

EQUINOXE EIRL

Evaluation indicative des performances énergétiques des installations de climatisation des bâtiments tertiaires en climat tropical

Projet HELIODROM

Juin 2025



Crédits photos : EQUINOXE

Version rapport	Auteur(s)	Relecteur(s)
V1	Violette VANDERCOILLE <i>Ingénieure Efficacité Énergétique</i> violette.equinox@orange.fr	Florian HUTEAU Laurent SEAUVÉ

Sommaire

1. INTRODUCTION	3
1.1. PRESENTATION D'EQUINOXE.....	3
1.2. LE PROGRAMME OMBREE	3
1.3. PROBLEMATIQUE.....	4
2. SYSTEMES ETUDIES	5
2.1. CLIMATISATION CENTRALISEE A EAU GLACEE.....	5
2.2. CLIMATISATION CENTRALISEE DE TYPE ROOFTOP.....	6
2.3. CLIMATISATION CENTRALISEE DRV (DEBIT DE REFRIGERANT VARIABLE)	6
2.4. SYSTEME MULTI-SPLIT.....	7
2.5. SYSTEME SPLIT INDIVIDUEL	7
2.6. TECHNOLOGIE INVERTER	8
3. ETUDE DES EER NOMINAUX.....	8
3.1. PROTOCOLE D'ANALYSE	8
3.2. SEER : EFFET SAISONNIER	8
3.3. RESULTATS SYNTHETIQUES.....	9
3.4. INTERPRETATIONS.....	9
3.5. TABLES OPERATIONNELLES.....	10
4. EVALUATION DES EER REELS.....	12
4.1. FACTEURS D'INFLUENCE SUR L'EER NOMINAL	12
4.2. HIERARCHISATION DES FACTEURS DE DEGRADATION DE L'EER	14
4.3. SPECIFICITES DES SYSTEMES CENTRALISES.....	16
4.4. ETUDES EXPERIMENTALES DISPONIBLES EN CLIMAT TROPICAL.....	17
5. CONCLUSIONS.....	18

1. Introduction

1.1. Présentation d'EQUINOXE

EQUINOXE est un bureau d'études spécialisé dans les domaines de l'énergie et de la qualité environnementale des bâtiments en climat tropical. Basé en Guadeloupe, EQUINOXE est indépendant de toute entité commerciale, garantissant ainsi son objectivité et l'absence de conflits d'intérêts dans l'exercice de ses missions, au service des entreprises et des collectivités.

Ses principales prestations sont les suivantes :

- Études d'optimisation énergétique, diagnostics et audits
- Ingénierie solaire thermique et photovoltaïque
- Assistance technique en Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB)
- Études spécifiques pour les collectivités
- Formation continue des professionnels du bâtiment en zone tropicale.

EQUINOXE est triple lauréat du programme OMBREE :

- **Projet B-AIR** (EQUINOXE / R. CELAIRE / INDDIGO / M. SINCZAK), **rédaction du guide BRISE**, guide de prescriptions techniques pour les brasseurs d'air
- **Projet HELIODROM** (EQUINOXE / R. CELAIRE / INDDIGO / AGENCE ARCHITECTURES), qui vise à améliorer la protection solaire des bâtiments tertiaires
- **Projet COOLIBRI** (LEU Réunion, QWINRJ, EQUINOXE), qui vise à promouvoir les solutions mixtes de confort utilisant la climatisation couplée à des brasseurs d'air.

1.2. Le programme OMBREE

Le programme OMBREE (inter **O**utre-**M**er pour des **B**âtiments **R**ésilients et **É**conomes en **É**nergie) s'adresse aux professionnels de la construction. Il vise à réduire les consommations d'énergie dans les bâtiments ultramarins grâce à des actions de sensibilisation, d'information et de formation.

Il concerne cinq territoires : la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique, La Réunion et Mayotte.

Officialisé par l'arrêté du 3 janvier 2020, pour une durée initiale de trois ans, OMBREE est piloté par l'AQC. Ce programme s'appuie sur des partenaires locaux solides (AQUAA, CAUE de la Guadeloupe, HORIZON RÉUNION, KEBATI, FEDOM) et sur un comité de pilotage regroupant les principaux acteurs publics (DGEC, DHUP, DGOM, ADEME) ainsi que EDF SEI, principal financeur du programme.

En 2020, OMBREE a ouvert un incubateur de projets ultramarins dédié à la construction. Celui-ci a permis le lancement de 10 projets, portés localement dans les 5 DROM. Reconduit en 2023, 12 nouveaux projets ont vu le jour.

