



Cofinancé par
l'Union européenne



coopération
allemande
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT



STRATÉGIE NATIONALE EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE POUR LES CLIMATISEURS ET RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES AU MALI

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

Publié par la

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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, Antoine Azar (HEAT GmbH)

Responsables :

Bernhard Siegele (responsable du mandat),
Nils Hansen (responsable de la mise en œuvre) (GIZ Proklima), Eschborn

Conception/Maquette : Groupe ARC EN CIEL

Agence agréée en Communication suivant l'arrêté ministériel
N°2020-0867/MC-SG du 10 mars 2020
Site web : www.groupearcenciel.com
Email : contact@groupearcenciel.com
Contacts : (+223) 74 67 67 17 – 66 67 76 18
Bamako – République du Mali

Crédits photos : Groupe ARC EN CIEL

Photo page de garde :

https://www.freepik.es/foto-gratis/edificio-apartamentos-muchas-ventanas-aires-acondicionados_8024256.htm

Sur mandat de l'Union Européenne (UE) et du Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ). BMZ : Referat 424

« Umweltpolitik, Biodiversität, Wald, Meeresschutz »

En coopération avec la Direction Nationale de l'Assainissement du Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN) du Ministère de l'Environnement, de l'Assainissement et du Développement Durable (MEADD)

Personne contact auprès du commettant : Oumar Touré (GIZ Proklima), Bamako

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 la DNACPN 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

1	RÉSUMÉ EXÉCUTIF.....	8
2	ÉVALUATION DE L'ENQUÊTE SUR LES SOUS-SECTEURS	11
2.1	Enquête sur l'inventaire des sous-secteurs concernés.....	11
2.1.1	Processus de collecte des données.....	11
2.1.2	Méthodologie de l'enquête sur l'inventaire sectoriel	13
2.2	Réfrigérateurs domestiques.....	24
2.2.1	Évaluation du marché	24
2.2.2	Analyse du cycle de vie.....	27
2.3	Climatiseurs d'Air (CA) unitaires	28
2.3.1	Évaluation du marché	28
2.3.2	Analyse du cycle de vie.....	30
3	STANDARD MINIMALE DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE (SMPE) AU MALI POUR LES CLIMATISEURS UNITAIRES ET LES RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES	32
3.1	Réfrigérateurs domestiques.....	32
3.1.1	Paramètres U4E pour les réfrigérateurs domestiques	33
3.1.2	Norme d'essai pour la consommation annuelle d'énergie (AEC)	35
3.1.3	Niveaux des SMPE et étiquettes énergétiques	36
3.1.4	Exigences relatives aux réfrigérants et aux agents d'expansion de mousse.....	39
3.2	Climatiseurs.....	39
3.2.1	Portée.....	39
3.2.2	Normes et conditions d'essai.....	40
3.2.3	Niveaux des SMPE et étiquettes énergétiques pour les climatiseurs au Mali.....	41
3.2.4	Exigences en matière de réfrigérant	45
4	APERÇU ET PROJECTION DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ PROVENANT DES CLIMATISEURS ET DES RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES AU MALI.....	47
4.1	Scénarios d'émissions pour le Mali : Sous-secteur des réfrigérateurs.....	50
4.1.1	Projections des ventes et des stocks.....	51
4.1.2	Demande d'énergie.....	52
4.1.3	Émissions directes et leur potentiel de mitigation	53
4.1.4	Conclusion.....	54
4.2	Scénarios d'émissions pour le Mali : Sous-secteur des climatiseurs unitaires	55
4.2.1	Projections des ventes et des stocks.....	56
4.2.2	Demande d'énergie.....	58
4.2.3	Émissions directes et leur potentiel de mitigation	58
4.2.4	Conclusions.....	60
5	Conclusion et recommandations.....	62
5.1	Projections des émissions totales des deux sous-secteurs étudiés	62
5.2	Recommandations	
6	ANNEXE	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Évolution de la moyenne de la consommation, du volume et du prix des réfrigérateurs aux États-Unis	9
Figure 2 : Distribution de l'échantillonnage des climatiseurs d'Air (CA) par ville.....	12
Figure 3 : Distribution de l'échantillonnage des réfrigérateurs domestiques par ville.....	12
Figure 4 : Émissions incluses dans le champ d'application de ce projet (propre illustration).....	14
Figure 5 : Approche pour le calcul des émissions dues aux réfrigérants (propre illustration).....	18
Figure 6 : Approche pour le calcul des émissions énergétiques (propre illustration).....	21
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	25
Figure 8 : Distribution en volume des réfrigérateurs examinés au Mali	26
Figure 9 : Relation entre le volume ajusté (AV) des réfrigérateurs étudiés et la valeur R.....	27
Figure 10 : CCV pour les réfrigérateurs au Mali pour des volumes ajustés <300 l (gauche) et 300 à <500 l (droite).	28
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	29
Figure 12 : Efficacité en ISO CSPF estimée pour les CA à vitesse variable disponibles dans certaines économies, marque rouge ajoutée par l'auteur pour indiquer la moyenne du Mali pour les CA unitaires à vitesse variable.....	30
Figure 13 : CCV pour les climatiseurs unitaires au Mali pour les puissances frigorifiques inférieures à 4,5 kW (à gauche) et entre 4,5 et 9 kW (à droite).....	31
Figure 14 : Consommation énergétique annuelle maximale (AECMax) définie dans le règlement type U4E pour les trois différents types de réfrigérateurs.....	35
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.	37
Figure 16 : Comparaison internationale des normes SMPE : Consommation énergétique annuelle maximale en fonction du volume pour les appareils combinés (RéfrigérateurCongélateur).....	38
Figure 17 : Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement ≤ 4,5 kW (sur la base du CSPF estimé pour le groupe climatique 0A), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.....	42
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.	43
Figure 19 : Comparaison de certains systèmes de SMPE internationaux.....	45
Figure 20 : Projection de la demande d'électricité au Mali pour les deux secteurs étudiés dans le scénario BAU.	47
Figure 21 : Demande d'électricité projetée au Mali à partir des deux secteurs étudiés dans le scénario de mitigation.....	48

Figure 22 : Projection des émissions dues à la consommation d'énergie des deux applications étudiées au Mali pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT).....	48
Figure 23 : Projections des émissions directes dues à l'utilisation de réfrigérants pour les deux applications étudiées au Mali pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT).....	49
Figure 24 : Développement du parc de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050.....	52
Figure 25 : Ventes de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 telles que résultant du développement supposé.....	52
Figure 26 : Consommation d'électricité des réfrigérateurs domestiques au Mali entre 2015 et 2050	53
Figure 27 : Émissions projetées des réfrigérateurs dans le scénario BAU.....	53
Figure 28 : Réductions potentielles des émissions des réfrigérateurs.....	54
Figure 29 : Consommation d'énergie des réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE.....	55
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.....	55
Figure 31 : Développement du parc des CA unitaires entre 2020 et 2050	57
Figure 32 : Évolution des ventes des CA unitaires entre 2020 et 2050	57
Figure 33 : Consommation d'électricité des unités de climatisation unitaire au Mali 2020-2050	58
Figure 34 : Les émissions de GES des unités CA au Mali dans la période 2010-2050 en MtCO ₂ eq.....	59
Figure 35 : Émissions potentielles dans un scénario de mitigation pour les climatiseurs unitaires au Mali.	60
Figure 36 : Consommation d'énergie prévue pour les climatiseurs split dans le scénario BAU et le scénario SMPE.....	61
Figure 37 : Projection des émissions dues à l'utilisation de l'électricité des climatiseurs dans le scénario BAU et le scénario SMPE	61
Figure 38 : Projection des émissions directes et indirectes des climatiseurs et des réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario SMPE	62
Figure 39 : Consommation d'énergie prévue pour les climatiseurs split et les réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario SMPE.....	62

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquence des types de réfrigérateurs et volumes moyens des réfrigérateurs étudiés ayant une valeur de consommation énergétique	25
Tableau 2 : Coût moyen du cycle de vie [USD] des types de réfrigérateurs courants.	27
Tableau 3 : Capacité de refroidissement des unités de climatisation unitaires sur le marché malien	29
Tableau 4 : Équations de l'AEC _{Max} U4E pour les trois catégories de réfrigérateurs à une température ambiante de 32°C.	34
Tableau 5 : Types de compartiment et températures cibles selon la norme IEC 62552-1-2- 3:2015+AMD1:2020	34
Tableau 6 : Classification des appareils frigorifiques	36
Tableau 7 : Schéma d'étiquetage proposé pour les réfrigérateurs et les congélateurs	37
Tableau 8 : Calendrier proposé pour la mise en œuvre des SMPE et des étiquettes énergétique pour les réfrigérateurs et les congélateurs	38
Tableau 9 : Exigences en matière de PRG et de PACO des réfrigérants	39
Tableau 10 : Distribution des heures de température pour le climat 0A (Groupe 1) pour les CA en mode refroidissement	41
Tableau 11 : Schéma d'étiquetage proposé pour les climatiseurs unitaires (capacités jusqu'à 9,5 kW)	43
Tableau 12 : Comparaison entre les SMPE recommandés de U4E et les SMPE de l'UEMOA (capacités jusqu'à 9,5 kW)	44
Tableau 13 : Calendrier proposé pour la mise en œuvre du SMPE et des étiquettes pour les CA.	44
Tableau 14 : Exigences relatives au PRG et au PACO des réfrigérants pour les climatiseurs selon le modèle U4E	45
Tableau 15 : Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour les deux applications étudiées au Mali et les économies associées	48
Tableau 16 : Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour les deux applications étudiées au Mali et les économies associées	45

Liste des abréviations

CA	Climatiseur d'Air
AE	Énergie Annuelle
AEC	Consommation annuelle d'énergie
BAU	Business as Usual – Scénario De Base
BNO (NOU)	Bureau Nationale Ozone
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CCV (LCC)	Coût du cycle de vie
CDM	Mécanisme de développement propre
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	Taux 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
MVE (MRV)	Suivi, examen et vérification
MTCO ₂ eq	Millions de tonnes d'équivalent de dioxyde de carbone
ONG	Organisation non gouvernementale
PA	Accord de Paris
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 (NH ₃)	Ammoniac

R744 (CO ₂)	Dioxyde de carbone
RAC	Réfrigération et conditionnement d'air
RE	Énergie Renouvelable
SACO (ODS)	Substances appauvrissant la couche d'ozone
SAE	Énergie annuelle standard
SEER	Taux d'efficacité énergétique saisonnier
SMPE	Standards Minimales de Performance Énergétique
TCAC (CAGR)	Taux de Croissance Annuel Composé
UE	Union Européenne

1 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 climatique »¹. Les Bureaux Nationaux Ozone (BMO) et les ministères appropriés sont les principales parties prenantes de ce projet. Au Mali, le projet est mis en œuvre en coopération avec la Direction Nationale de l'Assainissement, du Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN) du Ministère de l'Environnement, de l'Assainissement et du Développement Durable (MEADD) y inclus le Bureau National Ozone.

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://ecca.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).²

Ce rapport recommande l'application de la réglementation en matière d'efficacité énergétique au Mali 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 les étiquettes pour les réfrigérateurs et les climatiseurs. L'adoption de normes avancées d'efficacité énergétique ainsi que la transition vers des réfrigérants à faible PRG sont nécessaires pour réaliser des réductions significatives des gazes à effet de serre (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 potentiel de réchauffement global (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 malienne.

² United for Efficiency (U4E), 2019 : Climate-Friendly and Energy-Efficient Refrigerators. Model Regulation. Guidelines. Supporting Information. Supplement to the Refrigerators Policy Guide: "Accelerating the Global Adoption of Climate-Friendly and Energy-Efficient Refrigerators". https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2019/11/U4E_Refrigerators_Supporting-Info_20191029.pdf

Structure du rapport :

- Le chapitre 2 couvre les évaluations du marché pour les climatiseurs unitaires et les réfrigérateurs qui sont basées sur une étude des modèles proposés à la vente au Mali.
- 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.
- Les conclusions et principales recommandations se trouvent dans le chapitre 5.





Cofinancé par
l'Union européenne



2 ÉVALUATION DE L'ENQUÊTE SUR LES SOUS-SECTEURS

2.1 Enquête sur l'inventaire des sous-secteurs concernés

Le processus de collecte de données a été complété par une équipe de six 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 8 au 9 novembre 2021, sur les technologies d'intérêt et le processus de collecte de données.

La formation comprenait les sujets suivants :

- Approche de collecte de données et catégorisation des unités de climatisation et de réfrigérations,
- Lecture des plaques signalétiques des appareils sélectionnés,
- Lire et comprendre les 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 deux groupes, le groupe A enquêtant sur Bamako et Kayes, tandis que le groupe B a été affecté à l'enquête sur Segou et Sikasso.

À la fin de la formation, les enquêteurs ont performé une collecte de données pilotes à Bamako, 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 villes.

2.1.1 Processus de collecte des données

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 : 253 entrées, de 19 marques.
- Réfrigérateurs domestiques : 252 entrées, de 43 marques différentes.

Pour les climatiseurs unitaires, le total de 253 entrées est réparti entre les différentes villes comme suit (voir Figure 2) :

- Bamako : 130 entrées
- Kayes : 16 entrées
- Ségou : 45 entrées
- Sikasso : 62 entrées

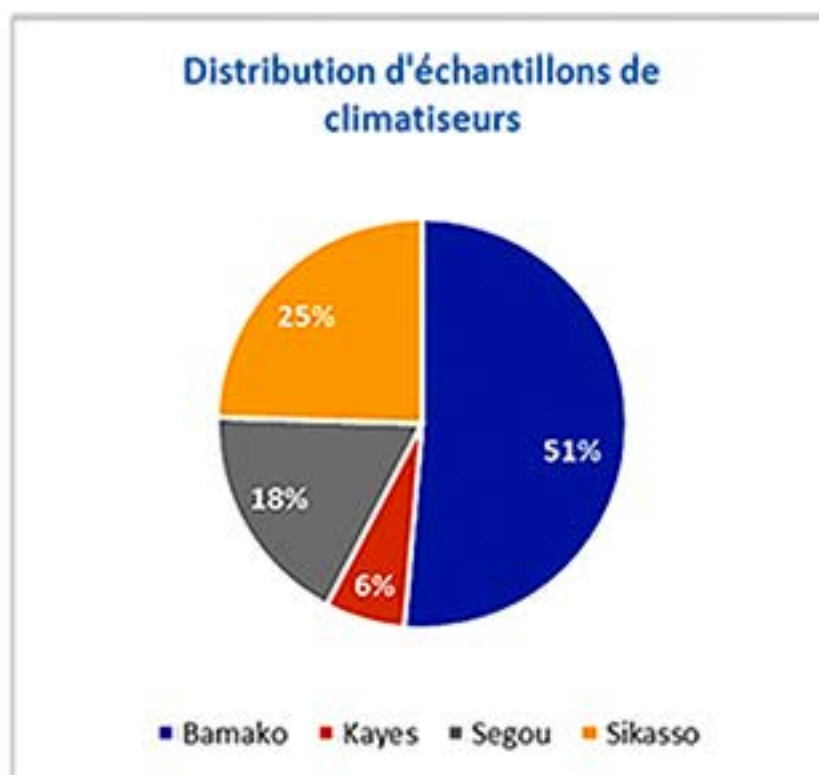


Figure 2: Distribution de l'échantillonnage des climatiseurs d'Air (CA) par ville.

Pour les réfrigérateurs domestiques le total de 252 entrées est réparti entre les différentes villes comme suit (voir Figure 3) :

- Bamako : 123 entrées
- Kayes : 60 entrées
- Ségou : 35 entrées
- Sikasso : 34 entrées

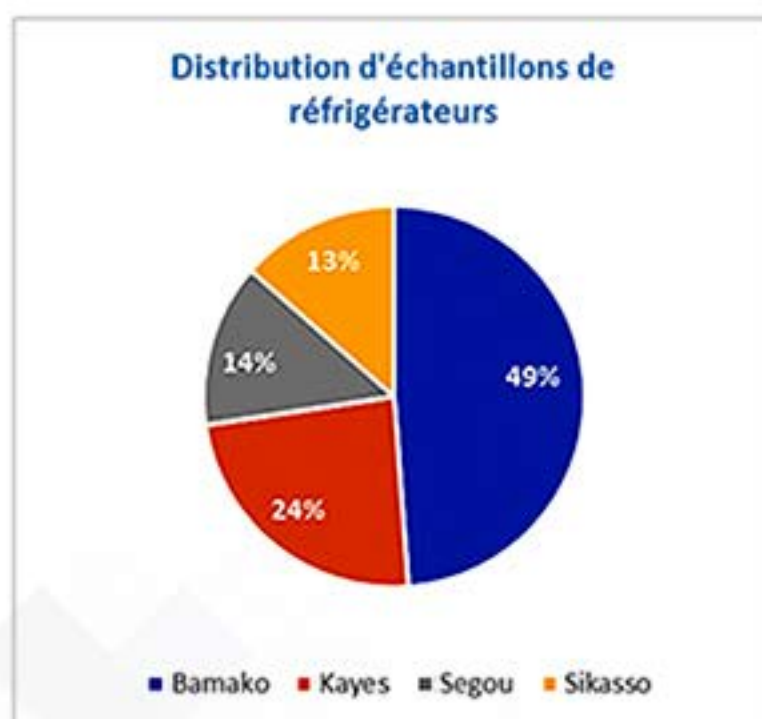


Figure 3: Distribution de l'échantillonnage des réfrigérateurs domestiques par ville.

Des données secondaires ont été utilisées 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.

2.1.2 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 4, 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 Énergétique (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 réfrigération³ (émissions indirectes). Les émissions de référence et les émissions du projet incluent donc les deux termes comme dans l'équation 1 :

$$\text{Equation 1 : } EM_{\text{totale},y} = EM_{\text{réfrigérant utilisé},y} + E_{\text{électricité utilisé},y}$$

Où

$EM_{\text{totale},y}$	Émissions annuelles totales de gaz à effet de serre résultant de l'exploitation de climatiseurs monoblocs [t CO ₂ eq].
$EM_{\text{réfrigérant utilisé},y}$	Émissions annuelles de gaz à effet de serre provenant des réfrigérants utilisés pour les climatiseurs monoblocs [t CO ₂ eq].
$E_{\text{électricité utilisé},y}$	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 soustrayant les émissions du projet des émissions de référence et représente la somme de la réduction des émissions de réfrigérants et de la réduction des émissions liées à la consommation d'énergie électrique.

