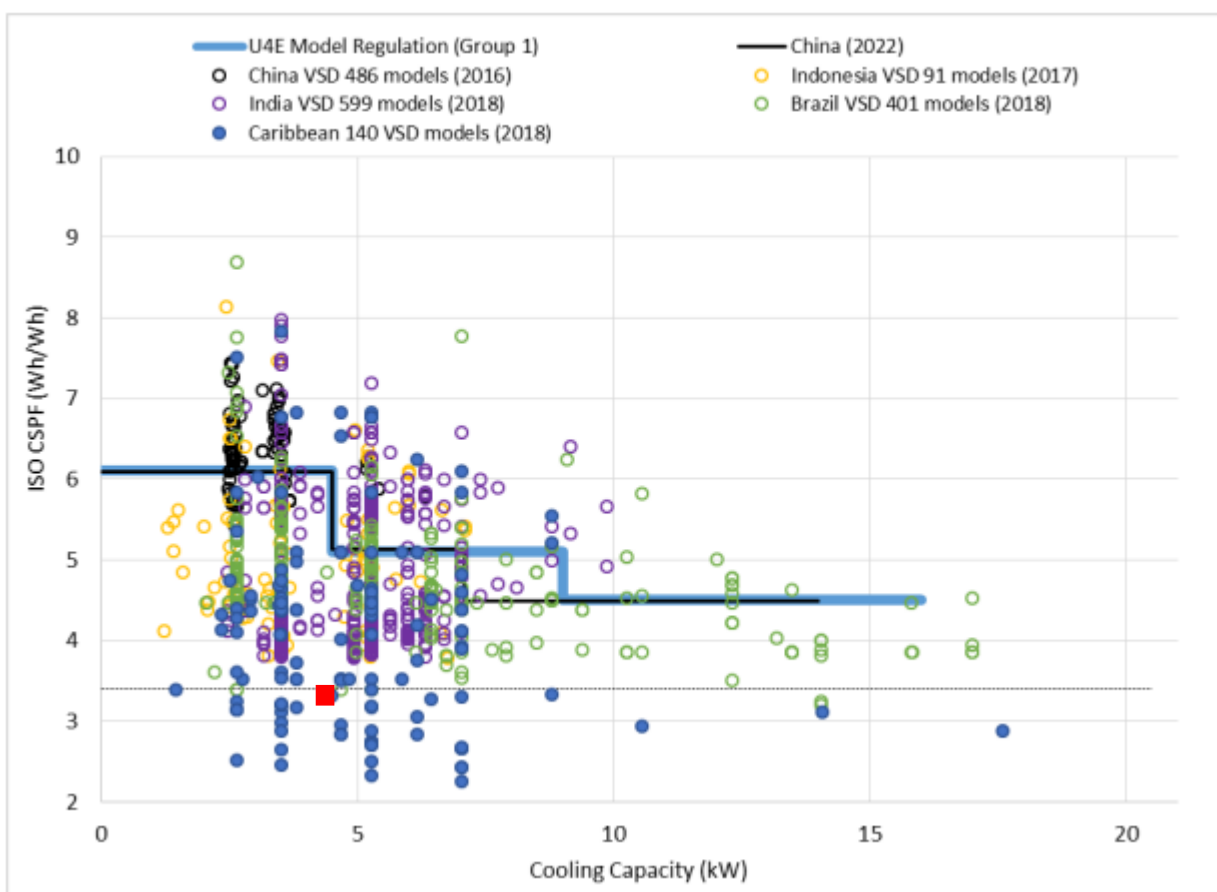


Figure 12: Efficacité en ISO CSPF estimée pour les CA à vitesse variable disponibles dans certaines économies. Source : PNUE. 2019b. ¹⁵, marque rouge ajoutée par l'auteur pour indiquer la moyenne du Sénégal pour les CA unitaires à vitesse variable.

En ce qui concerne le fluide frigorigène utilisé sur le marché sénégalais de la climatisation, environ 36 % des clients utilisent encore le R22, un HCFC dont le potentiel de réchauffement global (PRG) est de 1960. La majorité (61%) du marché utilise le R410A, un mélange HFC dont le PRG est de 2256. Cinq modèles étudiés contiennent du R32, un HFC avec un PRG de 771. Cette part est censée augmenter à l'avenir. Dans le monde

¹⁵ Modèle de réglementation lignes directrices informations complémentaires climatiseurs respectueux du climat et efficaces en énergie. U4E. https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2020/05/U4E_AC_Model-Reg-Supporting-Info_20200227.pdf

entier, les HCFC (R22) sont activement éliminés dans le cadre des actions de mise en œuvre du Protocole de Montréal. De même, les HFC sont en cours d'élimination progressive dans de nombreux pays.

Au niveau national, le Sénégal et par son arrêté ministériel n031160 du 23 septembre 2021, a strictement interdit l'importation des SAO (comme le R12), confirmant ainsi l'interdiction déjà établie par l'arrêté ministériel du 15 janvier 2014 et a aussi confirmé le plan d'élimination des HCFC :

- Réduction de 35% des importations des HCFC en 2020,
- Élimination totale de l'importation des HCFC en 2030.

Concernant les HFC, et par le même décret ministériel du 23 septembre 2021, le Sénégal a établi un plan d'élimination des HFC comme suit :

- Gel en 2024,
- Réduction de 10% en 2029,
- Réduction de 30% en 2035,
- Réduction de 50% en 2040,
- Réduction de 80% en 2045.

Au niveau européen, l'UE, par exemple, a publié un règlement sur les gaz fluorés interdisant les climatiseurs utilisant des réfrigérants dont le PRG est supérieur à 750, et ce règlement est en cours de révision, de nombreuses voix s'élevant pour réduire ce seuil à 150. En fait, cette discussion s'inscrit dans le cadre d'une renégociation générale de la législation européenne sur les gaz fluorés.

La grande majorité des appareils sont importés d'un certain nombre de marques internationales de Chine, de Thaïlande, de la Turquie et autres. Les principales marques dans l'évaluation du marché sont Samsung, Astech et Beko.

2.6.2 Analyse du cycle de vie

Renforcée par les coûts d'exploitation relativement élevés dus au prix de l'électricité de 0,21 USD/kWh, il existe une corrélation claire entre l'efficacité énergétique et le coût du cycle de vie. Avec l'augmentation de l'efficacité énergétique, le coût du cycle de vie suit une tendance à la baisse (*Figure 13*). Ceci est le résultat de la stabilité des coûts d'achat et d'installation ainsi que de la consommation unitaire très élevée.

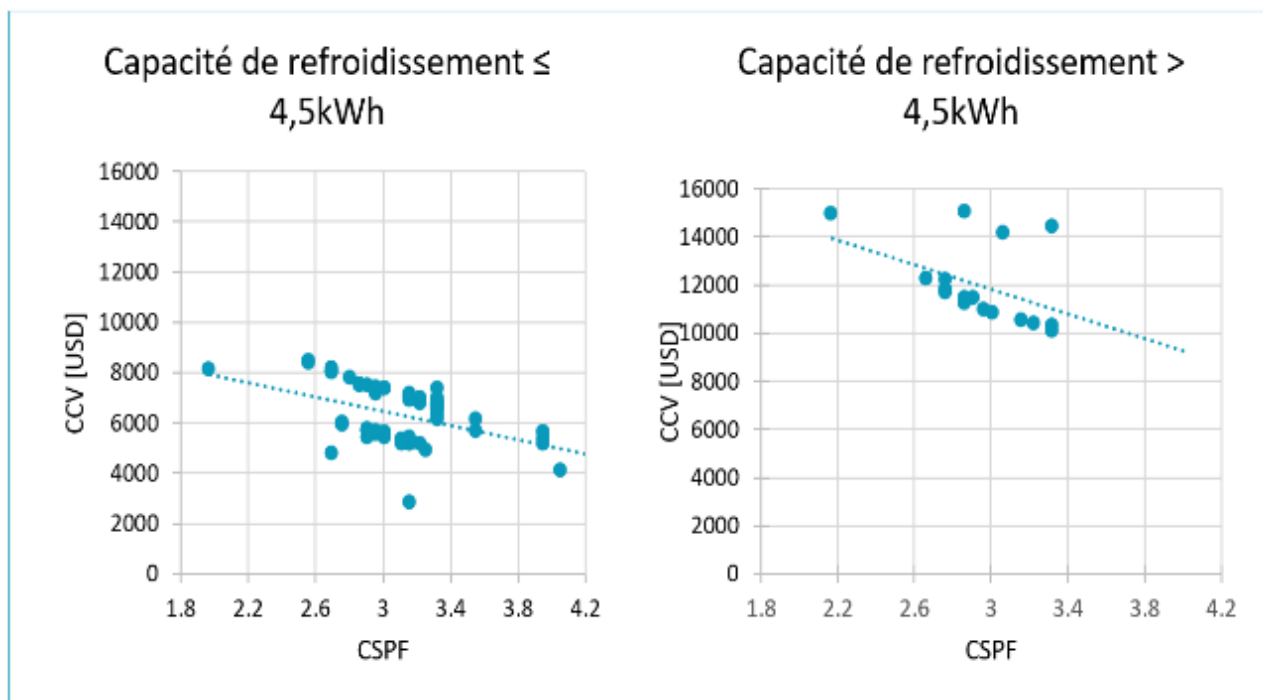


Figure 13: CCV pour les climatiseurs unitaires au Sénégal pour les puissances frigorifiques inférieures à 4,5 kW (à gauche) et entre 4,5 et 9 kW (à droite) (Source : analyse HEAT).

Ce schéma se répète pour les deux tailles de CA considérées, l'augmentation de l'efficacité énergétique se traduisant systématiquement par un CCV plus faible. En même temps, une diminution significative du CCV est à prévoir avec la mise en œuvre des SMPE. La plupart des modèles étudiés entrent dans la catégorie "faible efficacité" en dessous d'un CSPF de 4, ce qui a un effet d'orientation sur le marché, en particulier lorsque les modèles les plus performants avec des CSPF supérieurs à 7 sont encouragés par l'octroi de remises fiscales.

Par exemple, un climatiseur d'une capacité de refroidissement de 3,5 kW et un CSPF de 2,6 coûterait 337 USD dans le magasin et utiliserait 4256 kWh par an, ce qui se traduirait par un coût de 9276 USD sur la durée de vie (CCV) de ce climatiseur. Un climatiseur plus efficace, de la même taille, avec un EER de 3.6 coûterait presque le même prix (329 USD) n'utiliserait que 2530 kWh par an avec un CCV de 5641 USD. Il s'agit d'une économie de plus de 3000 USD sur la durée de vie du climatiseur. Les deux appareils sont tirés de l'enquête en magasin. Un modèle très efficace, avec un CSPF de 6.6, n'utiliserait que 1280 kWh par an. Aucun CCV spécifique au Sénégal ne peut être calculé, car de tels modèles ne sont actuellement pas disponibles sur le marché sénégalais.

2.7 Réfrigération industrielle

2.7.1 Evaluation du marché

La réfrigération industrielle est un sous-secteur inhomogène, comprenant des applications de petite et de grande taille couvrant différentes fonctions telles que la congélation par effet de choc, la production de glace, le stockage du froid et la climatisation. Sur la base des résultats de l'étude de terrain, les applications suivantes sont différenciées :

- Tunnels de refroidissement et de congélation (échantillon provenant des pêcheries, des abattoirs, des boucheries).
- Entrepôt frigorifique - congélation (échantillons provenant de la pêche, des abattoirs, des boucheries)

- Entrepôt frigorifique - refroidissement (échantillon de fruits et légumes, boulangeries, boucheries)
- Production de glace
- Refroidisseur < 100 kW (échantillon : hôtels, conservation des aliments et refroidisseurs d'eau)
- Refroidisseur > 100 kW (échantillon provenant de l'hôtellerie, de la conservation des aliments et des refroidisseurs d'eau)
- Armoires CA pour centres de données

L'inventaire de ces installations est résumé dans le Tableau 4 ci-dessous. Le temps de fonctionnement et la durée vie moyenne sont estimés suivant les informations tirées d'un questionnaire envoyé aux quelques techniciens de maintenance et un retour d'expérience.

Tableau 4: Synthèse de l'inventaire des installations.

| Sous catégories | Nombre d'installation | Puissance moyenne (kW) | Charge moyenne de réfrigérant (Kg) | Temps moyen de fonctionnement (H/année) | Durée moyenne de vie (Ans) |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| Chambres froides négatives et tunnels | 100 | 48 | 66 | 3000 | 10 |
| Chambres froides positives | 60 | 20 | 33 | 2500 | 12 |
| Fabriques de glace | 55 | 91 | 232 | 4500 | 8 |
| Refroidisseur et Clim EG. | 25 | 224 | 190 | 3000 | 15 |
| Armoires de clim et CTA | 32 | 9 | 20 | 1525 | 20 |

Ainsi les chambres froides négatives utilisées dans les poissonneries sont réparties en deux groupes suivant la campagne d'arrivage sur les côtes sénégalaises :

- La campagne d'arrivage sur la grande côte (Dakar Nord- Kayar – Mboro -St Louis) commence au mois de décembre jusqu'au mois de mai, soit six mois de fonctionnement en plein régime. Pendant cette période les installations fonctionnent en général 16 heures par jour pour maintenir la température dans la chambre. Soit $6 \times 30.5 \times 16 = 2928$ h. Le même temps de fonctionnement sera pris pour les installations situées sur la petite cote entre Dakar-Rufisque-Mbour---Ziguinchor.
- Les chambres froides négatives des abattoirs et des boucheries fonctionnent toute l'année en raison de 12 heures sur 24 heures, soit 4380 heures dans l'année. Un ralentissement de l'activité est noté en milieu de la saison sèche, le temps de fonctionnement est de moitié (2190 heures). En tenant compte de la composition de cet échantillon nous pouvons prendre une moyenne de 3000 heures de fonctionnement par année.
- Les chambres froides positives sont utilisées pour la conservation à court terme des denrées alimentaires. Leur fonctionnement dépend de la période de production de ses denrées. Ainsi, elles fonctionnent en moyenne 12 heures sur 24 heures pendant la saison de forte production et ce pendant 8 mois dans l'année, soit 2976 heures ($12 \times 8 \times 31$). Pour prendre en compte les chambres froides positives utilisées dans les autres domaines d'activités nous pouvons estimer un temps de fonctionnement moyen de 2500 heures par année.
- Comme les chambres froides négatives, les fabriques de glace peuvent fonctionner en plein régime suivant leur implantation (petite ou grande cote) en fonction de la campagne de d'arrivage et à mi-temps hors de la campagne. Pour prendre en compte les arrêts pour la maintenance et limiter la surproduction de glace, elles fonctionnent 18 heures par jour sur 6 mois et 12 heures par jour sur 3

mois hors campagne. Soit 4392 heures de fonctionnement par année. Pour prendre en compte la production de glace alimentaire, une moyenne de 4500 heures de fonctionnement annuelle sera pris.

- La climatisation à eau glacée est une technologie de confort. Les installations peuvent fonctionner tous les jours de l'année pour les hôtels, les hôpitaux et les habitats (365 jours) et 5 jours par semaine pour les bureaux (245 jours). Avec des consignes souvent élevées, elles fonctionnent en général 10 heures par jour (3100 heures). Soit une moyenne de 3000 heures de fonctionnement par année en tenant comptes des périodes d'arrêt.
- Les armoires de climatisation et les centrales de traitement fonctionnent en moyennes au heures de travail (8- 18 h) et suivant la qualité de l'air et la température. Elles fonctionnent en général 6 heures par jour sur 245 jours, soit 1525 heures dans l'année.

L'enquête de terrain a aussi montré que le parc RAC industrielle est composé de 20% d'installations neuves et 80% de récupération et d'assemblage de composants frigorifiques. Pour ces derniers il est difficile de connaître la date de fabrication, ainsi nous prenons juste la date de mise en service donnée par l'exploitant.

Comme ces applications se composent de plusieurs éléments qui sont généralement assemblés sur place, les données sur les ventes ne sont pas utiles pour évaluer le marché. Les chiffres de vente sont généralement beaucoup plus faibles que pour les équipements standardisés tels que les climatiseurs split ou les réfrigérateurs. Comme décrit dans le Tableau 5 ci-dessus, les données des équipements installés ont été collectées afin d'estimer les paramètres moyens de chaque application actuellement en service au Sénégal.

Tableau 5: Valeurs moyennes des principaux paramètres pour les applications industrielles.

| Type d'appareil | Capacité de refroidissement [KW] | Ratio d'efficacité énergétique (EER) [W/W] | Charge de réfrigérant [KG] | Taux de fuite annuel [% de la Charge Initiale] | Réfrigérants principaux |
|------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--|-------------------------|
| Petit refroidisseur (Chiller) | 70 | 1.69 | 24 | 19% | R404A |
| Grand refroidisseur (Chiller) | 376 | 1.46 | 357 | 17% | R134a |
| Tunnel de réfrigération | 54 | 1.15 | 90 | 11% | R404A |
| Chambre froide négative | 43 | 1.12 | 53 | 14% | R404A |
| Chambre froide positives | 20 | 1.07 | 33 | 20% | R404A, R507 |
| Fabrique de glace | 91 | 1.44 | 232 | 5% | R404A |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | 34 | 1.99 | 14 | 12% | R407C, R404A |
| Armoire de clim | 26 | 1.99 | 21 | 27% | R404A, R407C |

La durée de vie moyenne est difficile à déterminer, car les systèmes sont souvent réparés et partiellement remplacés. En moyenne, pour toutes applications confondues, on estime une durée de vie de 25 ans, après quoi les systèmes sont supposés être remplacés.

STANDARD MINIMALE DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE (SMPE) AU SÉNÉGAL POUR LES CLIMATISEURS UNITAIRES ET LES RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES

La demande croissante d'électricité a plusieurs implications, principalement :

- Des pénuries d'électricité plus fréquentes, la production ne répondant pas à la demande,
- Nouveaux investissements dans les centrales de production d'énergie électrique,
- Augmentation des émissions de CO₂, contribuant au réchauffement de la planète.

Cette demande pourrait être réduite si l'énergie était utilisée plus efficacement. Les SMPE et l'étiquetage énergétique constituent l'un des outils les plus utiles pour accroître le niveau d'efficacité énergétique des produits sur le marché.

Les SMPE indiquent le niveau minimum d'efficacité énergétique des produits qui peuvent être introduits sur le marché, en éliminant les appareils les plus inefficaces. D'autre part, les étiquettes énergétiques informent le consommateur sur les possibilités d'économies d'énergie et des avantages environnementaux en choisissant des produits plus efficaces, ce qui augmente les ventes des produits les plus efficaces et prépare le marché à l'application de normes plus restrictives à l'avenir. Il est recommandé d'utiliser une approche échelonnée pour le développement et la mise en œuvre des normes d'efficacité énergétique en fixant des années au cours desquelles les normes seront renforcées à intervalles réguliers. De plus, dans les pays où l'électricité est totalement, ou partiellement, subventionnée par le gouvernement, l'amélioration de l'efficacité énergétique des produits de consommation produira également des économies gouvernementales, qui peuvent être retournées à la société avec des programmes de rabais pour aider les consommateurs à acheter des appareils plus efficaces.

Afin d'atteindre l'objectif de conduire le pays vers un marché plus efficace sur le plan énergétique, les normes et les étiquettes doivent être conçues et appliquées correctement. En outre, ils doivent être révisés et remis à jour fréquemment pour tenir compte des améliorations technologiques au fil du temps.

Le Sénégal est un État membre de la CEDEAO¹⁶ qui, en collaboration avec le centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (ECREEE), a facilité l'élaboration d'une norme d'efficacité énergétique régionale pour les réfrigérateurs et les climatiseurs, qui a été adoptée par les États membres de la CEDEAO. Cependant, chaque pays est censé adapter les normes régionales pour en faire une réglementation nationale.

3.1 Réfrigérateurs domestiques

Généralement, l'efficacité énergétique des réfrigérateurs est calculée en comparant la consommation d'énergie mesurée en laboratoire sous certaines conditions, avec la consommation d'énergie standard théorique basée sur les caractéristiques du réfrigérateur mesuré (volume, températures cibles, type de dégivrage, etc.). Par conséquent, le Sénégal doit définir précisément quelle norme d'essai doit être utilisée pour le pays, et comment calculer la consommation énergétique standard.

¹⁶ Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest

Il est recommandé d'utiliser la dernière norme d'essai internationale IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020 et le règlement type U4E (United for Efficiency)¹⁷ pour le calcul de la consommation d'énergie standard.

3.1.1 Paramètres U4E pour les réfrigérateurs domestiques

L'équation 1 montre le calcul de l'indice d'efficacité énergétique représenté par R, qui est défini comme la consommation d'énergie standard (AEC_{Max}) divisée par la consommation d'énergie en laboratoire (AEC) à la température ambiante de référence correspondante. Un R=2 signifie que la consommation d'énergie du réfrigérateur testé est la moitié de la consommation d'énergie standard.

$$R = (AEC_{Max})/AEC \quad \text{Équation 1}$$

Le modèle de réglementation est basé sur les meilleures pratiques internationales et a été élaboré par des dizaines d'experts avec le soutien de l'industrie. En outre, les réglementations d'autres pays, comme le Rwanda, sont également être basées sur les paramètres U4E.

Le champ d'application du règlement type U4E comprend tous les appareils frigorifiques du type à compression de vapeur, avec un volume interne net nominal égal ou supérieur à 10 litres (l) et égal ou inférieur à 1 500 l, alimentés par le réseau électrique et proposés à la vente ou installés dans toute application.

La majorité des modèles ayant une étiquette énergétique dans l'évaluation du marché sénégalais sont testés pour le groupe climatique T (Tropical) et ST (Subtropical)¹⁸. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser une température ambiante de référence de 32°C, même si elle est un peu plus élevée que la température intérieure moyenne, cette différence compensera la consommation d'énergie de traitement des charges, qui n'est pas prise en compte lors des tests en laboratoire. D'autres pays, comme les États-Unis, la Colombie ou le Mexique, utilisent également 32°C comme température ambiante de référence.