Parmi eux, figure le projet HELIODROM®, qui vise à promouvoir la protection solaire des bâtiments tertiaires existants en Outre-Mer, afin d'améliorer le confort des occupants et de réduire les consommations d'énergie. La méthodologie repose sur un diagnostic par imagerie aérienne (drone) simulant la course du soleil.



1.3. Problématique

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet HELIODROM. Lors des diagnostics de protection solaire réalisés sur les façades des bâtiments étudiés, l'équipe HELIODROM a identifié la nécessité de **préciser les efficacités énergétiques en mode froid** des équipements de climatisation existants, en analysant leurs **EER (Energy Efficiency Ratio)**.

Pour estimer au plus juste les consommations énergétiques liées à la climatisation, ainsi que les gains potentiels apportés par les protections solaires proposées, il est apparu essentiel d'**étudier l'écart entre les EER théoriques et les EER réels**, ainsi que les **facteurs influençant ces performances**.

Cette étude reste indicative, car basée sur des recherches documentaires, sans instrumentation ni mesures sur les systèmes étudiés.

Elle a pour objectif d'analyser les écarts de performance entre familles de systèmes et d'identifier les principaux facteurs qui influencent l'EER réel des systèmes de climatisation, afin d'alimenter la réflexion autour des leviers d'optimisation énergétique dans les bâtiments tertiaires ultramarins et les gisements d'économies d'énergie associés.

2. Systèmes étudiés

Cette étude se concentre sur les systèmes de climatisation présents en outre-mer dans les bâtiments tertiaires (bureaux, administrations, commerces, bâtiments de santé, ...), avec des éléments également applicables au secteur résidentiel.

Cinq grandes familles d'installations de rafraîchissement sont identifiées ; elles sont représentatives de l'essentiel des systèmes installés en zone tropicale ou équatoriale :

- Climatisation centralisée à eau glacée
- Climatisation centralisée de type roof-top
- Climatisation centralisée par Débit de Réfrigérant Variable (DRV)
- Systèmes semi-centralisés de type multi-split
- Systèmes individuels de type split

Un bref descriptif de ces 4 familles d'équipements est présenté ci-après.

2.1. Climatisation centralisée à eau glacée

Ce type d'installation est couramment utilisé dans les grands ensembles tertiaires (centres administratifs, hôpitaux, hôtels). L'eau glacée produite par une machine frigorifique (6–9 °C) est distribuée via un réseau hydraulique vers des terminaux de type ventilo-convecteurs (VC) et/ou centrales de traitement d'air (CTA). L'échange de chaleur permet de rafraîchir les espaces, avant que l'eau ne soit renvoyée à la production (retour de boucle à 12–15 °C).

Les gammes de puissance couramment rencontrées en Outre-Mer concernant, pour l'essentiel des groupes à eau glacée à condensation par air.

Atouts : mutualisation des besoins, bon rendement énergétique, faible quantité de fluide frigorigène mis en œuvre.

Contraintes : complexité d'installation et de maintenance, risques de condensation, peu adapté à la rénovation



Groupe de climatisation à eau glacée à condensation par air

2.2. Climatisation centralisée de type rooftop

Les systèmes Rooftop, monoblocs, également utilisés comme pompes à chaleur, sont principalement utilisés dans les bâtiments tertiaires de grands volumes (supermarchés, commerces, entrepôts, salles de sport). Installé en toiture, le rooftop assure à la fois la production et le traitement d'air, qu'il distribue directement dans les espaces via un réseau de gaines. Il fonctionne en détente directe, avec des cycles de refroidissement gérés en interne, avec plusieurs compresseurs rotatifs.

Atouts : solution tout-en-un, installation simplifiée (pas de réseau d'eau), faible quantité de fluide frigorigène mis en œuvre, pas d'emprise au sol.

Contraintes : accès en toiture nécessaire pour la maintenance, efficacité variable selon la conception : nécessité d'assurer une stratification du volume rafraîchi en diffusant l'air à mi-hauteur, bruit et intégration esthétique à surveiller, surcharges en toiture en zone sismique.



Rooftop sur bâtiment commercial

2.3. Climatisation centralisée DRV (Débit de Réfrigérant Variable)

Les systèmes DRV (aussi appelés VRV pour "Volume de Réfrigérant Variable") assurent un contrôle précis de la température et une modulation de puissance. Ils utilisent un fluide frigorigène comme caloporteur, distribué vers plusieurs unités intérieures (jusqu'à plusieurs dizaines) à partir d'une seule unité extérieure. Le système adapte en temps réel la quantité de froid produite en fonction des besoins.