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.

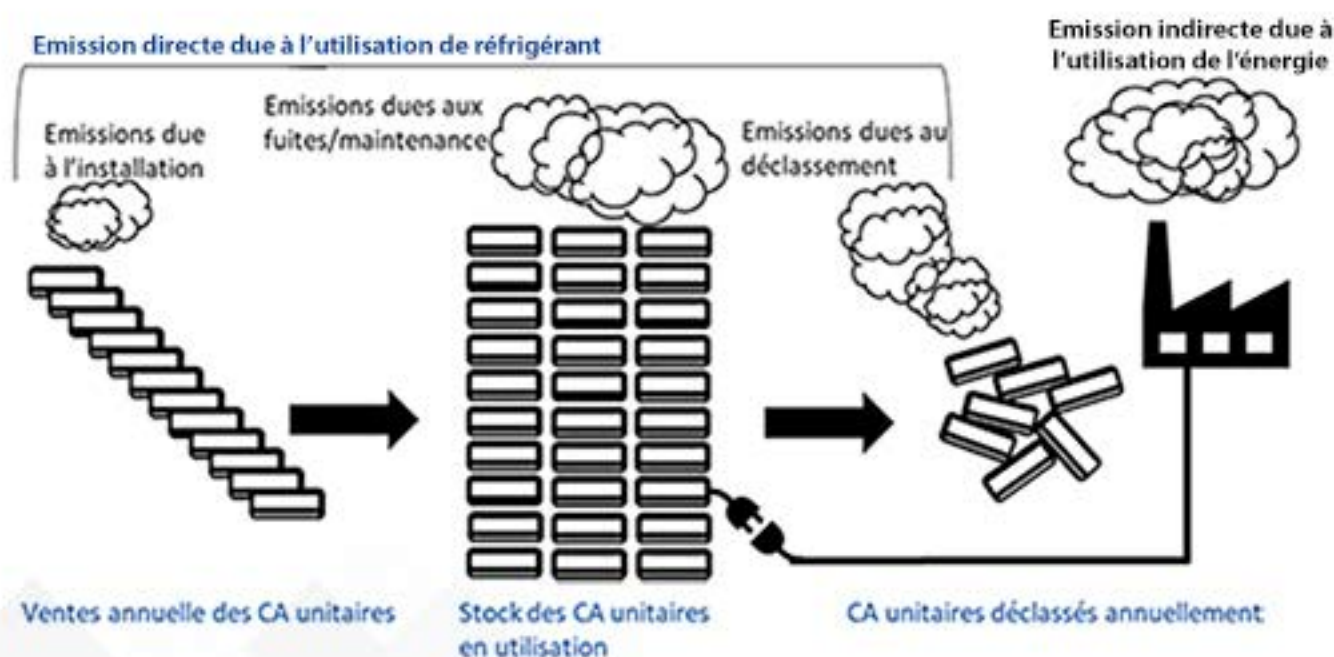


Figure 4: Émissions incluses dans le champ d'application de ce projet (propre illustration).

³ Les méthodes d'estimation de la consommation d'énergie diffèrent selon le type d'appareil.

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.

2.1.2.1 Le modèle de stock vintage

L'utilisation de modèles de stocks pour suivre les émissions de réfrigérants est recommandée dans le GIEC (2006)⁴ 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 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.

⁴ <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

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

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

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

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.

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

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

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.

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

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

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
$RefDistrVentess_{r,y}$	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.

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

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

Où

$EOL_{r,y}$	Nombre d'appareils qui sont mis hors service au cours de l'année y contenant Un réfrigérant r
-------------	---

2.1.2.2 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.

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

Où :

t	Une certaine période de temps, généralement un an.
$E_{\text{conteneurs},t}$	Liées à la gestion des conteneurs de réfrigérants [t CO ₂ eq].
$E_{\text{charge},t}$	Émissions liées à la charge de réfrigérant : connexion et déconnexion du conteneur de réfrigérant et du nouvel équipement à charger [t CO ₂ eq].
$E_{\text{durée de vie},t}$	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].
$E_{\text{fin de vie},t}$	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 désagrégué - 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 $E_{\text{durée-de-vie}}$ et la troisième partie à $E_{\text{fin-de-vie}}$ 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.



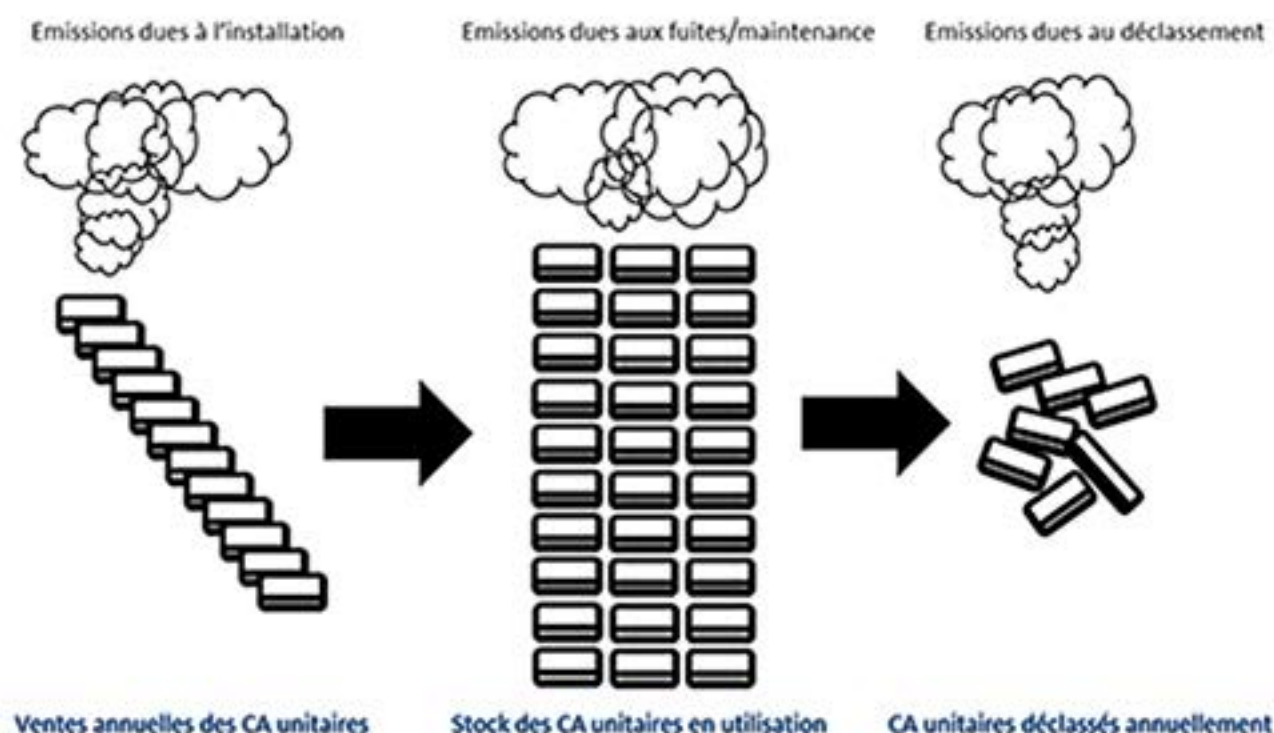


Figure 5: Approche pour le calcul des émissions dues aux réfrigérants (propre illustration).

Equation 11 : $EM_{\text{réfrigérant utilisé},y}$

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

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

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 [%].
$EF_{utilisé}$	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 : $ER_{\text{réfrigérant utilisé, NatRef, y}}$

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

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

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

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_{utilise, BL}	Facteur d'émission pour le fluide frigorigène pendant l'utilisation, en pourcentage de la charge initiale [%] dans la ligne de base
EF_{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 ⁵ d'évaluation du GIEC (IPCC).
LT	Durée de vie moyenne de l'appareil [années]

Dans le cas où la formation des techniciens 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.

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

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

Où :

ER_{utilisation de réfrigérants, formation, y} de l'année y [t CO₂ eq]	Réduction des émissions résultant de la formation des techniciens au cours de l'année y
ER_{utilisation de réfrigérant, formation, LT}	Réduction des émissions due à la formation des techniciens pendant la durée de vie de l'appareil [t CO ₂ eq]
Stock_{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_{use, BL}	Facteur d'émission pour le fluide frigorigène pendant l'utilisation, en pourcentage de la charge initiale [%] dans la ligne de base.
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.

⁵ 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.J. 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.

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

Où :

$ER_{\text{refrigerant use, collection, y}}$	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 cinquième rapport d'évaluation du GIEC.

2.1.2.3 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).

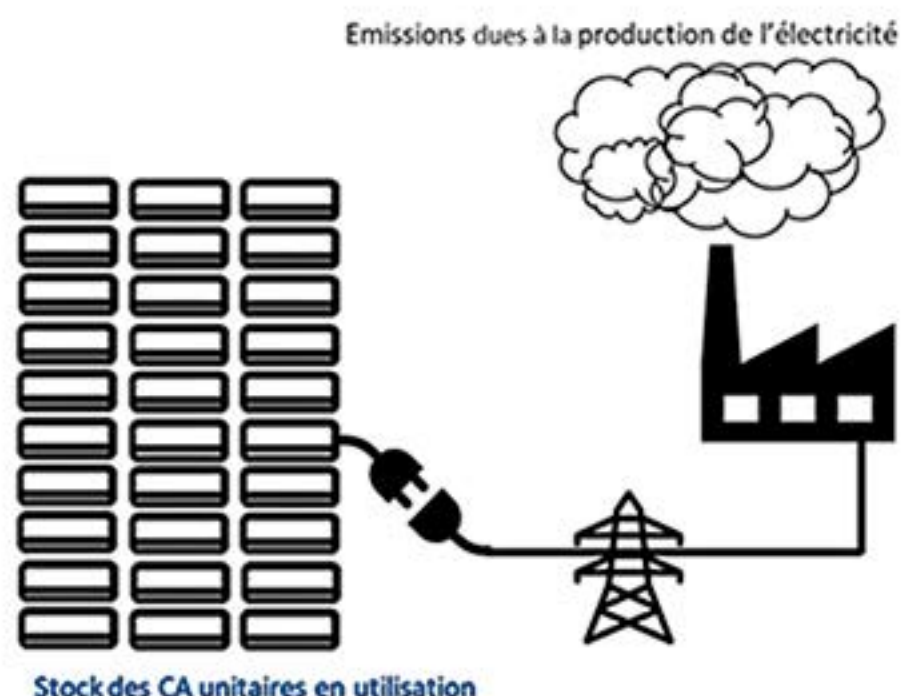


Figure 6: Approche pour le calcul des émissions énergétiques (propre illustration).

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 split⁶.

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.

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 charge⁷.

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.

$$\text{Equation 18 : } EC_{EER,y,e} = CSEC_e \text{ (ISO 16358)}$$

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

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

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 ⁸ [kg CO ₂ /kWh]

⁶ https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2021/11/U4E_AC_Model-Regulation_EN_2021-11-08.pdf

⁷ En appliquant cette amélioration avec les températures standard des bacs, la règle empirique de CSPF/EER=1,13 est respectée.

⁸ Lien vers la base de données de l'IFI : https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_Grid_Emission_factor_data_set.pdf

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.

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

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

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

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 ⁹ [kg CO ₂ /kWh]

Scénario de base

Le scénario de base (BAU) pourrait inclure le calendrier de réduction progressive des HFC¹⁰ 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 9) ; 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 (t CO₂ eq) qui devraient résulter de cette consommation¹¹.

⁹ Lien vers la base de données de l'IFI : https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_Grid_Emission_factor_data_set.pdf

¹⁰ 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.

¹¹ L'amendement de Kigali limite la consommation maximale de réfrigérants HFC en vrac, mais il ne tient pas compte des quantités de réfrigérants importés 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).

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. La première étape de réduction substantielle dans les pays partenaires, selon le calendrier de Kigali, se situe en 2035, à 70% du niveau 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 90% en 2050.

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.

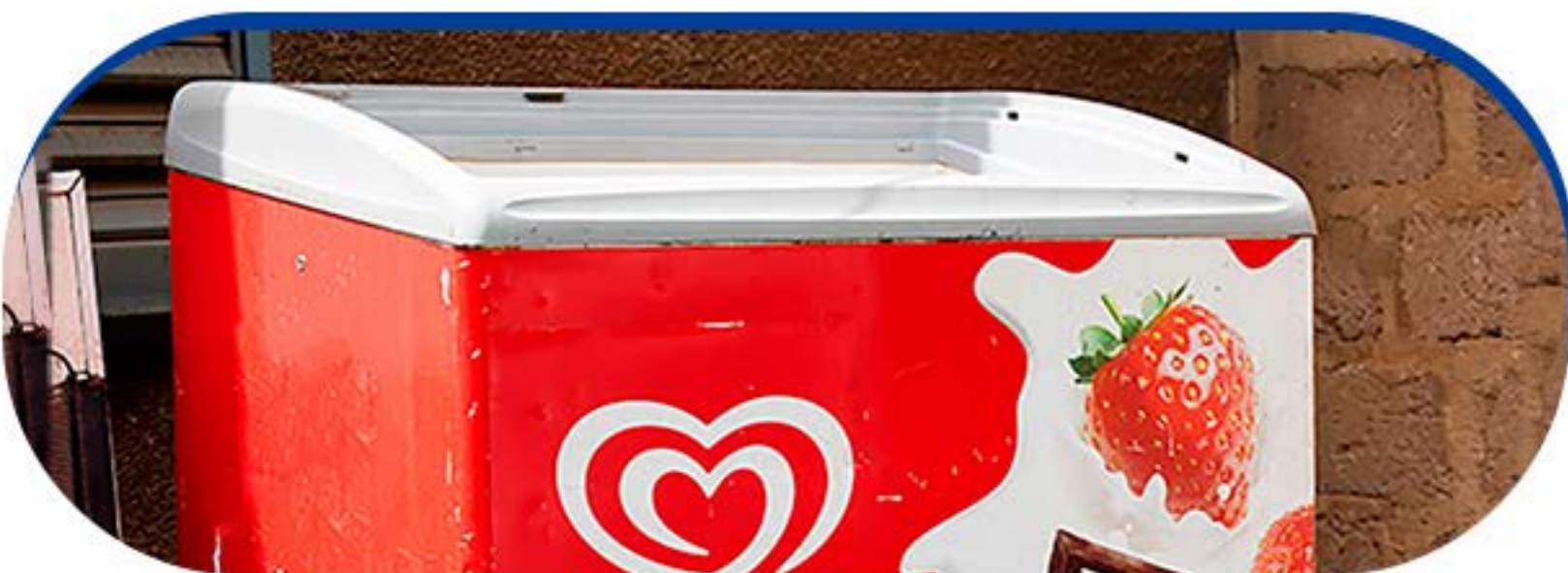
Projection des potentiels de mitigation

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.

2.2 Réfrigérateurs domestiques

2.2.1 Évaluation du marché

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



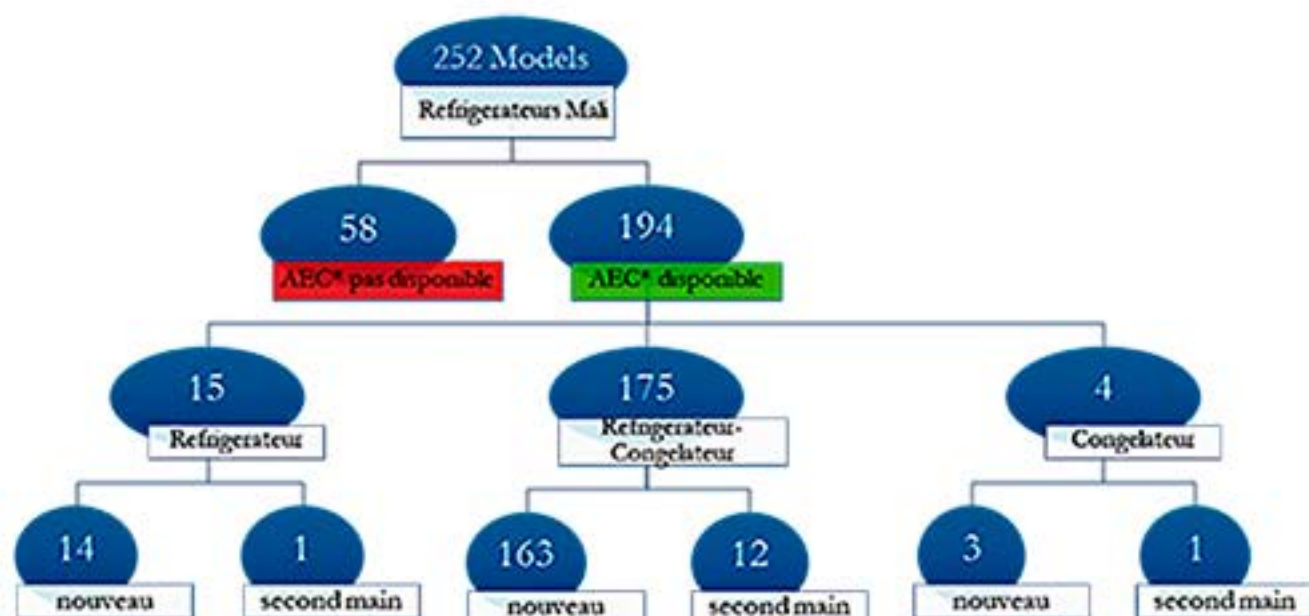


Figure 7: Nombre de réfrigérateurs étudiés dans le cadre de l'évaluation du marché et part des modèles disposant d'informations sur la AEC (consommation annuelle d'énergie), séparés selon la catégorie de produit et leur état (Source : Analyse HEAT).