Le Tableau 6 montre les équations de l'U4E pour calculer l' AEC_{Max} à la température ambiante de référence de 32°C. Trois équations différentes sont utilisées en fonction du type de réfrigérateur : Réfrigérateur, Réfrigérateur-congélateur, et Congélateurs. Des informations plus détaillées sur la classification des réfrigérateurs dans le règlement type U4E peuvent être trouvées dans le matériel d'appui¹⁹ du règlement.

AV désigne le volume ajusté, qui dépend de la température des différents compartiments (T_c) qui composent le réfrigérateur. L'AV peut être calculé par l'équation 2 comme suit :

$$\text{Adjusted Volume (AV)} = \sum_{i=1}^n [(V_i \times F_i \times \frac{32 - T_{Ci}}{32 - 4})] \quad \text{Équation 2}$$

¹⁷ U4E Model Regulation Guidelines for Energy-Efficient and Climate-Friendly Refrigerating Appliances. Télécharger sur [Model Regulation Guidelines for Energy-Efficient and Climate-Friendly Refrigerating Appliances - United for Efficiency \(united4efficiency.org\)](https://www.united4efficiency.org/)

¹⁸ http://data.europa.eu/eli/reg_del/2010/1060/oj

¹⁹ Le matériel d'appui se trouve dans le document [Model Regulation Guidelines for Energy-Efficient and Climate-Friendly Refrigerating Appliances - United for Efficiency \(united4efficiency.org\)](https://www.united4efficiency.org/).

Où V_i est le volume en litres du compartiment i_{th} , F_i est le facteur de compensation pour le dégivrage automatique dans les compartiments congelés (qui est égal à 1,1, ou 1,0 pour les autres cas). Et T_{Ci} est la température de consigne du compartiment i_{th} , qui doit être définie conformément à la norme d'essai IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020.

Tableau 6: Équations de l'AEC_{Max} U4E pour les trois catégories de réfrigérateurs à une température ambiante de 32 °C (Source : Règlement type U4E pour les réfrigérateurs).

| Température de référence | Catégorie de produits | AEC _{Max} (kWh/an) |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 32°C | Réfrigérateurs | 0,220×AV+137 |
| | Réfrigérateurs-congérateurs | 0,288×AV+210 |
| | Congérateurs | 0,268×AV+247 |

Le Tableau 7 indique les températures cibles en fonction du type de compartiment.

Tableau 7: : Types de compartiment et températures cibles selon la norme IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020.

| Type de compartiment | Température cible (°C) |
|-------------------------------|------------------------|
| Garde-manger | +17°C |
| Rangement du vin | +12°C |
| Cave | +12°C |
| Produits frais | +4°C |
| Refroidissement | +2°C |
| 0-star & fabrication de glace | 0°C |
| 1 étoile | -6°C |
| 2 étoiles | -12°C |
| 3 étoiles | -18°C |
| Congélateur (4 étoiles) | -18°C |

La Figure 14 montre l'AEC_{max}, comme définie par U4E, à la température ambiante de référence de 32°C en fonction du volume ajusté pour les trois différents types de réfrigérateurs (réfrigérateur, congélateur uniquement, et combinaison de réfrigérateur et congélateur). Par conséquent, la valeur R pour les appareils (théoriques) présentés serait de 1. Il convient de noter que les équations U4E peuvent également être utilisées si la définition des niveaux de SMPE diffère de la réglementation du modèle U4E. Dans ce cas, les SMPE pourraient être définies à une valeur R différente.

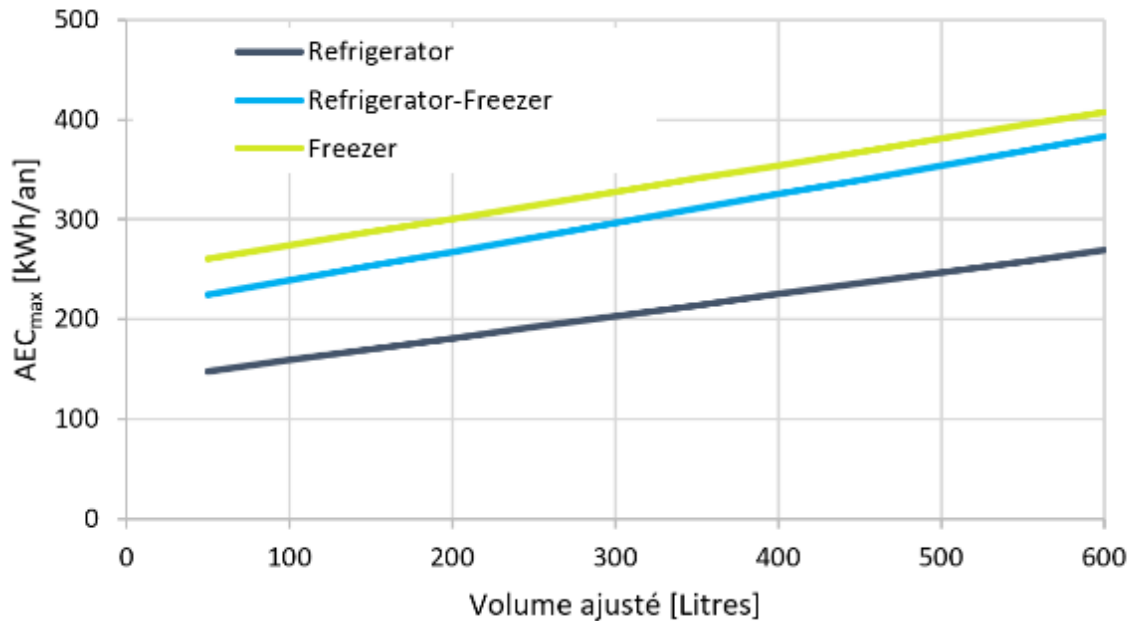


Figure 14: Consommation énergétique annuelle maximale (AEC_{max}) définie dans le règlement type U4E pour les trois différents types de réfrigérateurs.

3.1.2 Norme d'essai pour la consommation annuelle d'énergie (AEC)

Il est recommandé d'utiliser la dernière norme d'essai internationale IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020, qui est divisée en trois parties : 1) Exigences générales, 2) Exigences de performance, et 3) Consommation et volume d'énergie.

La nouvelle norme de test laisse certains paramètres ouverts qui doivent être spécifiés localement par chaque pays ou région. Par conséquent, même si la norme internationale est adoptée directement (sans adaptation locale), le pays doit spécifier ces paramètres pour éviter toute ambiguïté sur l'application de la norme. Ces paramètres sont discutés dans les sous-sections suivantes. Les spécifications locales peuvent être incluses dans la réglementation des normes et de l'étiquetage, ou dans le protocole de test spécifique du pays. Un résumé est présenté ici :

- Définir la température ambiante de référence : Puisque celle-ci est de 32°C, seul l'essai à 32°C sera requis
- Pour le calcul de l'AEC au Sénégal, il est recommandé d'exclure l'énergie de traitement des charges (load processing energy).
- Pour la consommation d'énergie auxiliaire des résistances anti-condensation à régulation ambiante, le Sénégal doit élaborer un tableau de probabilité des températures intérieures et de l'humidité relative. S'il est difficile à élaborer pour le Sénégal, il est recommandé de le copier d'autres économies, par exemple de l'Australie, comme l'a fait la Chine.

La norme EN 62552-1-2-3:2020 est utilisée en Europe comme un équivalent de la norme CEI. La norme EN est basée sur la norme CEI 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020 avec de petites adaptations locales. La nouvelle EN est entrée en vigueur en avril 2021 avec la nouvelle réglementation sur l'efficacité énergétique.

3.1.3 Niveaux des SMPE et étiquettes énergétiques

Le modèle de règlement U4E fournit des recommandations claires pour les SMPE et une catégorisation indicative des réfrigérateurs en fonction de la valeur R (Tableau 8). Cette catégorisation n'est pas une recommandation pour les gammes d'étiquettes, mais pour fournir des indications sur les niveaux d'efficacité des modèles de réfrigérateurs. Ces recommandations constituent la base des SMPE et des étiquettes proposées pour le Sénégal, en tenant compte de l'étude de marché réalisée dans le cadre de ce projet.

Tableau 8: Classification des appareils frigorifiques (Source : règlement type U4E pour les réfrigérateurs).

| Grade | Réfrigérateurs | Réfrigérateurs- Congélateurs | Congélateurs |
|-------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| Haute efficacité | $R \geq 1,50$ | $R \geq 1,50$ | $R \geq 1,50$ |
| Intermédiaire | $1,25 \leq R < 1,50$ | $1,25 \leq R < 1,50$ | $1,25 \leq R < 1,50$ |
| Faible efficacité | $1,00 \leq R < 1,25$ | $1,00 \leq R < 1,25$ | $1,00 \leq R < 1,25$ |

Le graphique de fréquence (Figure 15) montre que 28% du marché est en dessous de $R=1$, qui est la norme recommandée par U4E. Sur la base du graphique de fréquence, nous proposons de fixer le SMPE pour éliminer, dans un premier temps, les appareils les moins efficaces en 2024/25, ce qui correspond à un $R=0,85$. La part de marché de ces modèles à très faible efficacité est d'environ 10% est comparativement faible. Par conséquent, l'augmentation de l'efficacité énergétique sur le marché sera encore renforcée dans les années suivantes en ajustant les SMPE. Nous proposons également de laisser environ deux ans entre l'annonce du règlement et sa mise en œuvre pour permettre au marché de se préparer en conséquence. Un resserrement des SMPE est proposé pour 2027, lorsque le niveau de $R=1$ recommandé par U4E devrait être introduit. Sur la base de l'analyse actuelle du marché, 18% d'équipements supplémentaires seraient donc visés par le resserrement des SMPE en 2027.

Avec la mise en œuvre des SMPE et du système d'étiquetage, une base de données des produits devrait être introduite. La base de données des produits devrait contenir les paramètres techniques de tous les réfrigérateurs mis sur le marché sénégalais et les chiffres de vente correspondants. Une telle base de données permet aux autorités de suivre les progrès de la mise en œuvre de la politique énergétique et fournit une base solide pour le renforcement futur des normes d'émission.

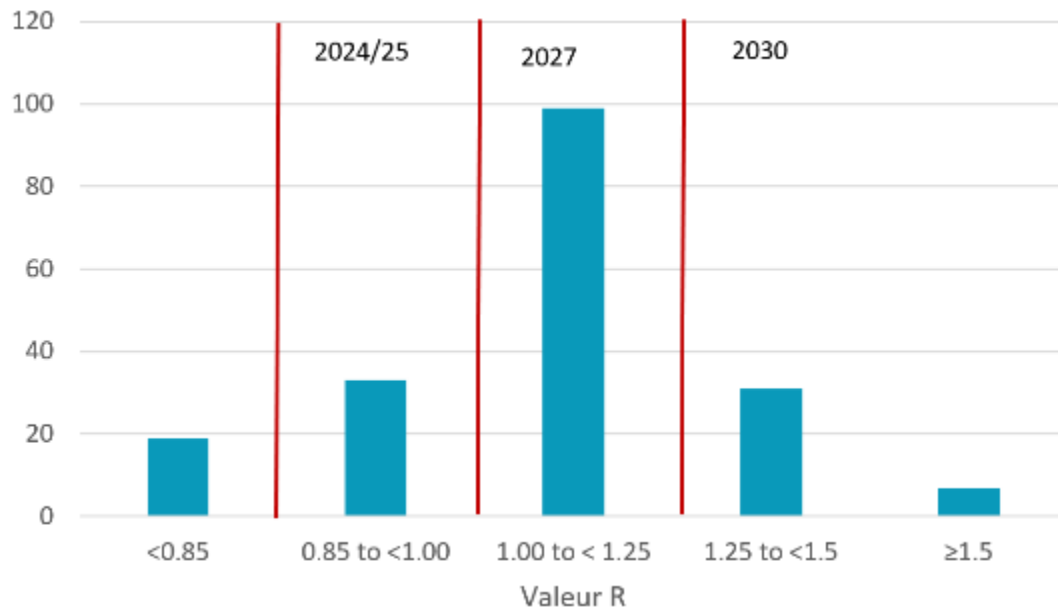


Figure 15: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs étudiés (basée sur une température ambiante de 32°C), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.

Le système d'étiquetage proposé contient cinq catégories et est présenté dans le Tableau 9. A chaque renforcement du SMPE, une catégorie est supprimée dans le bas. On s'attend à ce que les deux catégories supérieures représentent environ 20% au moment de la mise en œuvre et elles sont destinées à stimuler le marché pour qu'il fournisse davantage de modèles appartenant à ces catégories d'efficacité supérieure.

Tableau 9: Schéma d'étiquetage proposé pour les réfrigérateurs et les congélateurs.

| Catégorie | Valeur R | Date, lorsque le SMPE proposé a supprimé cette catégorie |
|-----------|---------------|--|
| 5 | ≥ 1,5 | |
| 4 | 1,25 à < 1,5 | 2030 |
| 3 | 1,00 à < 1,25 | 2027 |
| 2 (SMPE) | 0,85 à < 1,00 | 2024/25 |
| 1 | < 0.85 | |

Le calendrier proposé pour la mise en œuvre est conçu pour permettre des périodes de transition adéquates pour que le marché s'adapte aux SMPE et aux étiquettes, mais il est également suffisamment ambitieux pour s'aligner sur les niveaux SMPE recommandés dans les 5 prochaines années (Figure 10).

Tableau 10: Calendrier proposé pour la mise en œuvre des SMPE et des étiquettes énergétique pour les réfrigérateurs et les congélateurs.

| Année | Action |
|-------|---|
| 2022 | Discussion et conception de la réglementation des SMPE et des étiquettes |
| 2023 | Finalisation du règlement Sensibilisation au prochain système d'étiquetage et au SMPE Définition des responsabilités pour la base de données des produits |
| 2024 | Période de transition du marché. Étiquetage obligatoire à partir de juillet 2024 Exécution pilote de la base de données du projet. |
| 2025 | Le premier niveau SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec $R < 0,85$ La base de données des produits devient pleinement opérationnelle |
| 2027 | Le deuxième niveau SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec $R < 1,00$ |
| 2030 | Le troisième niveau SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec $R < 1,25$. |

La Figure 16 compare les SMPE proposées pour le Sénégal avec d'autres pays. Les normes sénégalaises pour 2025 sont moins strictes que les normes européennes (également celles de 2014), tandis qu'elles sont un peu plus strictes que les normes colombiennes et chiliennes en fonction du volume. Les normes chiliennes datent de 2015 et sont en cours d'actualisation pour devenir plus strictes. Pour 2027, il est proposé d'appliquer le SMPE selon la recommandation U4E, en accord avec l'Union Européenne pour 2024. Ainsi, en 2027, les SMPE du Sénégal seraient alignés sur les meilleures pratiques internationales, mais avec plus de temps pour s'adapter.

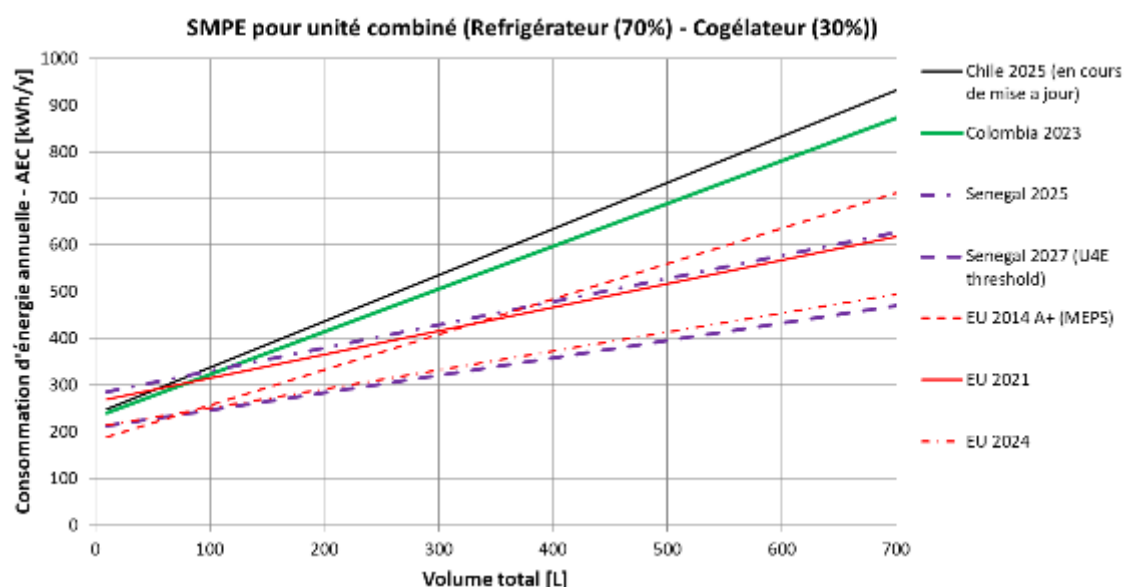


Figure 16: Comparaison internationale des normes SMPE : Consommation énergétique annuelle maximale en fonction du volume pour les appareils combinés (Réfrigérateur-Congélateur).

3.1.4 Exigences relatives aux réfrigérants et aux agents d'expansion de mousse.

Les réfrigérants naturels sont largement utilisés dans les réfrigérateurs domestiques de nos jours. Par conséquent, les valeurs suivantes (Tableau 11) en matière de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO) et de potentiel de réchauffement planétaire (PRG) sur 100 ans peuvent être appliquées au réfrigérant et à l'agent d'expansion de la mousse isolante dans la réfrigération domestique.

Tableau 11: Exigences en matière de PRG et de PACO des réfrigérants.

| Classe de produit | PRG | PACO |
|-------------------|------------------|------|
| Tous les types | En dessous de 10 | 0 |

Ces limites peuvent être appliquées dans la législation spécifique aux réfrigérants, ou directement dans les normes SMPE et les normes d'étiquetage qui entreront en vigueur lors de la prochaine révision. Néanmoins, s'il y a des fabricants locaux qui ne se conforment toujours pas à ces exigences, il faut leur donner suffisamment de temps pour la conversion des lignes de production. Le fait de les soutenir dans cette transition accélérera le processus.

3.2 Climatiseurs

Nous recommandons d'utiliser une mesure saisonnière pour tenir compte de la consommation d'énergie sur une saison de refroidissement. L'approche saisonnière est bien adaptée pour tenir compte des avantages des compresseurs de type onduleur (à vitesse variable) dans des conditions de charge partielle. La norme d'essai ISO 16358-1:2013/Amd 1:2019, fournit une méthode pour tester et ensuite calculer le facteur de performance de la saison de refroidissement (CSPF) pour différents groupes climatiques. Ce système est encore étendu par les règlements du modèle U4E pour fournir des conseils sur les groupes climatiques applicables pour tous les pays.

3.2.1 Portée

Le règlement type U4E inclut dans son champ d'application tous les climatiseurs électriques monophasés non gainés, mono-unitaires, autonomes et refroidis par air (également les unités réversibles), et les climatiseurs portables, qui représentent la plupart des climatiseurs de moins de 16 kW. Néanmoins, même si les climatiseurs à conduits et multi-unitaires sont minoritaires dans les applications résidentielles et commerciales légères, nous recommandons de les inclure dans le règlement afin d'éviter les lacunes, et d'éviter de développer un règlement spécifique aux produits à l'avenir.

L'étude de marché a montré que 80 % des CA au Sénégal sont inférieurs à 4,5 kW et que la capacité des appareils ne dépasse pas 9,5 kW. Par conséquent, les deux catégories de la réglementation modèle U4E avec des limites de $\leq 4,5$ kW et $\leq 9,5$ kW sont utilisées pour définir les SMPE. Les catégories de capacité de refroidissement choisies permettront de réglementer la plupart des climatiseurs résidentiels et commerciaux légers du pays.

3.2.2 Normes et conditions d'essai

Nous recommandons d'utiliser la norme d'essai internationale²⁰ ISO 16358-1:2013/Amd 1:2019 pour calculer le coefficient de performance saisonnier de refroidissement (CSPF). Cette norme inclut la méthodologie et les conditions d'essai pour calculer le CSPF, et fait référence à d'autres normes qui incluent les procédures d'essai pour tester l'unité en laboratoire, ce qui pourrait dépendre du type de climatiseur.

En ce sens, les principales normes d'essai à prendre en compte sont les suivantes :

- ISO 16358:2013 (y compris l'ISO 16358-1:2013/AMD1:2019 pour les climats chauds) : *Climatiseurs à condensation par air et pompes à chaleur air/air - Méthodes d'essai et de calcul des facteurs de performance saisonnière - Partie 1 à 3.*
- ISO 5151:2017 *Climatiseurs et pompes à chaleur sans conduit - Essai et évaluation des performances.*
- ISO 13253:2017 *Climatiseurs à conduits et pompes à chaleur air/air - Essai et évaluation des performances.*
- ISO 15042:2017/AMD 1:2020 *Climatiseurs multi-systèmes split et pompes à chaleur air/air - Essai et évaluation des performances.*
- ISO 18326:2018, *Climatiseurs et pompes à chaleur air/air portables sans conduit d'évacuation ayant un seul conduit d'évacuation - Essai et évaluation des performances.*

La norme ISO 16358-1:2013 inclut une distribution de fréquence de température, c'est-à-dire le nombre d'heures pendant lesquelles un climatiseur fonctionnera à une certaine température, pour calculer le CSPF. Néanmoins, la plupart des pays utilisent leur propre distribution de température, qui peut néanmoins être utilisée avec la norme ISO 16358-1:2013 pour calculer le CSPF. En raison des températures ambiantes élevées atteintes au Sénégal, il est recommandé d'utiliser la zone climatique de température ambiante élevée 1B suggérée dans le règlement type U4E (voir Tableau 12). Une autre option serait de définir une distribution spécifique des heures de la tranche de température basée sur différentes régions climatiques et en considérant la population de ces régions.

Le Sénégal s'étend sur deux groupes climatiques primaires : le groupe 1 et le groupe 2 sec, couvrant quatre sous-groupes climatiques secondaires : 0A (extrêmement chaud-humide), 0B (extrêmement chaud-sec), 1A (très chaud-humide) et 1B (très chaud-sec). La plupart de la population sénégalaise résident dans le groupe 1B. Ainsi nous recommandons ce groupe climatique unique pour le SMPE et l'étiquetage énergétique, comme indiqué dans le règlement type U4E.