Atouts : haute efficacité énergétique, confort thermique optimisé, souplesse d'installation

Contraintes : volume de fluide frigorigène soumis à la réglementation F-Gaz, technicité de maintenance, sensibilité au bon dimensionnement



Installation VRV en bâtiment tertiaire

2.4. Système multi-split

Le système multi-split permet de connecter plusieurs unités intérieures (2 à 5 en général) à une seule unité extérieure. C'est une solution répandue en résidentiel, mais aussi dans le petit tertiaire (bureaux de taille modeste, commerces), notamment en rénovation.

Atouts : flexibilité d'installation, coût raisonnable

Contraintes : installation plus complexe qu'un split simple, nuisances sonores possibles, capacité limitée



Principe d'un système multisplit

2.5. Système split individuel

Chaque pièce est équipée d'une unité intérieure reliée à sa propre unité extérieure.

Système le plus répandu en Outre-mer et dans le monde, plusieurs dizaines de milliers d'unités de climatiseurs individuels sont installés sur chaque territoire ultramarin. Ces systèmes sont omniprésents en résidentiel et dans les espaces tertiaires en outre-mer.

Atouts : coût d'investissement faible, simplicité relative de mise en œuvre

Contraintes : absence de mutualisation des besoins en froid, multiplicité des unités extérieures, impact esthétique, nuisances sonores, efficacité limitée à petite échelle.

Très fort impact CO2, liée aux enjeux de manipulation des fluides frigorigènes par une filière d'installateurs ne respectant parfois pas les exigences de la F-Gaz lors du remplacement des installations (récupération des fluides).



Unité extérieure d'un climatiseur split

2.6. Technologie inverser

Les systèmes à détente directe – Rooftop, DRV, multi-split et mono-splits - intègrent aujourd'hui presque systématiquement la technologie inverser. Celle-ci permet de moduler la vitesse du compresseur, qui fonctionne avec une motorisation à vitesse variable, pour ajuster en continu la puissance frigorifique, réduisant les cycles marche/arrêt.

Avantages principaux :

- Meilleure efficacité énergétique
- Confort thermique accru (moins de variations de température)
- Usure réduite des équipements

Contraintes : en outre-mer, les Zones Non Interconnectées, en raison de la relative faible taille des réseaux, sont caractérisées par des variations parfois importantes de la qualité du courant électrique distribué. Les variations de tension et de fréquence engendrent des défaillances prématurées sur les cartes d'alimentation des climatiseurs inverser.

3. Etude des EER nominaux

Pour rappel, la présente étude dresse un **recensement documentaire des performances énergétiques** de 4 familles de systèmes de climatisation (splits et multi-splits étant regroupés en une seule famille), sur la base des données commerciales disponibles en ligne.

3.1. Protocole d'analyse

La première partie de l'étude a consisté à réaliser un recensement de plusieurs équipements de climatisation afin de recueillir leurs EER nominaux et leurs puissances frigorifiques. Ce recueil de données s'est effectué en étudiant les fiches techniques des différents constructeurs, ces fiches étant collectées sur internet, auprès des sites des fabricants.

Cette analyse a permis de **recueillir les données de 213 équipements** issus de 14 fabricants, réparties par catégorie comme suit :

Type de système	Nombre de données récoltées
Groupe à eau glacée	83
Rooftop	35
Groupe DRV	56
Split	39