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 315 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)
Congélateur inférieur	58	330
Porte française	1	513
Congélateur complet	4	264
Réfrigérateur complet	9	96
Mini-réfrigérateur	12	109
Side-by-Side	6	656
Congélateur supérieur	104	330
Total	194	315

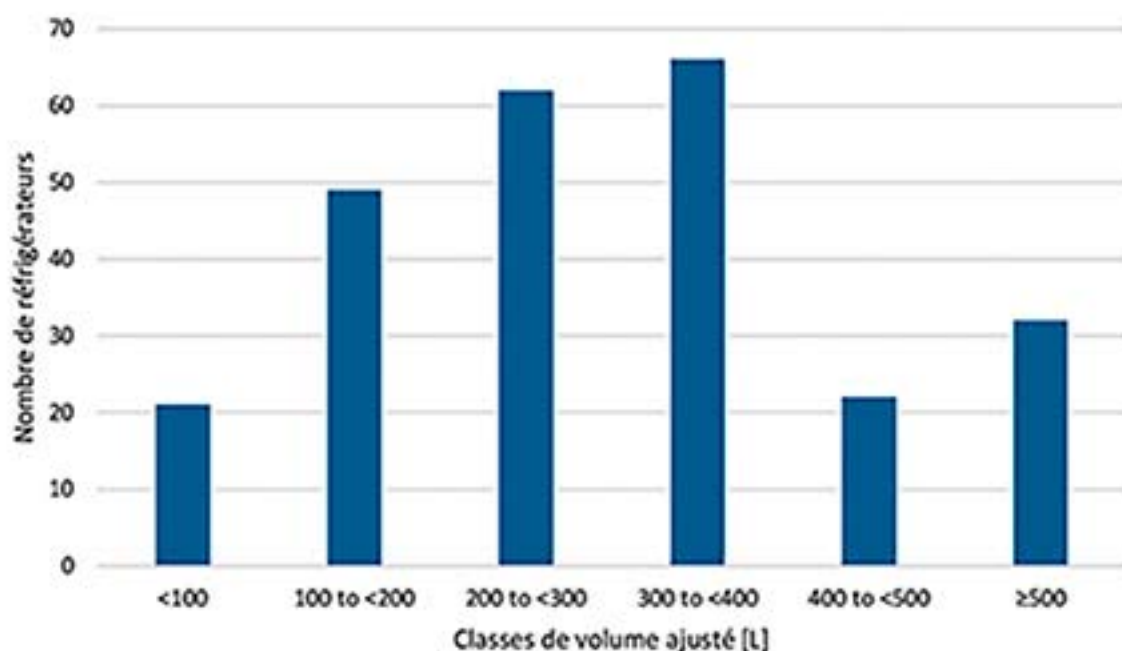


Figure 8: Distribution en volume des réfrigérateurs examinés au Mali (Source : Analyse HEAT).

67% des réfrigérateurs évalués portent une étiquette d'efficacité énergétique, qui repose sur des normes d'essai propres au pays d'origine. Outre les étiquettes de Hong Kong et des Émirats arabes unis (EAU), la plupart des modèles disponibles sur le marché portent l'étiquette du système européen (de G à A+++) ou l'étiquette ghanéenne (de 1 à 5 étoiles).

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 U4E¹², 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, 75% des modèles de réfrigérateurs sur le marché présentent une faible efficacité énergétique comme le montre la Figure 9.



¹²<https://united4efficiency.org/resources/model-regulation-guidelines-for-energy-efficient-and-climate-friendly-refrigerating-appliances/>

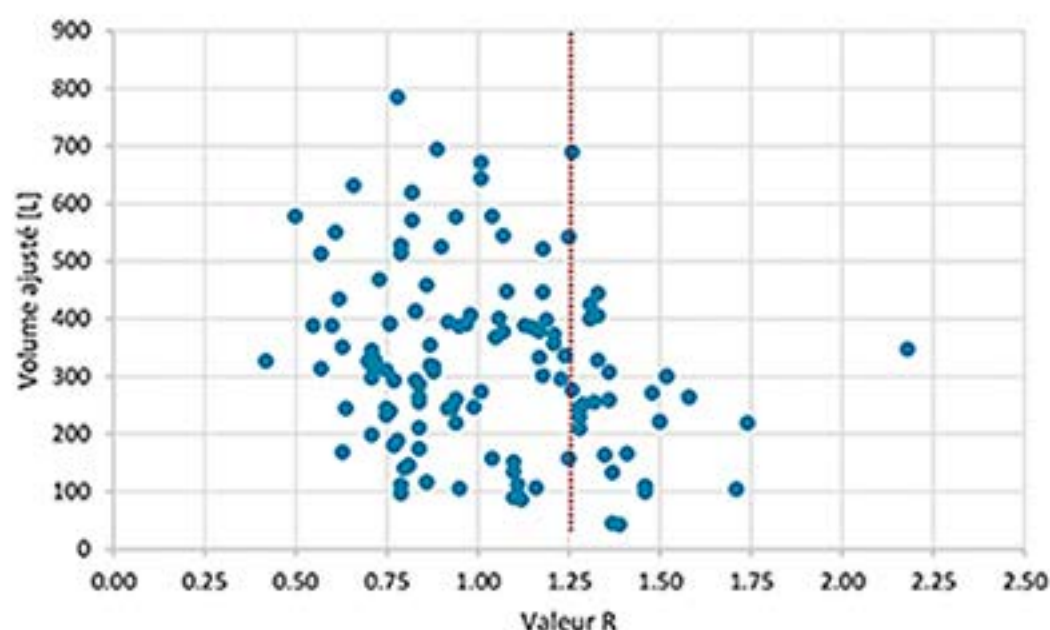


Figure 9: Relation entre le volume ajusté (AV) des réfrigérateurs étudiés et la valeur R (Source : analyse HEAT).

En ce qui concerne les principaux réfrigérants présents sur le marché malien, 87% des modèles étudiés utilisent le réfrigérant naturel R600a (isobutane), tandis que les 13% restants utilisent l'hydrofluorocarbure R134a, dont le PRG est de 1430 et dont l'utilisation sera progressivement réduite en vertu de l'amendement de Kigali. Les principales marques d'appareils de réfrigération au Mali sont Pearl, Ocean, Sharp, LG, Roch et Samsung, la majorité étant importée de Chine, d'Indonésie, de Thaïlande, d'Italie et de la Corée du Sud.

2.2.2 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 Mali se situe dans le segment de prix intermédiaire dans le monde, avec 0,26 USD/kWh, les coûts de fonctionnement des appareils sont une partie importante dans le calcul du LCC. La Tableau 2 ci-dessous montre le coût moyen du CCV pour les types de réfrigérateurs les plus courants au Mali.

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	1100	1538	2001
Congélateur inférieur	1216	1450	1970
Mini-réfrigérateur	651	Aucun modèle	Aucun modèle

Pour le Mali, 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).

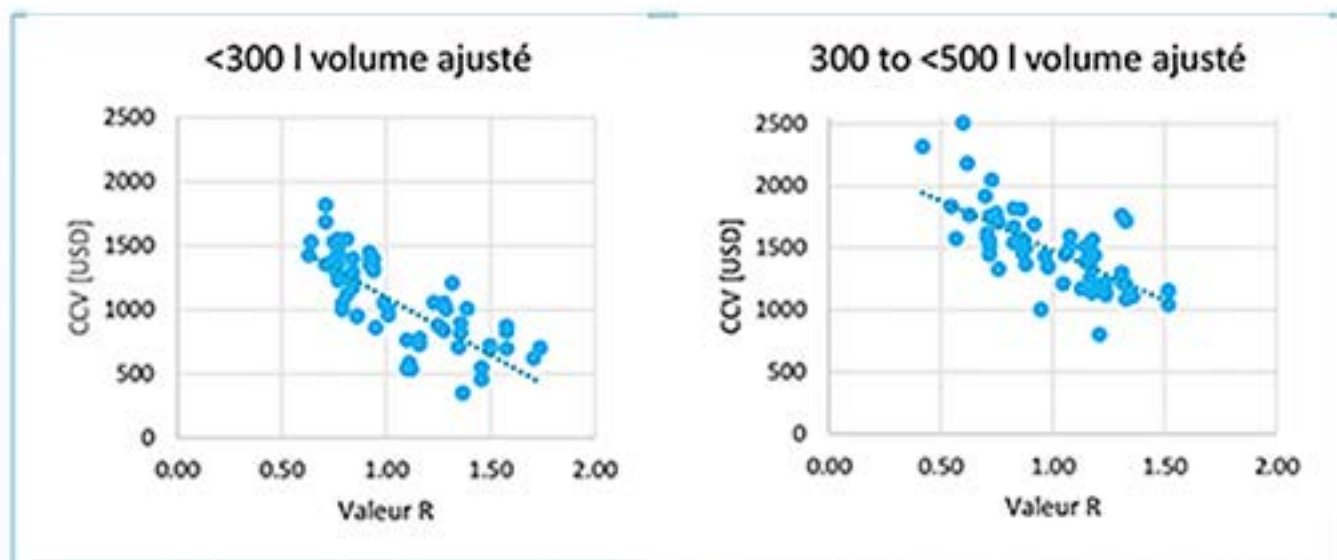


Figure 10: CCV pour les réfrigérateurs au Mali pour des volumes ajustés <300 l (gauche) et 300 à <500 l (droite) (Source : analyse HEAT).

L'impact des réfrigérateurs à haut rendement énergétique, avec une valeur R supérieure à un, sur le coût du cycle de vie (CCV) est clairement visible dans la Figure 10. 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, 52 % 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.

2.3 Climatiseurs d'Air (CA) unitaires

2.3.1 Évaluation du marché

Le climat extrêmement chaud et humide du Mali, avec une température moyenne annuelle de 29 degrés et six mois de températures moyennes supérieures à 35°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 Mali, comme illustré ci-dessous dans la Figure 11, où le EER représente le Ratio d'Efficacité Énergétique et le CF représente la Capacité Frigorifique des CA exprimée en Kilowatt (KW).



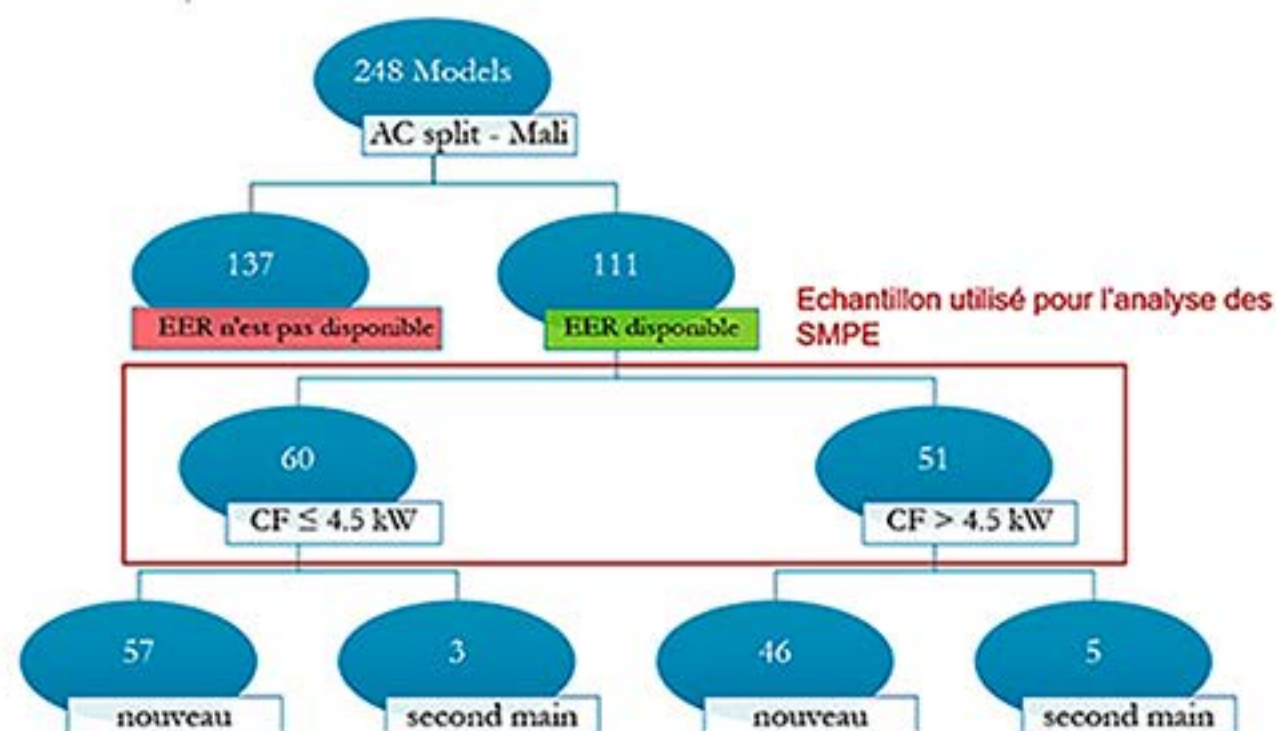


Figure 11: Nombre de climatiseurs split étudiés dans l'évaluation du marché et part des modèles disposant d'informations sur l'EER (ratio d'efficacité énergétique), séparés selon la taille et la condition de la capacité de refroidissement (Source : analyse HEAT).

Le marché résidentiel malien de la climatisation est actuellement dominé par des unités équipées de compresseurs à vitesse fixe de petite et moyenne taille, relativement inefficaces. Environ 38% des modèles sont équipés d'un onduleur (vitesse variable). 71% des unités étudiées ont des capacités de 4,5kW ou moins, tandis que les unités plus grandes constituent 29% des modèles étudiés. (Tableau 3).

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

Taille	Proportion du marché	Vitesse fixe	Type d'onduleur
≤4.5 kW total	71%	44%	27%
> 4,5 à ≤ 9 kW total	29%	18%	11%

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 2,97 pour les unités à vitesse fixe et un CSPF moyen de 3,40 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 : 3.02 pour les unités CA à vitesse fixe et 3.49 pour le type onduleur.

La figure 12 montre la moyenne au Mali 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 62% 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.

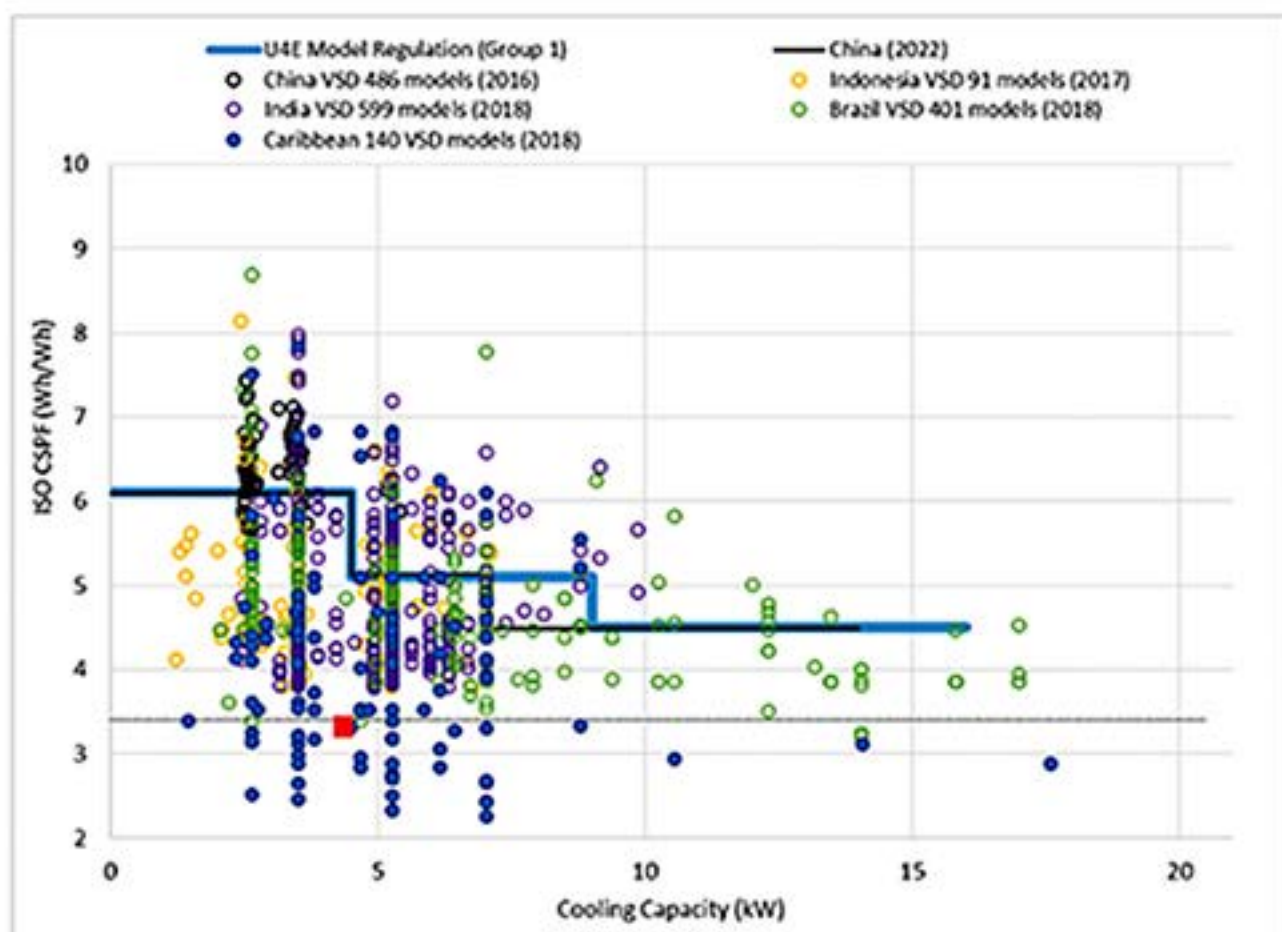


Figure 12: Efficacité en ISO CSPF estimée pour les CA à vitesse variable disponibles dans certaines économies. Source : PNUE, 2019b.¹³, marque rouge ajoutée par l'auteur pour indiquer la moyenne du Mali pour les CA unitaires à vitesse variable.