Il y a 2 points de test requis pour un climatiseur à vitesse variable (type onduleur) utilisant la zone climatique 0A, un à pleine capacité à une température ambiante de 35°C et un autre à demi capacité à 35°C.

²⁰ Cette norme comprend trois parties, une pour calculer l'efficacité pour le refroidissement (CSPF), une autre pour le chauffage (HSPF), et une troisième pour le refroidissement et le chauffage ensemble (APF).

Tableau 12: Distribution des heures de température pour le climat 1B (Groupe 2) pour les CA en mode refroidissement.

| Température extérieure °C | 1B (Groupe 1) Extrêmement chaud-humide Heures à cette température |
|------------------------------|---|
| 21 | 22 |
| 22 | 47 |
| 23 | 83 |
| 24 | 113 |
| 25 | 151 |
| 26 | 182 |
| 27 | 228 |
| 28 | 253 |
| 29 | 277 |
| 30 | 289 |
| 31 | 289 |
| 32 | 287 |
| 33 | 288 |
| 34 | 257 |
| 35 | 234 |
| 36 | 189 |
| 37 | 164 |
| 38 | 134 |
| 39 | 116 |
| 40 | 97 |
| 41 | 78 |
| 42 | 59 |
| 43 | 40 |
| 44 | 22 |
| 45 | 16 |
| Total | 3915 |

3.2.3 Niveaux des SMPE et étiquettes énergétiques pour les climatiseurs au Sénégal

Pratiquement aucun des modèles de climatiseurs unitaires étudiés au cours de l'étude de marché ne portait d'étiquette indiquant la cote d'efficacité énergétique saisonnière. La cote d'efficacité énergétique dans des conditions normales est plus courante. Les conditions standard ne sont pas explicitement indiquées et sont supposées être T1 (35°C à l'extérieur, température sèche), car ce sont les conditions les plus courantes.

Le modèle de règlement U4E donne une recommandation pour les SMPE dans la zone climatique 1B, qui dépend également de la capacité du système. Comme les normes recommandées par l'U4E sont très élevées pour le marché sénégalais, nous suggérons de prendre ces normes comme guide pour la réglementation au Sénégal et de prévoir des périodes adéquates pour la transition du marché. Des étapes intermédiaires suggérées et un calendrier seront proposés dans la section suivante, sur la base de l'étude de marché. Pour notre analyse, nous avons approximé les valeurs d'efficacité énergétique des modèles qui sont sur le marché au Sénégal pour l'efficacité saisonnière correspondant au groupe climatique 1B.

Comme le marché sénégalais est principalement constitué de modèles inférieurs à 9,5 kW, nous proposons d'avoir deux catégories pour les SMPE et les étiquettes. La première catégorie va jusqu'à $\leq 4,5$ kW et la seconde de $>4,5$ à $\leq 9,5$ kW. Lorsque le marché se différencie davantage et que les niveaux de SMPE deviennent plus ambitieux, d'autres catégories pourraient être introduites. Cependant, plusieurs pays où les températures sont élevées (par exemple, l'Arabie saoudite et le Qatar) n'ont qu'une seule catégorie de capacité pour les climatiseurs unitaires.

Les Figure 17 et Figure 18 montrent les SMPE suggérés pour les deux catégories, en commençant par éliminer tous les modèles dont le CSPF est inférieur à 3,2 ou 3,2 pour les équipements de faible et moyenne capacité en 2024/25. Par une approche échelonnée, les niveaux de SMPE minimum recommandés de 3,9 ou 3,6 seront atteints en 2026. En 2028, l'objectif des SMPE est de 4,7 et 4,1 respectivement. Comme niveau 4, un SMPE de 5,4 ou 4,9 en 2030 est proposé. Ce niveau 4 est similaire aux SMPE recommandés par le règlement type U4E pour l'efficacité intermédiaire. La transition du marché devrait être suivie à l'aide d'une base de données de produits contenant tous les modèles approuvés pour être mis sur le marché au Sénégal avec les paramètres techniques et les numéros d'importation. Sur la base de ces données collectées, les futurs niveaux de SMPE devraient être évalués avant leur mise en œuvre.

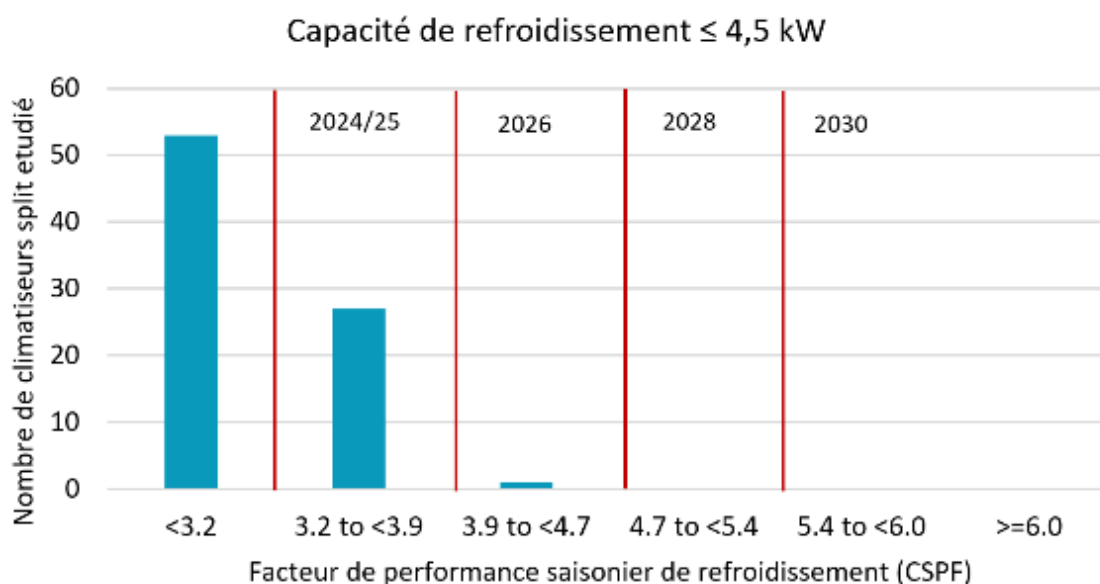


Figure 17: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement $\leq 4,5$ kW (sur la base du CSPF estimé pour le groupe climatique OA), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.

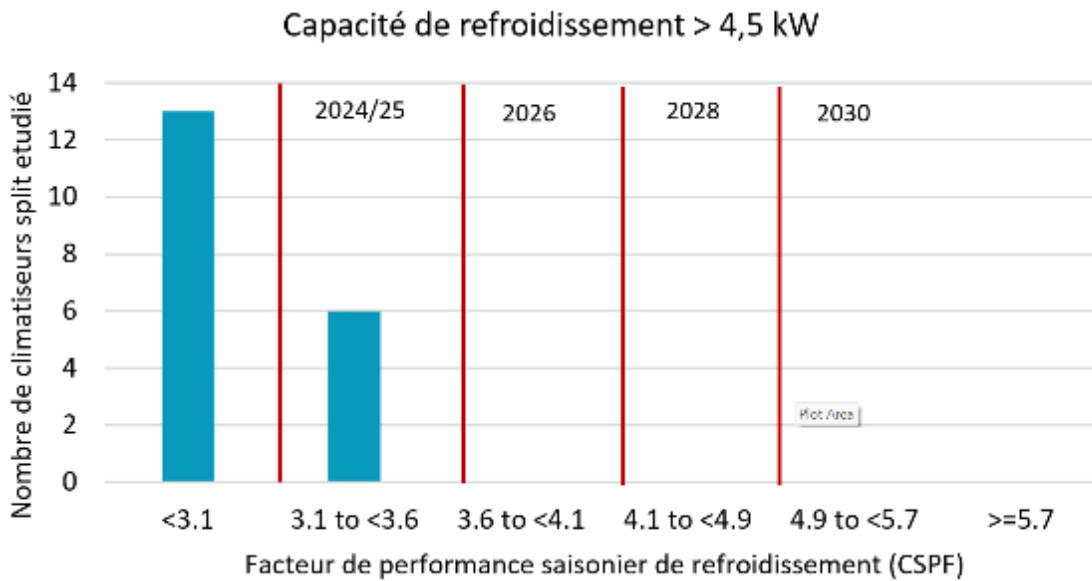


Figure 18: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement > 4.5 kW à 9.5 kW (basée sur le CSPF estimé pour le groupe climatique 0A), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.

Le plan d'étiquetage proposé contient six catégories comme illustré dans le Tableau 13. A chaque renforcement du SMPE, une catégorie est éliminée par le bas. Les deux catégories supérieures (Figure 17 et Figure 18) sont presque vides dans la structure actuelle du marché et sont destinées à stimuler le marché pour qu'il fournisse davantage de modèles qui entrent dans ces catégories hautement efficaces.

Tableau 13: Schéma d'étiquetage proposé pour les climatiseurs unitaires (capacités jusqu'à 9,5 kW).

| Catégorie | Limites CSPF pour CC ≤ 4.5 kW (calculées pour le groupe climatique 0A) | Limites CSPF pour CC >4,5 à 9,5 kW (calculées pour le groupe climatique 0A) | Date, lorsque le SMPE proposé a supprimé cette catégorie |
|-----------|--|---|--|
| 6 | ≥ 6,0 | ≥ 5,7 | |
| 5 | 5,4 à < 6,0 | 4,9 à < 5,7 | 2030 |
| 4 | 4,7 à < 5,4 | 4,1 à < 4,9 | 2028 |
| 3 | 3,9 à < 4,7 | 3,6 à < 4,1 | 2026 |
| 2 (SMPE) | 3,2 à < 3,9 | 3,1 à < 3,6 | 2024/25 |
| 1 | < 3,2 | < 3,1 | |

Dans un premier temps, les SMPE établis par la directive n° 4 de l'UEMOA peuvent être appliqués de façon obligatoire. Toutefois, ce niveau de SMPE est nettement inférieur au niveau proposé par le règlement type U4E. En outre, les SMPE de l'UEMOA est exprimé en EER, tandis que U4E utilise la métrique saisonnière CSPF comme décrit ci-dessus. Cet exercice est principalement un exercice de sensibilisation, car le niveau des SMPE est très faible et a peu d'influence sur les améliorations de l'efficacité énergétique.

Toutes les classes d'efficacité énergétique telles que définies dans la directive de l'UEMOA, exprimées en EER, sont inférieures à la catégorie d'efficacité la plus faible proposée par le règlement modèle U4E

(exprimée en CSPF), comme le montre Tableau 14. Par conséquent, il est proposé de passer directement au CSPF et de se préparer à un SMPE ambitieux à mettre en œuvre d'ici 2024/25.

Tableau 14: Comparaison entre les SMPE recommandés de U4E et les SMPE de l'UEMOA (capacités jusqu'à 9,5 kW).

| Catégorie | CC ≤ 4.5 kW | | CC >4,5 à 9,5 kW | |
|-----------|---|---|---|---|
| | Limites CSPF (calculées pour le groupe climatique OA) | Limites du EER de l'UEMOA (CSPF estimé, pour la vitesse fixe) | Limites CSPF (calculées pour le groupe climatique OA) | Limites du EER de l'UEMOA (CSPF estimé, pour la vitesse fixe) |
| 6 | ≥ 6,0 | | ≥ 5,7 | |
| 5 | 5,4 à < 6,0 | | 4,9 à < 5,7 | |
| 4 | 4,7 à < 5,4 | | 4,1 à < 4,9 | |
| 3 | 3,9 à < 4,7 | | 3,6 à < 4,1 | |
| | | 3,6 (3,2) | | 3,5 (3,1) |
| 2 (SMPE) | 3,2 à < 3,9 | 3,4 (3,0) | 3,1 à < 3,6 | 3,3 (2,9) |
| 1 | < 3,2 | 3,2 (2,8) | < 3,1 | 3,1 (2,8) |

Le calendrier proposé pour la mise en œuvre est conçu pour permettre des périodes de transition adéquates pour que le marché s'adapte aux SMPE et aux étiquettes, mais il est également suffisamment ambitieux pour s'aligner sur les niveaux de SMPE recommandés dans les 8 prochaines années (Tableau 15).

Tableau 15: Calendrier proposé pour la mise en œuvre du SMPE et des étiquettes pour les CA.

| Année | Action |
|-------|---|
| 2022 | Discussion et conception de la réglementation des SMPE et des étiquettes Appliquer les SMPE de l'UEMOA |
| 2023 | Finalisation du règlement Sensibilisation au prochain système d'étiquetage et au SMPE Définition des responsabilités pour la base de données des produits |
| 2024 | Période de transition du marché. Étiquetage obligatoire à partir de juillet 2024 Exécution pilote de la base de données du projet. |
| 2025 | Le premier niveau SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec CSPF < 3,2 ou 3,1 (selon la capacité de refroidissement). La base de données des produits devient pleinement opérationnelle |
| 2026 | Le deuxième niveau de SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec CSPF < 3,9 ou 3,6 (selon la capacité de refroidissement). |
| 2028 | Le troisième niveau SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec CSPF < 4,7 ou 4,1 (selon la capacité de refroidissement). |
| 2030 | Le quatrième niveau de SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec CSPF < 5,4 ou 4,9 (selon la capacité de refroidissement). |

La Figure 19 montre les catégories U4E d'efficacité inférieures proposées en comparaison avec les niveaux de SMPE sélectionnés. La proposition U4E est conforme aux normes chinoises actuellement en vigueur, où la plupart des appareils sont fabriqués.

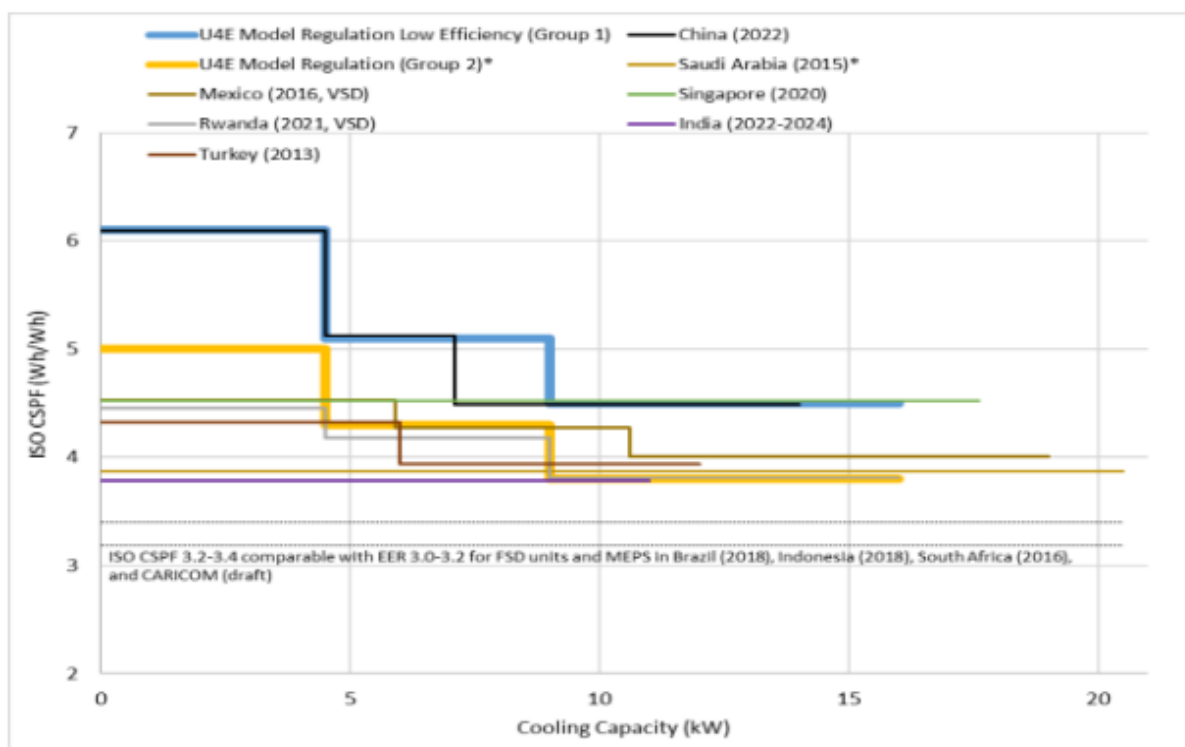


Figure 19 : Comparaison de certains systèmes de SMPE internationaux. Source : PNUE. 2019b.²¹

3.2.4 Exigences en matière de réfrigérant

L'industrie de la climatisation est en train de passer à des réfrigérants à faible PRG. Alors que les climatiseurs portables utilisent couramment des réfrigérants naturels (par exemple, en Europe), les climatiseurs unitaires avec des réfrigérants naturels sont encore rares sur le marché (bien qu'une croissance soit attendue dans les années à venir). Par conséquent, les mêmes exigences que pour les réfrigérateurs domestiques ne peuvent pas être utilisées. En ce qui concerne le règlement type U4E pour les climatiseurs, les exigences réalisables en matière de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO) et de potentiel de réchauffement global (PRG) sur 100 ans qui peuvent être appliquées pour le réfrigérant des climatiseurs sont indiquées dans le Tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16: Exigences relatives au PRG et au PACO des réfrigérants pour les climatiseurs selon le modèle U4E.

| Classe de produit | PRG | PACO |
|--------------------------|---------------------------------|------|
| Système autonome | En dessous de 150 | 0 |
| Système unitaires | En dessous de 750 ²² | 0 |

Ces limites peuvent être appliquées dans la législation spécifique aux réfrigérants, ou directement dans les normes SMPE et les normes d'étiquetage qui entreront en vigueur lors de la prochaine révision. Néanmoins, si certains fabricants locaux/régionaux ne se conforment toujours pas à ces exigences, il convient de prévoir suffisamment de temps pour la conversion des lignes de production. Le fait de les soutenir dans cette transition accélérera le processus.

²¹ Modèle de réglementation lignes directrices informations complémentaires climatiseurs respectueux du climat et efficaces en énergie. u4e. https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2020/05/U4E_AC_Model-Reg-Supporting-Info_20200227.pdf

²² Le 6^e rapport d'évaluation du GIEC indique que le PRG de R32 est de 771, par rapport au 5^e rapport d'évaluation, lorsque la valeur a été déclarée à 677.

En outre, étant donné que la limite de 750 PRG devrait être une exigence transitoire (au moins pour les capacités inférieures à 7 kW) jusqu'à ce qu'une plus grande expérience soit acquise avec les réfrigérants naturels, si un soutien est apporté aux fabricants locaux pour modifier leurs lignes de production, il est recommandé de préparer l'usine à travailler avec des réfrigérants naturels.

APERÇU ET PROJECTION DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ ET DES ÉMISSIONS PROVENANT DE LA CLIMATISATION ET DE LA RÉFRIGÉRATION DOMESTIQUE AU SÉNÉGAL

4.1 Vues générales sur la climatisation et de la réfrigération domestique

La demande d'électricité (Figure 20) dans le scénario BAU des deux secteurs (réfrigération et climatisation domestique) étudiés s'élève à 402 GWh en 2020. Pour le développement dans le cadre d'un scénario BAU, la tendance suit généralement les taux de propriété projetés.

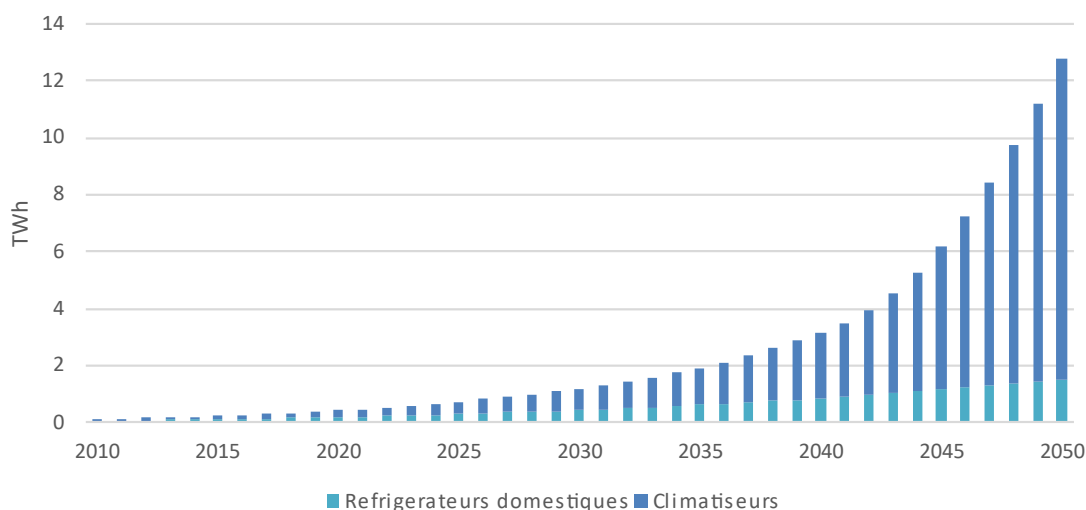


Figure 20: Projection de la demande d'électricité au Sénégal pour les deux secteurs étudiés dans le scénario BAU.

La demande totale d'électricité sénégalaise pour 2018 est rapportée à 4129 GWh²³. Cela montre que les secteurs étudiés représentent une part considérable d'environ 8% de la demande totale (relative à la demande d'énergie estimées des CA et des réfrigérateurs domestiques en 2015 de 228 GWh). Les taux de croissance projetés montrent l'urgence de mettre en place des politiques ambitieuses d'efficacité énergétique pour freiner les taux de croissance élevés et ainsi réduire le besoin de plus de capacité de production électrique.

La consommation énergétique calculée se traduit par des émissions de 264 ktCO₂eq (2020) avec un facteur d'émission du réseau actuel de 0,656 kgCO₂/kWh²⁴. Avec un facteur d'émission du réseau constant, ces émissions devraient passer à 8,4 MtCO₂eq en 2050 (Figure 22).

Les scénarios de mitigation développés pour les deux secteurs étudiés peuvent conduire à une atténuation cumulée de 359 ktCO₂ eq jusqu'en 2030 grâce à la réduction cumulée de la consommation d'énergie de 548 GWh (Figure 21). En mettant en œuvre les mesures de mitigation proposées, la croissance des émissions jusqu'en 2050 peut être considérablement réduite : d'environ 40% en 2050 (Figure 22). Des chiffres plus détaillés sont fournis dans le Tableau 17.