3.2. SEER : effet saisonnier

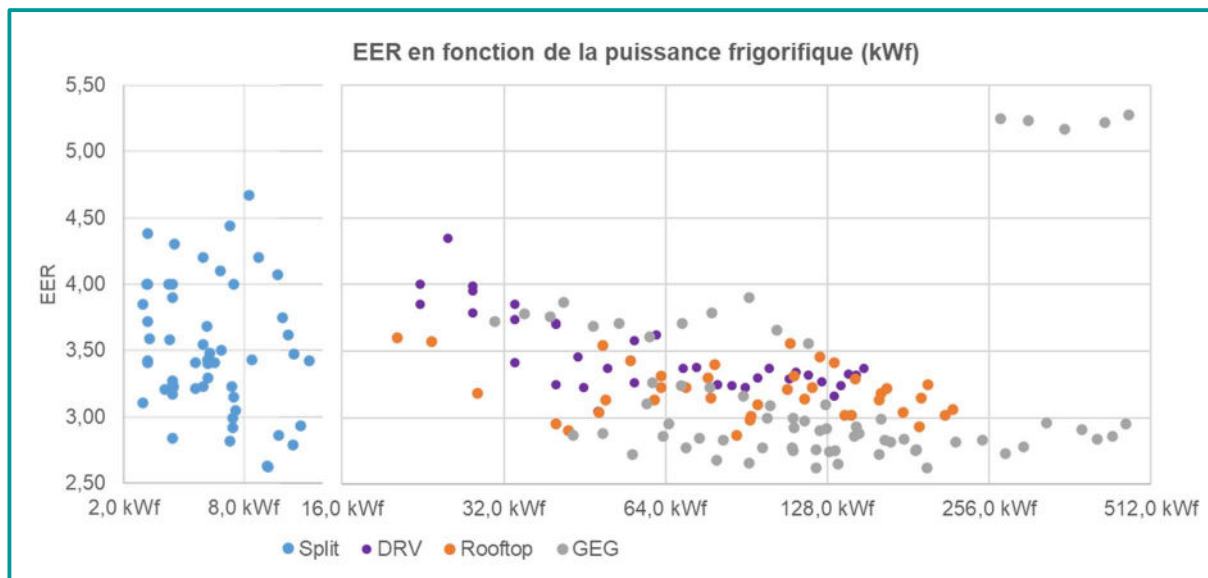
S'agissant d'une analyse à destination des territoires ultra-marins, l'étude se concentre sur l'EER des équipements, sans prendre en compte le caractère saisonnier avec l'indicateur SEER, dont les principes sont applicables essentiellement sur les profils climatiques européens, hors des conditions des climats tropicaux des territoires d'outre-mer.

L'analyse des étiquettes énergie n'a donc pas été intégrée à cette étude pour les climatiseurs individuels.



3.3. Résultats synthétiques

Le graphique ci-dessous présente l'ensemble des EER des équipements en fonction de leur puissance frigorifique. Il constitue une synthèse des résultats de l'étude.



Nota : les EER mentionnés pour les groupes à eau glacée (GEG) concernent des GEG à condensation par air, généralement à condenseur intégré (monobloc) ; cependant, ils n'intègrent pas les équipements auxiliaires de l'installation : ainsi, la(es) pompe(s) auxiliaire(s) du réseau d'EG et les nécessaires Centrales de Traitement d'Air viennent dégrader les performances énergétiques sur l'ensemble d'une installation.

3.4. Interprétations

L'analyse de la performance énergétique des systèmes de climatisation en fonction de leur puissance frigorifique **met en évidence des tendances différenciées** selon les technologies étudiées. Le coefficient d'efficacité énergétique (EER) varie globalement à la baisse avec l'augmentation de la puissance, bien que des disparités apparaissent entre les différentes familles d'équipements.

Cela peut s'expliquer par *un effet de gamme* dans la modularité des composants des équipements : ainsi, une taille de batterie de condenseurs unique pourra équiper plusieurs groupes froids, la modulation des puissances s'effectuant sur le choix du ou des compresseurs.

Globalement, les systèmes de type *split*, limités aux faibles puissances (<10 kWf), affichent les meilleures performances énergétiques, avec des EER souvent supérieurs à 3,50, et pouvant atteindre 5,0 pour les plus performants. Cette technologie se révèle donc performante à petite échelle, mais potentiellement moins adaptée aux besoins plus conséquents.

Les systèmes à débit de réfrigérant variable (*DRV*), utilisés pour des puissances intermédiaires (de 10 à environ 150 kWf), présentent des EER relativement stables, majoritairement compris entre 3,0 et 4,5. Ils constituent un bon compromis entre efficacité énergétique et capacité frigorifique, bien que leur performance tende à légèrement diminuer

sur les gammes plus puissantes. Par ailleurs, les quantités importantes de fluides frigorigènes sur les grosses installations augmentent significativement leurs potentiels impacts environnementaux, en cas de fuite de gaz dans l'atmosphère.

Les *rooftops*, quant à eux, couvrent une large plage de puissance (15 à 250 kWf) et sont adaptés au rafraîchissement de grands volumes nécessitant de forts débits de renouvellement d'air. Si leur EER situé entre 3,0 et 3,8, est globalement inférieur à celui des installations DRV, cette technologie reste performante en raison d'un moindre impact environnemental (plus faibles quantités de fluide frigorigène mis en œuvre) et conserve ses atouts de polyvalence en termes de puissance.