En ce qui concerne le fluide frigorigène utilisé sur le marché malien de la climatisation, environ 39 % des clients utilisent encore le R22, un HCFC dont le potentiel de réchauffement global (PRG) est de 1960. Le reste du marché utilise le R410A, un mélange HFC dont le PRG est de 2256. Dans le monde 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. 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 Corée du Sud et autres. Les principales marques dans l'évaluation du marché sont Sharp, Samsung et LG.

2.3.2 Analyse du cycle de vie

Renforcée par les coûts d'exploitation relativement élevés dus au prix de l'électricité de 0,26 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.

¹³ 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

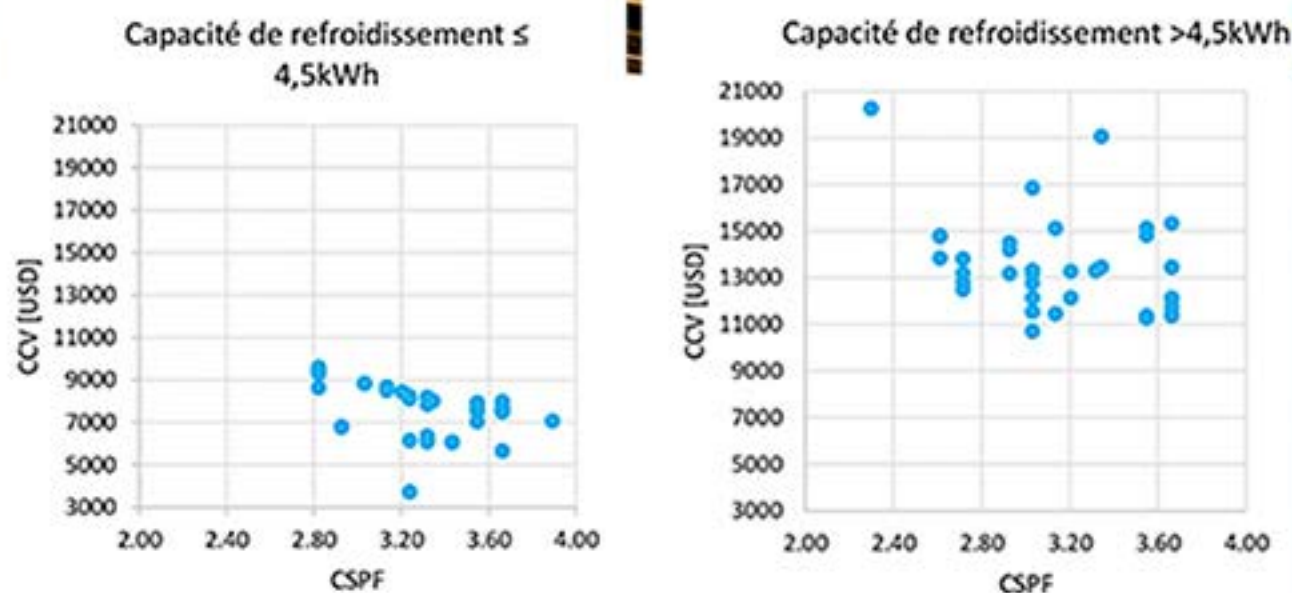


Figure 13: CCV pour les climatiseurs unitaires au Mali pour les puissances frigorifiques inférieures à 4,5 kW (à gauche) et entre 4,5 et 9 kW (à droite) (Source : analyse HEAT).

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 2,82 coûterait 519 USD dans le magasin et utiliserait 3489 kWh par an, ce qui se traduirait par un coût de 9589 USD sur la durée de vie (estimée à 10 ans) de ce climatiseur. Un climatiseur plus efficace, de la même taille, avec un EER de 3,78 coûterait presque le même prix (510 USD) n'utiliserait que 2603 kWh par an avec un CCV de 7277 USD. Il s'agit d'une économie de plus de 2000 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 7, n'utiliserait que 1411 kWh par an. Aucun CCV spécifique au Mali ne peut être calculé, car de tels modèles ne sont actuellement pas disponibles sur le marché Malien.

3 STANDARD MINIMALE DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE (SMPE) AU MALI 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 Mali est un État membre de la CEDEAO¹⁴ qui, en collaboration avec le centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (CREEE), 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 domestique

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 Mali doit définir précisément quelle norme d'essai doit être utilisée pour le pays, et comment calculer la consommation énergétique standard. 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)¹⁵ pour le calcul de la consommation d'énergie standard.

¹⁴ Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest

¹⁵ 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))



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 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 malien sont testés pour le groupe climatique T (Tropical) et ST (Subtropical)¹⁶. 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 4 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'appui¹⁷ du règlement. AV désigne le volume ajusté, qui dépend de la température des différents compartiments (T_{ci}) qui composent le réfrigérateur. L'AV peut être calculé par l'équation 2 comme suit :

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

Où V_i est le volume en litres du compartiment ith, 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 ith, qui doit être définie conformément à la norme d'essai IEC 62552-1-2-3:2015+AMD1:2020.

¹⁶http://data.europa.eu/eu/reg_del/2010/1060/oj

¹⁷Le matériel d'appui se trouve dans le document Model Regulation Guidelines for Energy-Efficient and Climate-Friendly Refrigerating Appliances - United for Efficiency (united4efficiency.org).

Tableau 4: 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	$0,220 \times AV + 137$
	Réfrigérateurs-congérateurs	$0,288 \times AV + 210$
	Congérateurs	$0,268 \times AV + 247$

Le Tableau 5 indique les températures cibles en fonction du type de compartiment.

Tableau 5: 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.

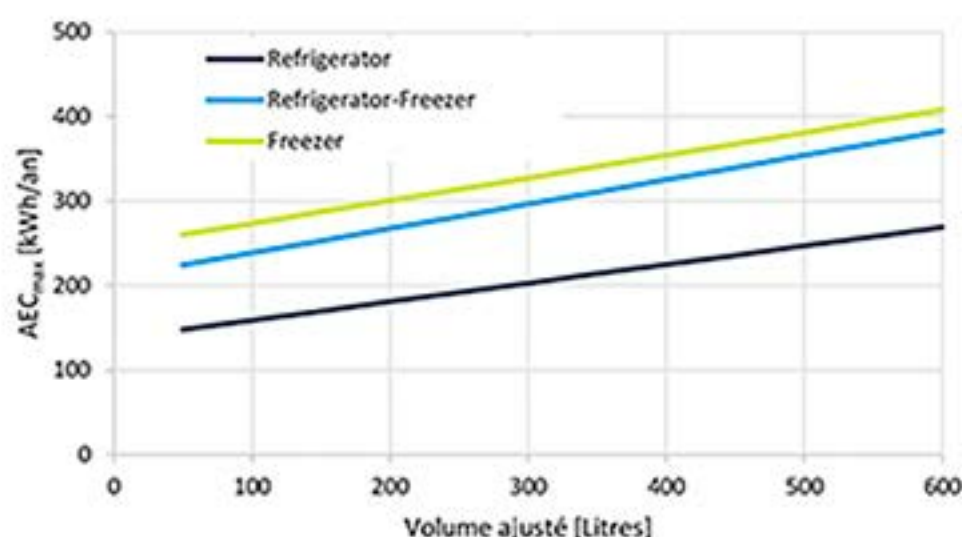


Figure 14: Consommation énergétique annuelle maximale (AEC_{max}) définie dans le règlement type U4E pour les trois différents types de réfrigérateurs.

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 Mali, 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 Mali doit élaborer un tableau de probabilité des températures intérieures et de l'humidité relative. S'il est difficile à élaborer pour le Mali, 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 6). 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 Mali, en tenant compte de l'étude de marché réalisée dans le cadre de ce projet.

Tableau 6: 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 53% 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 $R=0,75$.

La part de marché de ces modèles à très faible efficacité est d'environ 14% 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, 39% d'équipements supplémentaires seraient donc visés par le resserrement 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 malien 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.

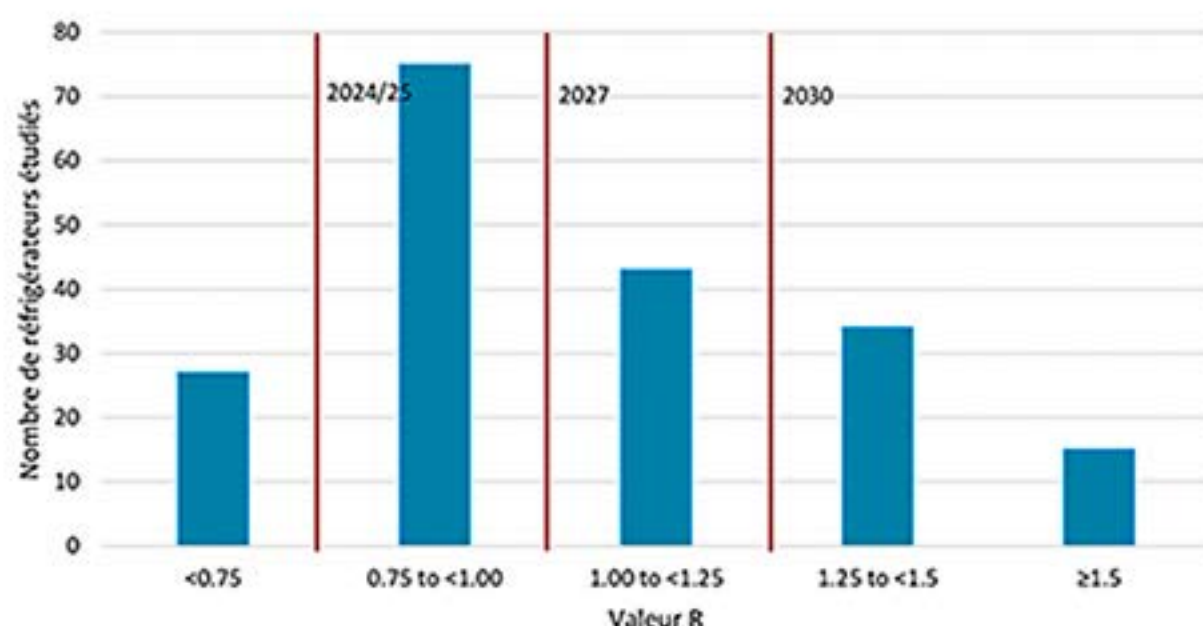


Figure 15: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs étudiés (basée sur une température ambiante de 32°C), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.

Le système d'étiquetage proposé contient cinq catégories et est présenté dans le Tableau 7. A chaque renforcement du SMPE, une catégorie est supprimée dans le bas. On s'attend à ce que les deux catégories supérieures représentent environ 25% 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 7: 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)	0,75 à < 1,00	2024/25
1	< 0.75	

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 (Tableau 8).

Tableau 8: 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 $R < 0,75$ 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 Mali avec d'autres pays. Les normes maliennes 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 Mali seraient alignés sur les meilleures pratiques internationales, mais avec plus de temps pour s'adapter.

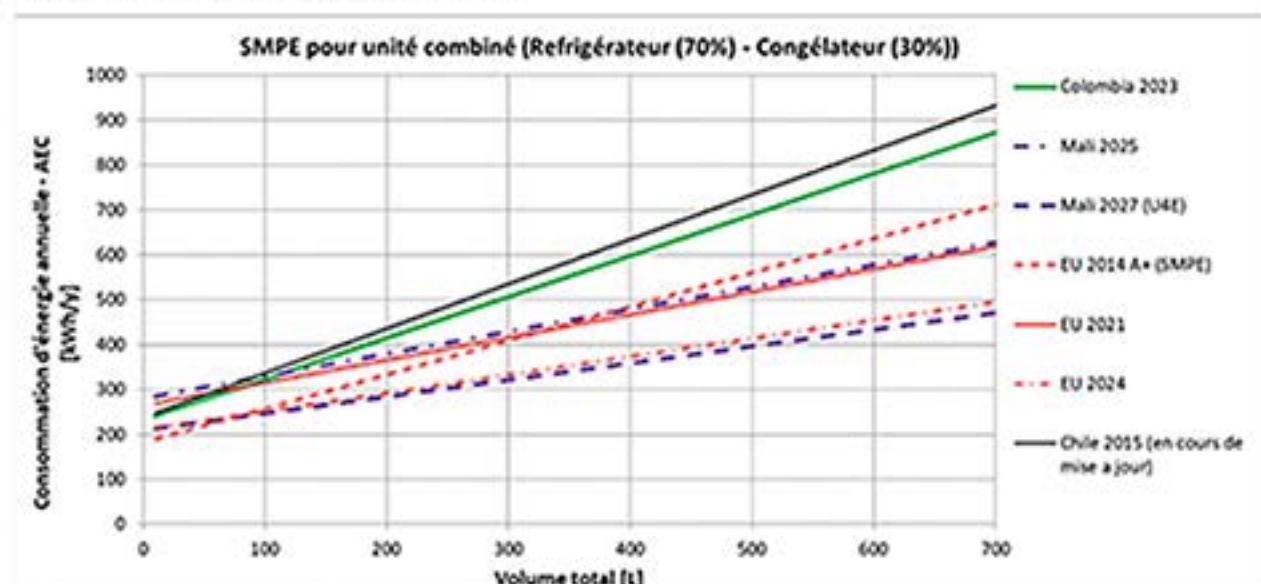


Figure 16: Comparaison internationale des normes SMPE : Consommation énergétique annuelle maximale en fonction du volume pour les appareils combinés (Réfrigérateur-Congélateur).

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 9) 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 9: 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 71 % des CA au Mali 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 internationale¹⁸ 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 Mali, il est recommandé d'utiliser la zone climatique de température ambiante élevée OA suggérée dans le règlement type U4E (voir Tableau 10). 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.

Nous estimons que ce groupe climatique (OA) convient parfaitement à la région peuplée du sud et du sud-est du pays. Bien que le climat désertique et semi-désertique soit représenté dans les parties centrales et septentrionales du Mali avec des plages de températures encore plus élevées, nous recommandons un seul groupe climatique pour les SMPE et l'étiquetage ainsi que dans les règlements du modèle U4E.

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

¹⁸ 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 10: Distribution des heures de température pour le climat OA (Groupe 1) pour les CA en mode refroidissement.

Température extérieure	OA (Groupe 1) Extrêmement chaud-humide
°C	Heures à cette température
21	5
22	23
23	76
24	205
25	383
26	537
27	646
28	671
29	630
30	596
31	501
32	361
33	206
34	86
35	32
36	11
37	3
38	1
39	0
40	0
41	0
42	0
43	0
44	0
45	0
46	0
47	0
48	0
49	0
50	0
Total	4973

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

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 0A, qui dépend également de la capacité du système. Comme les normes recommandées par l'U4E sont

très élevées pour le marché malien, nous suggérons de prendre ces normes comme guide pour la réglementation au Mali 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 Mali pour l'efficacité saisonnière correspondant au groupe climatique 0A.

Comme le marché malien 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 3,4 ou 3,3 pour les équipements de faible et moyenne capacité en 2024/25. Par une approche échelonnée, les niveaux de SMPE minimum recommandés de 5,7 ou 4,9 seront atteints en 2028. Comme niveau 4, un SMPE de 6,6 ou 6,0 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 Mali 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.

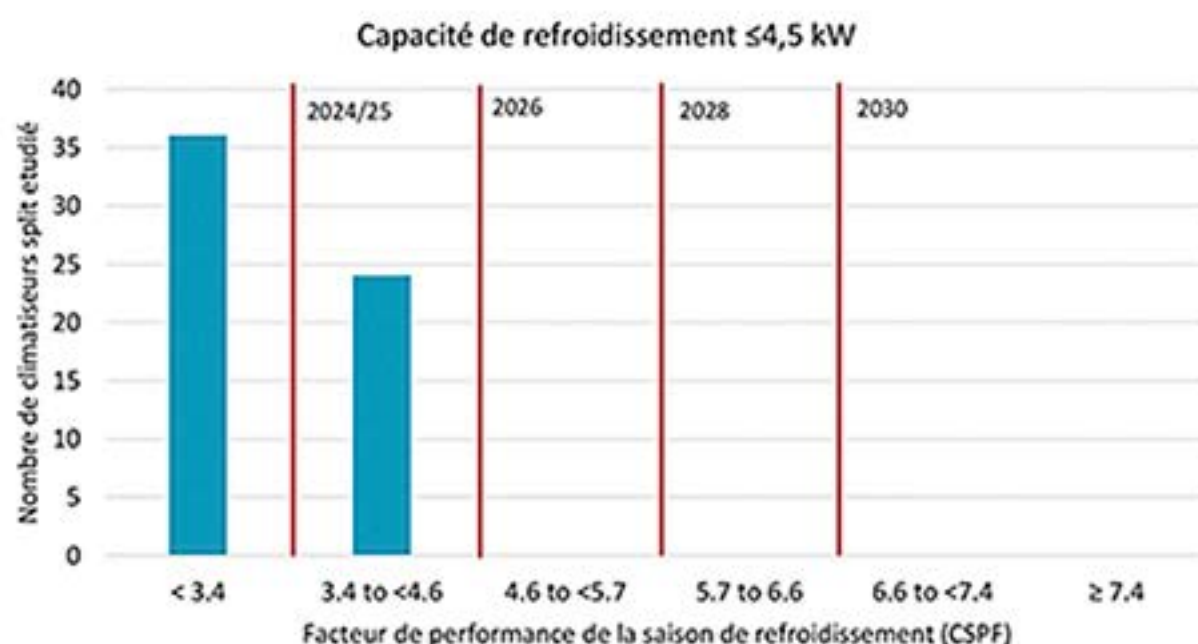


Figure 17: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement $\leq 4,5$ kW (sur la base du CSPF estimé pour le groupe climatique 0A), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.