²³ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/senegal-electricity-generation-by-technology-in-the-stated-policies-scenario-2010-2040>

²⁴ Lien vers la base de données de l'IFI :

https://newsroom.unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_IFI_Default_Grid_Factors_2021_v3.2_0.xlsx

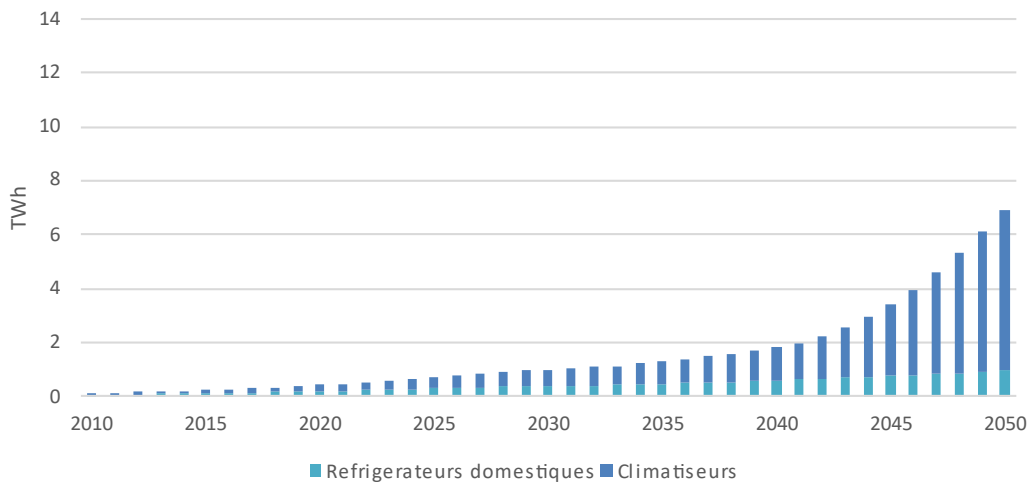


Figure 21: Demande d'électricité projetée au Sénégal à partir des deux secteurs étudiés dans le scénario de mitigation.

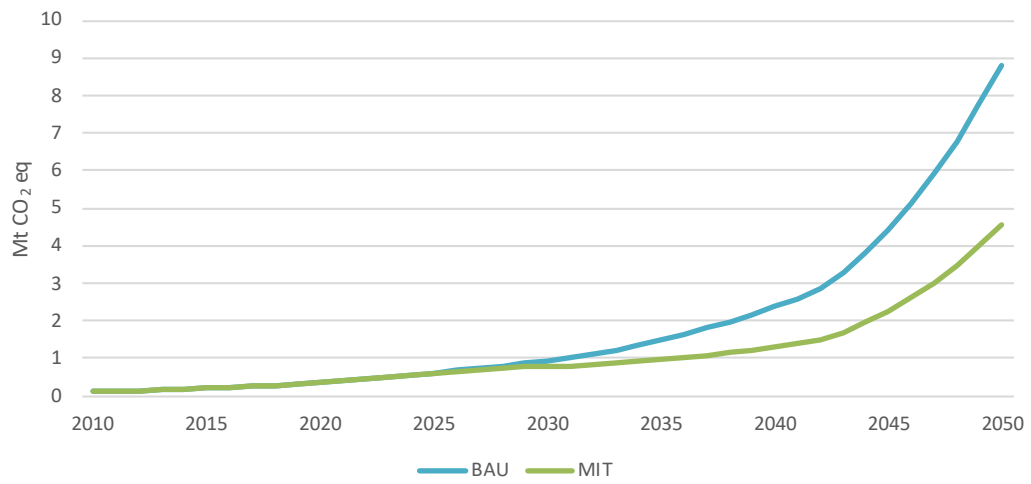


Figure 22: Projection des émissions dues à la consommation d'énergie des deux applications étudiées au Sénégal pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT).

Tableau 17: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour les deux applications étudiées au Sénégal et les économies associées.

| Scénario du statu quo | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|---------------|---|------------|--------------|---------------|
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | 240 | 751 | 2 306 | 11 313 | 158 | 493 | 1 513 | 7 421 |
| Réfrigérateurs | 162 | 419 | 846 | 1 506 | 106 | 275 | 555 | 988 |
| Total | 402 | 1 170 | 3 152 | 12 819 | 264 | 767 | 2 068 | 8 409 |
| Scénario de mitigation | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | 240 | 606 | 1 252 | 5 983 | 158 | 398 | 821 | 3 925 |
| Réfrigérateurs | 162 | 366 | 577 | 949 | 106 | 240 | 378 | 623 |
| Total | 402 | 972 | 1 829 | 6 933 | 264 | 638 | 1 200 | 4 548 |
| Économie | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | 0 | 145 | 1 054 | 5 330 | 0 | 95 | 691 | 3 496 |
| Réfrigérateurs | 0 | 53 | 269 | 557 | 0 | 35 | 177 | 365 |
| Total | 0 | 198 | 1 323 | 5 887 | 0 | 130 | 868 | 3 862 |
| Économies cumulées | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | | 403 | 6 053 | 34 792 | | 264 | 3 971 | 22 824 |
| Réfrigérateurs | | 145 | 1 818 | 6 024 | | 95 | 1 193 | 3 952 |
| Total | | 548 | 7 871 | 40 816 | | 359 | 5 163 | 26 775 |

Les émissions dues à l'utilisation de réfrigérants peuvent être atténuées en utilisant des réfrigérants à faible PRG comme le montre la Figure 23 et le Tableau 18.

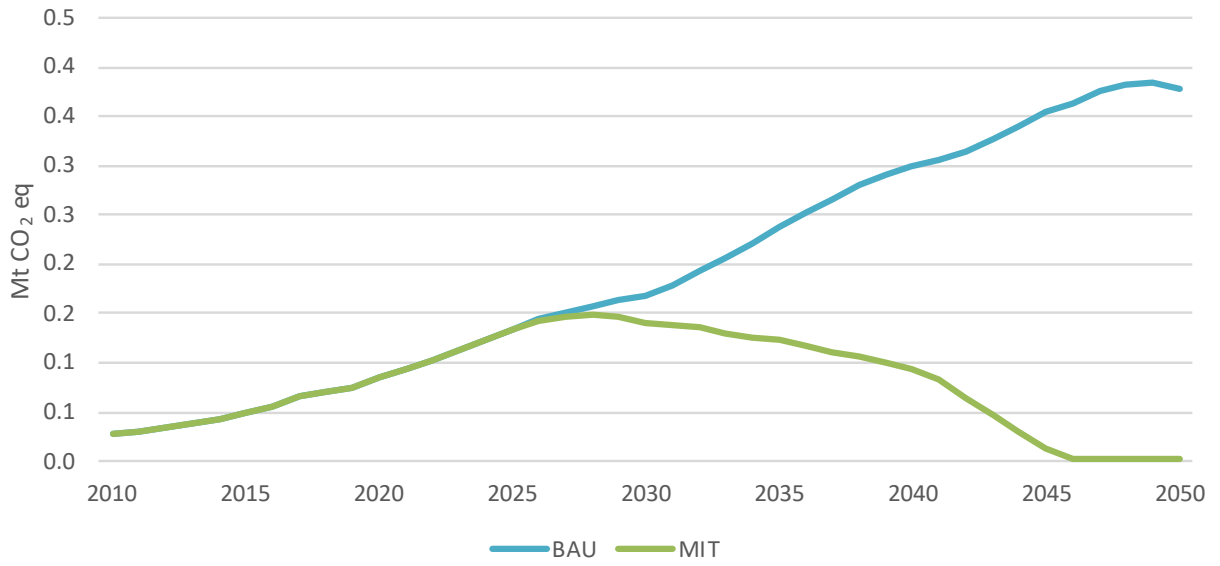


Figure 23: Projections des émissions directes dues à l'utilisation de réfrigérants pour les deux applications étudiées au Sénégal dans le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT).

Tableau 18: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour les deux applications étudiées au Sénégal et les économies associées.

| Scénario du statu quo | | | | | | | | |
|------------------------|--|------------|--------------|--------------|---|------------|--------------|---------------|
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | 43 | 139 | 277 | 377 | 201 | 632 | 1 790 | 7 798 |
| Réfrigérateurs | 41 | 29 | 22 | 2 | 147 | 303 | 577 | 990 |
| Total | 84 | 168 | 299 | 379 | 348 | 935 | 2 367 | 8 788 |
| Scénario de mitigation | | | | | | | | |
| | Émissions directes (kt CO ₂ eq) | | | | Émissions totales (kt CO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | 43 | 114 | 73 | 1 | 201 | 512 | 894 | 3 926 |
| Réfrigérateurs | 41 | 27 | 21 | 1 | 147 | 267 | 399 | 624 |
| Total | 84 | 141 | 94 | 2 | 348 | 779 | 1 293 | 4 550 |
| Économie | | | | | | | | |
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | 0 | 25 | 205 | 376 | 0 | 120 | 896 | 3 873 |
| Réfrigérateurs | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 36 | 178 | 366 |
| Total | 0 | 27 | 206 | 377 | 0 | 157 | 1 074 | 4 239 |
| Économies cumulées | | | | | | | | |
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 |
| Climatiseurs unitaires | | 49 | 1 283 | 4 428 | | 313 | 5 253 | 27 252 |
| Réfrigérateurs | | 12 | 25 | 163 | | 108 | 1 218 | 4 115 |
| Total | | 62 | 1 308 | 4 591 | | 421 | 6 471 | 31 366 |

4.2 Scénarios d'émissions pour le sous-secteur de la réfrigération domestique

Pour la projection de la possession de réfrigérateurs, nous avons pris en compte deux facteurs clés : la progression prévue de l'électrification des ménages et l'augmentation des taux de possession parmi les ménages électrifiés.

4.2.1 Projections des ventes et des stocks

Les réfrigérateurs sont l'un des premiers appareils achetés lorsqu'un ménage est raccordé au réseau électrique. L'évolution des ventes et des stocks repose en grande partie sur le rapport de 2020 intitulé « Etude de marche des réfrigérateurs et des climatiseurs pour la faisabilité du projet Ecofridges au Sénégal »²⁵. Le rapport est basé sur une enquête auprès des ménages et utilise des données et des projections du nombre de ménages, de la croissance du PIB et du taux d'électrification comme paramètres d'entrée.

La population du Sénégal devrait augmenter par rapport aux 17,2 millions actuels. (2021)²⁶ à environ 35 millions de personnes. Il s'agit d'une augmentation annuelle moyenne de 2,5 %.

Dans le même temps, le nombre de ménages ayant accès à l'électricité passe de 2,2 million en 2021 à plus de 5,9 millions en 2050, soit une multiplication par 2,5.

Les données d'importation des équipements de réfrigération et de climatisation ne contiennent pas d'informations sur le nombre d'appareils importés. En raison des codes douaniers assez larges pour ces équipements, les appareils regroupés sous le même code sont très inhomogènes et parfois seulement des parties d'appareils. Par conséquent, une corrélation entre la valeur des équipements et leurs nombres n'est pas possible.

Les ventes sont estimées en fonction de l'augmentation des taux de possession des réfrigérateurs par les ménages. Le rapport Ecofridges indique une possession de 28,3% pour 2017 et environ 550 000 réfrigérateurs en service en 2019. Pour 2024, les auteurs du rapport Ecofridges s'attendent à un stock de 1 million de réfrigérateurs au Sénégal. La projection ultérieure est guidée par l'hypothèse qu'en 2050, 100 % de possession des ménages est atteint. On pense que cela est conforme aux objectifs de développement du pays.

Avec une durée de vie de l'équipement présumée de 20 ans, les chiffres de vente sont déduits de cette augmentation de stock.

Un TCAC (Taux de Croissance Annuel Cumulé) de 8% est nécessaire pour atteindre cette croissance de stock et des ventes annuelles d'environ 126 000 unités par an en 2020. Après 2020, une croissance annuelle de 5% est assumée pour atteindre 580 000 unités en 2050.

La Figure 24 montre le stock projeté tandis que la Figure 25 montre les ventes nécessaires pour soutenir l'évolution du stock projeté.

²⁵ <https://energy-base.org/app/uploads/2020/07/Ecofridges-Senegal-Rapport-Finale-Etude-de-Marche-version-finale-20200701.pdf>

²⁶ <https://worldpopulationreview.com/countries/senegal-population>

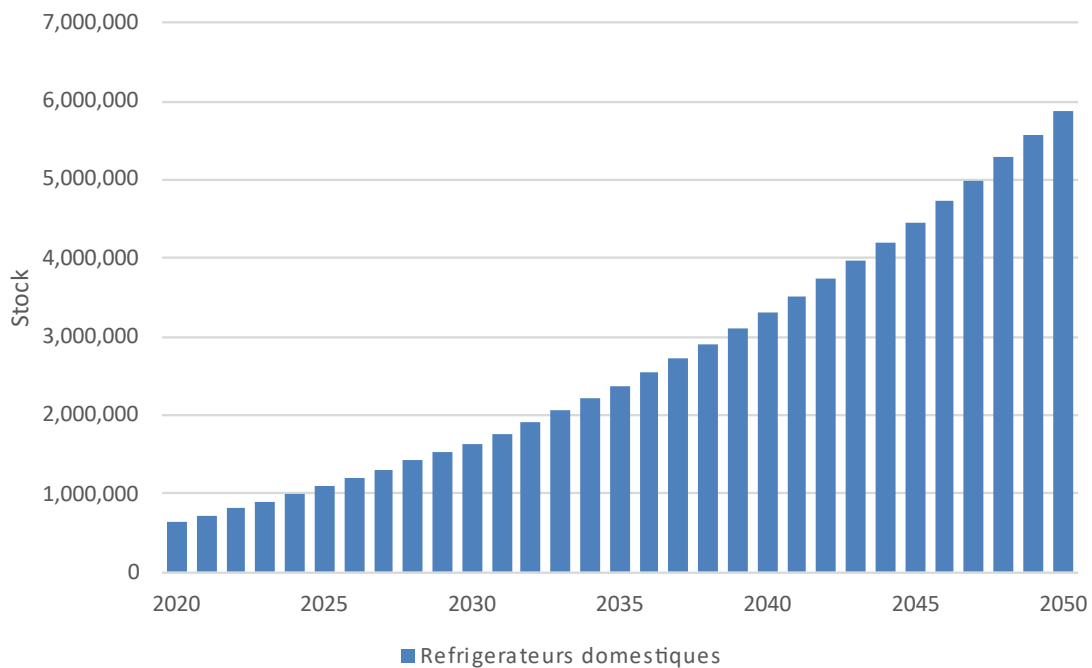


Figure 24: Développement du parc de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

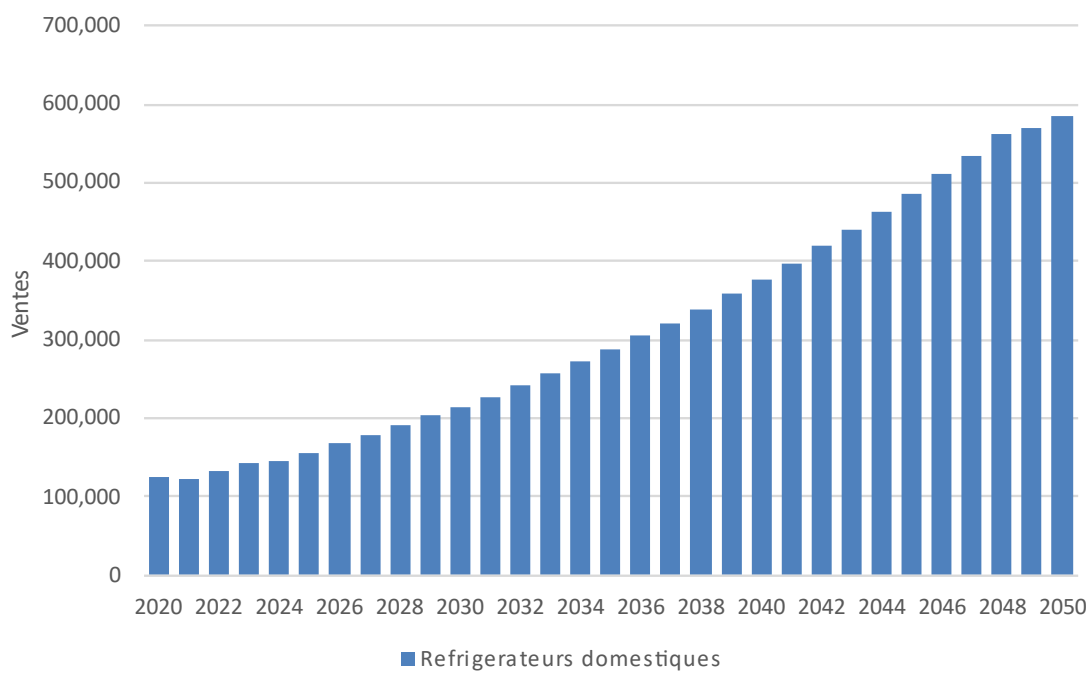


Figure 25: Ventes de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 telles que résultant du développement supposé (Source : Analyse HEAT).

4.2.2 Demande d'énergie

La possession accrue et l'efficacité énergétique observée des réfrigérateurs dans le scénario BAU entraînent une augmentation considérable de la demande d'électricité pour la réfrigération domestique au Sénégal.

Dans le scénario BAU, la demande d'électricité passe de 160 GWh en 2020 à environ 1 500 GWh en 2050, comme le montre la Figure 26.

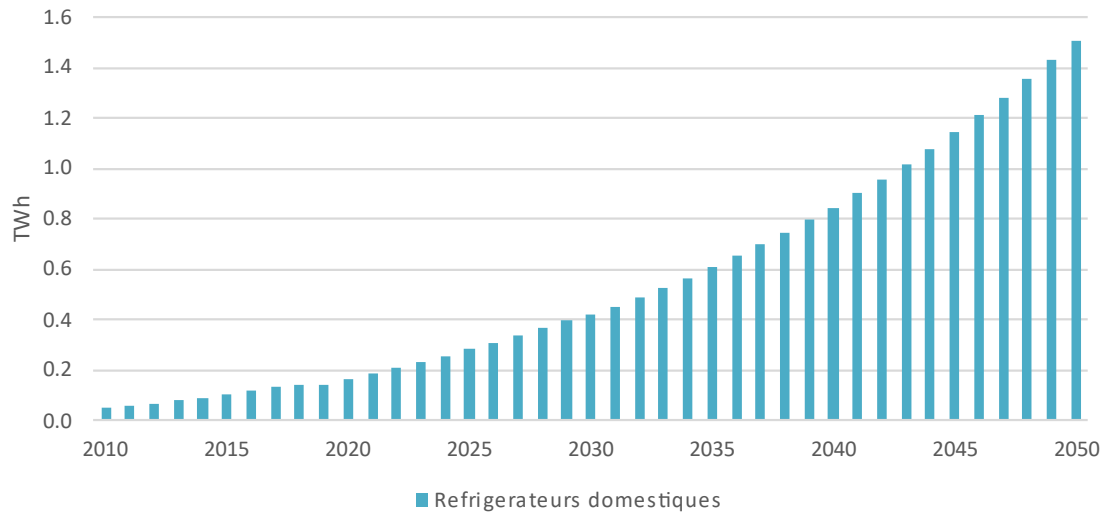


Figure 26: Consommation d'électricité des réfrigérateurs domestiques au Sénégal entre 2015 et 2050 (Source : Analyse HEAT)

4.2.3 Émissions directes et leur potentiel de mitigation

Comme les émissions dues aux réfrigérants sont généralement faibles pour les réfrigérateurs et que le passage au réfrigérant naturel R600a à faible PRG est en bonne voie, les émissions de GES des réfrigérateurs sont en grande partie dues à leur consommation électrique. En supposant un facteur d'émission du réseau constant, les émissions de GES passent de 0,15 en 2020 à 1 MtCO₂eq en 2050 (Figure 27).

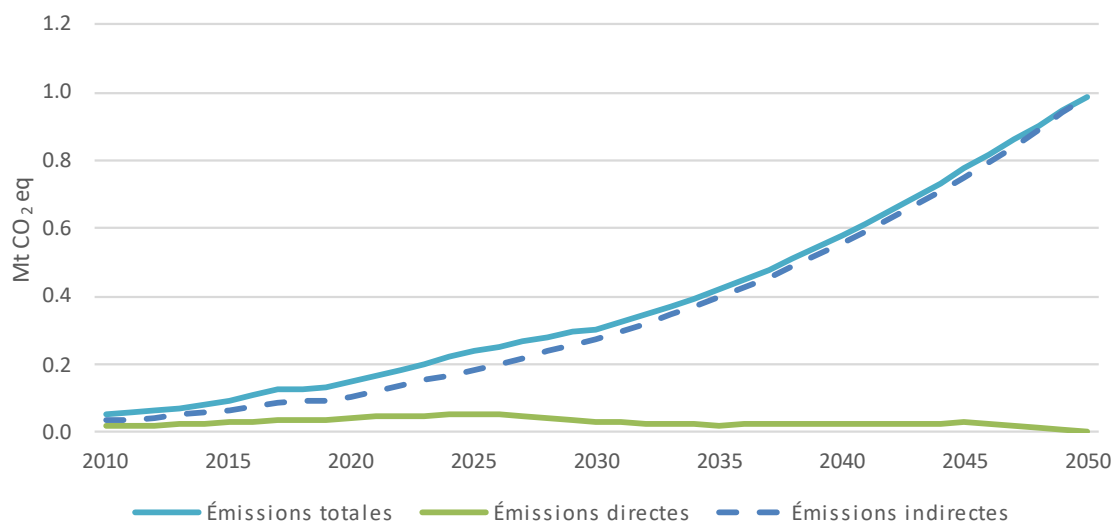


Figure 27: Émissions projetées des réfrigérateurs dans le scénario BAU (Source : Analyse HEAT).

La Figure 28 illustre les réductions potentielles de GES résultant d'une application stricte de la réglementation sur l'efficacité énergétique et de l'adoption immédiate de réfrigérants naturel à PRG proche de zéro. Ainsi, l'augmentation de la demande énergétique est réduite d'environ un tiers.