Enfin, les *groupes à eau glacée* (GEG), dimensionnés pour les fortes puissances (50 à plus de 500 kWf), présentent une efficacité relativement constante autour de 3,0 avec une légère tendance à la baisse au-delà de 100 kWf. Ces équipements permettent de répondre à des besoins très importants, mais au prix d'un rendement énergétique généralement plus modeste, notamment avec l'intégration des consommations des auxiliaires.

En résumé, le choix de la technologie de climatisation doit s'opérer en fonction d'un équilibre entre la puissance nécessaire et les performances énergétiques attendues. Les systèmes individuels splits sont les plus efficaces à faible puissance, les DRV sont adaptés aux puissances moyennes avec de bons rendements, tandis que les GEG et les rooftops répondent aux besoins élevés, généralement avec des performances moindres.

3.5. Tables opérationnelles

Les moyennes des EER nominaux des équipements de climatisation recensés dans le cadre de cette étude sont présentées dans les tables opérationnelles suivantes.

Split			
Plages de puissance frigo	Echantillon	EER moyen	Ecart-type
[2 - 5] kW	23	3,57	0,42
[5 - 8] kW	20	3,46	0,44
[8 - 11] kW	5	3,51	0,92
[11 - 14] kW	4	3,58	0,51
[14 - 18] kW	4	3,15	0,34
Total	56	3,50	0,48

Groupes DRV			
Plages de puissance frigo	Echantillon	EER moyen	Ecart-type
[20 - 50] kW	15	3,69	0,35
[50 - 80] kW	6	3,43	0,14
[80 - 110] kW	6	3,28	0,05
[110 - 130] kW	3	3,31	0,04
[130 - 150] kW	5	3,28	0,08
Total	35	3,48	0,30

Rooftop			
Plages de puissance frigo	Echantillon	EER moyen	Ecart-type
[20 - 60] kW	9	3,26	0,28
[60 - 100] kW	11	3,16	0,16
[100 - 140] kW	8	3,29	0,18
[140 - 180] kW	6	3,15	0,10
[180 - 220] kW	5	3,08	0,12
Total	39	3,20	0,19

Groupes à eau glacée			
Plages de puissance frigo	Echantillon	EER moyen	Ecart-type
[30 - 50] kW	7	3,51	0,44
[50 - 70] kW	10	3,19	0,38
[70 - 90] kW	6	3,09	0,40
[90 - 110] kW	6	3,18	0,50
[110 - 150] kW	17	2,89	0,21
[150 - 200] kW	8	2,79	0,11
[200 - 500] kW	14	3,70	1,18
[500 - 1000] kW	6	5,21	0,10
[1000 - 2000] kW	9	5,36	0,17
Total	83	3,58	1,02

4. Evaluation des EER réels

Pour estimer les performances réelles des équipements de climatisation en exploitation, **l'étude s'est appuyée sur une analyse documentaire** visant à identifier les principaux facteurs influençant l'EER nominal. Cette revue inclut des sources techniques, des publications scientifiques et des retours d'expérience de terrain. En revanche, elle ne s'appuie pas sur des mesures et instrumentations de cas réels, ce qui constitue sa principale limite.

Néanmoins, l'analyse succincte des facteurs d'influence des performances énergétiques des installations a été conduite, afin de tenir compte des paramètres qui influent sur les performances réelles des installations.

4.1. Facteurs d'influence sur l'EER nominal

L'EER nominal des systèmes de climatisation peut être significativement altéré par divers facteurs techniques, environnementaux et liés au vieillissement des équipements. L'analyse documentaire a permis d'identifier et de qualifier les principaux éléments influençant les performances mesurées sur le terrain.

Sur le plan technique et mécanique, l'encrassement des échangeurs (poussière, pollution atmosphérique, débris) constitue une cause certaine de perte de performance, avec une baisse de l'EER estimée entre 5 % et 20 % selon le niveau d'entretien. On peut considérer que ce critère impacte d'avantage les échangeurs extérieurs (condenseurs) que les échangeurs des unités intérieures (évaporateurs). Le nettoyage périodique des échangeurs est donc primordial sur toutes les installations, quelle que soit la technologie.

D'autres éléments, comme les fuites de fluide frigorigène, peuvent entraîner jusqu'à 30 % de baisse d'efficacité. L'usure progressive du compresseur, la dégradation des composants électriques (ventilateurs, cartes électroniques, capteurs), ainsi que l'encrassement des filtres sont également des sources connues de perte de rendement, généralement comprises entre 5 % et 15 %.