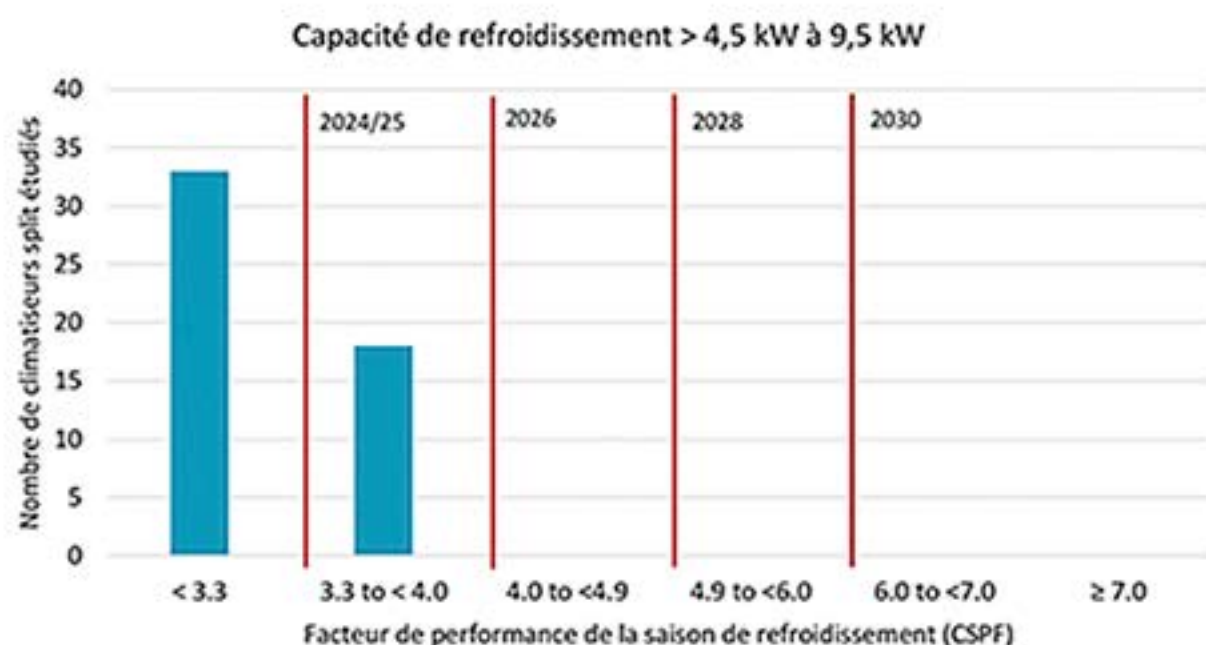


Figure 18: Distribution de fréquence de l'efficacité énergétique des CA étudiés avec une capacité de refroidissement > 4.5 kW à 9.5 kW (basée sur le CSPF estimé pour le groupe climatique OA), les lignes rouges et les années indiquent les SMPE proposées.

Le plan d'étiquetage proposé contient six catégories comme illustré dans le Tableau 11. 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 11: 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 OA)	Limites CSPF pour CC > 4,5 à 9,5 kW (calculées pour le groupe climatique OA)	Date, lorsque le SMPE proposé a supprimé cette catégorie
6	≥ 7,4	≥ 7,0	
5	6,6 à < 7,4	6,0 à < 7,0	2030
4	5,7 à < 6,6	4,9 à < 6,0	2028
3	4,6 à < 5,7	4,0 à < 4,9	2026
2 (SMPE)	3,4 à < 4,6	3,3 à < 4,0	2024/25
1	< 3,4	< 3,3	

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 12. 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 12 : 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 0A)	UEMOA Class Limits, EER (estimated CSPF, for fixed speed)	Limites CSPF (calculées pour le groupe climatique 0A)	UEMOA Class limits, EER estimated CSPF, for fixed speed)
6	≥ 7,4		≥ 7,0	
5	6,6 à < 7,4		6,0 à < 7,0	
4	5,7 à < 6,6		4,9 à < 6,0	
3	4,6 à < 5,7		4,0 à < 4,9	
		3,6 (3,8)		3,5 (3,7)
2 (SMPE)	3,4 à < 4,6	3,4 (3,6)	3,3 à < 4,0	3,3 (3,4)
1	< 3,4	3,2 (3,3)	< 3,3	3,1 (3,2)

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 13).

Tableau 13 : 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 < 3,4 ou 3,3 (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 < 4,6 ou 4,0 (selon la capacité de refroidissement).
2028	Le troisième niveau SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec CSPF < 5,7 ou 4,9 (selon la capacité de refroidissement).
2030	Le quatrième niveau de SMPE entre en vigueur, éliminant tous les modèles avec CSPF < 6,6 ou 6,0 (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.

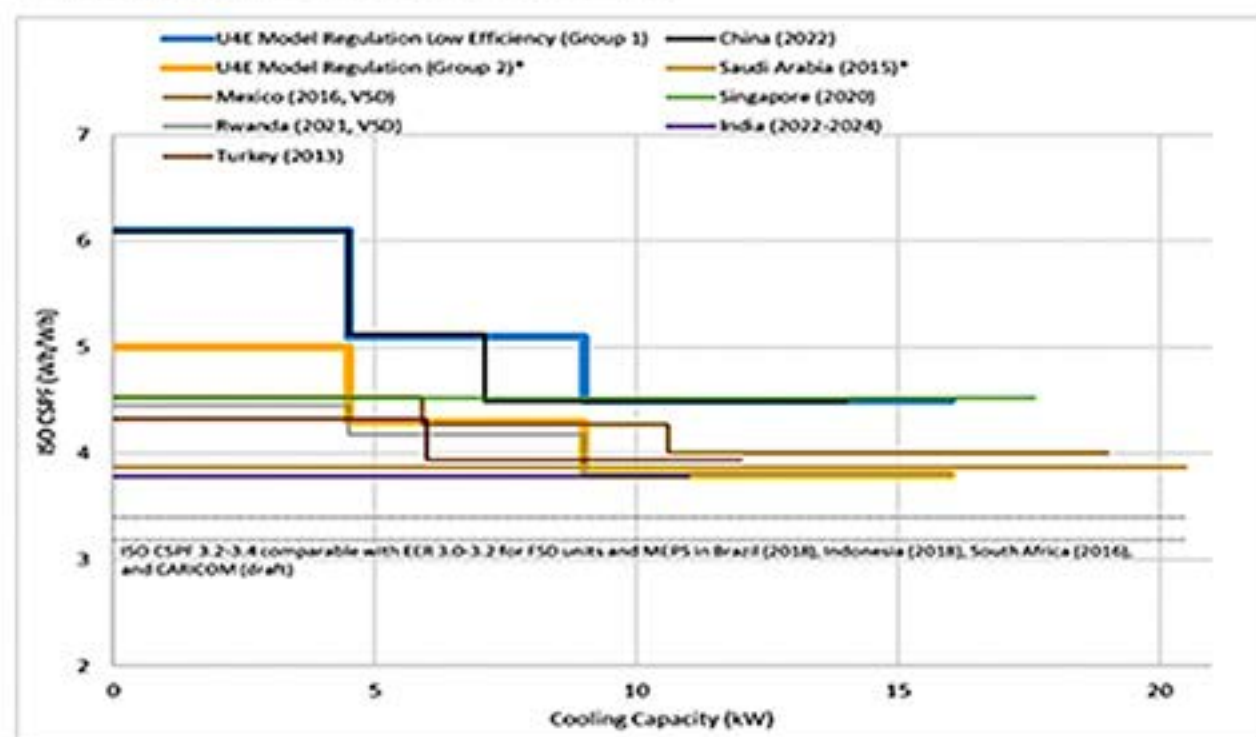


Figure 19 : Comparaison de certains systèmes de SMPE internationaux. Source : PNUF. 2019b.¹⁹

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 14 ci-dessous.

Tableau 14 : 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 unitaire	En dessous de 750 ²⁰	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.

¹⁹ 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

²⁰ 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.

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.

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.



4 APERÇU ET PROJECTION DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ PROVENANT DES CLIMATISEURS ET DES RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES AU MALI

La demande d'électricité dans le scénario BAU des deux secteurs étudiés (Figure 20) s'élève à 373 GWh en 2020. Pour le développement dans le cadre d'un scénario BAU, la tendance suit généralement les taux de propriété projetés.

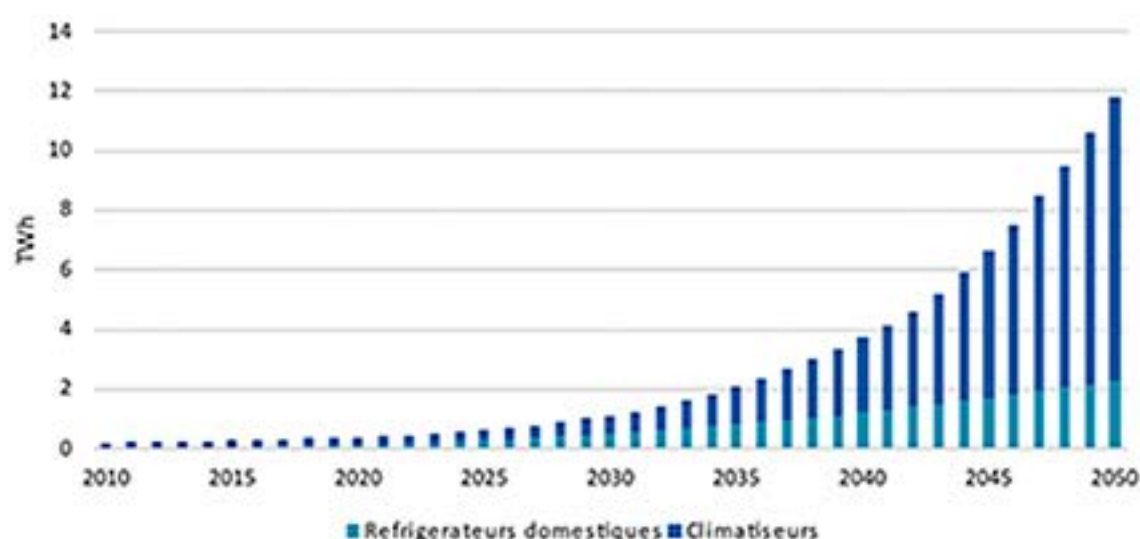


Figure 20: Projection de la demande d'électricité au Mali pour les deux secteurs étudiés dans le scénario BAU.

La demande totale d'électricité malienne pour 2015 est rapportée à 1,600 TWh²¹. Cela montre que les secteurs étudiés représentent une part considérable d'environ 14% de la demande totale (relative à la demande d'énergie estimées des CA et des réfrigérateurs 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 206 ktCO₂ eq (2020) avec un facteur d'émission du réseau actuel de 0,550 kgCO₂ /kWh²². Avec un facteur d'émission du réseau constant, ces émissions devraient passer à 6,5 MtCO₂ eq en 2050 (Figure 22).

Les scénarios de mitigation développés pour les deux secteurs étudiés peuvent conduire à une atténuation cumulée de 328 ktCO₂ eq jusqu'en 2030 grâce à la réduction cumulée de la consommation d'énergie de 596 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 30% en 2050 (Figure 22). Des chiffres plus détaillés sont fournis dans le Tableau 15.



²¹ Politique Énergétique Nationale du Mali, Révisé (2019)

²² Lien vers la base de données de l'IFI : https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Harmonized_Grid_Emission_factor_data_set.pdf

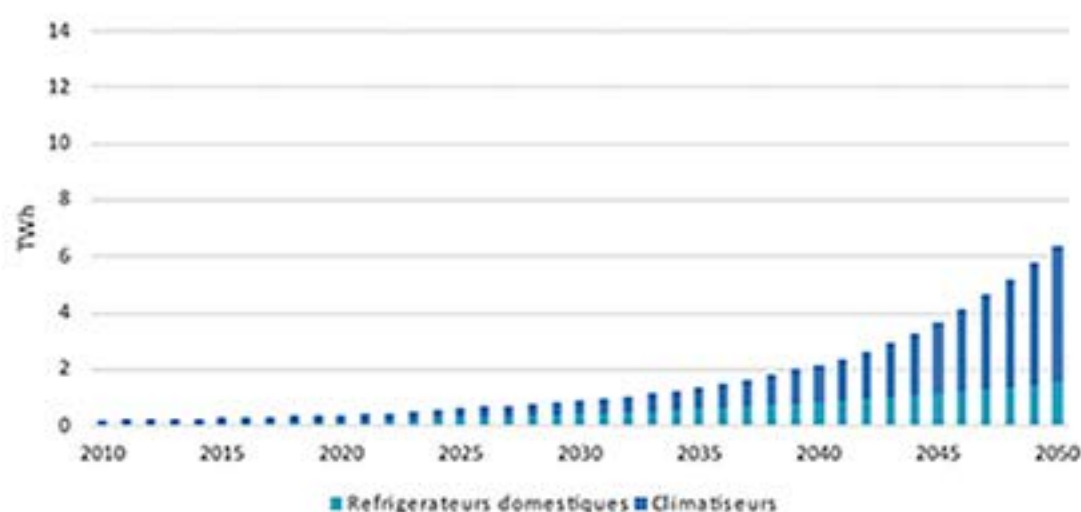


Figure 21: Demande d'électricité projetée au Mali à partir des deux secteurs étudiés dans le scénario de mitigation.

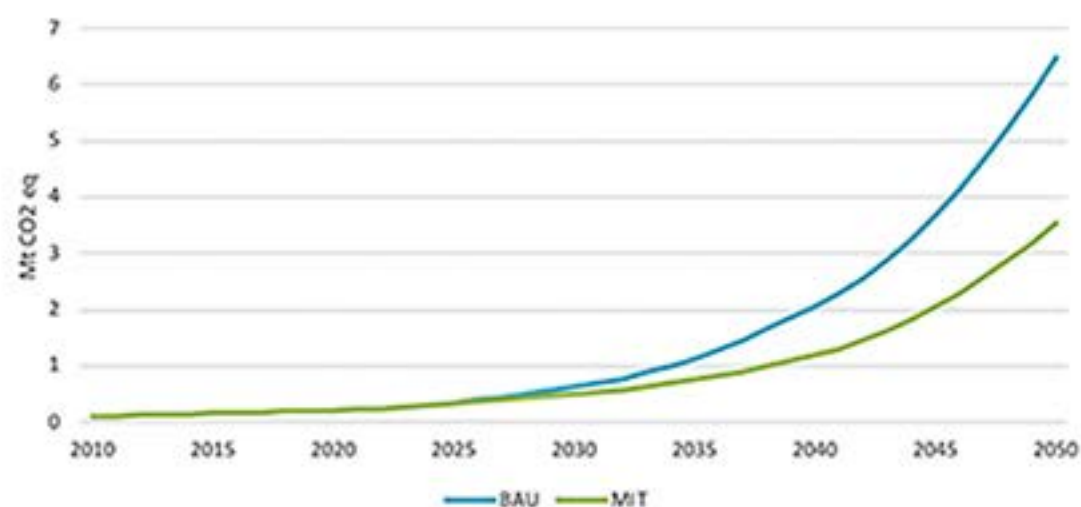


Figure 22: Projection des émissions dues à la consommation d'énergie des deux applications étudiées au Mali pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT).

Tableau 15: Demande d'énergie et émissions résultantes pour les scénarios BAU et de mitigation pour les deux applications étudiées au Mali 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	269	611	2 511	9 462	148	336	1 381	5 204
Réfrigérateurs	104	510	1 213	2 315	57	281	667	1 273
Total	374	1 122	3 724	11 777	206	617	2 048	6 477
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	269	480	1 336	4 876	148	264	735	2 682
Réfrigérateurs	104	424	841	1 536	57	233	463	845
Total	374	904	2 177	6 412	206	497	1 197	3 527
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	132	1 175	4 585	0	72	646	2 522
Réfrigérateurs	0	86	372	780	0	47	204	429
Total	0	218	1 547	5 365	0	120	851	2 951
Économies cumulées								
	Demande d'électricité (GWh)				Émissions provenant de la consommation d'électricité (ktCO ₂ eq)			
Année	Jusqu'à u	2030	2040	2050	Jusqu'au	2030	2040	2050
Climatiseurs unitaires		345	6 364	33 748		190	3 500	18 562
Réfrigérateurs		251	2 603	8 444		138	1 432	4 644
Total		596	8 966	42 192		328	4 932	23 206

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 16.

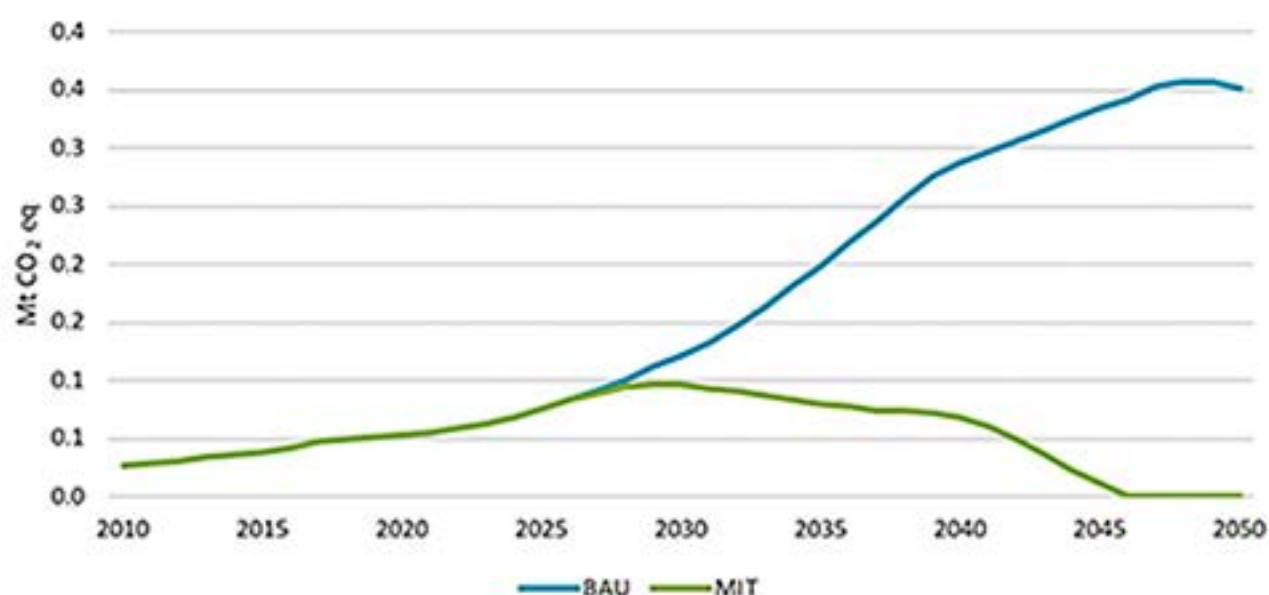


Figure 23: Projections des émissions directes dues à l'utilisation de réfrigérants pour les deux applications étudiées au Mali pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT).