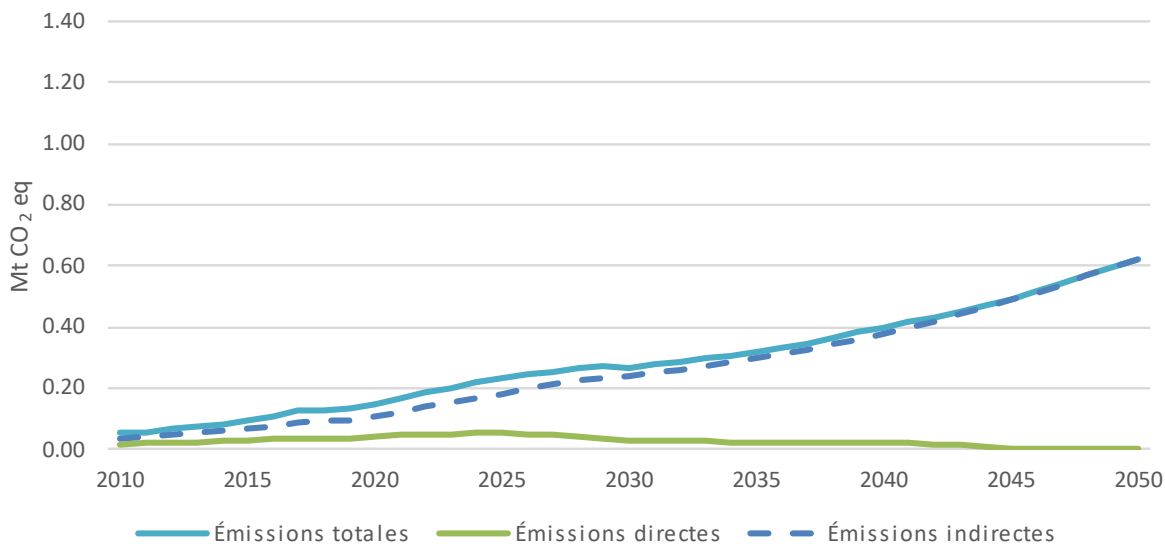


Figure 28: Réductions potentielles des émissions des réfrigérateurs (Source : Analyse HEAT).

4.2.4 Conclusion – Réfrigération domestique

Le fonctionnement des réfrigérateurs constitue une charge de base pour tout réseau électrique. Avec l'augmentation de l'électrification, plus de réfrigérateurs seront en service au Sénégal. Pour maintenir la pression sur le réseau électrique à un niveau bas, il est fortement recommandé d'opter pour des réfrigérateurs à haute efficacité énergétique.

La mise en œuvre proposée de SMPE devrait entraîner une réduction considérable de la consommation d'électricité et donc des émissions. Les évolutions sont illustrées dans Figure 29 et la Figure 30. Bien que le scénario SMPE ne prévoie pas de renforcement supplémentaire après 2030, la réduction est encore très prononcée en 2050. En 2030, il y a une réduction de 52 GWh (0,034 MtCO₂eq) et en 2050, la réduction s'élève à 560 GWh (0,37 MtCO₂eq).

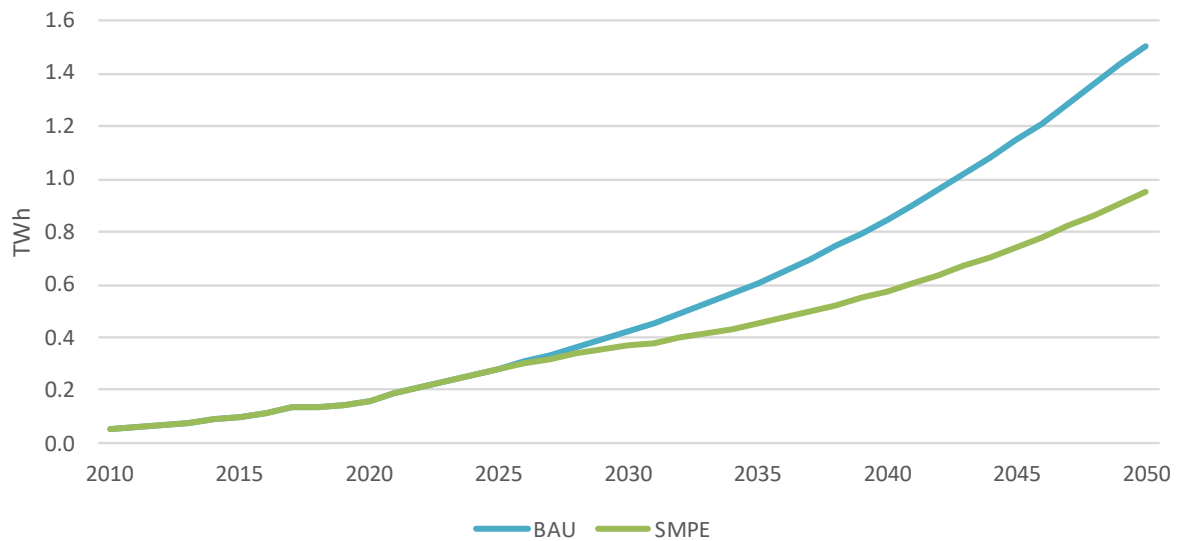


Figure 29: Consommation d'énergie des réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE. (Source : Analyse HEAT)

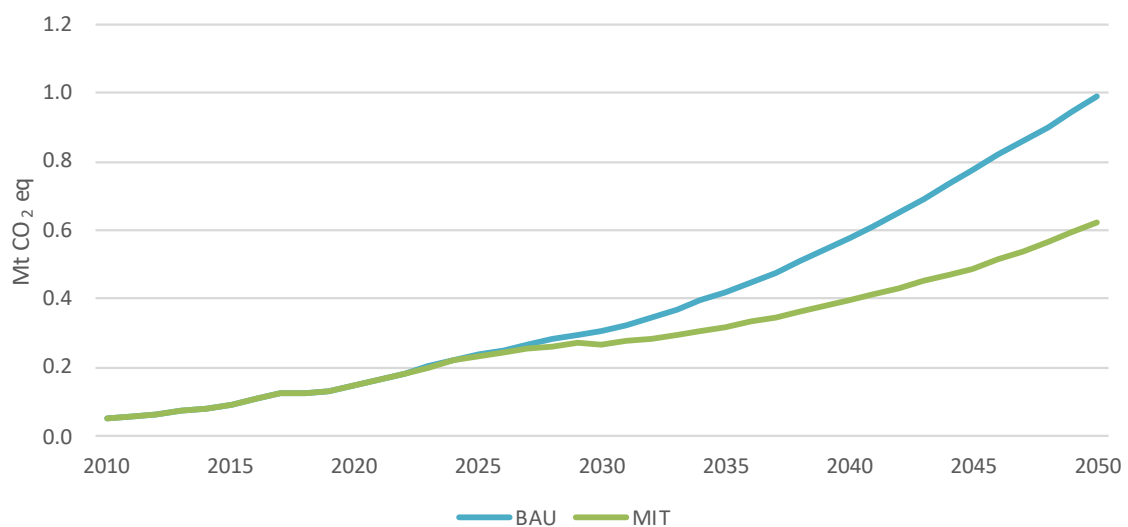


Figure 30: Émissions indirects provenant de l'utilisation de l'électricité des réfrigérateurs dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE (Source : analyse HEAT)

4.3 Scénarios d'émissions pour le sous-secteur des climatiseurs unitaires

Le développement du marché de la climatisation résidentielle au Sénégal devrait s'accélérer à l'avenir, à mesure que le pays se développe économiquement, augmentant le pouvoir d'achat des ménages et soutenant le développement du réseau électrique qui ne dessert actuellement qu'environ 75% des ménages.

4.3.1 Projections des ventes et des stocks

Ventes d'unités de CA

Comme mentionné ci-dessus, aucune donnée d'importation ou autre donnée sur les ventes de climatiseurs n'est disponible pour le Sénégal.

Pour projeter les ventes jusqu'en 2050, on prend comme orientation l'évolution du stock et on calcule le nombre de ventes nécessaires pour permettre l'évolution supposée. Les hypothèses relatives à cette augmentation du stock sont détaillées dans la rubrique "Stock".

Stock d'unités de CA

La seule source de données est l'étude de marché²⁷ dans le cadre du projet Ecofridges mentionné ci-dessus. Dans ce rapport, le taux de propriété d'un CA des ménages est estimé à 2% en 2017. Cela conduit à 46 000 ménages qui ont un climatiseur en 2019.

Les projections du marché des CA unitaires au Sénégal sont basées sur des hypothèses de développement du pays. Comme mentionné plus haut, les hypothèses clés pour le développement des projections du marché sont centrées sur la croissance démographique²⁸, la réalisation des objectifs du gouvernement en matière d'électrification²⁹, le développement de l'économie et la lutte contre la pauvreté.

Les projections démographiques et économiques sont conformes aux statistiques de croissance du passé et aux schémas antérieurs. D'autre part, on suppose que l'objectif du gouvernement d'atteindre une électrification de 100 % d'ici 2025 sera atteint.

Le parc de climatiseurs résultant est supposé augmenter à 200 000 unités d'ici 2030, soit environ 7 % de tous les ménages sénégalais. En 2050, il est prévu que 60 % de tous les ménages utilisent des climatiseurs, soit 3,5 millions.

Les ventes et le stock totaux de climatiseurs split sont attribués à quatre types d'appareils définis sur la base de la capacité, reflétant les catégories de capacité des normes SMPE proposées et le type de compresseur. Ce dernier est nécessaire pour tenir compte de la différence dans la méthode de calcul de la consommation d'énergie pour les climatiseurs split à vitesse fixe et à onduleur.

Pour la période 2020-2050, les stocks devraient continuer à augmenter au taux de croissance annuel moyen élevé de 14,7 %, car la poursuite de l'électrification et le caractère abordable des CA entraînent une augmentation des niveaux de propriété des CA de 2 % en 2020 à 60 % en 2050. En termes absolus, il s'agit d'une croissance de plus de 3,2 millions d'unités, soit 60 fois plus que les 35 000 unités en 2020 (Figure 31).

²⁷ <https://energy-base.org/app/uploads/2020/07/Ecofridges-Senegal-Rapport-Finale-Etude-de-Marche-version-finale-20200701.pdf>

²⁸ <https://worldpopulationreview.com/countries/senegal-population>

²⁹ Plan Sénégal Emergent. Also see <https://furtherafrica.com/2021/07/26/senegals-energy-shift-from-heavy-fuels-to-renewables-and-natural-gas/>

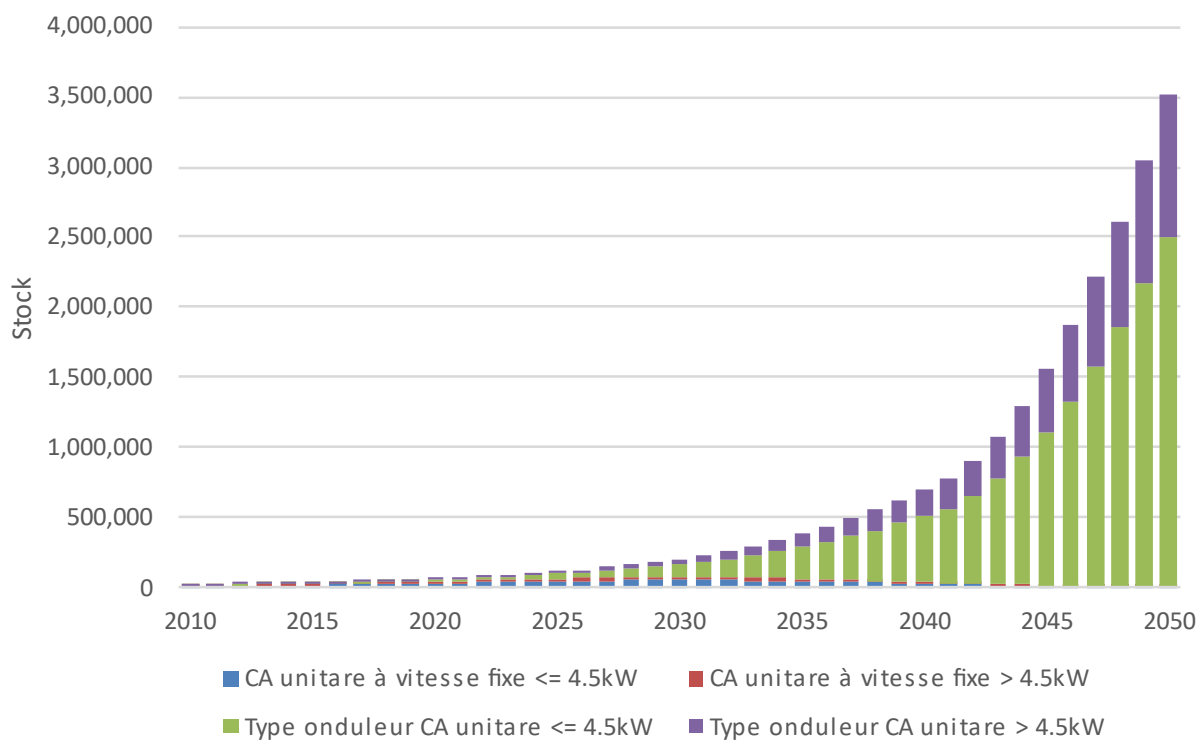


Figure 31: Développement du parc des CA unitaires entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

Les ventes augmentent également rapidement avec un TCAC de 14,6 % par an pour la période 2020-2050, passant d'environ 10 000 unités vendues en 2020 à 570 000 unités par an en 2050 (Figure 32).

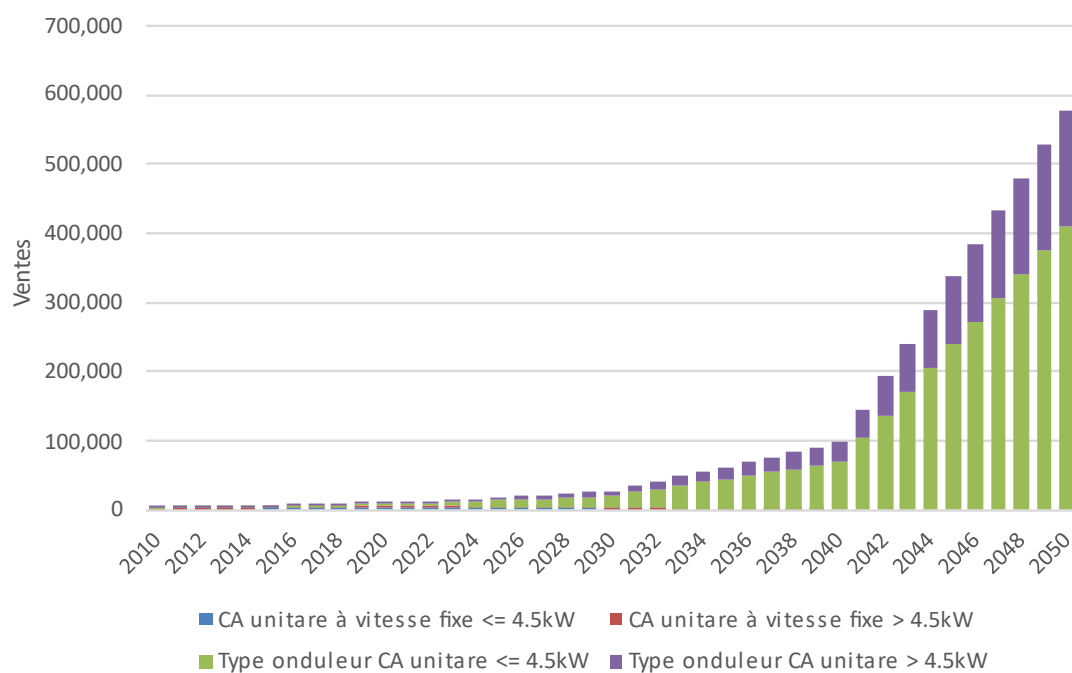


Figure 32: Évolution des ventes des CA unitaires entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

4.3.2 Demande d'énergie

La combinaison de l'augmentation de la propriété et du climat très chaud du Sénégal entraîne une forte augmentation de la consommation électrique qui, à son tour, augmentera la nécessité d'améliorer le réseau électrique, non seulement pour étendre sa portée à plus de population, mais aussi pour fonctionner à des capacités beaucoup plus élevées nécessaires pour répondre à l'augmentation de la demande de refroidissement et d'autres utilisations. Dans le scénario BAU, la demande d'électricité passe de 0,24 TWh en 2020 à environ 11,3 TWh en 2050 (Figure 33).

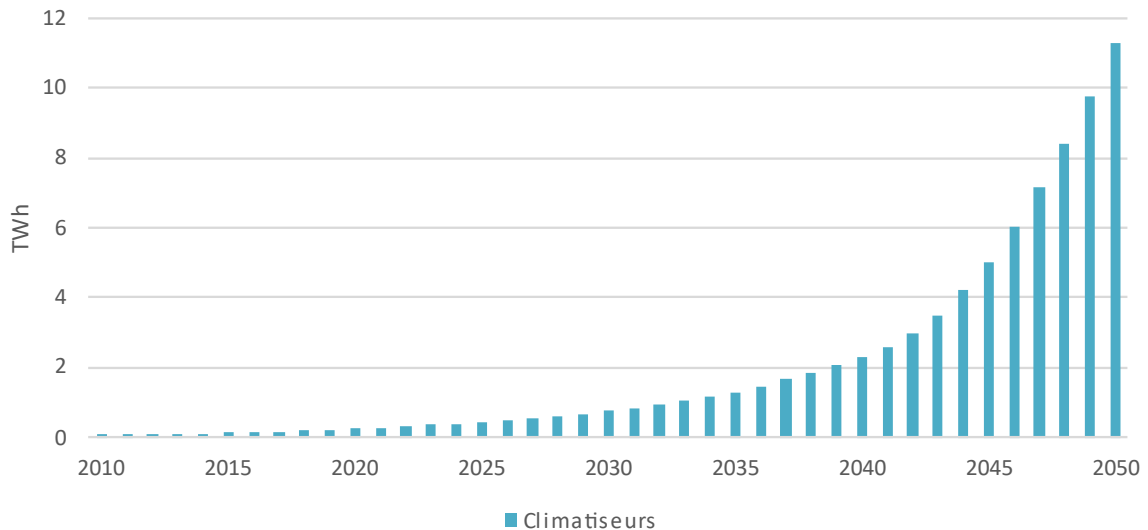


Figure 33: Consommation d'électricité des unités de climatisation unitaire au Sénégal 2020-2050 (Source : Analyse HEAT).

L'augmentation de la demande d'énergie est plus importante que la production totale d'énergie dans le pays en 2020 et le soutien au développement du réseau sera essentiel pour garantir que ce marché se développe fortement et apporte des avantages sociaux et économiques au pays.

4.3.3 Émissions directes et leur potentiel de mitigation

Le scénario BAU suppose le maintien des tarifs internationaux par défaut des réfrigérants pour les climatiseurs unitaires et une transition lente du marché vers des réfrigérants à faible PRG, en l'occurrence le R-32 et le R-290, dont les PRG sont respectivement de 771 et 0,6. Les hypothèses faites concernant les émissions du réseau électrique sont qu'elles restent au niveau actuel de 656 grammes de CO₂ eq par kWh tout au long de la période 2020-2050.

Sur la base de ces hypothèses, les émissions totales liées à la demande résidentielle et à l'utilisation des climatiseurs augmentent à un TCAC de 13,0 % par an pour atteindre un total de 7,8 MtCO₂eq, soit une multiplication par plus de 39 des 200 ktCO₂eq en 2020 (Figure 34).

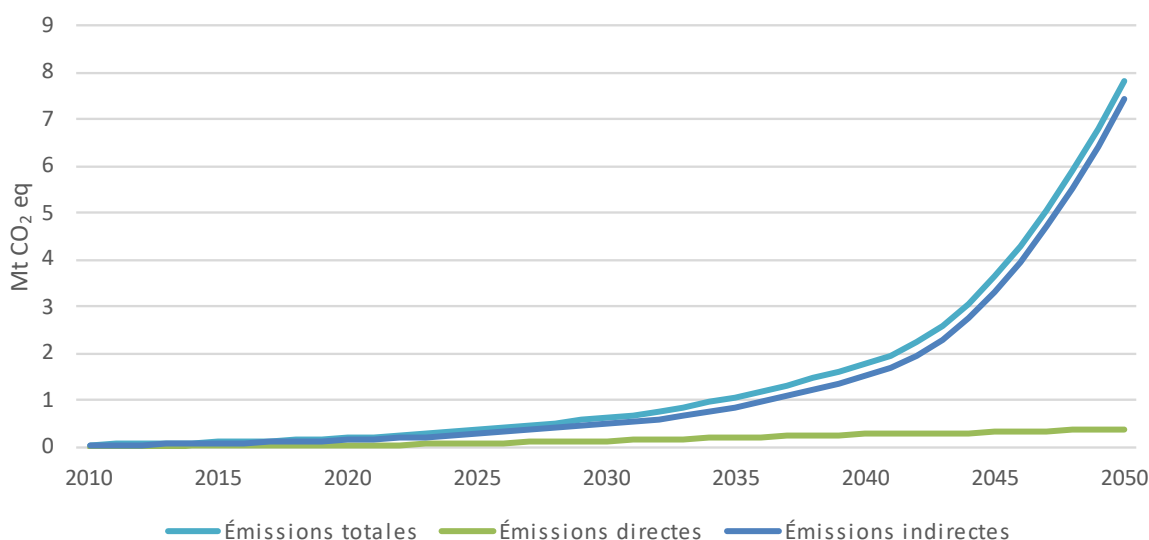


Figure 34: Les émissions de GES des unités CA au Sénégal dans la période 2010-2050 en MtCO₂ eq (Source : Analyse HEAT).

Cette augmentation est due à une forte hausse des émissions directes dues aux fuites de réfrigérant et des émissions indirectes dues à l'énergie consommée par les climatiseurs. Les émissions provenant de ces sources augmentent à un TCAC de 7,5% et 13,7% respectivement, ce qui indique une relation étroite avec le nombre croissant d'unités sur le marché. Notez que l'évolution des émissions est calculée en fonction de la croissance des stocks et des émissions constantes par CA.

Pour faire face à cette augmentation spectaculaire des émissions, il est essentiel d'accélérer le processus de migration vers des réfrigérants à faible PRG, le plus faible étant le mieux. Une pénétration plus importante et plus rapide des réfrigérants naturels à PRG proche de zéro, comme le R-290, entraînerait une diminution significative des émissions directes. En même temps, le Sénégal a besoin d'une politique forte mise en vigueur des SMPE pour gérer l'impact de l'utilisation accrue des unités CA sur le réseau électrique.

La Figure 35 illustre les réductions potentielles de GES résultant de l'adoption immédiate de réfrigérants à PRG quasi nul et d'une forte application de l'efficacité énergétique. Avec cette adoption, les émissions directes sont réduites à un niveau très bas et les émissions indirectes deviennent une composante beaucoup plus dominante. De même, les émissions indirectes diminuent de 53 % et l'adoption d'énergies renouvelables permet d'envisager des réductions supplémentaires.

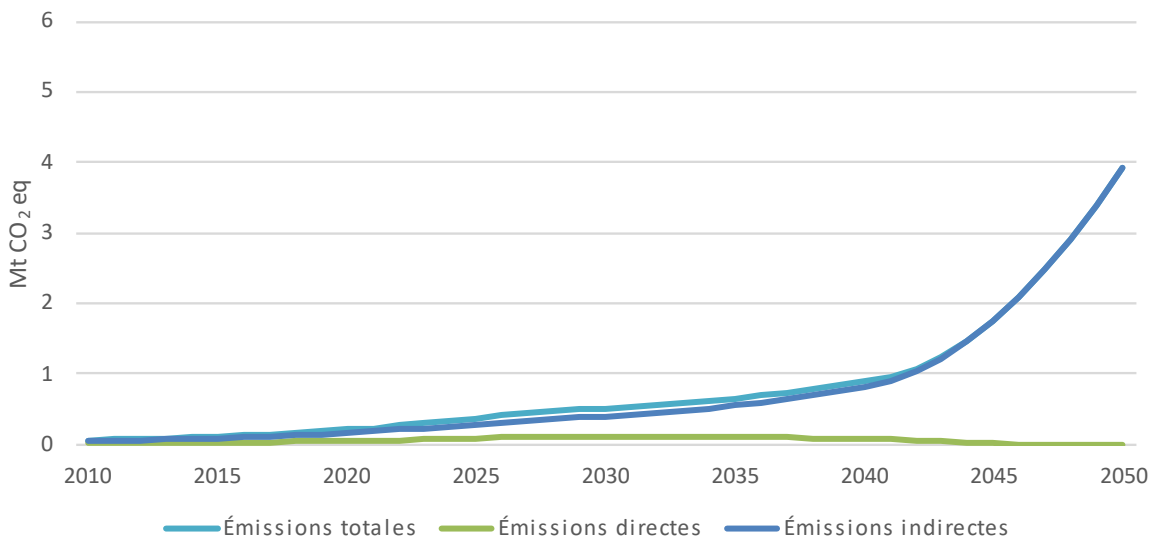


Figure 35: Émissions potentielles dans un scénario de mitigation pour les climatiseurs unitaires au Sénégal (Source : Analyse HEAT).

4.3.4 Conclusions – Climatisation domestique

Compte tenu du climat prévalant au Sénégal et du réchauffement climatique prévu dans les années à venir, les climatiseurs sont moins considérés comme un luxe et de plus en plus comme une nécessité. Cela se traduit par des ventes importantes et une augmentation des stocks au cours de la période 2020-2050, pour aboutir à un stock d'environ 3,5 millions d'unités en fonctionnement qui nécessitent plus d'énergie que l'approvisionnement en électricité existant actuellement au Sénégal. Les émissions de gaz à effet de serre augmenteront à un rythme équivalent.

Ces augmentations très importantes doivent être atténuées pour permettre au pays de soutenir cette croissance et de réduire l'impact sur l'environnement et l'économie.

La mise en œuvre proposée de SMPE devrait entraîner une réduction considérable de la consommation d'électricité, et donc des émissions. Les évolutions sont illustrées dans la Figure 36 et la Figure 37. Bien qu'aucun autre renforcement des SMPE ne soit prévu après 2028 dans le scénario SMPE, la réduction est encore très prononcée en 2050. En 2030, 145 GWh (95 ktCO₂eq) sont réduits et en 2050, la réduction s'élève à 5,3 TWh (3,5 MtCO₂eq).

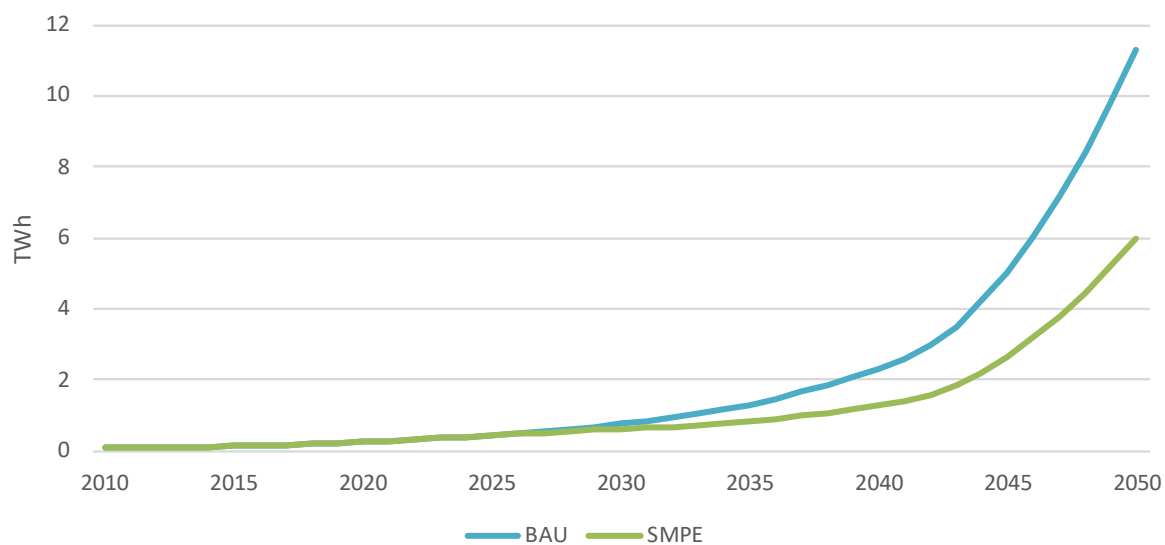


Figure 36: Consommation d'énergie prévue pour les climatiseurs split dans le scénario BAU et le scénario SMPE. (Source : Analyse HEAT)

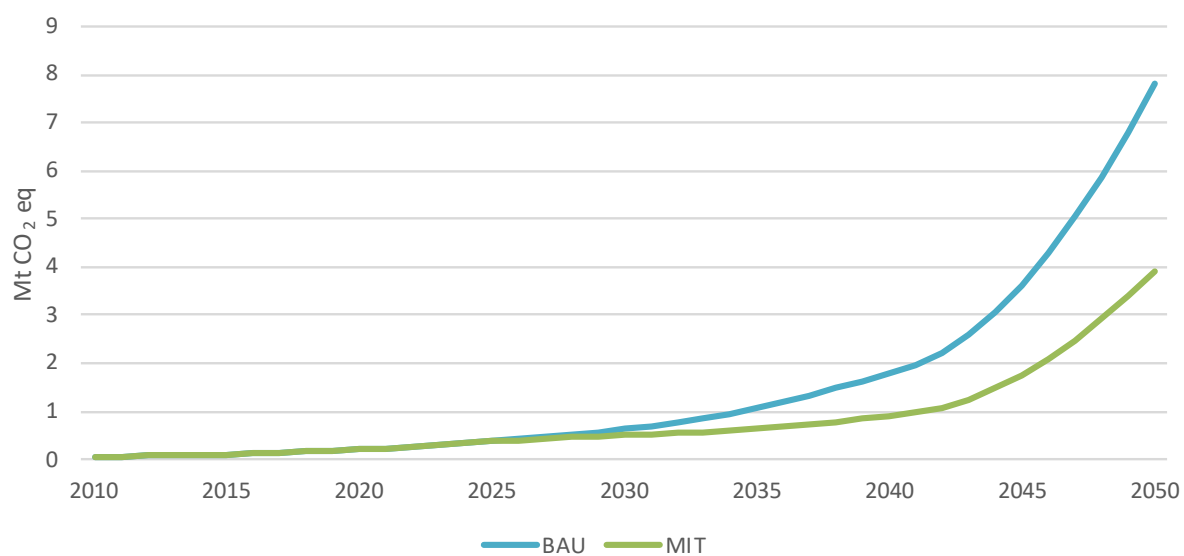


Figure 37: Projection des émissions dues à l'utilisation de l'électricité des climatiseurs dans le scénario BAU et le scénario SMPE (Source : analyse HEAT).

APERÇU ET PROJECTION DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ ET DES EMISSIONS PROVENANT DE LA CLIMATISATION ET DE LA RÉFRIGÉRATION INDUSTRIELLE AU SÉNÉGAL

5.1 Projections des ventes et des stocks

Contrairement aux appareils domestiques, tels que les climatiseurs split et les réfrigérateurs, qui peuvent être estimés en supposant les futurs taux de propriété des ménages, le développement du stock des applications industrielles peut être estimé en utilisant la croissance projetée du PIB.

Le stock d'équipement pour l'année 2022 est projeté à partir de l'enquête du terrain, qui indique qu'il couvre 40% de la base d'équipement installée, donc les données du stock sont extrapolées pour représenter le stock national. A partir de l'année 2022, le stock est projeté dans les deux sens en utilisant les taux de croissance suivants. Les taux de croissance historiques représentent des moyennes de valeurs annuelles telles que rapportées par la Banque mondiale. Les hypothèses sont fournies dans le Tableau 19.

Tableau 19: Facteur de croissance du PIB utilisé pour la projection des stocks dans le secteur RAC industriel. Valeurs historiques présent de la Banque mondiale³⁰.

| Année | PIB : croissance annuelle |
|------------|----------------------------------|
| Avant 2000 | 2.5% |
| 2000-2020 | Croissance linéaire de 2.5% à 4% |
| 2021-2030 | 4% |
| 2031-2034 | Décroissance linéaire de 4% à 2% |
| 2030-2050 | 2% |

Le stock total d'équipements industriels est estimé à 613 installations, les chambres froides ayant la part la plus importante parmi elles (45%) en 2022 (Figure 38). Avec les hypothèses de croissance décrites ci-dessus, le parc passera à 1222 installations en 2050, soit un doublement des installations au cours des 30 prochaines années et un TCAC de 2,6%.

³⁰ <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?end=2021&locations=SN&start=1961&view=chart>

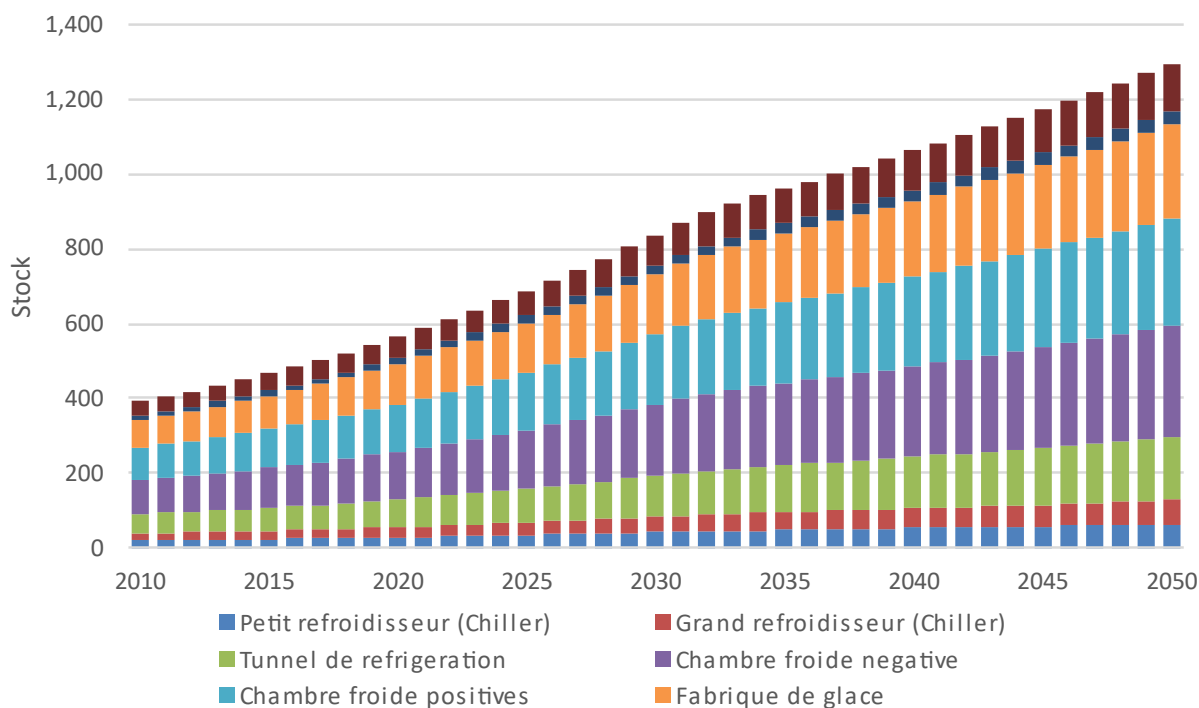


Figure 38: Développement du parc RAC industriel entre 2010 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

Les chiffres de vente sont déduits de la croissance des stocks, en supposant que les vieux équipements sont remplacés après 25 ans (Figure 39). La bosse autour de 2030 est le résultat de la transition vers un taux de croissance plus faible à partir de 2030. Les ventes en 2022 sont estimées à 49 installations et devraient passer à 77 en 2050 (TCAC de 1,7 %).

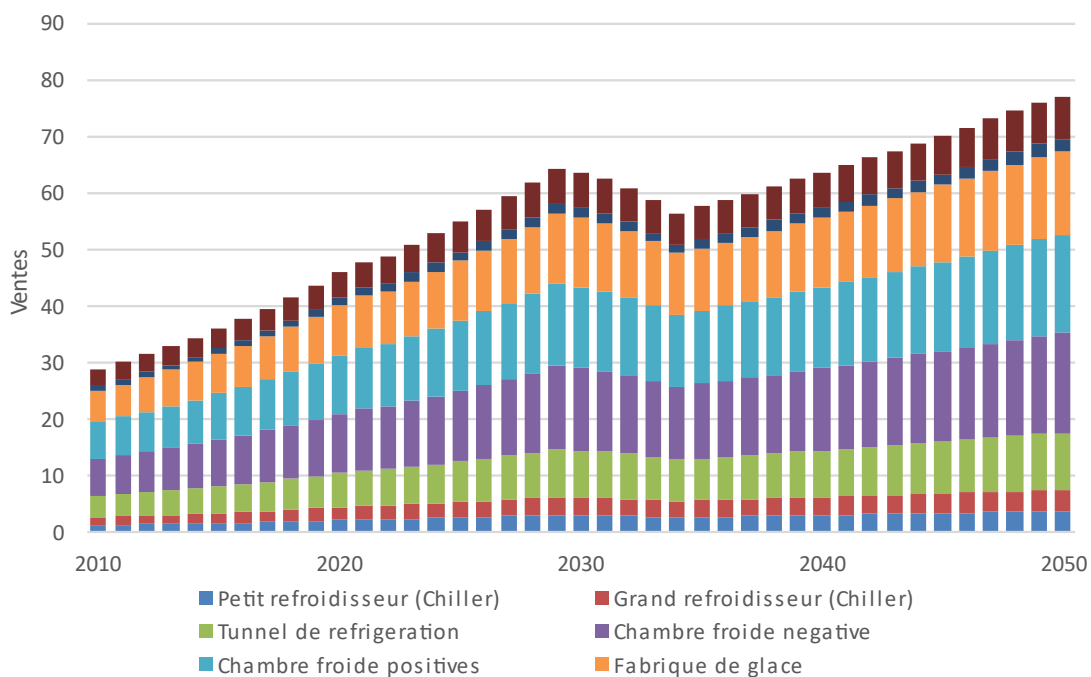


Figure 39: Évolution des ventes des installations industrielles entre 2010 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

5.2 Demande d'énergie

La demande d'énergie des installations industrielles est estimée sur la base de leur nombre, leur temps de fonctionnement, (Tableau 20), de la capacité de refroidissement moyenne et de l'EER (comme décrit dans l'évaluation du marché, chapitre 2.4) et d'hypothèses sur les heures de fonctionnement.

Les heures de fonctionnement diffèrent selon les applications, car par exemple, la congélation par choc n'est utilisée que pendant les heures de fonctionnement, alors qu'une chambre froide est nécessaire 24 heures sur 24. En outre, le temps de fonctionnement du compresseur n'est pas nécessairement équivalent aux heures d'exploitation, car le compresseur s'arrête généralement lorsqu'une température définie est atteinte et se rallume si la température augmente au-delà d'une certaine plage de température.

Tableau 20: Heures de fonctionnement et consommation énergétique moyennes des installations.

| Type d'appareil | Heure de fonctionnement [Heure par année] | Temps fonctionnement compresseur [% du temps de fonctionnement - heures] | Moyenne de la consommation d'énergie [KWh/année] |
|------------------------------------|---|--|--|
| Petit refroidisseur (Chiller) | 2080 (8 heures/semaine) | 50% | 43 100 |
| Grand refroidisseur (Chiller) | 2080 | 50% | 267 800 |
| Tunnel de réfrigération | 2080 | 100% | 97 700 |
| Chambre froide négative | 8760 | 75% | 252 200 |
| Chambre froide positives | 8760 | 50% | 81 900 |
| Fabrique de glace | 1040 (4 heures/semaine) | 100% | 65 700 |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | 2080 | 50% | 17 800 |
| Armoire de clim | 8760 | 50% | 57 200 |

La demande énergétique des différents installations, est illustrée dans la Figure 40 ci-dessous. Dans le sous-secteur de la réfrigération industrielle, les chambres froides négatives ont la part la plus élevée, suivies des chambres froides positives.

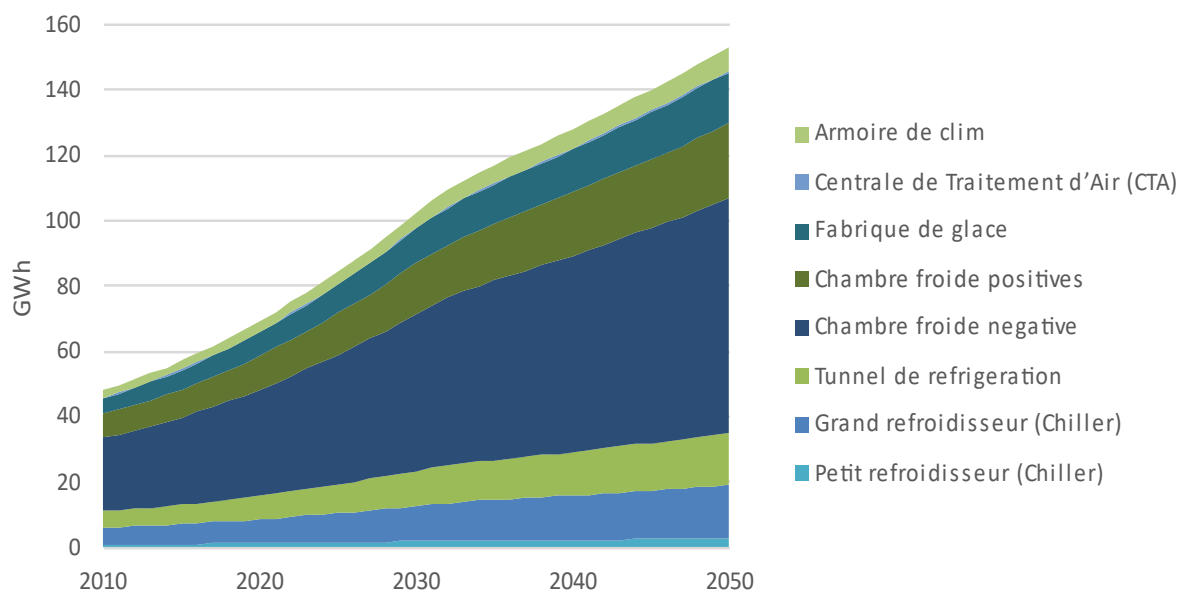


Figure 40: Consommation d'électricité dans le secteur RAC industriel étudié au Sénégal 2010-2050 (Source : Analyse HEAT).

L'efficacité énergétique des nouveaux équipements est supposée n'augmenter que faiblement dans un scénario de statu quo (3% sur 10 ans).

Le scénario d'atténuation (Figure 41) montre l'effet d'une augmentation de l'efficacité énergétique des nouveaux équipements de 9% en 2025 par rapport à 2022, de 16% en 2030, de 19% en 2035 et de 23% en 2040 et au-delà. Comme la durée de vie des équipements est longue, l'effet sur la consommation d'énergie du parc est plus lent, avec une diminution de seulement 11 % en 2050. Il s'agit d'un argument fort pour agir le plus tôt possible afin d'éviter l'immobilisation prolongée d'équipements inefficaces.

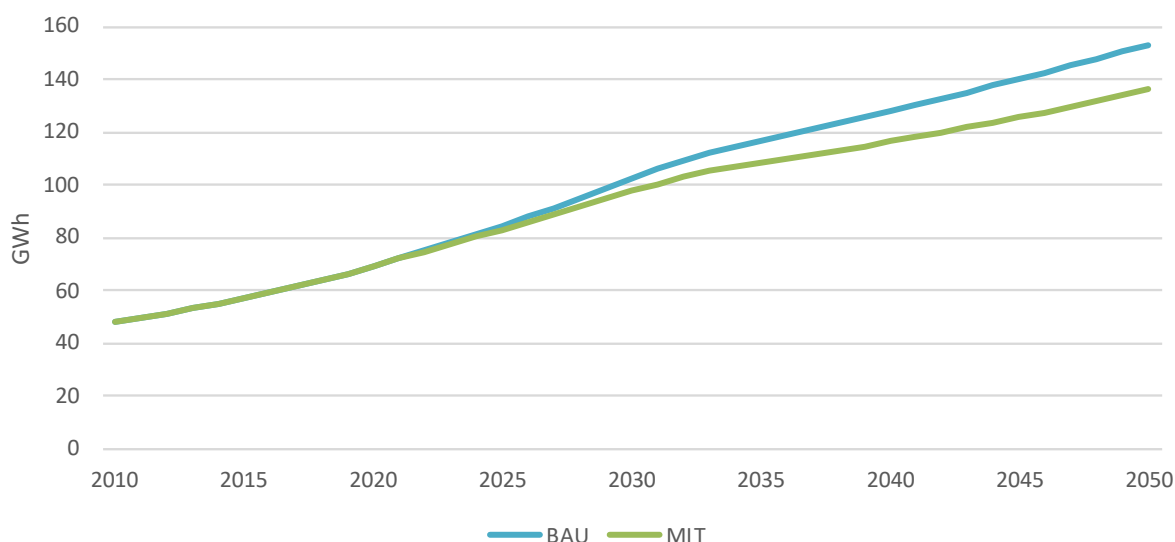


Figure 41: Consommation d'énergie prévue dans le secteur RAC industriel dans le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT). (Source : Analyse HEAT)

Tableau 21: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées.

| Scénario du statu quo | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|------|------|------|---|------|------|------|
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | 69 | 103 | 128 | 153 | 45 | 67 | 84 | 100 |
| Scénario de mitigation | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | 69 | 98 | 117 | 136 | 45 | 64 | 76 | 89 |
| Économie | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | 0 | 5 | 12 | 17 | 0 | 3 | 8 | 11 |
| Économies cumulées | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | | 20 | 108 | 256 | | 13 | 71 | 168 |

5.3 Émissions directes et leur potentiel de mitigation

Comme les installations du froid industriel ont souvent de grandes capacités de refroidissement, elles contiennent également de grandes quantités de réfrigérants. En raison de taux de fuite relativement élevés, pouvant atteindre 27 % (voir Tableau 4), les émissions de réfrigérants sont importantes. Les centrales de traitement d'air se sont avérées avoir le facteur de fuite de réfrigérant le plus élevé, ce qui est également visible sur la Figure 42.

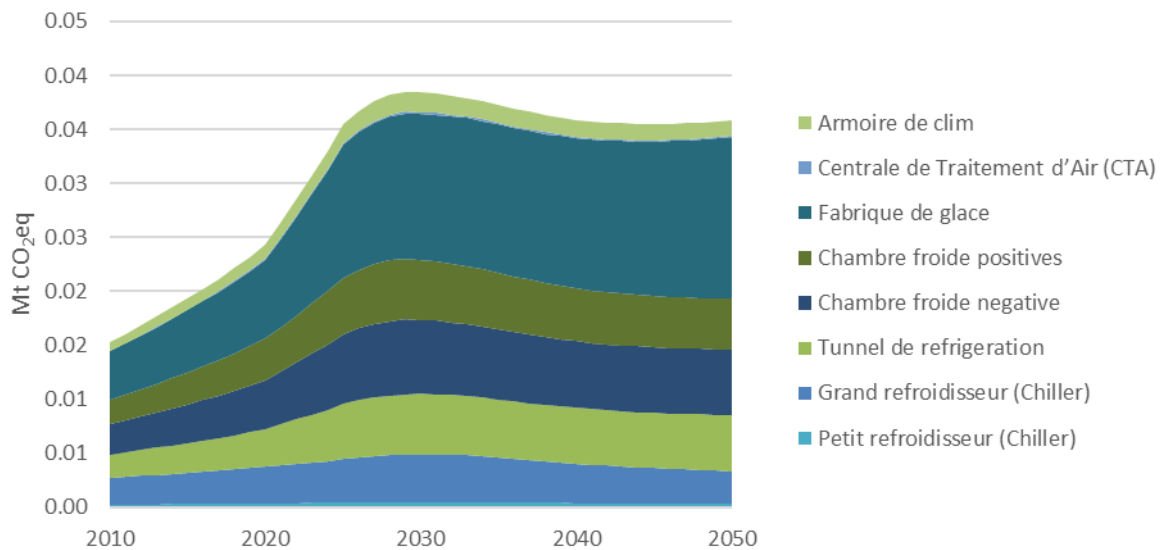


Figure 42 : Emissions directes par sous-secteur de la réfrigération industrielle.

L'abandon du HFC R404A à haut PRG, qui est le plus utilisé, peut réduire efficacement les émissions. L'effet de l'amendement de Kigali sur le choix des réfrigérants est estimé et fait partie du scénario BAU. Celui-ci prévoit une transition lente du R404A (PRG = 4728) vers une utilisation accrue du HFC R134a (PRG = 1520) et de l'ammoniac (PRG=0).

Le scénario d'atténuation montre l'effet d'un passage complet aux réfrigérants naturels à faible PRG (principalement l'ammoniac) d'ici 2030. En raison de la longue durée de vie des équipements, la réduction prononcée des émissions intervient avec un décalage de 25 ans comme le montre la Figure 43 ci-dessous.

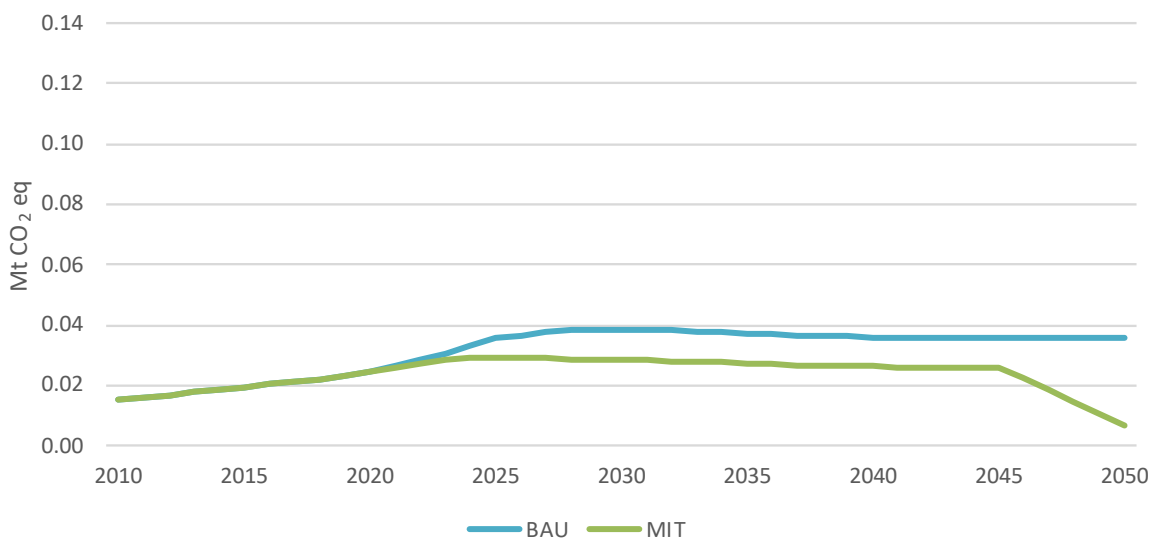


Figure 43: Emissions directes du secteur de la réfrigération industrielle dans les scénarios BAU et MIT.

Tableau 22: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées.

| Scénario du statu quo | | | | | | | | |
|----------------------------|--|------|------|------|---|------|------|------|
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | 24 | 38 | 36 | 36 | 70 | 106 | 120 | 136 |
| Scénario de mitigation | | | | | | | | |
| | Émissions directes (kt CO ₂ eq) | | | | Émissions totales (kt CO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | 24 | 28 | 26 | 7 | 70 | 92 | 103 | 96 |
| Économie | | | | | | | | |
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | 0 | 10 | 10 | 29 | 0 | 13 | 17 | 40 |
| Économies cumulées | | | | | | | | |
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 |
| Réfrigération industrielle | | 60 | 160 | 314 | | 74 | 231 | 482 |

5.4 Conclusions – Secteur RAC industriel

Les applications industrielles devraient être de plus en plus nombreuses d'ici 2050 et leurs émissions augmente significativement dans le scénario BAU comme le montre la Figure 44.

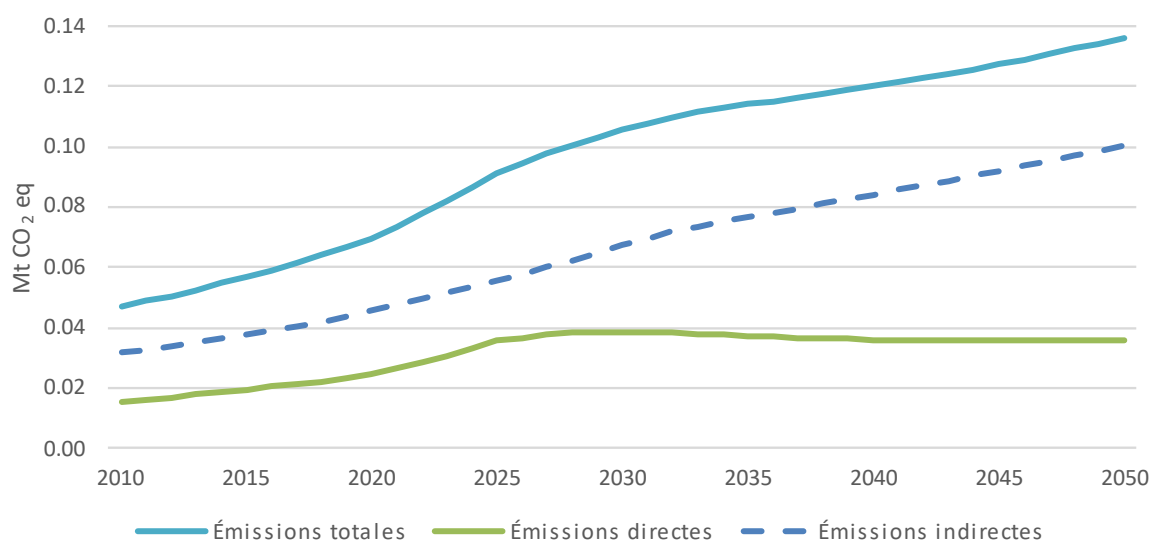


Figure 44 : Émissions potentielles dans un scénario de BAU pour le secteur RAC industriel au Sénégal (Source : Analyse HEAT).

Il est possible de réduire les émissions en améliorant l'efficacité énergétique et en passant à des réfrigérants à faible PRG. La réduction globale dans le domaine de la réfrigération industrielle est estimée à 12 % en 2030 et à 30 % en 2050 (Figure 45).

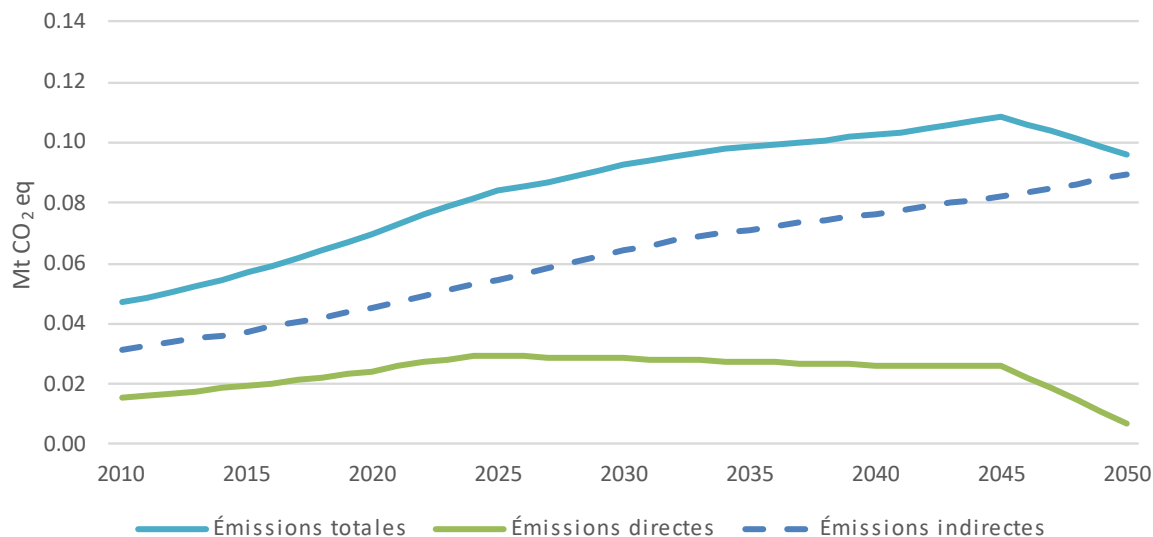


Figure 45 : Émissions potentielles dans un scénario de mitigation pour le secteur RAC industriel au Sénégal (Source : Analyse HEAT).

La Figure 46 compare les émissions totales (direct et indirect), dans le secteur RAC industriel, du scénario BAU versus le scénario de mitigation (MIT).

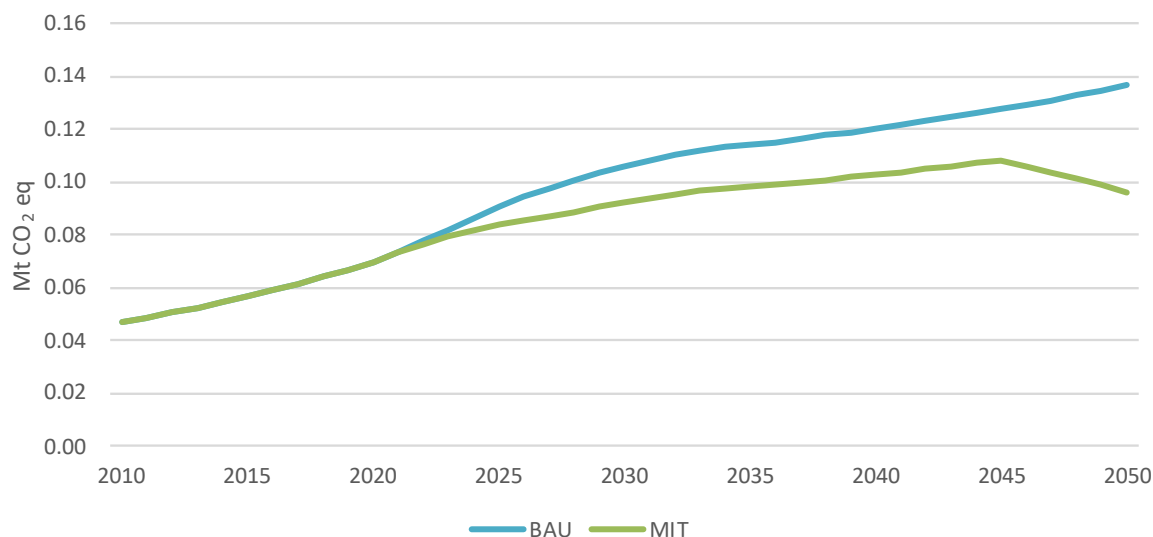


Figure 46: Émissions totales du secteur de la réfrigération industrielle dans les scénarios BAU et MIT (Source: Analyses HEAT).

PROJECTIONS DES EMISSIONS TOTALES – SECTEURS DOMESTIQUE ET INDUSTRIEL

La projection globale des émissions des sous-secteurs étudiés (Figure 47) est dominée par la croissance exponentielle attendue des climatiseurs split utilisés. Compte tenu de l'hypothèse, plutôt conservatrice, selon laquelle 33% des ménages au Sénégal posséderont un climatiseur en 2050, il est impératif de prendre des mesures dès maintenant pour réduire l'impact sur les émissions du secteur de la climatisation. En dehors des mesures proposées dans ce rapport visant la consommation d'énergie (émissions indirect) et les émissions de réfrigérants (émissions direct), des stratégies à long terme, telles que l'urbanisme durable et la conception de bâtiments écologiques, peuvent réduire la charge thermique des bâtiments en premier lieu, et par conséquent leurs demandes énergétique.

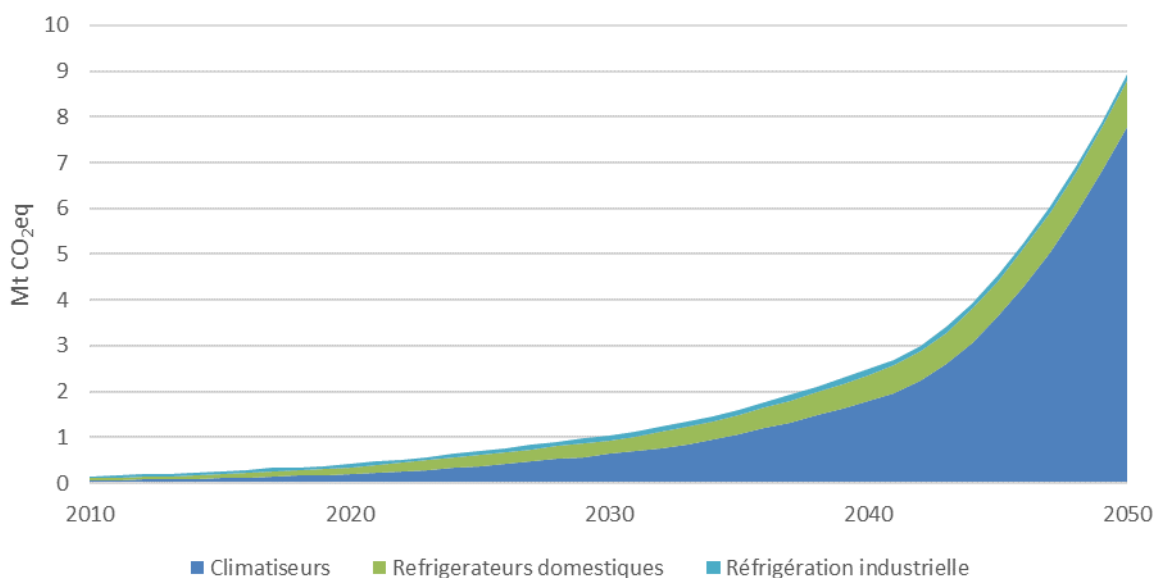


Figure 47: Emissions totales des sous-secteurs étudiés sur la période 2010-2050.

Si l'on regarde de plus près la décennie actuelle (2020 – 2030), on constate que les émissions liées à l'utilisation de la climatisation split représentent environ 50 % des émissions totales dans les sous-secteurs étudiés comme le montre la Figure 48.

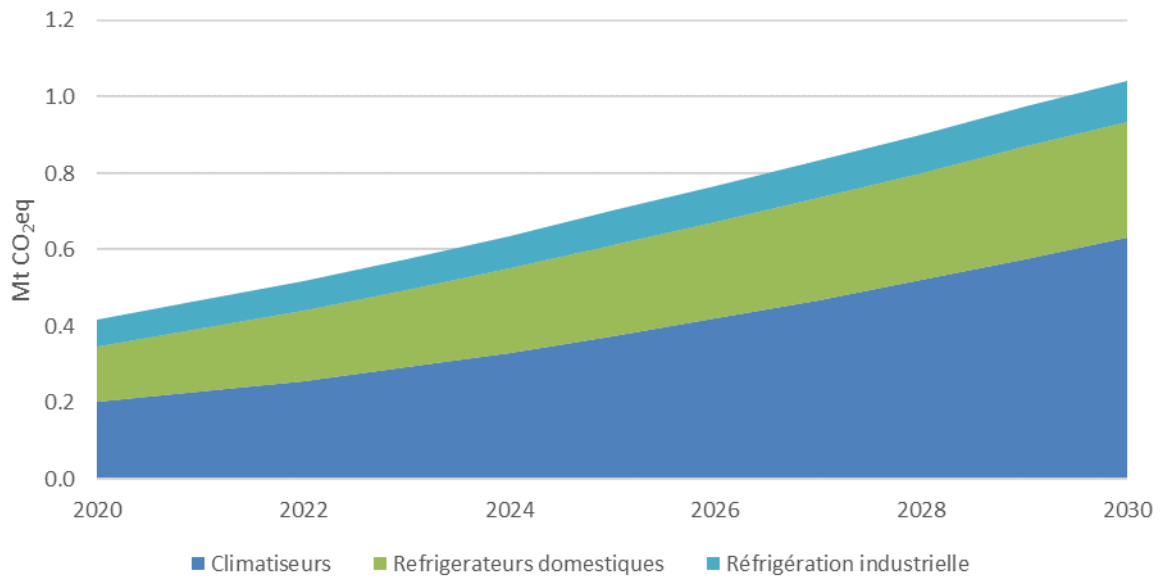


Figure 48 : Emissions totales des sous-secteurs étudiés sur la période 2020-2030.

Avec les mesures proposées, il est possible de réduire d'environ 50 % les émissions de référence d'ici à 2050 (Figure 49). A noter que l'augmentation de la part des énergies renouvelables, dans le mix énergétique au Sénégal, se traduira par une baisse du facteur d'émission du réseau entraînant une réduction des émissions indirectes du pays.

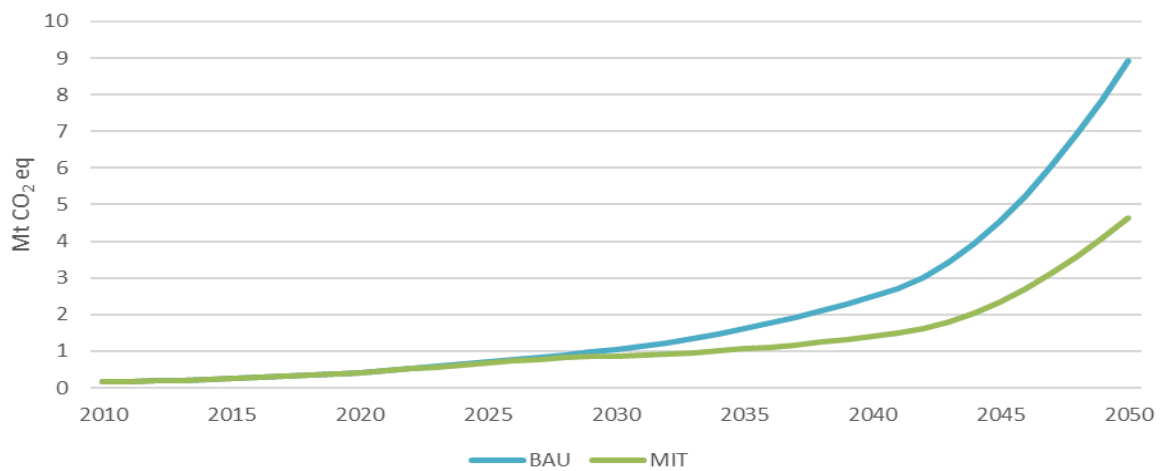


Figure 49 : Emissions totales des sous-secteurs étudiés (domestique et industriel) dans les scénarios BAU et MIT.