Les conditions d'installation et l'environnement extérieur influencent également fortement les performances. Par exemple, une température ambiante élevée, notamment au-delà de 40 °C, peut réduire l'EER de 30 à 40 %. En climat tropical, les températures ambiantes extérieures restent généralement inférieures à 33-34 °C. Néanmoins, les effets de bulles de chaleur urbaine, ainsi que les effets du rayonnement solaire autour des bâtiments, sur les espaces artificialisés à proximité des aérocondenseurs, peuvent induire des conditions de fonctionnement localement largement supérieures à 40°C.

Par ailleurs, une mauvaise ventilation autour du condenseur peut induire une perte de 10 à 25 % de performance. Ce critère est lié aux règles de l'art de l'installation des unités extérieures, qui doivent garantir notamment :

- une ventilation satisfaisante et l'absence de recirculation d'air autour des condenseurs
- un soufflage libre, au niveau des ventilateurs des condenseurs, sans obstacles : mur, coffre, voire dans le pire des cas une unité extérieure voisine soufflant sa chaleur sur un condenseur.

Le taux de charge partielle impacte aussi le rendement : l'EER est généralement optimal entre 50 % et 100 % de charge, mais peut chuter en dehors de cette plage.

Enfin, le vieillissement naturel des équipements engendre une dégradation progressive de l'EER, estimée à 2,4 % par an, même en cas d'entretien régulier, selon une étude du Florida Solar Energy Center (FSEC).

Les principaux facteurs d'influence sur l'EER nominal issus de l'étude documentaire ont été synthétisés dans le tableau suivant.

Catégorie	Facteurs	Observations	Qualification de l'impact
Facteurs techniques et mécaniques	Encrassement des échangeurs	Réduction de l'échange thermique due à la poussière et la pollution atmosphérique	-5% à -20%
	Fuites de fluide frigorigène	Baisse de performance liée à une charge partielle ou à une fuite de fluide	Jusqu'à -30%
	Usure du compresseur	Baisse d'efficacité avec le temps, efforts accrus pour un même rendement	Jusqu'à -15%
	Dégradation des composants électriques / électroniques	Défaut de régulation ou baisse de performance liée à des composants vieillissants	-5% à -10%
	Filtres encrassés	Obstruction du passage de l'air, dégradation de l'échange thermique	Jusqu'à -10%
Conditions environnementales	Température extérieure élevée autour des condenseurs	Ecart de température importants dégradant les performances	-30 % à -40 % si Text > 40 °C
	Mauvaise ventilation des condenseurs	Rejet de chaleur limité, surtout si installation en zone confinée ou encombrée – recirculation d'air	-10% à -25%
	Taux de charge du climatiseur	EER optimal entre 50% et 100% de charge. Baisse en cas de sous-charge ou surcharge	-10% (faible charge) -15% (charge totale)
Vieillessement naturel	Âge du système	Baisse progressive des performances due à l'usure normale des composants, micro-fuites, etc.	-2% par an

❖ Influence de la nature du fluide frigorigène

La nature du fluide frigorigène utilisé dans un système de climatisation exerce une influence directe sur ses performances énergétiques. Chaque fluide présente des propriétés thermodynamiques spécifiques (température d'évaporation, capacité calorifique, pression de fonctionnement, etc.) qui impactent le rendement global du cycle frigorifique. Par exemple, les fluides de nouvelle génération comme le **R32** offrent généralement de meilleurs EER que les anciens fluides comme le **R410A**, tout en réduisant l'impact environnemental (potentiel de

réchauffement global inférieur). À performances égales, un changement de fluide peut se traduire par un gain de 5 à 10 % sur l'EER, en particulier sur les équipements récents conçus pour optimiser ce fluide. En revanche, une mauvaise compatibilité fluide/composants ou une dégradation du fluide dans le temps peut aussi entraîner une baisse de performance significative.

❖ Sources utilisées pour la qualification des impacts

Les ordres de grandeur proposés s'appuient sur **une revue documentaire** comprenant notamment les sources suivantes :

- ASHRAE, *HVAC Systems and Equipment Handbook*
- Energie+, *Évaluer l'efficacité de la production frigorifique*, Energieplus-lesite.be
- Daikin et Carrier, *Fiches techniques et rapports industriels*
- Barati et al., *Degradation analysis of air-conditioning systems*, *Energy Reports*, 2020
- Energy Vanguard, *Effects of condenser airflow on HVAC efficiency*
- Utah Energy Code (2021), *Mechanical system performance*
- Florida Solar Energy Center (FSEC), *Impact of Equipment Age on Cooling Performance*
- HAL open science, *Etude des performances de climatiseurs individuels en climat tropical*, 2023
- Laboratoire PIMENT, *Détermination expérimentale des indicateurs de performance des systèmes de climatisation individuels en environnement contrôlés*, 2020

4.2. Hiérarchisation des facteurs de dégradation de l'EER

Afin d'estimer au plus juste les performances réelles des équipements de climatisation, les différents facteurs de dégradation de l'EER ont été identifiés, regroupés par grandes familles (techniques, vétusté, environnement) et classés selon leur niveau de criticité.