Tableau 16: Émissions directes et totales pour le scénario BAU et le scénario de mitigation (MIT) pour les deux applications étudiées au Mali 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	51	118	285	351	199	455	1 666	5 555
Réfrigérateurs	2	3	3	0	60	283	670	1 274
Total	53	121	288	351	258	738	2 336	6 828
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	51	94	64	1	199	358	799	2 683
Réfrigérateurs	2	3	3	0	60	236	466	845
Total	53	96	67	1	258	593	1 264	3 527
Économie								
	Émissions directes (ktCO ₂ eq)				Émissions totales (ktCO ₂ eq)			
Année	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Climatiseurs unitaires	0	25	221	350	0	97	867	2 872
Réfrigérateurs	0	0	0	0	0	48	205	429
Total	0	25	221	350	0	145	1 072	3 301
Économies cumulées								
	Émissions directes (ktCO ₂ eq)				Émissions totales (ktCO ₂ eq)			
Année	Jusqu'à	2030	2040	2050	Jusqu'au	2030	2040	2050
Climatiseurs unitaires		48	1 351	4 489		237	4 851	23 050
Réfrigérateurs		1	3	19		139	1 434	4 663
Total		49	1 354	4 508		377	6 285	27 714

4.1 Scénarios d'émissions pour le Mali : Sous-secteur des réfrigérateurs

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.

4.1.1 Projections des ventes et des stocks

Les réfrigérateurs sont l'un des premiers appareils achetés lorsqu'un ménage est raccordé au réseau électrique. Avec l'ambitieux projet du gouvernement de fournir un accès à l'électricité à 90%²³ des ménages d'ici 2036, le nombre de réfrigérateurs utilisés devrait augmenter fortement.

Les hypothèses clés pour le développement des projections de marché sont centrées sur la croissance démographique, la réalisation des objectifs du gouvernement en matière d'électrification, le développement de l'économie et la lutte contre la pauvreté.

Sur la base des hypothèses ci-dessus, la population du Mali atteint 44,0 millions d'habitants en 2050, contre 20,9 millions en 2021, soit plus du double. Dans le même temps, le nombre de ménages ayant accès à l'électricité passe de 1,5 million en 2021 à plus de 7,3 millions en 2050, soit une multiplication par 4,9.

4.1.1.1 Développement des chiffres de vente et de stock

Les données d'importation provenant des registres douaniers n'étaient disponibles que pour la période allant de janvier à juillet 2021, soit 10 765 réfrigérateurs. Sur cette base, les unités importées par an peuvent être estimées à 18 500 unités. Ce nombre semble très faible par rapport au taux de possession de réfrigérateurs au Mali, qui serait de 12% des ménages.

Avec une durée de vie supposée des équipements de 20 ans, les unités importées ne seraient pas suffisantes pour maintenir ce taux de possession, sans parler de l'augmentation des taux de possession prévue dans les années à venir. Cependant, la période de données se situe au milieu des turbulences du commerce mondial induites par la pandémie du Covid et ne peut être considérée comme représentative. Par conséquent, la projection est uniquement basée sur la projection des stocks, en commençant par le taux de propriété de 12% en 2020 et en augmentant fortement pour atteindre 100% en 2050.

On estime que cela est conforme aux objectifs de développement du pays. Un TCAC (Taux de Croissance Annuel Cumulé) de 11% est nécessaire pour atteindre cette croissance et des ventes annuelles d'environ 100 000 unités par an en 2020. Après 2020, une croissance annuelle de 7% est assumée pour atteindre 780 000 unités en 2050.

Cela contraste avec les réfrigérateurs apparaissant dans les registres des douanes au cours du premier semestre de 2021. Des enquêtes supplémentaires ainsi que des consultations avec les parties prenantes sont nécessaires pour vérifier cette hypothèse. La Figure 24 montre le stock projeté tandis que la Figure 25 montre les ventes nécessaires pour soutenir l'évolution du stock projeté.

²³ Politique Énergétique Nationale du Mali révisée, 2019

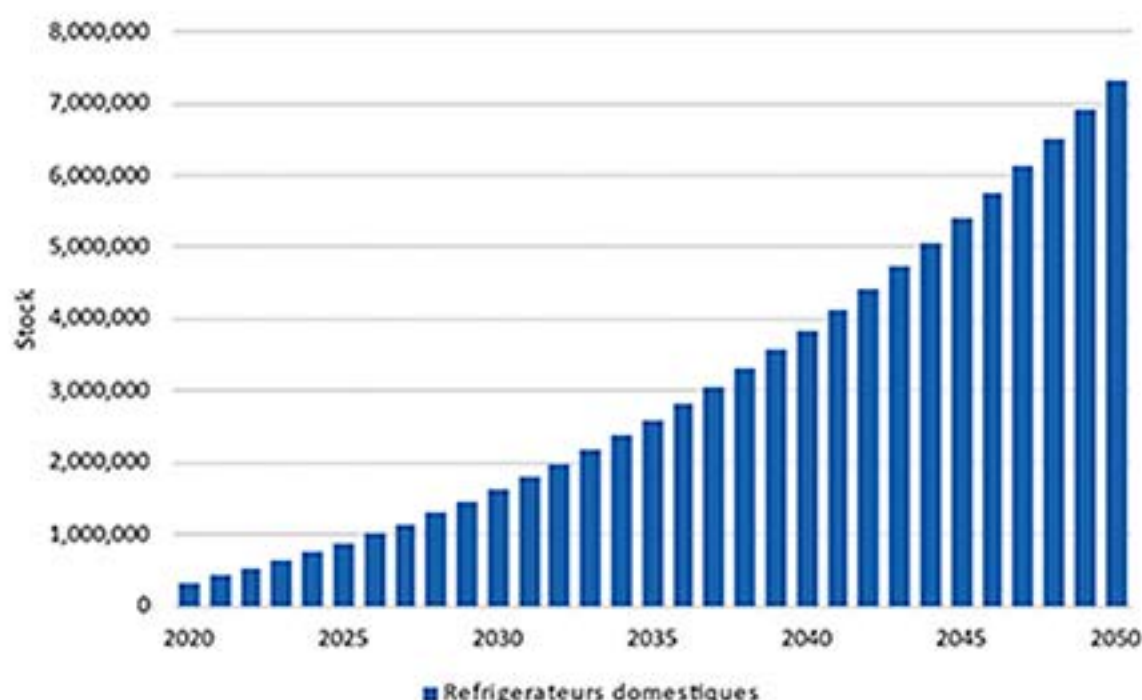


Figure 24: Développement du parc de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

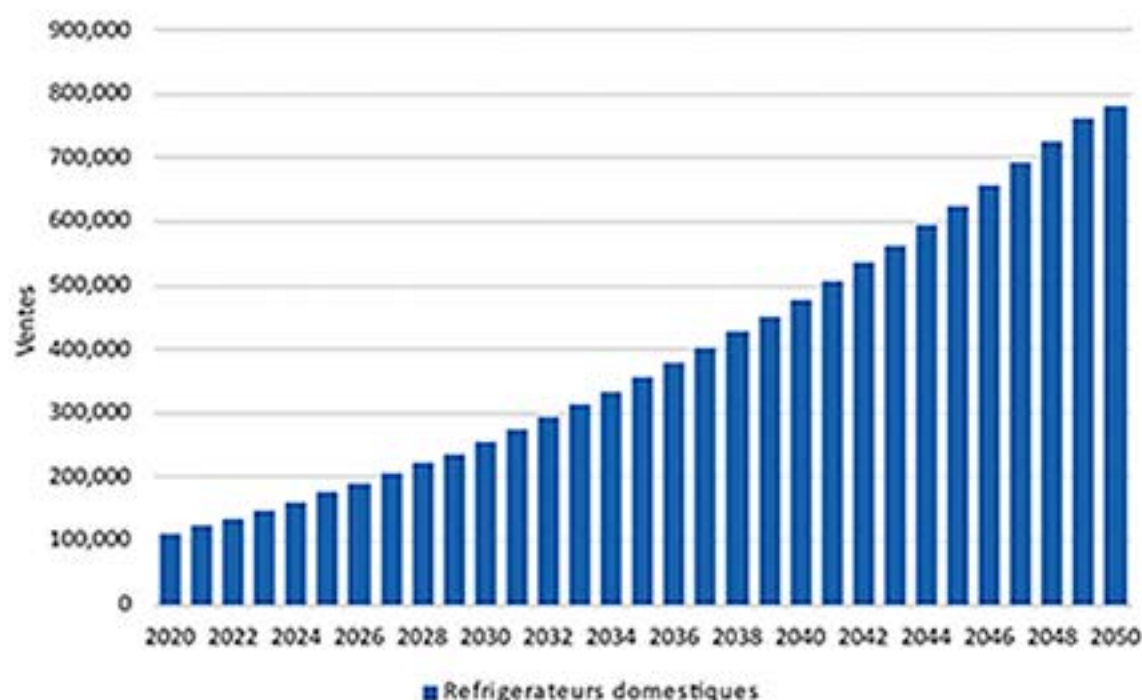


Figure 25: Ventes de réfrigérateurs domestiques entre 2020 et 2050 telles que résultant du développement supposé (Source : Analyse HEAT).

4.1.2 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 Mali.

Dans le scénario BAU, la demande d'électricité passe de 104 GWh en 2020 à environ 1 500 GWh en 2050, comme le montre la Figure 26.

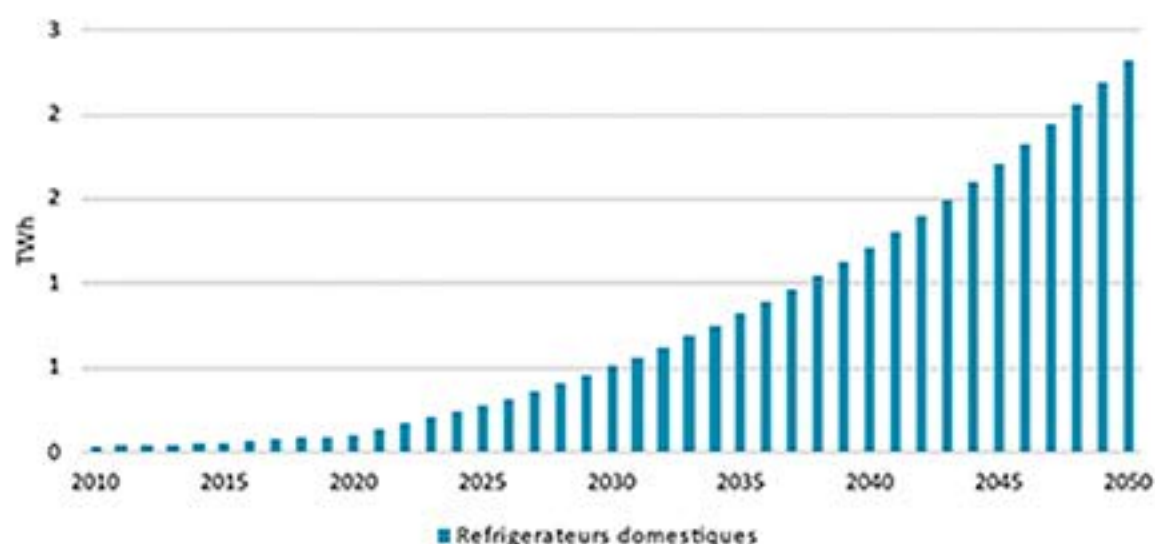


Figure 26: Consommation d'électricité des réfrigérateurs domestiques au Mali entre 2015 et 2050 (Source : Analyse HEAT)

4.1.3 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 0,3 en 2020 à 2,4 MtCO₂ eq en 2050 (Figure 27).

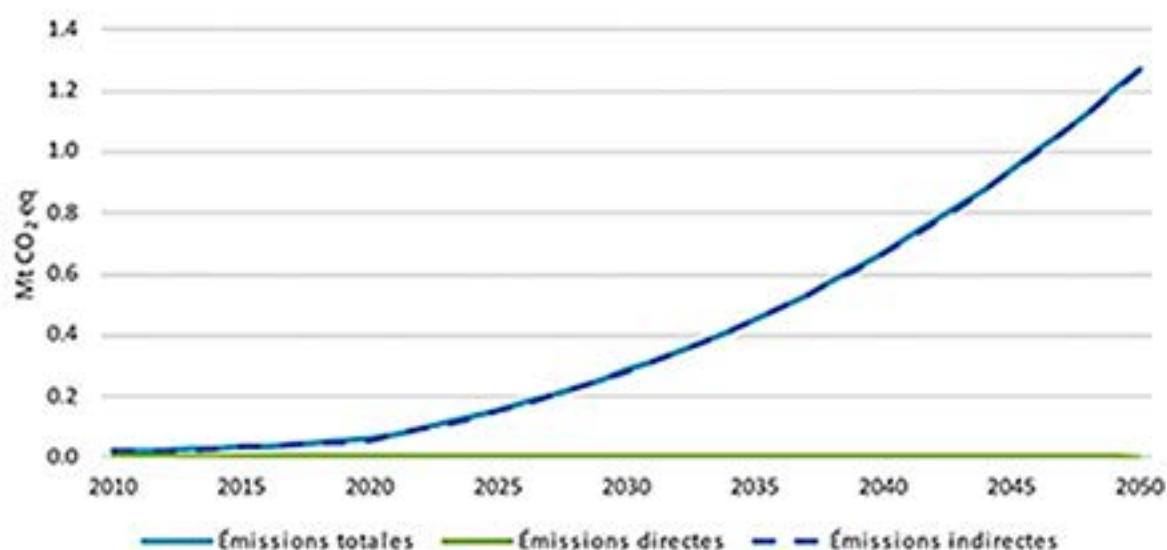


Figure 27: Émissions projetées des réfrigérateurs dans le scénario BAU (Source : Analyse HEAT).

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 naturels à PRG proche de zéro. Ainsi, l'augmentation de la demande énergétique est réduite d'environ 50%.

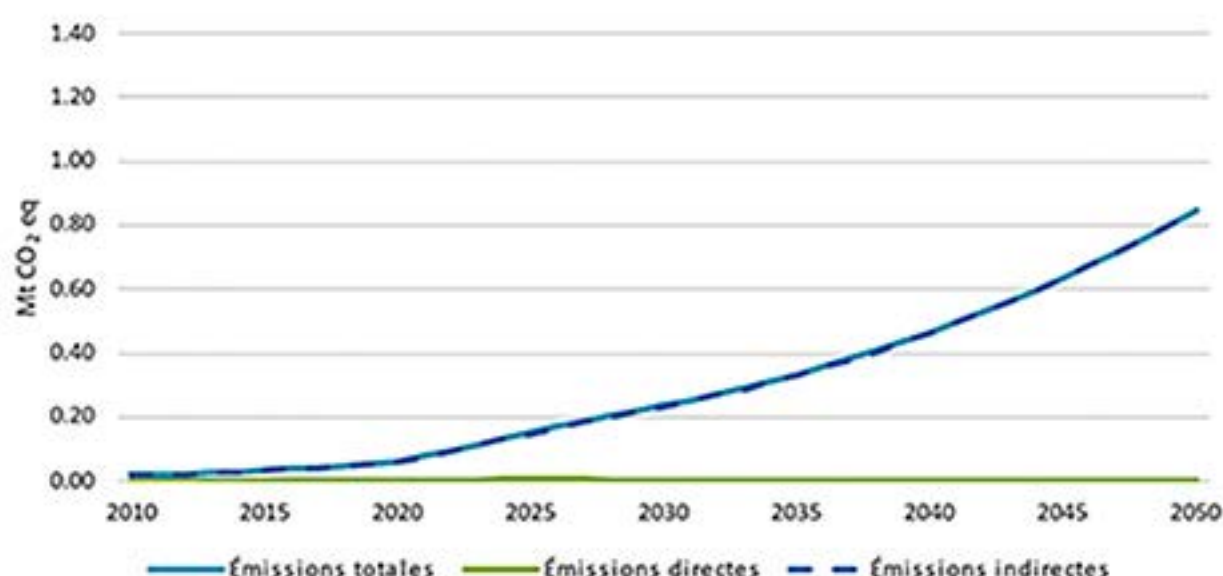


Figure 28: Réductions potentielles des émissions des réfrigérateurs (Source : Analyse HEAT).

4.1.4 Conclusion

Le fonctionnement des réfrigérateurs constitue une charge de base pour tout réseau électrique. Avec les plans ambitieux d'électrification presque complète des ménages en 2036, davantage de réfrigérateurs seront utilisés au Mali. 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 86 GWh (0,047 MtCO₂ eq) et en 2050, la réduction s'élève à 780 GWh (0,43 MtCO₂ eq).