Tableau 23: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées.

| Scénario du statu quo | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-------|-------|--------|---|------|-------|--------|
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | 471 | 1,272 | 3,280 | 12,972 | 309 | 835 | 2,152 | 8,510 |
| Scénario de mitigation | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | 471 | 1,070 | 1,946 | 7,069 | 309 | 702 | 1,276 | 4,637 |
| Économie | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | 0 | 202 | 1,335 | 5,904 | 0 | 133 | 876 | 3,873 |
| Économies cumulées | | | | | | | | |
| | Demande d'électricité (GWh) | | | | Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | | 568 | 7,979 | 41,072 | | 373 | 5,234 | 26,943 |

Tableau 24: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour la réfrigération industrielle au Sénégal et les économies associées.

| Scénario du statu quo | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|------|-------|-------|---|-------|-------|--------|
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | 109 | 206 | 335 | 415 | 418 | 1,041 | 2,487 | 8,925 |
| Scénario de mitigation | | | | | | | | |
| | Émissions directes (kt CO ₂ eq) | | | | Émissions totales (kt CO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | 109 | 169 | 120 | 9 | 418 | 871 | 1,396 | 4,646 |
| Économie | | | | | | | | |
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | 0 | 37 | 216 | 406 | 0 | 170 | 1,091 | 4,279 |
| Économies cumulées | | | | | | | | |
| | Émissions directes (ktCO ₂ eq) | | | | Émissions totales (ktCO ₂ eq) | | | |
| Année | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 | Jusqu'au | 2030 | 2040 | 2050 |
| Les trois sous-secteurs évalués | | 122 | 1,468 | 4,904 | | 495 | 6,702 | 31,848 |

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans le chapitre précédent, il a été clair que les sous-secteur RAC influençant le plus la demande énergétique et les émissions des GES au Sénégal sont la climatisation et la réfrigération domestique. L'importance de ces deux sous-secteurs ne fera que s'amplifier d'ici 2050. C'est pour cette raison qu'il y a urgence de prendre les mesures nécessaires pour limiter et réduire leur impact climatique.

Comme le Sénégal n'a pas de système de SMPE obligatoire en place, les appareils utilisés ont des performances énergétiques inférieures à celles des bonnes pratiques internationales et des pays en développement les plus avancés. De même, il n'y a pas de système d'étiquetage énergétique uniforme et obligatoire établi et les utilisateurs finaux manquent de directives claires sur les appareils économes en énergie. Les importateurs et les revendeurs sont peu incités à mettre sur le marché des appareils plus économes en énergie, car les utilisateurs finaux non informés ont tendance à acheter les appareils dont les coûts initiaux sont les plus bas.

Les points suivants fournissent une liste de recommandations pour la mise en œuvre effective d'un système de SMPE, d'étiquetage et de surveillance du marché :

1. Adoption de normes obligatoires d'essais de sécurité et d'énergie comme décrit dans les sections 3.1.2 et 3.2.2 de ce rapport. Ces normes sont très avancées par rapport aux normes précédentes et sont adoptées rapidement par un nombre croissant de pays et de fabricants.
2. Adoption d'un niveau SMPE obligatoire.
3. Adoption d'un système d'étiquetage énergétique obligatoire.
4. Adoption d'un calendrier d'introduction et de mise à niveau des SMPE et des étiquettes énergétique.
5. Identifier l'agence Sénégalaise officielle qui aurait la charge de la certification des équipements RAC et la surveillance du marché.
6. Il est recommandé de développer une base de données centrale sur les équipements se trouvant sur le marché sénégalais, avec des informations partagées entre les institutions et les parties prenantes concernées sur les données clés des appareils approuvés (y compris les données de performance pertinentes, l'étiquette, le réfrigérant, les ventes annuelles, etc.). À partir de cette base de données, des informations pertinentes doivent également être mises à la disposition du public, par exemple des informations comparatives sur les prix initiaux et le CCV des appareils via un portail Internet central ou des applications mobiles.
7. Il est recommandé d'établir un système national de certification pour les techniciens du froid.
8. Il est recommandé de contrôler (voir d'interdire) l'entrée sur le territoire sénégalais des appareils de second main (majoritairement énergivore), et cela pour réduire la durée de vie des équipements inefficients.

RÉFÉRENCES

- GIZ. (2022). Rapport d'inventaire des RAC en Secteur Industriel au Sénégal.
- IPCC. (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.*
- U4E et BASE. (2020). Etude de Marche des Réfrigérateurs et des Climatiseurs Pour La Faisabilité du Projet Ecofridges au Senegal: Rapport Final.
- U4E. (2021). *Model Regulation Guidelines Energy-Efficient and Climate-Friendly Commercial Refrigeration Equipment.*
- U4E. (2019a). *Model Regulation Guidelines for Energy-Efficient and Climate-Friendly Refrigerating Appliances - United for Efficiency.*
- U4E. (2019b). *Model Regulation Guidelines, Supporting Information, Energy-Efficient and Climate-Friendly Air Conditioners.*

Ressources en ligne (date de consultation entre février et avril 2023)

RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) No 1060/2010 DE LA COMMISSION du 28 septembre 2010 : Complétant la directive 2010/30/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'indication, par voie d'étiquetage, de la consommation d'énergie des appareils de réfrigération ménagers

http://data.europa.eu/eli/reg_del/2010/1060/oj

Alliance Mondiale Contre le Changement Climatique - UNFCCC

<https://gcca.eu/>

Lignes directrices du GIEC

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Lien vers la base de données de l'IFI

https://newsroom.unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_IFI_Default_Grid_Factors_2021_v3.2_0.xlsx

Croissance du PIB (% annuel) Sénégal – World Bank

<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?end=2021&locations=SN&start=1961&view=chart>

Senegal's energy shift: from heavy fuels to Renewables and Natural Gas - FurtherAfrica

<https://furtherafrica.com/2021/07/26/senegals-energy-shift-from-heavy-fuels-to-renewables-and-natural-gas/>

Senegal electricity generation by technology in the Stated Policies Scenario, 2010-2040 – Charts – Data & Statistics - IEA

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/senegal-electricity-generation-by-technology-in-the-stated-policies-scenario-2010-2040>

[World Population – Population Sénégal](#)

<https://worldpopulationreview.com/countries/senegal-population>

ANNEXE

HYPOTHESES DU MODELE

| | Type d'appareil | Charge de fluide frigorigène [kg] | Durée de vie | Capacité de refroidissement [kW] |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------------------------|
| 1 | CA unitaire à vitesse fixe ≤ 4.5kW | 0,875 | 15 | 3,5 |
| 2 | CA unitaire à vitesse fixe > 4.5kW | 1,75 | 15 | 7 |
| 3 | Type d'onduleur CA unitaire ≤ 4.5kW | 0,875 | 15 | 3,5 |
| 4 | Type d'onduleur CA unitaire > 4.5kW | 1,75 | 15 | 7 |
| 12 | Réfrigération domestique | 0,95 | 20 | 0,2 |
| 8 | Petit refroidisseur (Chiller) | 24 | 25 | 70 |
| 9 | Grand refroidisseur (Chiller) | 357 | 25 | 376 |
| 13 | Tunnel de réfrigération | 90 | 25 | 54 |
| 14 | Chambre froide négative | 53 | 25 | 43 |
| 15 | Chambre froide positives | 33 | 25 | 20 |
| 16 | Fabrique de glace | 232 | 25 | 91 |
| 17 | Centrale de Traitement d'Air (CTA) | 14 | 25 | 34 |
| 18 | Armoire de clim | 21 | 25 | 26 |

STOCK

| Type d'appareil | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CA unitaire à vitesse fixe ≤ 4.5kW | 10 044 | 18 062 | 30 071 | 46 174 | 51 573 | 44 518 | 27 165 | 12 280 | 3 349 |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4.5kW | 4 103 | 7 381 | 12 294 | 18 883 | 21 095 | 18 212 | 11 113 | 5 024 | 1 370 |
| Type d'onduleur CA unitaire ≤ 4.5kW | 852 | 3 555 | 10 653 | 33 186 | 93 132 | 225 032 | 471 126 | 1 095 936 | 2 494 419 |
| Type d'onduleur CA unitaire > 4.5kW | 347 | 1 448 | 4 340 | 13 532 | 38 015 | 91 898 | 192 427 | 447 636 | 1 018 847 |
| Réfrigération domestique | 201 359 | 391 942 | 629 545 | 1 095 522 | 1 631 461 | 2 363 732 | 3 293 952 | 4 455 349 | 5 864 885 |
| Petit refroidisseur (Chiller) | 19 | 23 | 28 | 34 | 41 | 47 | 52 | 57 | 63 |
| Grand refroidisseur (Chiller) | 19 | 23 | 28 | 34 | 41 | 47 | 52 | 57 | 63 |
| Tunnel de réfrigération | 51 | 61 | 74 | 90 | 109 | 126 | 139 | 153 | 169 |
| Chambre froide négative | 90 | 106 | 129 | 157 | 192 | 220 | 243 | 268 | 296 |
| Chambre froide positives | 88 | 105 | 127 | 155 | 188 | 216 | 239 | 263 | 291 |
| Fabrique de glace | 75 | 89 | 108 | 132 | 161 | 185 | 204 | 225 | 248 |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | 11 | 13 | 16 | 20 | 24 | 27 | 30 | 34 | 37 |

VENTES

| Type d'appareil | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|--------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| CA unitaire à vitesse fixe <= 4.5kW | 1 561 | 2 615 | 4 329 | 3 473 | 2 233 | 1 116 | 0 | 0 | 0 |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4.5kW | 638 | 1 069 | 1 771 | 1 421 | 913 | 457 | 0 | 0 | 0 |
| Type d'onduleur CA unitaire <= 4.5kW | 345 | 975 | 2 458 | 9 267 | 17 425 | 43 450 | 69 476 | 239 516 | 409 556 |
| Type d'onduleur CA unitaire > 4.5kW | 141 | 397 | 1 001 | 3 783 | 7 117 | 17 747 | 28 377 | 97 830 | 167 283 |
| Réfrigération domestique | 37 635 | 80 299 | 125 785 | 156 131 | 213 711 | 287 363 | 377 383 | 485 855 | 583 624 |
| Petit refroidisseur (Chiller) | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Grand refroidisseur (Chiller) | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Tunnel de réfrigération | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 | 10 |
| Chambre froide négative | 7 | 8 | 11 | 13 | 15 | 13 | 15 | 16 | 18 |
| Chambre froide positives | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 13 | 14 | 16 | 17 |
| Fabrique de glace | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 11 | 12 | 14 | 15 |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

CLASSES D'EFFICACITE ENERGETIQUE

| Type d'appareil | EER Class | EER | CSPF | EC |
|--------------------------------------|-----------|------|-------|------|
| CA unitaire à vitesse fixe <= 4.5kW | 1 | 2,6, | 2,3, | 4260 |
| | 2 | 3,3, | 2,9, | 3350 |
| | 3 | 3,8, | 3,4, | 2910 |
| | 4 | 4,7, | 4,2 | 2350 |
| | 5 | 5,5, | 4,9 | 2010 |
| | 6 | 6,3, | 5,6, | 1760 |
| | 7 | 6,9, | 6,1, | 1630 |
| | 8 | 7,4, | 6,6, | 1500 |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4.5kW | 1 | 2,6, | 2,3, | 8510 |
| | 2 | 3,3, | 2,9, | 6710 |
| | 3 | 3,7, | 3,3, | 5980 |
| | 4 | 4,3, | 3,8, | 5150 |
| | 5 | 4,9, | 4,4, | 4520 |
| | 6 | 5,8 | 5,2, | 3820 |
| | 7 | 6,5, | 5,8 | 3410 |
| | 8 | 6,6, | 5,9, | 3350 |
| Type d'onduleur CA unitaire <= 4.5kW | 1 | 2,2, | 2,3, | 3620 |
| | 2 | 2,8, | 2,90, | 2850 |
| | 3 | 3,2, | 3,4, | 2470 |
| | 4 | 4,0, | 4,2 | 2000 |
| | 5 | 4,7, | 4,9 | 1710 |
| | 6 | 5,4, | 5,6, | 1500 |
| | 7 | 5,8, | 6,1, | 1390 |
| | 8 | 6,3, | 6,6, | 1280 |

| | | | | |
|-------------------------------------|----|----------|------|--------|
| Type d'onduleur CA unitaire > 4.5kW | 1 | 2,2, | 2,3, | 7240 |
| | 2 | 2,8, | 2,9, | 5710 |
| | 3 | 3,2 | 3,3, | 5090 |
| | 4 | 3,6, | 3,8, | 4380 |
| | 5 | 4,2, | 4,4, | 3840 |
| | 6 | 5,0, | 5,2, | 3250 |
| | 7 | 5,5, | 5,8 | 2900 |
| | 8 | 5,6, | 5,9, | 2850 |
| | | Valeur R | AV | EC |
| Réfrigération domestique | 1 | 0,76, | 306 | 354 |
| | 2 | 0,92, | 306 | 339 |
| | 3 | 1,10, | 306 | 251 |
| | 4 | 1,35, | 306 | 163 |
| | 5 | 1,83, | 306 | 148 |
| | | EER | | EC |
| Petit refroidisseur (Chiller) | 3 | 1.69 | 0 | 43077 |
| | 4 | 1.74 | 0 | 41822 |
| | 5 | 1.79 | 0 | 40604 |
| | 6 | 1.85 | 0 | 39421 |
| | 7 | 1.90 | 0 | 38273 |
| | 8 | 1.96 | 0 | 37159 |
| | 9 | 2.02 | 0 | 36076 |
| | 10 | 2.08 | 0 | 35025 |
| Grand refroidisseur (Chiller) | 3 | 1.46 | 0 | 267836 |
| | 4 | 1.50 | 0 | 260035 |
| | 5 | 1.55 | 0 | 252461 |
| | 6 | 1.60 | 0 | 245108 |
| | 7 | 1.64 | 0 | 237968 |
| | 8 | 1.69 | 0 | 231037 |
| | 9 | 1.74 | 0 | 224308 |
| | 10 | 1.80 | 0 | 217775 |
| Tunnel de réfrigération | 3 | 1.15 | 0 | 97670 |
| | 4 | 1.18 | 0 | 94825 |
| | 5 | 1.22 | 0 | 92063 |
| | 6 | 1.26 | 0 | 89381 |
| | 7 | 1.29 | 0 | 86778 |
| | 8 | 1.33 | 1 | 84251 |
| | 9 | 1.37 | 2 | 81797 |
| | 10 | 1.41 | 3 | 79414 |
| Chambre froide négative | 3 | 1.12 | 0 | 252241 |
| | 4 | 1.15 | 0 | 244894 |
| | 5 | 1.19 | 0 | 237761 |
| | 6 | 1.22 | 0 | 230836 |
| | 7 | 1.26 | 0 | 224113 |
| | 8 | 1.30 | 1 | 217585 |

| | | | | |
|------------------------------------|-------------------|------|------|--------|
| | 9 | 1.34 | 2 | 211248 |
| | 10 | 1.38 | 3 | 205095 |
| Chambre froide positives | 3 | 1.07 | 0 | 81869 |
| | 4 | 1.10 | 0 | 79485 |
| | 5 | 1.14 | 0 | 77170 |
| | 6 | 1.17 | 0 | 74922 |
| | 7 | 1.20 | 0 | 72740 |
| | 8 | 1.24 | 1 | 70621 |
| | 9 | 1.28 | 2 | 68564 |
| | 10 | 1.32 | 3 | 66567 |
| | Fabrique de glace | 3 | 1.44 | 0 |
| 4 | | 1.48 | 0 | 63808 |
| 5 | | 1.53 | 0 | 61949 |
| 6 | | 1.57 | 0 | 60145 |
| 7 | | 1.62 | 0 | 58393 |
| 8 | | 1.67 | 1 | 56693 |
| 9 | | 1.72 | 2 | 55041 |
| 10 | | 1.77 | 3 | 53438 |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | 3 | 1.99 | 0 | 17769 |
| | 4 | 2.05 | 0 | 17251 |
| | 5 | 2.11 | 0 | 16749 |
| | 6 | 2.17 | 0 | 16261 |
| | 7 | 2.24 | 0 | 15787 |
| | 8 | 2.31 | 1 | 15328 |
| | 9 | 2.38 | 2 | 14881 |
| | 10 | 2.45 | 3 | 14448 |
| Armoire de clim | 3 | 1.99 | 0 | 57226 |
| | 4 | 2.05 | 0 | 55559 |
| | 5 | 2.11 | 0 | 53941 |
| | 6 | 2.17 | 0 | 52370 |
| | 7 | 2.24 | 0 | 50845 |
| | 8 | 2.31 | 1 | 49364 |
| | 9 | 2.38 | 2 | 47926 |
| | 10 | 2.45 | 3 | 46530 |

DISTRIBUTION DES CLASSES D'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES VENTES POUR LE SCENARIO BAU ET LE SCENARIO MIT

| Répartition de la classe EE dans les ventes | | BAU | | | | MIT | | | |
|---|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Sous-secteur | Classe E | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 1 | 28% | 28% | 28% | 28% | 28% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 2 | 56% | 56% | 56% | 56% | 56% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 3 | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 0% | 0% | 0% |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 4 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 6 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW | 7 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 1 | 55% | 55% | 55% | 55% | 55% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 2 | 37% | 37% | 37% | 37% | 37% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 3 | 8% | 8% | 8% | 8% | 8% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 4 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 6 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | 7 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 2 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 3 | 48% | 48% | 48% | 48% | 48% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 4 | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 6 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | 7 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 2 | 29% | 29% | 29% | 29% | 29% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 3 | 71% | 71% | 71% | 71% | 71% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 4 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 6 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | 7 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Réfrigération domestique | 1 | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 0% | 0% | 0% |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|----|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
| Réfrigération domestique | 2 | 17% | 17% | 17% | 17% | 17% | 0% | 0% | 0% |
| Réfrigération domestique | 3 | 52% | 52% | 52% | 52% | 52% | 0% | 0% | 0% |
| Réfrigération domestique | 4 | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 50% | 50% | 50% |
| Réfrigération domestique | 5 | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 50% | 50% | 50% |
| Réfrigération industrielle | 3 | 100% | 50% | | | | | | |
| Réfrigération industrielle | 4 | | 50% | 50% | | | | | |
| Réfrigération industrielle | 5 | | | 50% | 50% | | | | |
| Réfrigération industrielle | 6 | | | | 50% | 100% | | | |
| Réfrigération industrielle | 7 | | | | | | | | |
| Réfrigération industrielle | 8 | | | | | | 100% | | |
| Réfrigération industrielle | 9 | | | | | | | | |
| Réfrigération industrielle | 10 | | | | | | | 100% | |

DISTRIBUTION DES REFRIGERANTS DANS LES VENTES POUR LE SCENARIO BAU ET LE SCENARIO MIT

| Distribution des fluides frigorigènes dans les ventes | | BAU | | | | MIT | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Sous-secteur | Réfrigérant | | | | | | | | |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4,5 kW | R22 | 48% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4,5 kW | R290 | 0% | 0% | 50% | 90% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4,5 kW | R410A | 52% | 50% | 0% | 0% | 74% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe <=4,5 kW | R32 | 0% | 50% | 50% | 10% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | R22 | 46% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | R290 | 0% | 0% | 50% | 90% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | R410A | 54% | 50% | 0% | 0% | 74% | 0% | 0% | 0% |
| CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW | R32 | 0% | 50% | 50% | 10% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4,5 kW | R22 | 14% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4,5 kW | R290 | 0% | 0% | 50% | 90% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| Type d'onduleur CA unitaire <=4,5 kW | R410A | 85% | 50% | 0% | 0% | 74% | 0% | 0% | 0% |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW | R32 | 1% | 50% | 50% | 10% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | R22 | 38% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | R290 | 0% | 0% | 50% | 90% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | R410A | 61% | 50% | 0% | 0% | 74% | 0% | 0% | 0% |
| Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW | R32 | 1% | 50% | 50% | 10% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Réfrigération domestique | R134a | 10% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Réfrigération domestique | R600a | 90% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Petit refroidisseur (Chiller) | R290 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% |
| Petit refroidisseur (Chiller) | R410A | 100.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Petit refroidisseur (Chiller) | R717 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% |
| Petit refroidisseur (Chiller) | HFO 1234yf | 0.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Grand refroidisseur (Chiller) | R134a | 95.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Grand refroidisseur (Chiller) | R410A | 5.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Grand refroidisseur (Chiller) | R717 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Grand refroidisseur (Chiller) | HFO 1234yf | 0.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Tunnel de réfrigération | R134a | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Tunnel de réfrigération | R290 | 5.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Tunnel de réfrigération | R404A | 95.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Tunnel de réfrigération | R717 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Chambre froide négative | R134a | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Chambre froide négative | R290 | 5.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Chambre froide négative | R404A | 95.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Chambre froide négative | R717 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Chambre froide positives | R134a | 3.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Chambre froide positives | R404A | 64.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Chambre froide positives | R717 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Chambre froide positives | R507 | 33.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Fabrique de glace | R134a | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Fabrique de glace | R404A | 93.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Fabrique de glace | R717 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Fabrique de glace | R507 | 7.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |

| | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | R134a | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | R404A | 33.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Centrale de Traitement d'Air (CTA) | R407C | 67.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Air handling unit | R717 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Armoire de clim | R134a | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Armoire de clim | R404A | 83.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Armoire de clim | R407C | 17.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Armoire de clim | R717 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 50.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |

Stratégie nationale en matière d'efficacité énergétique pour la climatisation et la réfrigération domestique et industrielle au Sénégal



Cofinancé par
l'Union européenne



Publié par la

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ce document a été élaboré par le projet **ROCA**
Refroidissement respectueux de l'Ozone et du
Climat en Afrique de l'Ouest et Centrale

<https://www.green-cooling-initiative.org/about-us/our-projects/roca>

Août 2024