Le tableau en page suivante propose une hiérarchisation des impacts estimés, sur la base des données bibliographiques, retours terrain et hypothèses techniques retenues dans le cadre de cette analyse.

Critères de dégradation de l'EER				
Critères	Facteurs évalués	Niveau 1 Faible niveau d'influence	Niveau 2 Influence modérée	Niveau 3 Influence forte à critique
Facteurs techniques et mécaniques	Encrassement des échangeurs Fuites de fluide frigorigène Usure du compresseur Dégradation des composants électriques / électroniques Filtres encrassés	Installation satisfaisante, pas d'impact majeur des facteurs évalués	Défaut de régulation, encrassement léger des échangeurs et/ou des filtres	Fuite de fluide frigorigène, usure importante du compresseur, dégradation des composants électroniques ou électroniques
		Impact estimé : -5%	Impact estimé : -10%	Impact estimé : -15%
Conditions environnementales	Température extérieure élevée autour des condenseurs Mauvaise ventilation des condenseurs Taux de charge du climatiseur	Bonne ventilation des condenseurs Taux de charge optimal de l'installation	Légère obstruction des condenseurs Température extérieure élevée autour des condenseurs Légère surcharge ou sous-charge de l'installation	Règles de l'art non respectées entraînant des pertes de performances des condenseurs Température extérieure > 40°C Forte surcharge ou sous-charge de l'installation
		Impact estimé : -2%	Impact estimé : -5%	Impact estimé : -10%
Vétusté	Âge du système	Installation récente < 3 ans pour un split ou DRV < 5 ans pour un GEG ou rooftop	Installation fonctionnelle 3 à 10 ans pour un split ou DRV 5 à 15 ans pour un GEG ou rooftop	Installation ancienne à vétuste > 10 ans pour un split ou DRV > 15 ans pour un GEG ou rooftop
		Impact estimé : -3%	Impact estimé : -10%	Impact estimé : -15%
Dégradation globale de l'EER		-10 %	-25 %	-40 %

Pour faciliter l'exploitation opérationnelle de ces résultats, une grille simplifiée de coefficients de dégradation a été définie. Elle permet d'estimer rapidement l'**EER réel** d'un équipement à partir de son **EER nominal**, selon le niveau de performance global constaté de l'installation.

Coefficient de dégradation de l'EER nominal		
Installation performante	Installation standard	Installation peu performante
0,90	0,75	0,60

Cette approche par coefficients permet d'intégrer les effets combinés des différents facteurs de dégradation identifiés (techniques, environnement, vétusté) dans les simulations ou bilans énergétiques. Elle constitue un outil pratique pour l'évaluation a priori des gains potentiels liés à des actions d'amélioration (entretien, remplacement, rénovation, etc.).

4.3. Spécificités des systèmes centralisés

L'EER nominal d'un équipement de climatisation centralisé concerne uniquement la performance du système de production de froid. Pour évaluer les performances réelles d'une installation centralisée, il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble du système, incluant les pertes thermiques dans les réseaux de distribution ainsi que les rendements des émetteurs.

Ces pertes varient selon plusieurs paramètres : longueur et isolation des canalisations, configuration hydraulique, qualité de la régulation, ou encore entretien des terminaux de diffusion (CTA, ventilo-convecteurs, etc.). De plus, les consommations auxiliaires (pompes, ventilateurs) peuvent significativement affecter le rendement global.

Selon l'étude *CLIMATER – Climatisation dans le tertiaire : Optimisation*¹, un coefficient de correction de **0,80** peut être appliqué pour les installations à eau glacée, et de **0,85** pour les systèmes de type DRV. Ces coefficients visent à mieux représenter l'EER global du système en exploitation, en intégrant les pertes et consommations indirectes.

Enfin, les systèmes centralisés étant souvent dimensionnés pour répondre aux besoins de pointe, ils peuvent fonctionner en dehors de leur plage optimale une grande partie de l'année. Cela impacte également leur efficacité réelle, en particulier en l'absence d'une stratégie de pilotage adaptée.