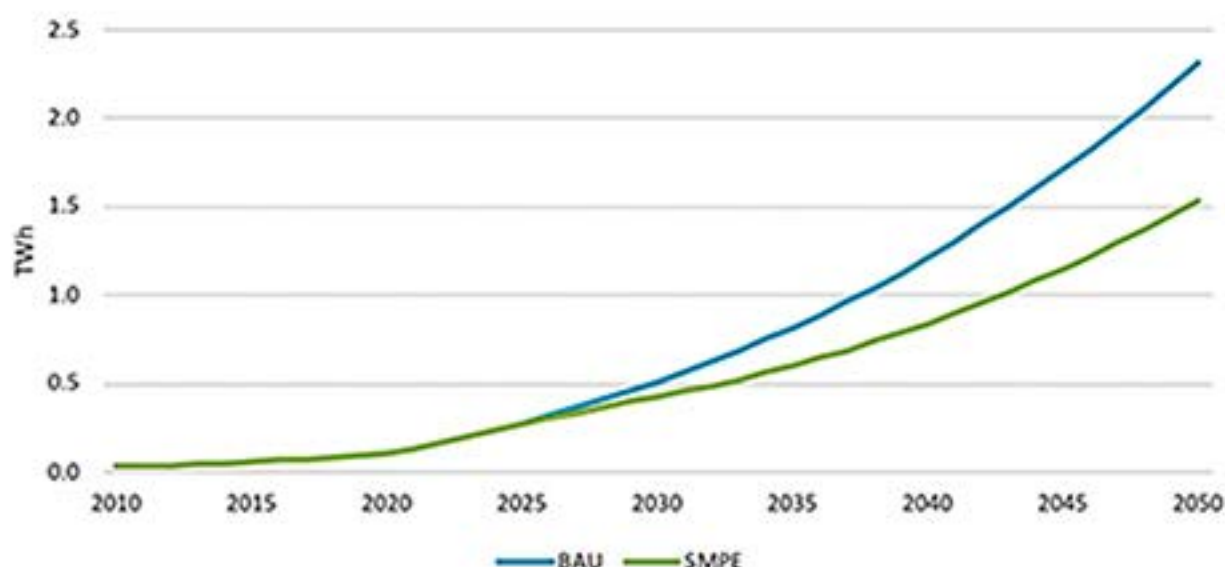


Figure 29: Consommation d'énergie des réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE. (Source : Analyse HEAT)

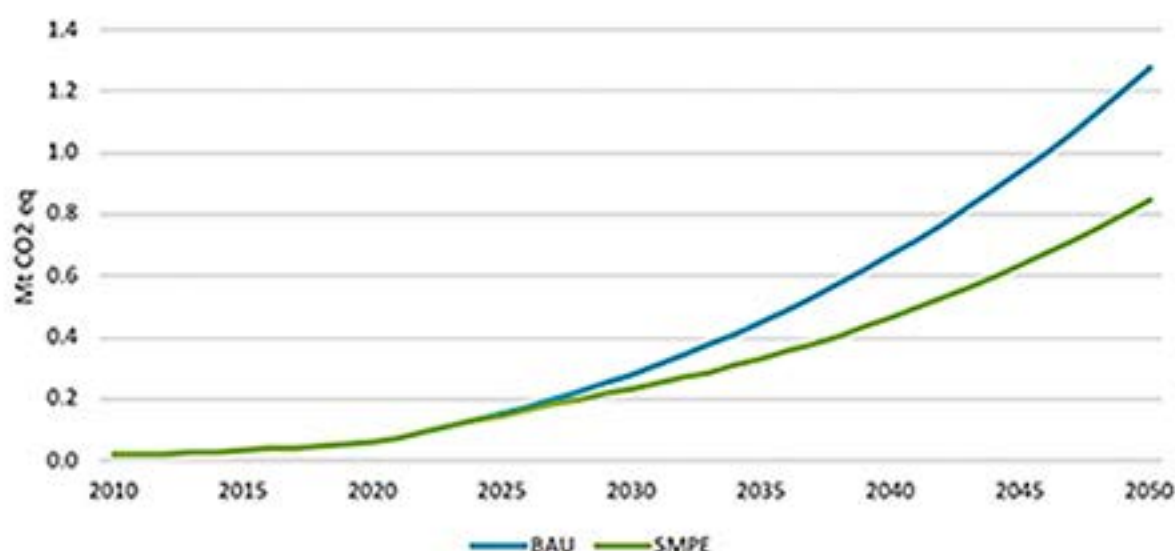


Figure 30: Émissions indirectes provenant de l'utilisation de l'électricité des réfrigérateurs dans le scénario BAU et le scénario avec la mise en vigueur des SMPE (Source : analyse HEAT)

4.2 Scénarios d'émissions pour le Mali : Sous-secteur des climatiseurs unitaires

Le développement du marché de la climatisation résidentielle au Mali 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 la moitié des ménages.

4.2.1 Projections des ventes et des stocks

Ventes d'unités de CA

Les données sur les climatiseurs split importés au Mali sont difficiles à obtenir. Seuls 7 mois de données douanières de janvier à juillet 2021 étaient disponibles. Au total, 2 820 appareils ont été importés durant cette période, ce qui implique une importation annuelle totale de 4 800 appareils en 2021. Comme aucune série chronologique n'est disponible, rien ne peut être dit sur la croissance du marché spécifique des climatiseurs.

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

Sur la base de données très limitées, le stock actuel est estimé à environ 60 000 unités de climatisation opérationnelles en 2020. Ce chiffre est basé sur l'hypothèse que 2% des ménages possèdent une unité de climatisation. Comme aucune information nationale n'est disponible, cette hypothèse tirée du rapport Ecofridges réalisé pour le Sénégal²⁴.

Les projections du marché des CA unitaires au Mali 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 démographique²⁵, la réalisation des objectifs du gouvernement en matière d'électrification²⁶, 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 90% d'ici 2036 sera atteint et qu'il sera poursuivi pour atteindre 100% en 2050.

Sur la base des hypothèses ci-dessus, la population du Mali atteint 44 millions d'habitants en 2050, contre 21 millions en 2021, soit plus du double. Dans le même temps, le nombre de ménages ayant accès à l'électricité passe de 1,6 million en 2021 à plus de 7,3 millions en 2050, soit une multiplication par 4,5.

Le parc de climatiseurs résultant est supposé augmenter à 170 000 unités d'ici 2030, soit environ 4% de tous les ménages maliens. En 2050, il est prévu que 40% de tous les ménages utilisent des climatiseurs, soit 2,9 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 13,5%, 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 40% en 2050. En termes absolus, il s'agit d'une croissance de plus de 2,8 millions d'unités, soit 44 fois plus que les 60 000 unités en 2020 (Figure 31).

²⁴ Etude de marche des réfrigérateurs et des climatiseurs pour la faisabilité du projet ecofridges au Sénégal, Rapport Final, Avril 2020, BASE and U4E

²⁵ <https://worldpopulationreview.com/countries/mali-population>, https://instat-mali.org/iaravel-filemanager/files/shares/eq/rana20pas1_eq.pdf

²⁶ Politique Énergétique Nationale du Mali révisé, 2019

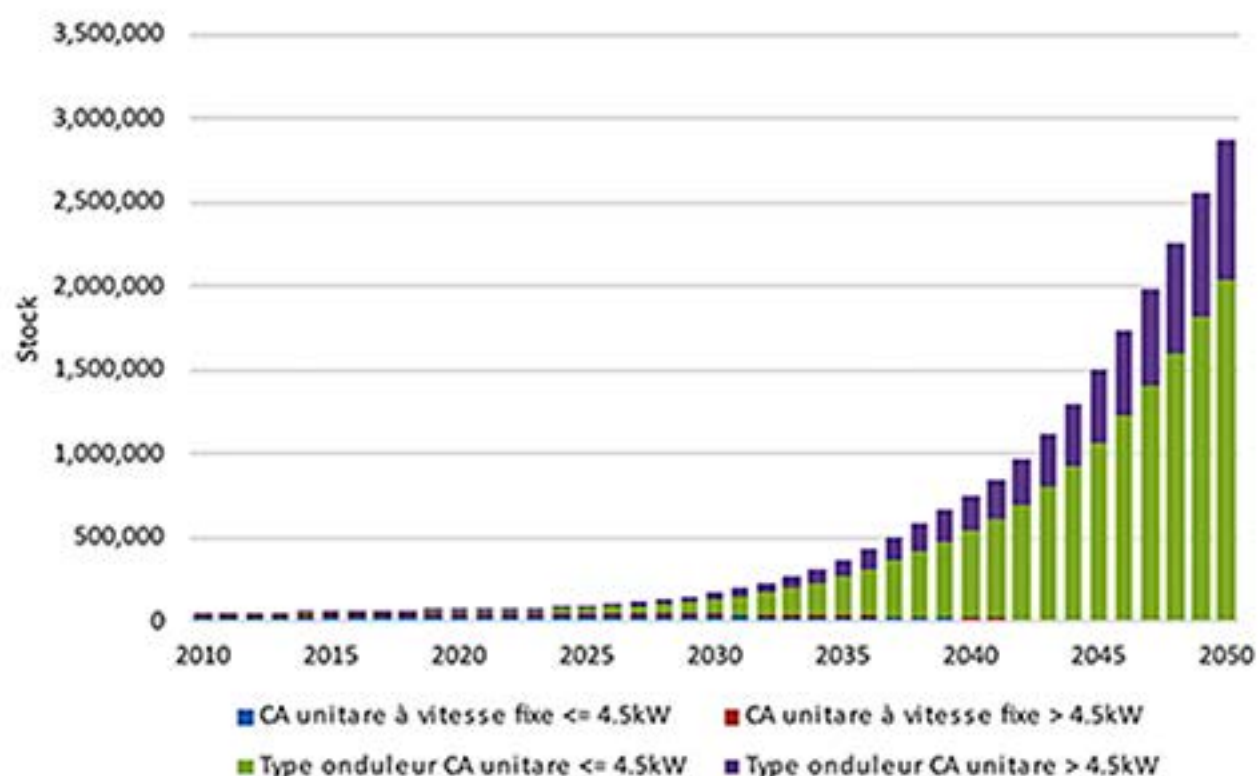


Figure 31: Développement du parc des CA unitaires entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

Les ventes augmentent également rapidement avec un TCAC de 15,4 % par an pour la période 2020-2050, passant d'environ 5 000 unités vendues en 2020 à 400 000 unités par an en 2050 (Figure 32)

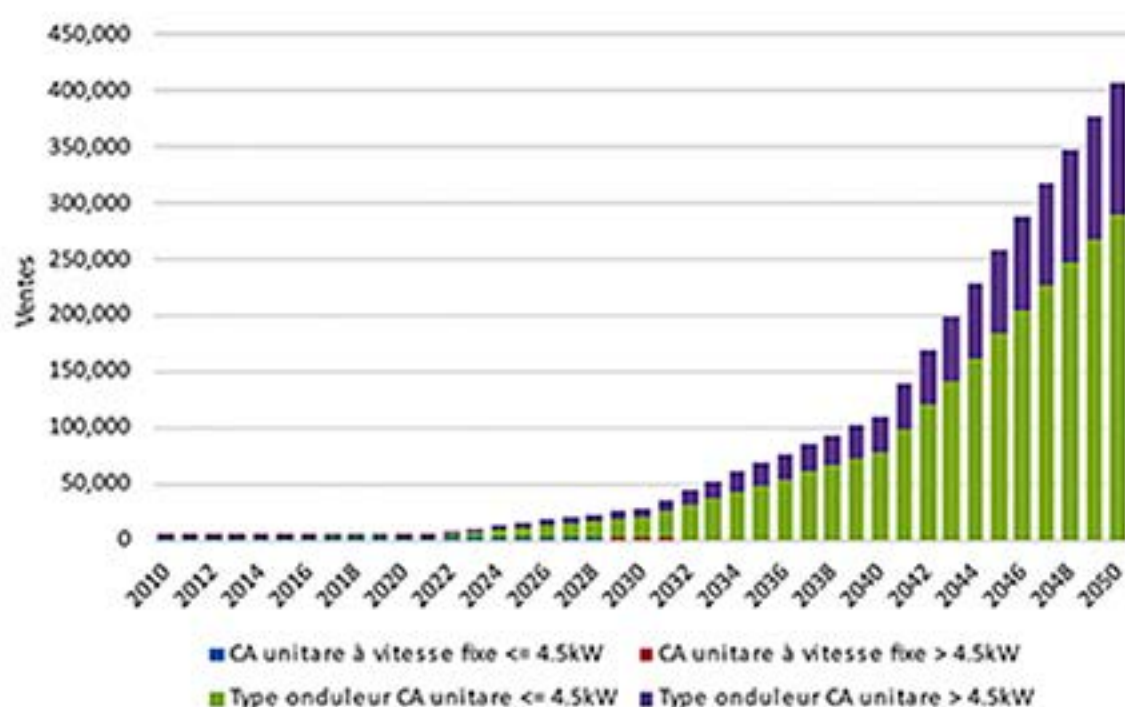


Figure 32: Évolution des ventes des CA unitaires entre 2020 et 2050 (Source : Analyse HEAT).

4.2.2 Demande d'énergie

La combinaison de l'augmentation de la propriété et du climat très chaud du Mali 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 0,3 TWh en 2020 à environ 9,5 TWh en 2050 (Figure 33).

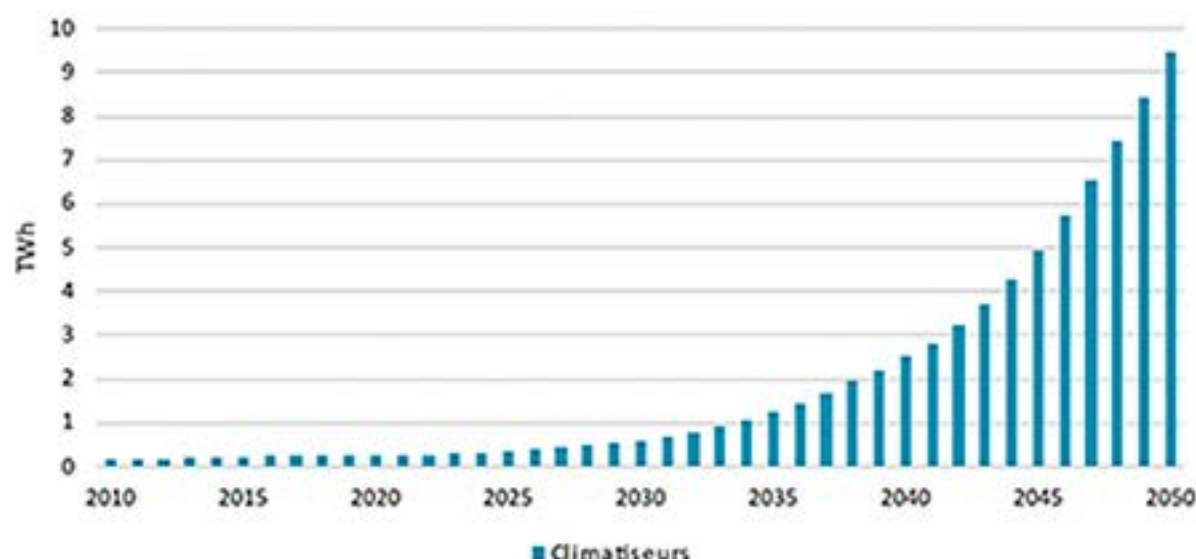


Figure 33: Consommation d'électricité des unités de climatisation unitaire au Mali 2020-2050 (Source : Analyse HEAT).

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.

4.2.3 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 550 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 11,8 % par an pour atteindre un total de 5,5 MtCO₂ eq, soit une multiplication par plus de 28 des 199 ktCO₂ eq en 2020 (Figure 34).

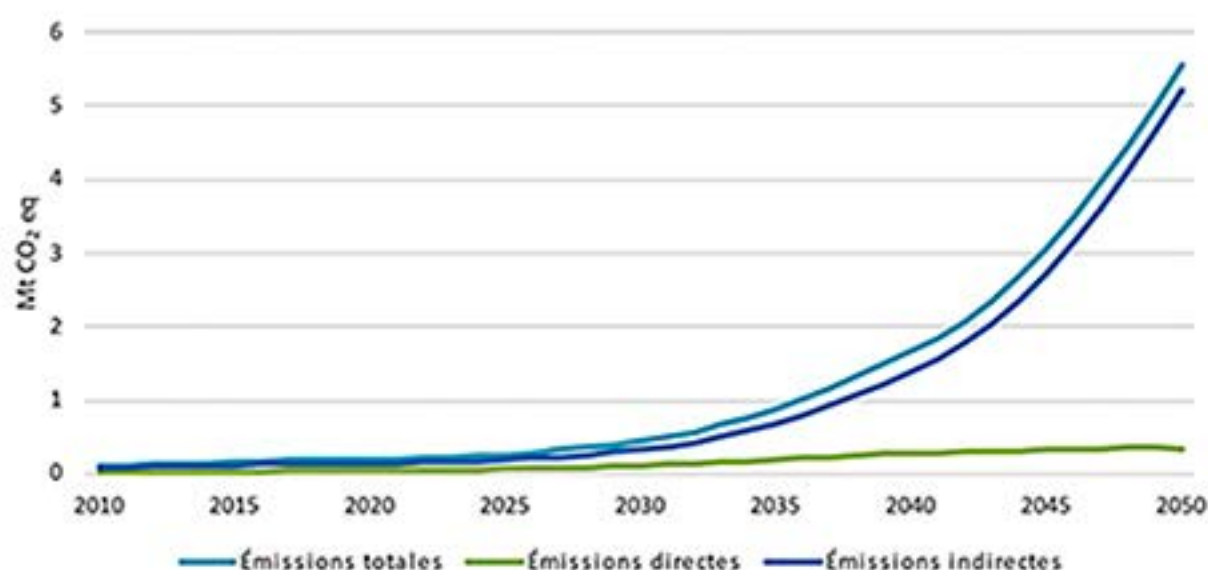


Figure 34: Les émissions de GES des unités CA au Mali dans la période 2010-2050 en MtCO₂ eq (Source : Analyse HEAT).

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 6,5% et 12,6% 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 Mali 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 39 % et l'adoption d'énergies renouvelables permet d'envisager des réductions supplémentaires.

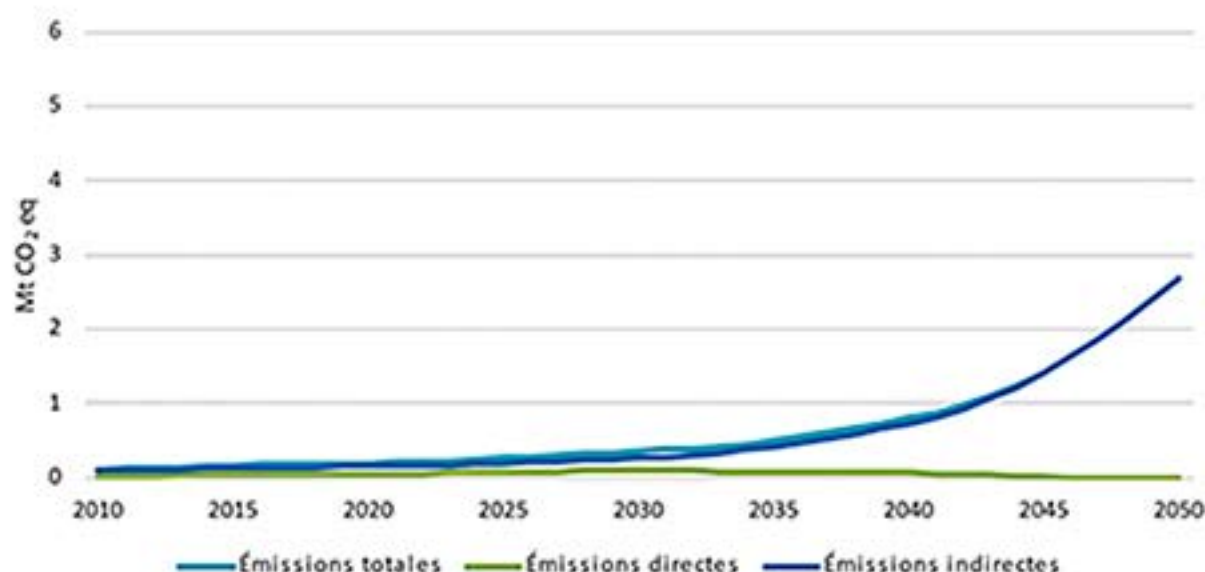


Figure 35: Émissions potentielles dans un scénario de mitigation pour les climatiseurs unitaires au Mali (Source : Analyse HEAT).