¹ Etude réalisée en 2023 par le groupement INSET, IC66, MDE Conseil et IMAGEEN dans le cadre du programme OMBREE

4.4. Etudes expérimentales disponibles en climat tropical

À ce jour, peu d'études expérimentales documentent les performances réelles des équipements de climatisation en climat tropical humide, notamment dans les DOM. Toutefois, des travaux récents menés à La Réunion apportent des éléments d'analyse utiles pour mieux comprendre les écarts entre performances nominales et conditions d'usage réelles.

La première étude, menée par le laboratoire PIMENT de l'Université de La Réunion en partenariat avec EDF Réunion et l'ADEME, a caractérisé les performances d'un climatiseur individuel de type split de classe A+++, en technologie inverter. Testé sur un banc d'essai reproduisant les conditions thermiques et climatiques de l'île, l'appareil a été soumis à différents niveaux de charge et d'humidité. Il en ressort que le **SEER calculé** selon la norme NF EN 14825 (valeur fabricant : 8,6) **chute à 5,28** lorsqu'on intègre les effets de la régulation et des conditions réelles d'utilisation. Le calcul d'un RSEER (Réunion Seasonal Energy Efficiency Ratio) tenant compte des profils climatiques et d'usage locaux a permis d'obtenir des valeurs comprises entre 5,36 et 5,54. L'étude souligne également que l'EER augmente avec le taux d'humidité intérieure, du fait d'une élévation de la température d'évaporation, et que les meilleures performances sont atteintes à des charges comprises entre 50 % et 100 %.

Source : Étienne Billard et al., *Étude des performances de climatiseurs individuels en climat tropical*, Congrès Société Française de Thermique, Belfort, 2021. DOI : 10.25855/SFT2021-042

Une seconde étude, également réalisée par le laboratoire PIMENT, a comparé les performances de quatre climatiseurs split (trois récents et un vétuste) sur un banc climatique similaire, avec des températures extérieures simulées entre 25 °C et 35 °C, et des charges thermiques internes variant de 1 à 2,5 kW. Les résultats confirment la supériorité des modèles récents en technologie inverter, notamment en fonctionnement à charge partielle. Le climatiseur GSS 9000 BTU/h s'est montré particulièrement performant, jusqu'à deux fois plus efficace que le modèle ancien. Cependant, des disparités importantes ont été observées entre les modèles, et l'étiquette énergétique (A++, A+++) ne s'est pas toujours révélée prédictive de la performance réelle. L'étude souligne par ailleurs que l'EER suit une courbe en cloche selon le taux de charge, avec un maximum souvent atteint entre 75 % et 80 % de la puissance nominale.

Source : Olivier Marc et al., *Détermination expérimentale des indicateurs de performance des systèmes de climatisation individuels en environnements contrôlés*, Congrès Société Française de Thermique, La Réunion, 2020. DOI : 10.25855/SFT2020-016

5. Conclusions

En conclusion, cette brève étude, réalisée dans le cadre du projet HELIODROM, a permis de collecter des données de performance énergétique pour plusieurs familles d'équipements de climatisation : groupes à eau glacée, rooftops, groupes DRV et splits. Ces données ont été utilisées pour analyser la relation entre performance énergétique et puissance frigorifique, révélant une tendance générale à la baisse de l'EER (Energy Efficiency Ratio) avec l'augmentation de la puissance, bien que des disparités subsistent selon les types d'équipements.

Par ailleurs, une analyse documentaire des études et expérimentations disponibles a permis d'identifier les principaux facteurs influençant l'EER nominal, offrant ainsi une meilleure estimation des performances réelles des équipements en exploitation.

A partir de l'EER nominal d'un équipement (fonctionnant en mode froid) collecté sur sa fiche technique, il convient donc d'appliquer un coefficient de dégradation des performances permettant d'estimer un EER en conditions réelles.

EER réel estimé		
Installation performante	Installation standard	Installation peu performante
0,90 x EER nominal	0,75 x EER nominal	0,60 x EER nominal

Enfin, les travaux récents du laboratoire PIMENT à La Réunion, axés sur l'écart entre performances nominales et conditions réelles d'usage, ont mis en lumière plusieurs points clés, sur des climatiseurs individuels splits :

- L'EER des systèmes split tend à augmenter avec le taux d'humidité intérieure.
- La performance énergétique des splits atteint un maximum pour un taux de charge compris entre 50 % et 100 %.
- L'étiquette énergétique (A++, A+++) ne garantit pas toujours une correspondance avec la performance réelle des équipements.