4.2.4 Conclusions

Compte tenu du climat prévalant au Mali 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 2,9 millions d'unités en fonctionnement qui nécessitent plus d'énergie que l'approvisionnement en électricité existant actuellement au Mali. 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, 132 GWh (72 ktCO₂ eq) sont réduits et en 2050, la réduction s'élève à 4,5 TWh (2,5 MtCO₂ eq).

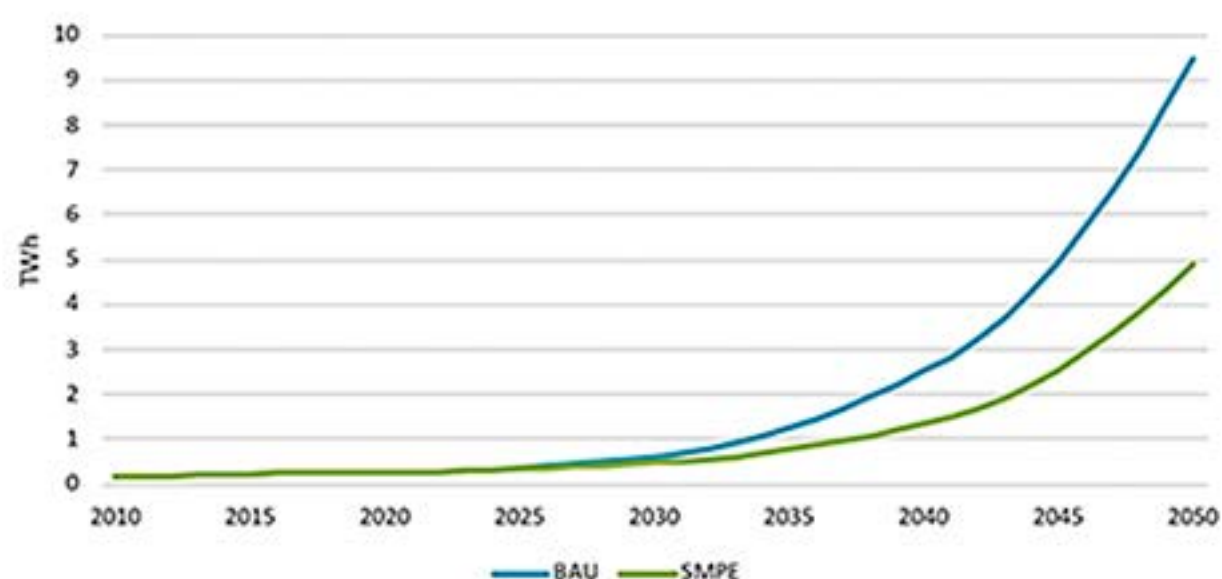


Figure 36: Consommation d'énergie prévue pour les climatiseurs split dans le scénario BAU et le scénario SMPE. (Source : Analyse HEAT)

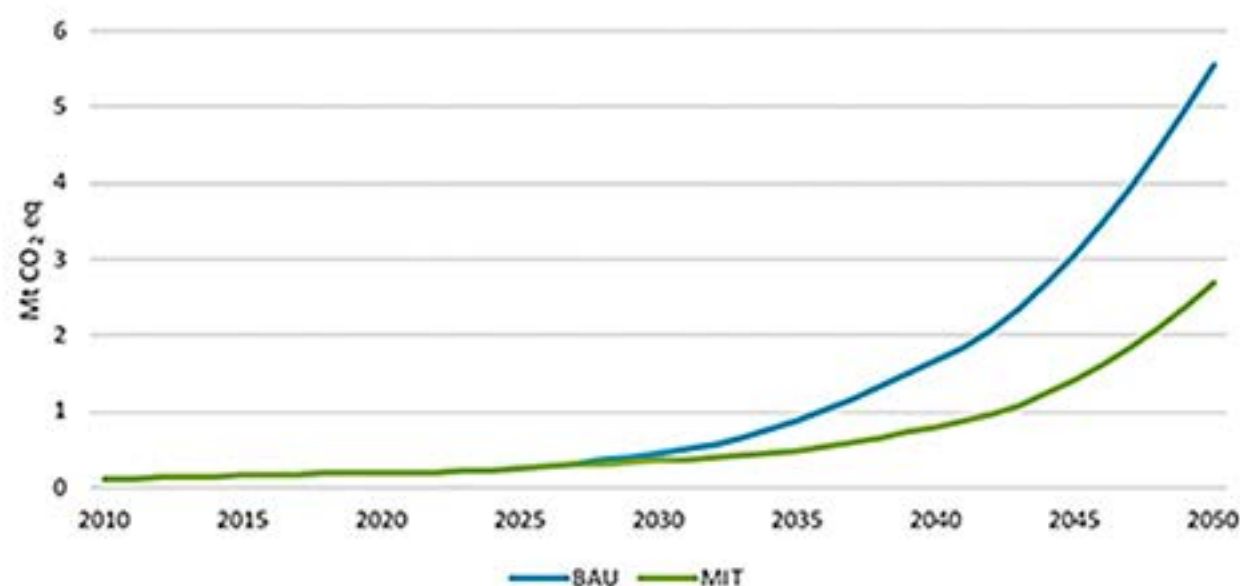


Figure 37: Projection des émissions dues à l'utilisation de l'électricité des climatiseurs dans le scénario BAU et le scénario SMPE (Source : analyse HEAT).

5 Conclusion et recommandations

5.1 Projections des émissions totales des deux sous-secteurs étudiés

On estime que les deux sous-secteurs combinés produiront des émissions (directes et indirectes) de 0,31 Mt CO₂eq en 2022 et de 6,83 Mt CO₂eq en 2050 (Figure 38), où 81 % de ces émissions proviennent de la consommation d'énergie. Le scénario d'atténuation montre que la croissance des émissions peut ralentir jusqu'en 2050 et au-delà : 3,3 Mt CO₂eq, soit une réduction des émissions de 48 % en 2050 par rapport au scénario de maintien du statu quo. La majorité des réductions d'émissions peuvent être réalisées par une efficacité énergétique accrue, ce qui pourrait conduire à une réduction de la demande énergétique de 5,3 TWh en 2050 (Figure 39).

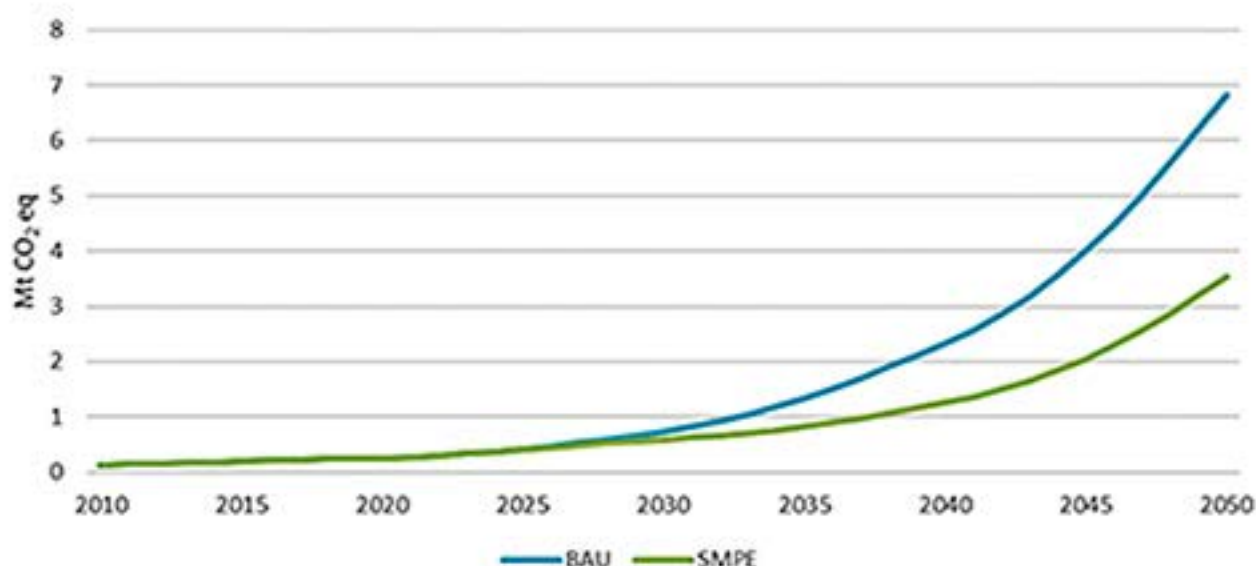


Figure 38: Projection des émissions directes et indirectes des climatiseurs et des réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario SMPE (Source : analyse HEAT).

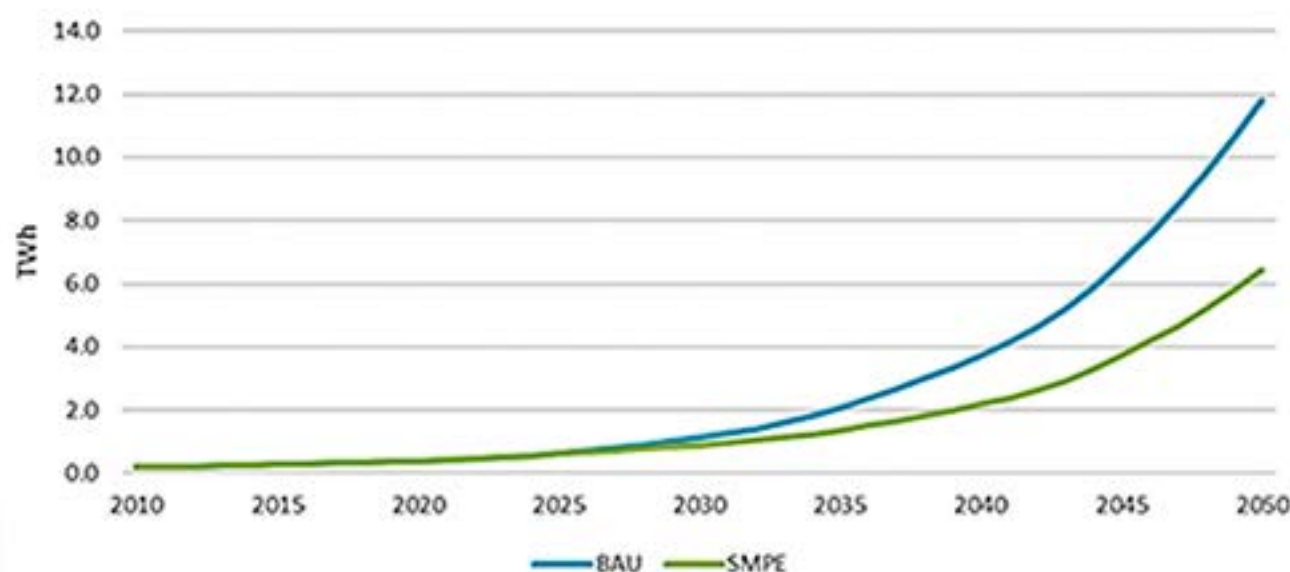


Figure 39 : Consommation d'énergie prévue pour les climatiseurs split et les réfrigérateurs domestiques dans le scénario BAU et le scénario SMPE. (Source : Analyse HEAT)

6 ANNEXE

HYPOTHESES DU MODELE

	Type d'appareil	Charge de fluide frigorigène [kg]	À vie	Capacité de refroidissement [kW]
1	CA unitaire à vitesse fixe $\leq 4.5\text{kW}$	0,875	15	3,5
2	CA unitaire à vitesse fixe $> 4.5\text{kW}$	1,75	15	7
3	Type d'onduleur CA unitaire $\leq 4.5\text{kW}$	0,875	15	3,5
4	Type d'onduleur CA unitaire $> 4.5\text{kW}$	1,75	15	7
12	Réfrigération domestique	0,95	20	0,2

STOCK

Type d'appareil	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CA unitaire à vitesse fixe $\leq 4.5\text{kW}$	22 801	31 451	35 486	36 124	32 119	24 920	15 161	6 854	1 869
CA unitaire à vitesse fixe $> 4.5\text{kW}$	9 315	12 852	14 505	14 772	13 138	10 194	6 202	2 804	765
Type d'onduleur CA unitaire $\leq 4.5\text{kW}$	1 982	5 424	10 485	27 913	89 739	237 764	520 558	1 057 337	2 033 824
Type d'onduleur CA unitaire $> 4.5\text{kW}$	808	2 210	4 271	11 385	36 639	97 105	212 620	431 870	830 717
Réfrigération domestique	107 524	187 455	331 076	877 834	1 616 401	2 592 336	3 842 840	5 410 015	7 336 024

VENTES

Type d'appareil	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CA unitaire à vitesse fixe $\leq 4.5\text{kW}$	2 400	2 565	2 490	1 938	1 246	623	0	0	0
CA unitaire à vitesse fixe $> 4.5\text{kW}$	981	1 049	1 018	793	510	255	0	0	0
Type d'onduleur CA unitaire $\leq 4.5\text{kW}$	531	957	1 414	9 212	18 816	48 497	78 179	183 755	289 331
Type d'onduleur CA unitaire $> 4.5\text{kW}$	216	390	576	3 762	7 685	19 809	31 932	75 055	118 178
Réfrigération domestique	15 780	34 860	112 388	175 205	256 028	356 416	478 887	625 661	782 701

CLASSES D'EFFICACITE ENERGETIQUE

Type d'appareil	EERClass	EER	CSPF	EC
CA unitaire à vitesse fixe <= 4.5kW	1	2,2	2,3	4280
	2	3,2	3,3	2940
	3	3,6	3,8	2620
	4	4,8	5	1960
	5	5,7	6	1650
	6	6,6	6,9	1430
	7	7,1	7,4	1330
	8	7,3	7,6	1290
CA unitaire à vitesse fixe > 4.5kW	1	2,1	2,2	8970
	2	3,1	3,2	6080
	3	3,3	3,5	5625
	4	4,1	4,3	4590
	5	5,1	5,3	3690
	6	6	6,3	3140
	7	6,7	7	2810
	8	6,9	7,2	2730
Type d'condenseur CA unitaire <= 4.5kW	1	1,9	2,3	3780
	2	2,8	3,3	2600
	3	3,2	3,8	2320
	4	4,2	5	1730
	5	5,1	6	1460
	6	5,8	6,9	1260
	7	6,3	7,4	1180
	8	6,4	7,6	1140
Type d'condenseur CA unitaire > 4.5kW	1	1,9	2,2	7930
	2	2,7	3,2	5380
	3	3	3,5	4970
	4	3,6	4,3	4060
	5	4,5	5,3	3260
	6	5,3	6,3	2780
	7	5,9	7	2480
	8	6,1	7,2	2410
Réfrigération domestique		Valeur R	AV	EC
	1	0,65	315	461
	2	0,84	315	358
	3	1,13	315	267
	4	1,35	315	223
	5	1,60	315	188

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	25%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	0%
CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW	2	75%	75%	75%	75%	0%	0%	0%	0%

CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW	3	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
CA unitaire à vitesse fixe <=4.5 kW	4	0%	0%	0%	0%	50%	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	25%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	0%
CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW	2	75%	75%	75%	75%	0%	0%	0%	0%
CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW	3	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
CA unitaire à vitesse fixe > 4,5 kW	4	0%	0%	0%	0%	50%	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	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%
Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW	3	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
Type d'onduleur CA unitaire <=4.5 kW	4	0%	0%	0%	0%	50%	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	10%	10%	10%	10%	0%	0%	0%	0%
Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW	3	90%	90%	90%	90%	50%	0%	0%	0%
Inverseur de type CA unitaire >4.5 kW	4	0%	0%	0%	0%	50%	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	14%	14%	14%	14%	0%	0%	0%	0%
Réfrigération domestique	2	39%	39%	39%	39%	35%	0%	0%	0%
Réfrigération domestique	3	22%	22%	22%	22%	35%	0%	0%	0%
Réfrigération domestique	4	17%	17%	17%	17%	20%	50%	50%	50%
Réfrigération domestique	5	8%	8%	8%	8%	10%	50%	50%	50%

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

Distribution des fluides frigorigènes dans les ventes		BAU				MIT			
Sous-secteur	Réfrigérant	2020	2030	2040	2050	2025	2030	2040	2050
CA unitaire à vitesse fixe <=4,5 kW	R22	60%	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	40%	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	64%	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	36%	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	2%	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	99%	50%	0%	0%	74%	0%	0%	0%
Type d'onduleur CA unitaire <=4,5 kW	R32	0%	50%	50%	10%	25%	0%	0%	0%
Inverseur de type CA unitaire >4,5 kW	R22	0%	0%	0%	0%	0%	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	100%	50%	0%	0%	75%	0%	0%	0%
Inverseur de type CA unitaire >4,5 kW	R32	0%	50%	50%	10%	25%	0%	0%	0%
Réfrigération domestique	R134a	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Réfrigération domestique	R600a	87%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



Cofinancé par
l'Union européenne



coopération
allemande
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT



STRATÉGIE NATIONALE EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE POUR LES CLIMATISEURS ET RÉFRIGÉRATEURS DOMESTIQUES AU MALI

Publié par la

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH