

SUSTAINABLE
ENERGY
FOR ALL

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana - Tanindrazana - Fandrosoana

SEFORALL
IMPACT DE
L'ODD 7
MADAGASCAR



MADAGASCAR

Planification Energétique Intégrée

RAPPORT SUR LA CHAÎNE DU FROID

JUIN 2024

EN PARTENARIAT AVEC :



Autres ressources dans cette série

Planification intégrée de l'accès à l'énergie à Madagascar



Electrification

- Rapport de synthèse
- Rapport technique



Cuisson Propre

- Rapport de synthèse
- Rapport technique



Chaînes du froid médicales et agricoles

- Rapport de synthèse
- Rapport technique



Collecte de données primaires

- Rapport technique



Données IEP en ligne

- Outil interactif de planification

Powering Social Infrastructure à Madagascar



Powering Healthcare à Madagascar

- Evaluation du marché et feuille de route pour l'électrification des établissements de santé

EN SAVOIR PLUS SUR LE TRAVAIL DE SEforALL À MADAGASCAR

Table des matières

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	7
TERMES CLÉS.....	9
INTRODUCTION	12
Aperçu du PEI de Madagascar	12
Objet du présent rapport.....	14
Défi de la chaîne du froid à Madagascar.....	15
CHAÎNE DU FROID MÉDICALE	19
Aperçu.....	19
Résumé de la méthodologie.....	22
Élaboration de scénarios pour les chaînes de froid médicales	26
Paramètres utilisés pour définir les exigences de la chaîne du froid médical	27
Paramètres d'analyse des coûts de la chaîne du froid médical	29
Analyse de la chaîne du froid médical.....	33
Recommandations pour la mise en œuvre	60
CHAÎNE DU FROID POUR L'AGRICULTURE ET LA PÊCHE	64
Vue d'ensemble.....	64
Chaînes de valeur étudiées	65
Résumé de la méthodologie.....	75
Élaboration de scénarios pour l'analyse de la chaîne du froid dans l'agriculture et la pêche ...	96
Analyse de la chaîne de valeur.....	97
Analyse de la détérioration des aliments	114
Résumé des besoins et des coûts de la chaîne du froid.....	116
Recommandations pour l'amélioration de la chaîne du froid dans l'agriculture et la pêche...	121
CONCLUSIONS.....	124
ANNEXES	126
Annexe 1 - Equipement indicatif et dimensionnement par établissement de santé	126
Annexe 2 - Scénario 2 de l'analyse de la chaîne du froid médical - Électrification des ECF...	129
Annexe 3 - Résumé des réunions de la mission sur le terrain	131
Annexe 4 - Méthode de calcul de la charge frigorifique et des exigences de dimensionnement ..	132
Annexe 5 - BASE DES COÛTS DU TRANSPORT DU FROID	134

Liste des tableaux et figures

Tableau 1. Niveaux de la chaîne d’approvisionnement et pratiques de distribution.....	21
Tableau 2. Points de données clés collectés pour l’analyse et source des ensembles de données.....	22
Tableau 3. Besoins énergétiques par type d’installation.....	28
Tableau 4. Liste des équipements indiqués par type d’établissement (Source : USAID Powering Health, 2023)	30
Tableau 5. Consommation d’électricité par catégorie d’établissement de santé.....	31
Tableau 6. Dimensionnement solaire de l’établissement de santé et budget.....	33
Tableau 7. Résumé de l’âge des équipements de la chaîne du froid et de l’état des normes de qualité.....	38
Tableau 8. Résumé de l’état fonctionnel des équipements de la chaîne du froid approuvés par le PQS.....	38
Tableau 9. Magasins de district dont la capacité est actuellement limitée ou dépassée.....	41
Tableau 10. Équipements supplémentaires de la chaîne du froid nécessaires pour répondre aux besoins actuels.....	44
Tableau 11. Nombre d’unités de nouveaux équipements nécessaires pour remplacer les équipements existants, par année et par type.....	47
Tableau 12. Établissements de santé par support LEAD et par type, résumant l’accès déclaré à l’électricité et la localisation géospatiale par rapport aux zones électrifiées dotées de systèmes de distribution (2023)	53
Tableau 13. Analyse des modalités d’électrification des établissements de santé	54
Tableau 14. Taille et budget des établissements de santé hybrides.....	55
Tableau 15. Taille et budget des établissements de santé autonomes hors réseau.....	56
Tableau 16. Coûts de base du déploiement des équipements de la chaîne du froid par année (coûts indicatifs)	57
Tableau 17. Coûts de déploiement des équipements d’optimisation de la chaîne du froid par année (coûts indicatifs)	58
Table 18. Comparaison entre le PEI et les SSP	59
Table 19. Exigences complètes pour l’intégrité de la chaîne du froid médical et l’électrification des établissements de soins de santé de base (PEI, 2023).....	60
Tableau 20. Principales cultures produites à Madagascar (Source pour les tonnes de récolte : FAOSTAT, 2023)	68
Tableau 21. Madagascar : Production halieutique en tonnes (Source : Ministère de la Pêche, 2022)	70
Tableau 22. Production laitière par zone en Litres/an à Madagascar (DRAEP, 2018).....	74
Tableau 23. Niveaux courants des infrastructures de stockage post-récolte	80
Tableau 24. Hypothèses concernant la demande d’électricité par watt de refroidissement.....	91
Tableau 25. Paramètres utilisés pour analyser les besoins en matière de chaîne du froid au sein de chaque chaîne de valeur. (Source : observations de la mission juin 2023 et MAEP 2022)	92
Tableau 26. Hypothèses de coûts de la chaîne du froid pour l’agriculture et la pêche	94
Tableau 27. Dimensions simulées de l’infrastructure de la chaîne du froid.....	96
Tableau 28. Analyse de la chaîne du froid pour les pommes de terre	98
Tableau 29. Analyse du scénario 1 de la pomme de terre par région.	99
Tableau 29. Analyse de la chaîne du froid pour les pommes de terre	102
Tableau 31. Analyse du scénario 1 pour les tomates par région.	103
Tableau 32. Analyse de la chaîne du froid dans le secteur de la pêche	106

Tableau 33. Analyse du scénario 1 pour la pêche par région.	107
Tableau 34. Analyse de la chaîne du froid des produits laitiers.	111
Tableau 35. Analyse du scénario 1 pour les produits laitiers par région.	112
Tableau 35. Analyse des pertes de récolte et du retour sur investissement pour le CCE.	115
Tableau 35. Scénario 1 - Résumé des besoins et des coûts de la chaîne du froid.	117
Tableau 37. Scénario 1 - Production végétale pour la cible de la chaîne du froid par région.	118
Tableau 38. Scénario 2 - Exigences en matière de chaîne du froid.	120
Tableau 40. Résumé des principaux résultats de l'analyse de la chaîne du froid dans l'agriculture et la pêche.	125
Tableau 39. Électrification des besoins des PECO uniquement.	129
Tableau 40. ECF Electrification Only - Taille et budget des établissements de santé hybrides.	129
Tableau 41. Electrification ECF uniquement - Taille et budget des établissements de santé hors réseau.	130
Figure 1. Organigramme de l'élaboration du PEI.	14
Figure 2. Base de données des structures et des routes primaires à Madagascar (Source : Google, OSM)	16
Figure 3. Exemple de traversée saisonnière en ferry à Madagascar (Source : JSI, 2018)	17
Figure 4. Exemple de passage à gué d'une route saisonnière à Madagascar (Source : JSI, 2018)	17
Figure 5. Accessibilité routière saisonnière à Madagascar (Source : JSI, 2014)	18
Figure 6. Données 2017 sur l'état des routes.	18
Figure 7. Établissements de santé par type à Madagascar (2023)	21
Figure 8. Établissements de santé soutenus par LEAD à Madagascar (2023)	21
Figure 9. Visualisation des catégories d'utilisation des capacités.	25
Figure 10. GHI en kWh/m ² -jour superposé aux établissements de santé (2023)	32
Figure 11. Taux de couverture par le DTCOQ-3 au fil du temps. (Source : estimations OMS/UNICEF WUENIC)	34
Figure 12. a) Couverture DTCOQ-3 par région (février 2023 ; source : données administratives du Ministère de la santé) ; b) Couverture COVID-19 par région (avril 2023 ; source : données administratives du Ministère de la santé)	35
Figure 13. Taux de couverture vaccinale actuels, mars 2023 (Source : données administratives du Ministère de la santé).	35
Figure 14. Résumé des équipements PQS et non PQS.	37
Figure 15. État fonctionnel des équipements PQS de moins de 15 ans.	37
Figure 16. Pourcentage de ECF par fabricant.	37
Figure 17. Âge des équipements PQS fonctionnels.	39
Figure 18. Nombre de ECF par source d'énergie principale (Source MSANP, 2023)	40
Figure 19. Utilisation des capacités des ECF par pourcentage de districts et d'établissements de santé dans les différentes catégories, situation actuelle et dans 10 ans dans l'hypothèse d'une croissance de la population.	42
Figure 20. Utilisation de la capacité du ECF à +5 ⁰ C en pourcentage pour les établissements de santé de district (SDSP)	42
Figure 21. Utilisation de la capacité du ECF à -20 ⁰ C en pourcentage pour les établissements de santé de district (SDSP)	42
Figure 22. Année de remplacement du CCE.	45
Figure 23. FridgeTag utilisé dans le ECF pour surveiller les températures.	48
Figure 24. Consommation et administration des vaccins COVID-19 au fil du temps.	49
Figure 25. Gestion des stocks de vaccins COVID dans le temps.	50
Figure 26. Exemple de camion frigorifique.	50
Figure 27. Chargement de vaccins dans un camion à Madagascar en vue de leur livraison.	50
Figure 28. Equipement de la chaîne du froid généralement utilisé dans un établissement de santé.	51

Figure 29. Porte-vaccins utilisés pour une distribution plus restreinte ou pour la sensibilisation des communautés.....	51
Figure 30. Établissements de santé par accès déclaré à l'électricité (Ministère de la Santé Publique, 2023).....	52
Figure 31. Établissements de santé géo spatialement situés dans une zone déjà approvisionnée en électricité ou non (IEP, 2023).....	52
Figure 32. Établissements de santé classés par mode d'électrification à l'horizon 2030 (PEI, 2023).....	52
Figure 33. Pommes de terre stockées sur un marché local Malgache	65
Figure 34. Zones de production de pommes de terre et de tomates à Madagascar	68
Figure 35. Distribution des rendements de pommes de terre à Madagascar (Source : FAO, Agri Maps)	68
Figure 36. Principales zones de production de la pêche (Source : Trade Map 2022)	70
Figure 37. Routes, terrain et principales villes.....	70
Figure 38. Activités d'entreposage frigorifique dans le secteur de la pêche soutenues par la GIZ (GIZ, 2023)	73
Figure 39. Zones de production laitière à Madagascar (2023).	74
Figure 40. Assemblage du panneau de la boîte isolée	83
Figure 41. Boîte isolée surmontée d'une petite installation solaire commerciale.....	83
Figure 42. Exemple d'une machine à glaçons de 300 kg.....	85
Figure 43. Exemple d'une machine à glaçons montée sur le toit pour une salle de glaçons.....	85
Figure 44. Exemple d'une salle de glace vue de l'entrée.....	85
Figure 45. Exemple de congélateur à air comprimé pour poissons	86
Figure 46. Exemple de poisson refroidi sur des grilles dans un congélateur.....	86
Figure 47. Exemple d'équipement de réfrigération d'un congélateur de grand volume.....	86
Figure 48. Refroidisseur de lait de la ferme Sundanzer (Source : USAID, 2018)	87
Figure 49. Exemple de système Promethean.....	87
Figure 50. Exemple d'un refroidisseur de point de collecte commercial	87
Figure 51. Pommes de terre - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.	100
Figure 52. Pommes de terre - Besoins en énergie pour la réfrigération.....	100
Figure 53. Pommes de terre - Investissements en capital en USD.....	100
Figure 54. Tomate - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.	104
Figure 55. Tomate - Demande d'énergie pour la réfrigération.....	105
Figure 56. Tomate - Investissements en capital en USD	105
Figure 57. Pêche - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.	108
Figure 58. Pêche - Demande d'énergie pour la réfrigération.....	109
Figure 59. Pêche - Investissements en capital en USD	109
Figure 60. Produits laitiers - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.	113
Figure 61. Produits laitiers - Demande d'énergie pour la réfrigération	113
Figure 62. Produits laitiers - Investissements en capital en USD.....	113
Figure 63. Scénario 1 - Besoins totaux d'investissement dans la chaîne du froid par région (USD).....	119

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ADER	Agence de Développement de l'Électrification Rurale
AFD	Agence Française de Développement
ARELEC	Autorité de Régulation de l'Électricité
BAD	Banque Africaine de Développement
BCG	Bacille Calmette-Guerin
BT	Basse Tension
CDPHM	Centre de Distribution des Produits Halieutiques de Majunga
CEFFEL	Conseil Expérimentation Formation en Fruits Et Légumes
CHD	Centre Hospitalier de District
CHR	Centre Hospitalier de Référence
CHRD	Centre Hospitalier de Référence de District
CHRR	Centre Hospitalier de Référence Régionale
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique
CRNM	Centre de Réhabilitation Nutritionnelle et Médicale
CSB1/CSB2	Centre de Santé de Base niveau 1 et Centre de Santé de Base niveau 2
CVA	Chaîne de Valeur Agricole
DPEV	Direction du Programme Élargi de la Vaccination (Ministère Santé Publique)
DRSP	Direction Régionale de la Santé Publique
DTCoq	Vaccin contre la Diphtérie -Tétanos - Coqueluche
ECF	Équipement de la chaîne du froid
ESMAP	Programme d'Assistance à la Gestion du Secteur de l'Énergie
FBR	Financement Basé sur les Résultats
FDA	Fonds de Développement Agricole
FIDA	Fonds International de Développement Agricole
Fonds de l'OPEP	Fonds de l'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole
GdM	Gouvernement de Madagascar
GEAPP	Alliance Mondiale pour l'Énergie au service des Populations et de la Planète
GIZ	Agence de Coopération Allemande pour le Développement
GLCEP	Geospatial Least-Cost Electrification Plan – « Plan Géospatial d'Électrification à moindre coût »
HdU	Heure d'Utilisation
HR	Humidité Relative
HT	Haute Tension
IGH	Irradiation Horizontale Globale
INSTAT	Institut National de la Statistique
IPP	Producteur Indépendant d'Électricité
JIRAMA	Jiro sy Rano Malagasy (Société publique d'électricité et d'eau malgache)
JSI	John Snow Inc. – Organisation internationale focalisée sur la santé, l'éducation et l'inclusion socio-économique.
LEAD	Projet de Développement d'Accès à l'Électricité au Moindre Coût
MAT	Maternité
MECS	Programme de Soutien à des Services Énergétiques Modernes pour la Cuisson
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MEH	Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures
MICC	Ministère de l'Industrialisation, du Commerce et de la Consommation

MINAE	Ministère de l'Agriculture et l'Elevage
MSANP	Ministère de la Santé Publique
MT	Moyenne Tension
MTF	Cadre Multi-Niveaux (Cadre d'analyse de la Banque Mondiale pour définir les différents niveaux d'accès à l'énergie)
NPE	Nouvelle Politique de l'Energie
ODD	Objectif de Développement Durable
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONU	Organisation des Nations Unies
ONUDI	Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel
OPEP	Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole
OSM	Open Street Map
PAM	Programme Alimentaire Mondiale
PDMC	Plan de Développement au Moindre Coût
PEI	Plan Energétique Intégré
PEV	Programme Elargi de Vaccination
PHC	Powering Health Care
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PQS	Performance, Qualité et Sécurité
PrAda	Projet d'Adaptation des chaînes de valeurs agricoles au changement climatique
PV	Photovoltaïque
RtqS	Refroidissement en tant que service
SDD	Alimentation Solaire Direct
SDSP	Service de District de la Santé Publique
SEforALL	Energie durable pour tous
SIG	Système d'Information Géographique
SPI	Système/Solution Photovoltaïques Individuel
UCC	Ultra Chaîne du Froid
UE	Union Européenne
UEF	Universal Energy Facility - Fonds pour l'accès universel à l'Energie - Programme de SEforALL
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
USAID	Agence Américaine pour le Développement International
WUENIC	Estimations OMS/UNICEF sur la couverture vaccinale nationale

TERMES CLÉS

Bacille de Calmette-Guérin (BCG) : Il s'agit d'un vaccin contre la tuberculose qui doit être administré à la naissance.

Basse tension (BT) : La basse tension est le niveau de tension utilisé par les consommateurs. Les réseaux basse tension à Madagascar sont alimentés en 400 volts.

Biocarburants : Les carburants renouvelables fabriqués à partir de matières organiques, telles que les plantes et les matériaux dérivés des plantes.

Chaîne du froid agricole : Une série de processus de stockage et de transport réfrigérés et à température contrôlée utilisés pour maintenir la qualité, la sécurité et la durée de conservation des produits agricoles périssables, tels que les fruits, les légumes, les produits laitiers et les viandes.

Chaîne du froid pour les vaccins : Equipement de la Chaîne du Froid (réfrigérateurs et congélateurs) utilisé pour stocker les vaccins dans les établissements de santé et les magasins (régionaux, communaux). Il peut également s'agir de chambres froides de type "walk-in", qui sont des équipements de plus grande taille, généralement utilisés aux niveaux national et régional.

Chaîne du froid médicale : Chaîne du froid utilisée pour les produits de santé non liés aux vaccins, tels que le sang, les prélèvements de laboratoire, les réactifs et certains tests spécifiques à une maladie.

Combustibles de cuisson : Les combustibles utilisés pour fournir de la chaleur pour la cuisine, qui peuvent inclure, sans s'y limiter, le bois, le charbon de bois, le pétrole lampant, l'essence, l'éthanol, le propane, le gaz naturel, le butane, entre autres.

Composante : Les composantes du plan intégré d'accès à l'énergie sont le plan d'électrification à moindre coût, le plan de cuisson propre, le plan de chaîne du froid médical et le plan de chaîne du froid agricole.

Diphthérie-coqueluche-tétanos (DTCoq) : un vaccin important pour prévenir ces trois maladies chez les enfants qui doivent recevoir trois doses avant l'âge d'un an. L'administration de la troisième dose de DTCoq indique que la série initiale de vaccins de routine pour les nourrissons est terminée.

Dispositifs de cuisson/appareils de cuisson : Désigne un dispositif et/ou un appareil indépendamment du combustible utilisé, par exemple "Foyer" ou "cocotte-minute".

Densification : en de nombreux endroits du réseau existant de la JIRAMA, des habitations et des petites entreprises sont situées à proximité du réseau de distribution basse tension mais ne sont pas raccordées. La densification consiste à raccorder les habitations et les entreprises non desservies au réseau électrique par le biais de courtes extensions BT et de raccordements de service.

Électrification hors réseau : Elle englobe les mini-réseaux et les solutions solaires autonomes pour les ménages, les entreprises et les institutions publiques. Ces solutions ne comprennent pas les systèmes de production d'énergie renouvelable reliés au réseau.

En réseau : Connecté au réseau électrique national interconnecté.

Extension du réseau : L'extension du réseau est le processus de raccordement des habitations et des entreprises non desservies à l'électricité par l'extension du réseau de distribution MT, de nouveaux transformateurs de distribution et l'extension du réseau BT pour raccorder de nouveaux branchements.

Fokontany : délimitation administrative regroupant plusieurs villages qui composent la commune.

Haute tension (HT) : La haute tension est également considérée comme la tension de transmission. La plupart des réseaux de transmission fonctionnent à 66 kV ou plus. Le code de réseau de Madagascar définit la haute tension comme étant supérieure à 50 000 volts.

Mini-réseau / Mini-réseaux : Systèmes de distribution (basse tension ou moyenne tension) indépendants des systèmes de distribution électrique et reposant sur des ressources de production distribuées telles que l'énergie solaire photovoltaïque, les petites centrales hydroélectriques, l'énergie thermique ou d'autres sources. Dans le cadre de ce rapport, trois catégories de mini-réseaux sont utilisées : 1) les mini-réseaux MT en bordure de réseau qui se réfèrent à des mini-réseaux plus importants proches des réseaux de la Jirama, 2) les micro-réseaux MT isolés qui fourniront des services aux centres de population qui ne sont pas connectés à un réseau existant, et 3) les mini-réseaux BT qui desserviront des centres de population plus petits avec des systèmes d'alimentation isolés utilisant un réseau de distribution BT.

Modèle géospatial : Toutes les analyses spatiales ont été effectuées dans un système d'information géographique qui regroupe des données et des bases de données géospatiales et non géospatiales spécifiques afin d'effectuer des analyses à l'aide de modèles et d'algorithmes géospatiaux. L'expression "modèle géospatial" fait référence à l'analyse géospatiale et aux modèles de données contenus dans la base de données du système d'information géographique utilisé pour le projet.

Moyenne tension (MT) : La moyenne tension est considérée comme une tension de distribution qui est utilisée pour distribuer l'électricité depuis les sous-stations du réseau vers les communautés ou les consommateurs industriels plus importants. Les niveaux de moyenne tension à Madagascar comprennent les niveaux de tension 20, 15 kV et 5 kV.

Performance, qualité et sécurité (PQS) : Une désignation de l'OMS pour l'Équipement de la Chaîne du Froid indiquant qu'il répond aux normes mondiales pour être utilisé pour les vaccins et autres produits médicaux.

Plan Énergétique Intégré (PEI) : Un plan qui intègre l'approche optimale pour atteindre l'accès universel à l'énergie pour l'électrification et la cuisson, tout en fournissant également des options pour un stockage optimal du froid pour les chaînes du froid médicales et agricoles, en soutien au

gouvernement de Madagascar. Le PEI est également appelé l'étude ou le plan dans le document ci-dessous.

Plateforme de visualisation (plateforme) : une plateforme de visualisation de données en ligne, accessible au public, interactive et conviviale, qui fournit aux décideurs politiques et aux professionnels de l'énergie des données et des informations leur permettant de prendre des décisions éclairées sur les stratégies et les opérations visant à faire progresser l'accès à l'énergie dans le pays.

Projet d'électrification (projet) : Le terme "projet" est utilisé dans ce rapport pour définir un investissement individuel pour l'extension d'une ligne moyenne tension de plus de 500 mètres de long afin d'interconnecter un ou plusieurs transformateurs, et pour inclure un réseau de distribution basse tension à partir de chaque transformateur à travers lequel les consommateurs peuvent être connectés.

Réseaux isolés : réseaux de distribution nationaux non interconnectés, exploités par les services publics, qui peuvent également contenir leur propre source d'énergie, qu'elle soit renouvelable, thermique, hydroélectrique ou autre.

Systèmes solaires autonomes : systèmes photovoltaïques et de batteries autonomes de différentes tailles qui fournissent un accès à l'électricité à des charges spécifiques (ménages, institutions, entreprises) et ne distribuent pas l'électricité au-delà d'un consommateur ou d'un point de connexion.

Sous-station : Une installation qui comprend des transformateurs, des équipements de protection et de coordination, des commutateurs et des portiques dont le but est de transformer l'énergie électrique d'un niveau de tension à un autre. Les postes de réseau transforment les tensions de transmission (normalement supérieures à 32 kV) en niveaux de tension moyenne, généralement 20, 15 ou 5 kV.

Technologies de cuisson : Se réfère aux combinaisons potentielles de combustibles et d'appareils de cuisson, par exemple les "foyers à GPL".

Transformateurs de distribution : Les transformateurs de distribution transforment l'énergie moyenne tension (20, 15 ou 5 kV dans la plupart des cas) en une tension plus basse pour l'utilisation par les consommateurs résidentiels et commerciaux. Les réseaux basse tension à Madagascar sont alimentés à 400 volts.

Transformateurs de puissance : Les transformateurs de puissance transforment la haute tension (35 kV ou plus) en niveaux de tension moyenne - généralement 20, 15 ou 5 kV - en tant que partie intégrante d'une sous-station de réseau.

INTRODUCTION

Madagascar est le deuxième plus grand pays insulaire du monde avec une superficie de 572 000 kilomètres carrés et une population d'environ 29,6 millions d'habitants¹. Il a également la triste distinction d'avoir l'un des taux de pauvreté les plus élevés d'Afrique australe. L'agriculture emploie près de 80 % des adultes à Madagascar et représente près de 43 % du PIB². Les principales cultures vivrières sont le riz, le manioc, le maïs et la patate douce. On estime à 2 600 le nombre de dispensaires qui assurent la vaccination à Madagascar³. Le taux de couverture vaccinale de routine a diminué au cours des deux dernières années en raison des perturbations liées au COVID-19 ; il est actuellement estimé à 51 % pour le BCG et à 70 % pour la première dose de DTCoq⁴. Les faibles taux de couverture sont plus prononcés dans les zones plus rurales et plus difficiles d'accès⁵.

Le service d'électricité est géré par la JIRAMA (Jiro sy rano malagasy), la société publique d'électricité et d'eau, qui exploite une série de petits réseaux de production et de distribution desservant les principaux centres de population, avec un service limité aux zones rurales. L'Agence de développement de l'Électrification Rurale (ADER), ainsi que plusieurs mini-réseaux et distributeurs solaires autonomes, mettent en œuvre et exploitent plusieurs systèmes d'électrification hors réseau. Actuellement, le taux d'électrification est d'environ 34 %⁶ (2022, Tracking SDG7 Report). L'accès à des appareils de cuisson propres est beaucoup plus faible, puisqu'il ne concerne que 5 % des ménages malgaches. On estime à 2 600 le nombre de centres de vaccination à Madagascar⁷, sur un total de 3 053 centres de santé pris en compte dans le cadre de ce rapport.

A la lumière des défis auxquels sont confrontés les secteurs de l'énergie, de la santé et de l'agriculture à Madagascar, SEforALL et le Gouvernement de Madagascar (GdM) ont convenu de parrainer le développement du Plan intégré d'accès à l'énergie de Madagascar (IEP), un exercice national de planification énergétique qui fournit une analyse géospatiale actionnable, intégrée et accessible au public à travers trois composantes interdépendantes - l'électrification, la cuisson propre, et les chaînes du froid médicales et agricoles - afin d'aider les acteurs publics et privés à identifier les voies optimales pour améliorer l'accès à l'énergie et la prestation de services.

Aperçu du PEI de Madagascar

Pour développer le PEI de Madagascar, SEforALL a engagé un Consortium d'experts dirigé par NRECA International, et soutenu par JSI, Arizona State University, DGrid, et Fraym. Le Consortium a utilisé un système d'information géographique (SIG), un modèle et un cadre d'analyse pour

¹ Banque mondiale, 2022. <https://data.worldbank.org/country/madagascar>

² FIDA 2021. Programme d'options stratégiques pour le pays 2022-2026

³ Analyse du réseau de la chaîne d'approvisionnement des vaccins à Madagascar, 2019, JSI.

⁴ Performance de la Vaccination de Routine, Janvier 2023. Direction du Programme Elargi de Vaccination.

⁵ SEforALL, Services de conseil pour la planification énergétique intégrée (PEI) Madagascar, 2023

⁶ En 2020, suivi du rapport sur l'ODD 7 (2022)

⁷ Analyse du réseau de la chaîne d'approvisionnement des vaccins à Madagascar, 2019, JSI.

intégrer de multiples sources de données, y compris des données sur l'infrastructure du secteur de l'électricité, des données démographiques et de population, des données sur la cuisson propre, des données sur l'infrastructure des centres de santé et des vaccins et sur la gestion des programmes, ainsi que des données sur la chaîne de valeur agricole, parmi d'autres. Ces ensembles de données géospatiales ont permis de modéliser - en utilisant une approche sensible au genre - des solutions d'électrification, de cuisson propre, de réfrigération des vaccins et de chaîne du froid agricole.

Il s'agit d'un projet ambitieux qui s'appuie sur les expériences des récents projets de planification énergétique intégrée de SEforALL au Nigeria (2021) et au Malawi (2022). Avec pour objectif principal de fournir au gouvernement malgache des preuves de haute qualité et des plans géospatiaux pour faire progresser l'accès à l'électrification, à la cuisson propre et à des chaînes de froid médicales et agricoles plus efficaces, le PEI pour Madagascar est entrepris pour atteindre les objectifs principaux suivants :

- Préparer et présenter un plan énergétique intégré sensible au genre qui synthétise un plan d'électrification géospatial à moindre coût s'appuyant sur des analyses d'électrification récemment réalisées en 2018 et 2021⁸ pour évaluer la voie la moins coûteuse vers l'électrification universelle à Madagascar. L'analyse met un accent particulier sur l'électrification des établissements publics et les opportunités d'améliorer le potentiel d'utilisation productive en utilisant des données existantes ou nouvelles sur l'analyse de l'accessibilité financière.
- Concevoir un modèle géospatial basé sur une analyse de scénarios pour le déploiement de solutions de cuisson améliorées et propres à Madagascar. Cette étude englobe l'introduction d'appareils de cuisson améliorés, l'utilisation de combustibles de biomasse alternatifs et/ou l'électrification comme substituts aux combustibles traditionnels. L'analyse combinée de l'électrification et de la cuisson propre repose sur une plateforme d'information géospatiale commune intégrant des données attributaires pour examiner les solutions technologiques et les coûts de possession totaux des technologies alternatives. L'étude couvre aussi bien la cuisson domestique qu'institutionnelle. Élaborer un cadre de modélisation géospatiale permettant d'analyser les coûts logistiques, les contraintes et les défis liés aux chaînes du froid médicales et agricoles. L'analyse intègre les chaînes du froid médicales pour les vaccinations de routine, les vaccinations COVID-19 et les besoins futurs en matière de vaccination. L'analyse complémentaire des chaînes du froid agricoles comprend une évaluation de la catégorisation, du volume, de la demande d'énergie et du coût total de refroidissement de divers produits agricoles, notamment les cultures sensibles, la pêche, les produits laitiers, la viande et d'autres produits agricoles ou produits sensibles à la température. Ces analyses de la chaîne du froid sont ensuite incorporées dans les modèles d'électrification et de cuisson afin d'identifier les zones où des priorités supplémentaires en matière d'accès à l'énergie peuvent apparaître à Madagascar pour un accès équitable au refroidissement et à la réfrigération.
- Fournir l'ensemble des données et résultats du PEI, y compris les sources primaires et secondaires, au gouvernement de Madagascar afin de faciliter les processus de

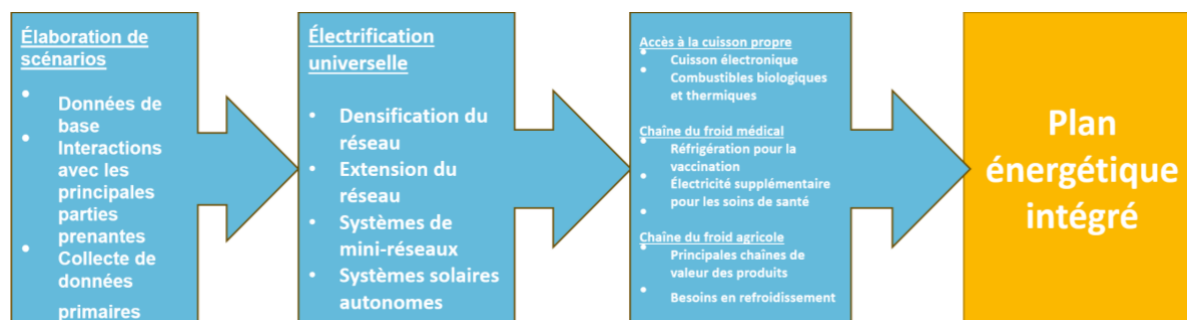
⁸ Assistance Technique a la Préparation d'une analyse des options d'électrification géospatiale au moindre cout pour un déploiement sur réseau et hors réseau Madagascar, Rapport Finale. World Bank, August 2021

planification et d'analyse en interne des institutions du secteur énergétique. Des initiatives de renforcement des capacités sont prévues pour former ces parties prenantes à l'utilisation et à l'analyse des données grâce aux outils géospatiaux et aux résultats de modélisation finalisés.

- Développer une plateforme de visualisation des données accessible au public, conçue pour donner accès à toutes les couches de données, aux résultats et à l'analyse des scénarios pour les parties prenantes auxquelles ces analyses étaient destinées. La plateforme de visualisation est conçue pour être facile à utiliser afin de permettre aux parties prenantes d'accéder, d'interagir, de télécharger et d'analyser les données et les outils d'une manière conviviale, et la plateforme sera accessible au public.

Le PEI présente une analyse intégrée des solutions interdépendantes en matière d'électrification, de cuisson propre, de distribution de vaccins et de chaîne du froid agricole dans le cadre d'un plan énergétique global. Le modèle d'électrification est conçu pour intégrer les analyses de la cuisson propre et de la chaîne du froid avec la demande d'électricité rurale et périurbaine. Des analyses de scénarios et de sensibilité sont préparées pour l'électrification, la cuisson propre et l'infrastructure de refroidissement. Ces analyses sont utilisées de concert pour présenter des projections complètes de l'électrification, de la cuisson propre, de la distribution de vaccins et de l'expansion de la chaîne du froid agricole pour l'avenir énergétique de Madagascar.

Figure 1. Organigramme de l'élaboration du PEI.



Objet du présent rapport

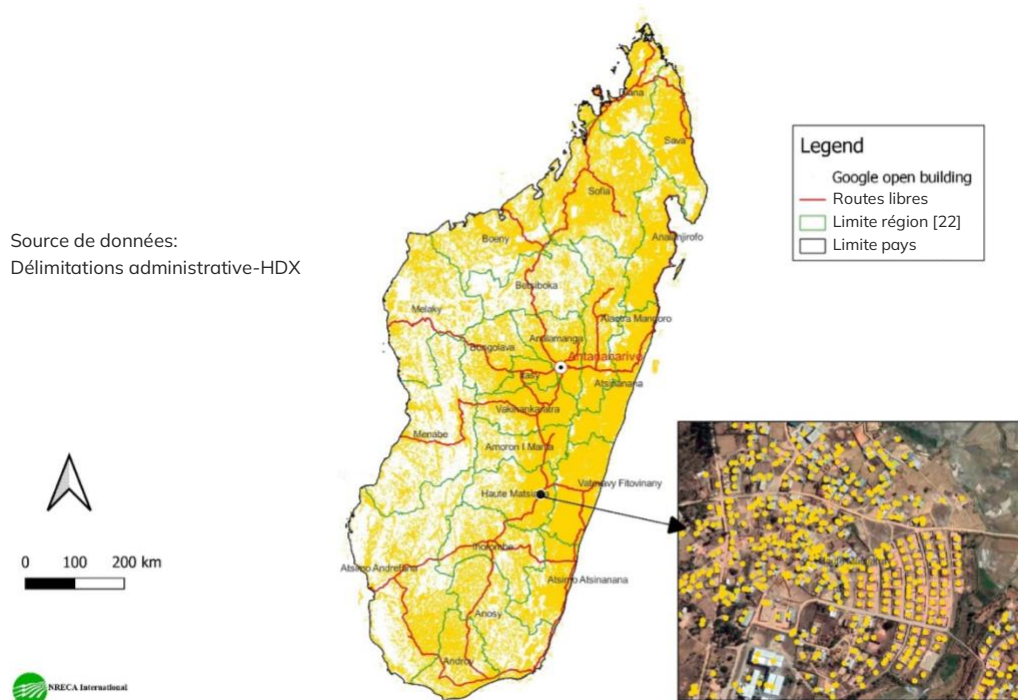
Ce rapport présente la composante chaîne du froid du Plan Énergétique Intégré de Madagascar (PEI). La composante chaîne du froid comprend deux sous-composantes distinctes - d'abord la chaîne du froid médicale et ensuite la chaîne du froid agricole, qui sont présentées l'une après l'autre. Dans la section de chaque sous-composante, une vue d'ensemble et une brève analyse des lacunes sont présentées, suivies d'une section résumant la collecte et la validation des données sur le terrain réalisé au cours du projet. Ensuite, l'approche méthodologique de l'analyse de la chaîne du froid est présentée, suivie des résultats de la modélisation de la chaîne du froid, des analyses de sensibilité et des exigences finales en matière d'énergie et de coûts de refroidissement. Une section finale sur les principales conclusions et recommandations est présentée à la fin du document.

Défi de la chaîne du froid à Madagascar

Les chaînes du froid à Madagascar sont confrontées à deux défis majeurs : un accès limité à l'électricité, des infrastructures routières insuffisamment développées. Dans les régions où l'électricité n'est pas fiable ou inexistante, le maintien de la température requise pour les vaccins et/ou les produits agricoles deviennent presque impossibles. En outre, l'insuffisance des réseaux routiers peut entraver le transport en temps voulu des produits sensibles à la température entre les exploitations agricoles et les marchés ou des vaccins entre les entrepôts régionaux et les cliniques rurales. Dans tout Madagascar, les précipitations saisonnières, l'insuffisance des infrastructures, le faible pouvoir d'achat et le manque d'innovation (par manque de connaissance des utilisateurs notamment les petits producteurs), et la difficulté du terrain font qu'il est difficile de garantir l'intégrité de la chaîne du froid. Il est essentiel de résoudre les problèmes d'accès à l'électricité et d'infrastructure routière pour renforcer la sécurité alimentaire, et réduire les pertes post-récolte, ainsi que pour garantir la disponibilité des vaccins dans les établissements de santé et leur accessibilité pour tous. Le problème de l'accès à l'électricité est abordé plus en détail dans le rapport sur l'électrification du PEI de Madagascar, tandis que bon nombre des problèmes abordés dans le présent rapport en ce qui concerne les contraintes de la chaîne du froid médicale et agricole découlent de l'accessibilité limitée des véhicules dans le pays, qui est examinée plus en détail ci-dessous.

Dans de nombreux cas, les interventions de la chaîne du froid sont nécessaires en raison du temps de trajet prolongé entre les infrastructures centrales de stockage des vaccins et les cliniques éloignées ou, inversement, entre les sites de production agricole éloignés et les marchés. Lors de la préparation des modèles géospatiaux pour le rapport sur la chaîne du froid, une base de données géospatiale complète de toutes les structures et routes de Madagascar a été compilée pour analyser le transport des vaccins et des produits agricoles à l'intérieur du pays. Cette carte est présentée dans la Figure 2, en utilisant les données sur les bâtiments de Google Open Buildings et les routes d'Open Street Map (OSM).

Figure 2. Base de données des structures et des routes primaires à Madagascar
(Source: Google, OSM)



Avec un pays aussi vaste et des changements significatifs en termes de terrain, de précipitations et de densité de population, le défi de l'accessibilité des véhicules découle de plusieurs facteurs, notamment les précipitations saisonnières, le banditisme potentiel et l'insuffisance des infrastructures. Les pluies saisonnières ont pour effet d'emporter les routes communes et d'accroître considérablement les risques pour les automobilistes et les communautés dans les plaines inondables qui entourent les routes. Les communautés locales se sont habituées à ces inondations périodiques et, dans certaines régions, elles font face à l'inaccessibilité en instituant des systèmes de ferry ou même en traversant les cours d'eau à bord de véhicules 4x4. Des problèmes similaires se posent dans la chaîne du froid médicale et agricole pour la livraison des vaccins et des biens et produits agricoles. Les schémas 3 et 4 présentent quelques exemples de ces risques liés aux véhicules. Le Figure 3 montre un ferry sur le point de débarquer à Bekopaka, dans la région de Melaky. La Figure 4 montre la crue des eaux pendant la saison sèche qui interfère avec la route entre Antsalova et Bekopaka. Le personnel médical local a confirmé que la route est impraticable pendant la saison des pluies. Par conséquent, les praticiens médicaux ont mis au point un système plus complexe pour équiper les cliniques en vaccins pendant la saison des pluies. Il est nécessaire d'engager une équipe qui marchera pendant une semaine dans chaque sens avec une glacière à vaccins qui peut être transportée à travers la rivière en canoë.

Figure 3. Exemple de traversée saisonnière en ferry à Madagascar
(Source: JSI, 2018)



Figure 4. Exemple de passage à gué d'une route saisonnière à Madagascar
(Source: JSI, 2018)



Néanmoins, les contre-mesures ingénieuses employées par les praticiens médicaux ne fonctionneront pas pour tous les véhicules et ne fonctionneront peut-être pas en toutes saisons.

Ainsi, tant qu'une infrastructure de transport plus complète ne sera pas mise en place dans les régions reculées de Madagascar et que le problème du banditisme ne sera pas résolu de manière exhaustive, il subsistera des problèmes d'accessibilité qui limiteront les solutions en matière de chaîne du froid agricole et médicale. Le simple fait d'avoir un accès universel à l'électricité, par exemple, ne peut pas empêcher la détérioration des aliments ou des vaccins, si les matériaux ne peuvent pas atteindre les marchés pour la vente ou les cliniques pour la vaccination.

Suite à ces observations, une carte est présentée dans le Figure 5 qui illustre les défis de l'accessibilité à Madagascar en comparant le nombre de mois pendant lesquels les routes sont praticables. Les données sous-jacentes du Figure 5 ont été fournies par le Ministère de la Santé malagasy à partir d'un ensemble de données de 2 284 Centres de Santé de Base (CSB) en 2014. Aujourd'hui, l'ensemble des données du Ministère de la Santé comprend 2 832 CSB, mais la tendance générale est considérée comme illustrant les défis actuels en matière d'accès. Le Figure 6 présente l'analyse de l'état des routes selon le rapport 2017/2018 de la Banque Mondiale sur la mesure de l'accès rural.

Figure 5. Accessibilité routière saisonnière à Madagascar (Source: JSI, 2014)

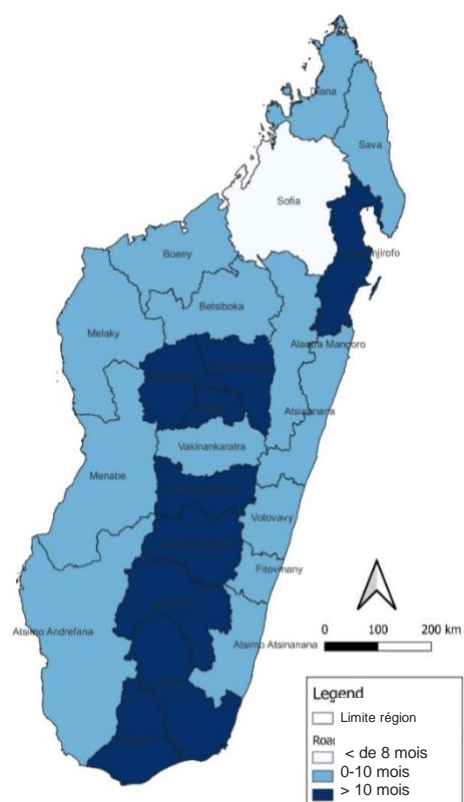
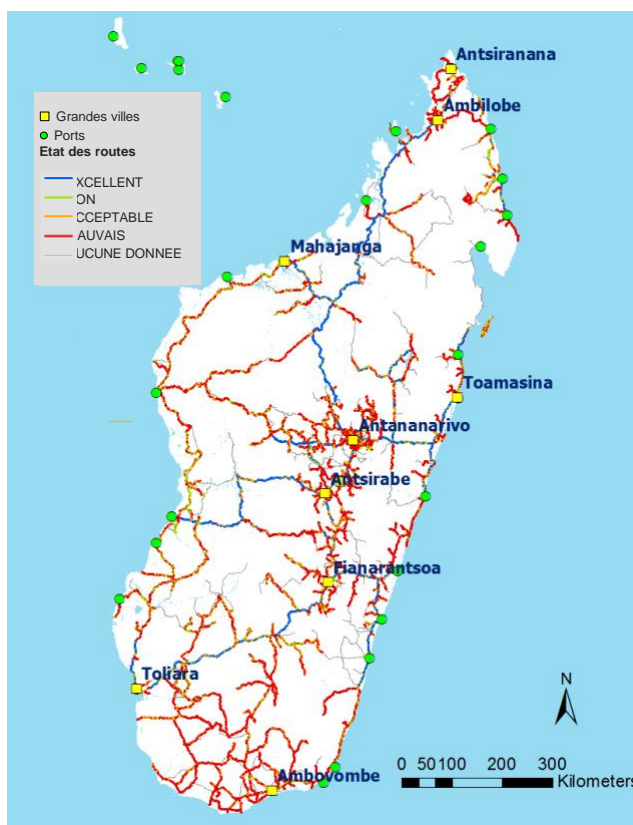


Figure 6. Données 2017 sur l'état des routes (Source: Banque Mondiale 2017)



CHAÎNE DU FROID MÉDICALE

Aperçu

L'objectif de ce volet du PEI consacré à la chaîne du froid médical est de réaliser une évaluation complète du programme global de vaccination et de la chaîne du froid médical qui y est associée à Madagascar. Cette évaluation englobe les efforts d'introduction et de distribution du vaccin COVID-19, entrepris au cours des deux dernières années, tout en cartographiant méticuleusement la chaîne d'approvisionnement, en s'appuyant sur les données relatives à l'emplacement et aux établissements des centres de santé, sur les informations relatives au réseau routier, sur les options technologiques de la chaîne du froid et sur l'approvisionnement en énergie nécessaire pour alimenter durablement les solutions de la chaîne du froid.

Cette analyse à multiples facettes poursuit un triple objectif. Premièrement, elle vise à améliorer l'efficacité et la fiabilité de la chaîne d'approvisionnement existante. Deuxièmement, elle contribue à préparer le pays à l'expansion en cours du programme de vaccination, y compris à la réalisation de nouveaux objectifs liés aux vaccins COVID-19 et aux futurs vaccins potentiels, tels que ceux contre le paludisme. Enfin, les données recueillies permettront d'identifier les besoins énergétiques supplémentaires indispensables à la distribution et au stockage des vaccins dans tout le pays. En outre, elles faciliteront l'examen approfondi de divers scénarios de distribution afin de déterminer les moyens les plus efficaces de renforcer le système de chaîne du froid existant.

Les chaînes du froid médical sont nécessaires pour garantir la qualité des vaccins. Les chaînes du froid sont importantes pour assurer la disponibilité des vaccins dans les établissements de santé et leur accessibilité pour toutes les personnes, principalement les enfants, qui ont droit aux vaccins. À Madagascar, les vaccins de routine sont fournis dans des établissements de santé fixes. Dans le cadre des efforts de sensibilisation, des équipes de santé mobiles se rendent dans les communautés situées dans des zones reculées ou difficiles d'accès pour s'assurer que les vaccins sont disponibles. Le taux de couverture des vaccins de routine a diminué au cours des dernières années en raison de perturbations dues à la COVID-19 dans les chaînes d'approvisionnement en vaccins et dans l'accès aux soins de santé. En 2023, le programme de vaccination du Ministère de la santé a donné la priorité à la vaccination des enfants n'ayant reçu aucune dose, c'est-à-dire ceux qui n'ont pas reçu la première dose de vaccin contre la diphtérie, la coqueluche et le tétanos (DTCoq). Sur la base de données administratives récentes, le taux de couverture estimé pour tous les vaccins varie entre 51 % pour le bacille de Calmette-Guérin (BCG) et 70 % pour la première dose de DTCoq. Au niveau régional, les faibles taux de couverture sont plus prononcés dans les zones plus rurales et plus difficiles d'accès.

Au cours des deux dernières années, le programme de vaccination a également mené des campagnes à grande échelle pour les vaccins COVID-19, intégrant ce dernier dans la chaîne de froid vaccinal utilisant les mêmes équipements que les vaccins traditionnels. Le vaccin COVISHIELD COVID-19 a été introduit en mai 2021, et depuis son introduction, 8 728 396 doses de vaccin COVID ont été administrées jusqu'en juin 2023. La couverture vaccinale COVID est de 17,4 %, soit 2,6 millions de personnes complètement vaccinées (on estime que 450 000 personnes ont reçu une première dose et sont encore en attente d'une deuxième dose pour être considérées

comme complètement vaccinées), ce qui est inférieur à l'objectif du gouvernement d'atteindre 50,5 % de la population malgache⁹. Les efforts en 2023 ont été concentrés sur l'intégration du programme de vaccination COVID-19 dans la prestation de services de routine, en mettant l'accent sur les adultes d'âge mûr et les populations à haut risque, conformément aux recommandations les plus récentes de l'OMS. Les vaccins COVID-19 ont été intégrés dans la chaîne du froid des vaccins, en utilisant le même équipement que les vaccins traditionnels dans les entrepôts et les centres de santé.

Les vaccins arrivent à Antananarivo directement du fabricant sur la base d'un plan d'approvisionnement en coordination avec l'UNICEF, le principal agent d'approvisionnement du pays, et le plan est ajusté en fonction des besoins et de la capacité de l'équipement de la chaîne du froid. Le pays est en train de construire un nouvel entrepôt frigorifique à l'aéroport international pour atténuer les contraintes au niveau national, faciliter les arrivées et assurer la fiabilité de la chaîne du froid. 373 équipements supplémentaires sont également en cours d'acquisition pour les districts et les établissements. Selon la politique du Ministère de la Santé, les vaccins sont livrés de l'entrepôt central directement aux magasins de district sur une base trimestrielle, sans passer par le niveau régional du système de santé. Selon l'équipe chargée de la chaîne d'approvisionnement en vaccins et les outils de planification de l'approvisionnement, les établissements de santé collectent les vaccins auprès des magasins de district tous les mois et conservent normalement un stock tampon d'environ deux semaines, bien qu'il n'y ait pas de politique officielle en la matière. (Tableau 1). Bien qu'il s'agisse de la politique du Ministère de la Santé, l'équipe chargée de la distribution des vaccins modifie cette pratique en fonction des besoins, notamment pour tenir compte de la saison des pluies, qui pose des problèmes d'accessibilité dans les établissements difficiles d'accès et qui, dans certains endroits, prive les centres de santé d'un moyen de transport fiable vers le point de réapprovisionnement de leur district pendant plusieurs mois d'affilée. Il n'y a pas de stockage de vaccins au niveau de la région ou de la commune.

Projets en cours connus liés aux ECF et à l'électrification

- LEAD (Projet de Développement d'accès à l'électricité au moindre coût) : Projet de la Banque mondiale visant à améliorer l'accès des ménages, des entreprises et des établissements de santé aux services d'électricité à Madagascar. En août 2023, 47 établissements de santé auront été électrifiés et 453 autres le seront.
- Installation en cours d'une chambre froide au niveau national pour le stockage des vaccins avec le soutien de Gavi.
- 29 nouveaux ECF sont actuellement dans le pays et attendent d'être installés (achetés par l'UNICEF et le projet MIAROVA de la Banque Mondiale), ce qui devrait être terminé d'ici la fin de l'année 2023.
- Le pays achète :
 - 373 ECF par l'intermédiaire de Gavi, qui devraient arriver et être installés en 2024 (Projet d'Optimisation des Équipements de la Chaîne du Froid CCEOP2)
 - 100 réfrigérateurs solaires (Gavi/CDS3) 2024
 - 115 Congélateurs électriques avec des kits solaires (projet Miarova de la Banque Mondiale) 2024

Le Figure 7 présente une carte des établissements de santé de Madagascar par type, tandis que le Figure 8 donne un aperçu de l'emplacement des établissements de santé soutenus par LEAD.

⁹ Ministère de la Santé. Plan National de Déploiement et de Vaccination (PNDV) contre la Covid-19 à Madagascar. Septembre 2021.

En outre, une analyse plus approfondie de l'électrification des établissements de santé se trouve dans le rapport d'électrification du PEI.

Figure 7. Établissements de santé par type à Madagascar (2023)

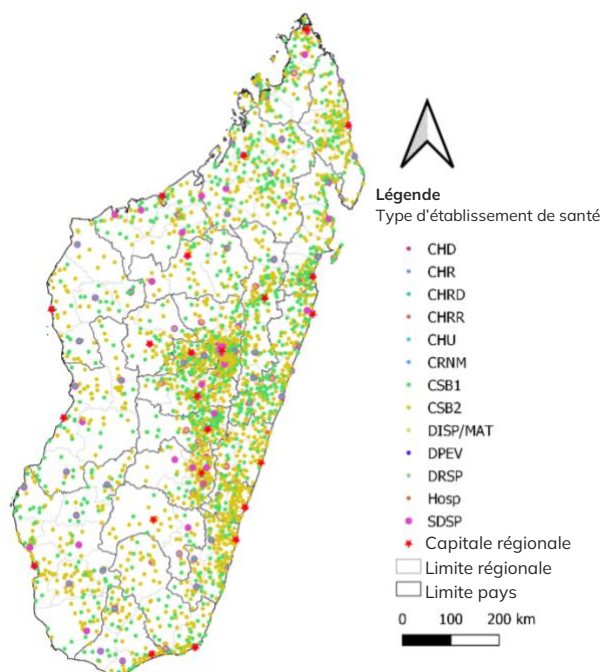


Figure 8. Établissements de santé soutenus par LEAD à Madagascar (2023)



Tableau 1. Niveaux de la chaîne d'approvisionnement et pratiques de distribution

Niveau de la chaîne d'approvisionnement	Méthode de distribution : Vaccins de routine et COVID
Niveau national	<p>Conserve des vaccins, prend les décisions concernant les quantités à distribuer</p> <p>Dispose de 5 camions dont 2 réfrigérés (note : un seul camion était actuellement en service en septembre 2023) pour distribuer les vaccins tous les trimestres au niveau du district. L'UNICEF fournit un transport supplémentaire si nécessaire. Les vaccins sont stockés dans des boîtes réfrigérées pendant la distribution si un camion frigorifique n'est pas disponible.</p>
Niveau régional	Réservé à l'administration ; ne pas utiliser à stocker des vaccins.
Niveau du district	Reçoit des vaccins trimestriels du niveau national.
Niveau de l'établissement de santé	Collecte des vaccins au niveau du district mensuellement, en utilisant divers moyens de transport (motos gouvernementales, transports publics, bateau, charrette à zébus ou à pied).
Commune	Le personnel des établissements de santé utilise des bicyclettes ou des motos avec une petite glacière pour une journée de prestation de services à 5-10 km de l'établissement.

Note : Le vaccin COVID est intégré dans la chaîne d'approvisionnement des vaccins de routine et dans la chaîne du froid, utilisant les mêmes équipements de chaîne du froid et les mêmes moyens de transport. Le pays dispose de 6 équipements de chaîne du froid spécifiques pour le vaccin Pfizer, situés au niveau national et au niveau des districts.

Résumé de la méthodologie

Le Programme Elargi de la Vaccination (PEV) du Ministère de la Santé, l'ADER et le département de planification du Ministère de la Santé ont été chargés de collecter les multiples ensembles de données relatives aux établissements de santé, à leurs caractéristiques, à leur emplacement et aux services qu'ils fournissent. Un document important pour l'analyse de la chaîne du froid médical est l'inventaire des équipements de la chaîne du froid fourni par le PEV, qui a été mis à jour à la fin de l'année 2022. Cet inventaire donne un aperçu de l'Équipement de la Chaîne du Froid (ECF) utilisé pour le stockage des vaccins et a des implications sur la consommation d'électricité, en particulier dans le cas de la ECF solaire. Les informations disponibles dans ces données secondaires ont été confirmées et clarifiées par les parties prenantes du PEV.

Collecte et validation des données

Grâce à une étroite collaboration avec le Ministère de la santé, le PEV, l'UNICEF et l'ADER, l'équipe chargée de l'étude a pu obtenir les sources de données, les recouper, valider les hypothèses et nettoyer les données. Ce processus a permis d'établir une liste centrale des établissements agréés (par les parties prenantes de la chaîne du froid du PEI), en combinant plusieurs ensembles de données (voir tableau 2).

Tableau 2. Points de données clés collectés pour l'analyse et source des ensembles de données.

Données	Source	Granularité	Date de mise à jour ou de réception
Noms et types d'établissements de santé	MSANP	Niveau de l'établissement (régional, district, établissement)	MSANP/DPEV (mis à jour en novembre 2022) ; MSANP/DSSB (mis à jour en juin 2023)
Coordonnées SIG de l'établissement de santé	ADER, LEAD	Niveau de l'établissement (régional, district, établissement)	ADER (reçu en avril 2023) ; LEAD (reçu en juillet 2023)
Disponibilité de l'énergie dans les établissements de santé	MSANP	Niveau de l'établissement (régional, district, établissement)	MSANP/DPEV (mis à jour en novembre 2022)
Données sur la population/le bassin versant	Département de la planification du MSANP	Niveau de l'établissement (régional, district, établissement)	MSANP/DPEV (mis à jour en novembre 2022)
Matériel de la chaîne du froid, état fonctionnel, caractéristiques	Inventaire du PEV (mis à jour en novembre 2022), catalogue PQS de l'OMS	Niveau de l'établissement (régional, district, établissement)	MSANP/DPEV (mis à jour en novembre 2022)
Dimensions de l'article sur les vaccins	MSANP, liste préqualifiée de l'OMS,	Par type de vaccin, par UGS (Rotavirus)	MSANP/DPEV (mis à jour en novembre 2022) ;

	mesure dans l'entrepôt (Rotavirus)		OMS (consulté en juillet 2023) ; Entrepôt DPEV (mesure prise en juillet 2023)
Calendrier des vaccinations de routine	PEV	Niveau national	MSANP/DPEV (mis à jour en novembre 2022)
Mise à jour sur le déploiement du vaccin COVID	PEV	District	MSANP/DPEV (mise à jour juillet 2023)
Chaîne d'approvisionnement et politique de distribution	PEV	Niveau de l'établissement (régional, district, établissement)	MSANP (discussions, 2023)
Coordonnées et caractéristiques SIG du Fokontany	ADER	Niveau Fokontany	ADER (reçu en avril 2023) ;
Liste des établissements bénéficiant d'un soutien LEAD et de celles qui prévoient d'en bénéficier	LEAD	Niveau de l'établissement	LEAD (reçu en juillet 2023)

Ces ensembles de données ont ensuite été harmonisés, afin d'assurer la cohérence entre les multiples ensembles de données des établissements de santé, en particulier en ce qui concerne la transcription des noms des établissements. Les coordonnées géographiques étaient disponibles pour la plupart des établissements, mais manquaient pour les entrepôts de vaccins au niveau du district. Les coordonnées géographiques ont été attribuées à chaque établissement (3 053 établissements au total) sur la base des hypothèses suivantes :

- 497 établissements incluses dans l'électrification LEAD utilisent les coordonnées de l'établissement selon les fichiers LEAD (3 d'entre eux sont manquants parce qu'ils avaient deux fois la latitude, plutôt que la latitude et la longitude, dans ces fichiers. Parmi ces trois manquants, deux sont identifiés par fokontany, et un par commune, voir ci-dessous)
- 1674 établissements utilisent les coordonnées GPS du fokontany. Le nom de la région, du district, de la commune et du fokontany (dérivé du nom de l'établissement) correspond au fokontany associé dans le fichier SIG des fokontany d'ADER.
- 850 établissements pour lesquels il n'a pas été possible de trouver une correspondance directe basée sur le fokontany utilisent une estimation basée sur la commune - il s'agit d'une moyenne des coordonnées GPS de tous les fokontany répertoriés dans cette commune dans le fichier SIG Fokontany d'ADER.
- Enfin, 32 établissements n'ont pu être identifiés par commune ou par fokontany (ou n'étaient pas clairs parce qu'il y avait plusieurs fokontany du même nom dans différentes communes du même district) ; elles ont été incorporées dans le modèle en utilisant une estimation basée sur le district, qui est une moyenne des coordonnées GPS de tous les fokontany dans le district.

L'analyse des Equipements de la Chaîne du Froid a porté sur l'âge des équipements, le nombre de fabricants et de modèles, ce qui a des répercussions sur la maintenance, et sur la norme PQS.¹⁰ L'analyse a également porté sur l'Equipement de la Chaîne du Froid en réseau et hors réseau, et sur les implications pour le PEI.

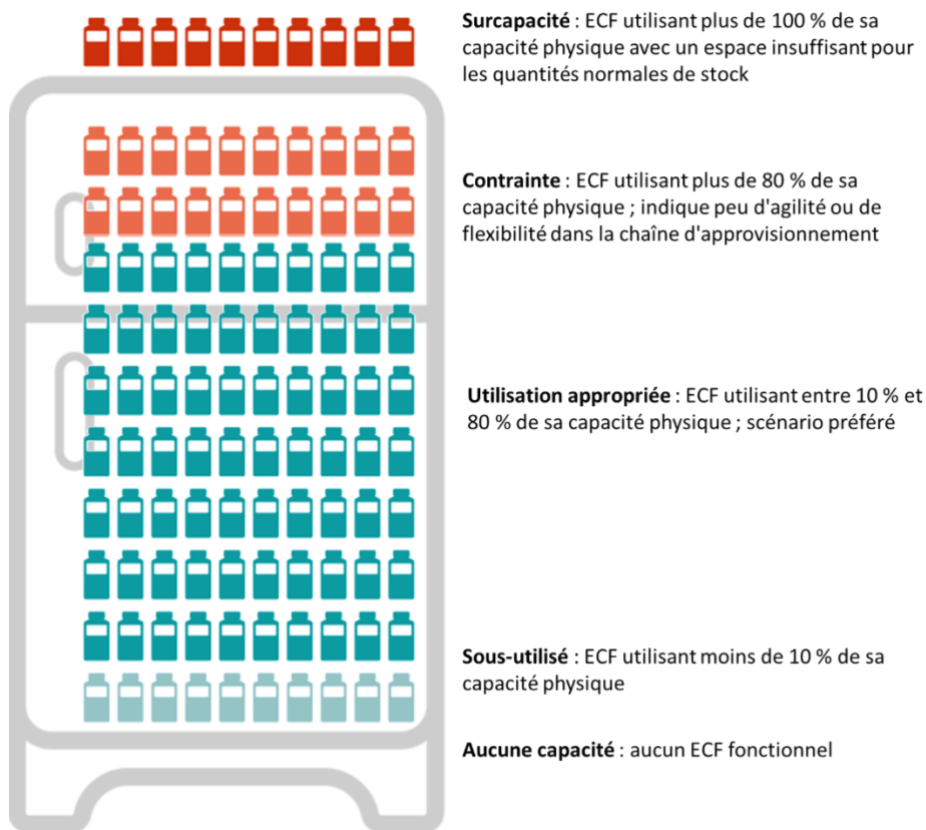
En outre, le PEI a effectué une analyse de l'utilisation de la capacité de l'ECF dans les établissements de santé et les sites de stockage pour indiquer le niveau d'utilisation, et en particulier, si certains sites ont une capacité limitée et ont besoin d'ECF supplémentaires ou d'une fréquence de distribution des vaccins différente. L'utilisation des capacités est estimée à partir de la quantité de vaccins requise sur la base du calendrier du PEV (par exemple, les vaccins et le nombre de doses requises pour chacun d'entre eux), du calendrier de distribution établi (par exemple, distribution mensuelle au Niveau de l'établissement et trimestrielle au niveau du district), de la population cible de chaque établissement et district et des caractéristiques des vaccins (taille des flacons, litres cubes par dose, taux de perte, stock tampon). Cette utilisation est évaluée par rapport au nombre total de litres cubes nets d'ECF approuvés par le PQS, disponibles et fonctionnant dans l'établissement et utilisés pour les vaccins. Les catégories d'utilisation sont définies comme suit

- Approprié si entre 10% et 80% de la capacité physique est utilisée ;
- Sous-utilisé si moins de 10 % de la capacité est utilisée ;
- Contraint si plus de 80 % de la capacité est utilisée ;
- Surcapacité si plus de 100 % de la capacité est utilisée ; où
- Pas de capacité pour indiquer qu'il n'y a pas d'ECF en fonctionnement.

Une utilisation appropriée des capacités est considérée comme idéale. Pour le vaccin COVID-19, il n'y a pas de politique standard actuellement en place pour les besoins de distribution et de stockage. Ainsi, la quantité de vaccin COVID-19 distribuée au Niveau de l'établissement dépend largement de la disponibilité du vaccin et pas nécessairement de la population cible. Cela complique l'analyse définitive de l'utilisation des capacités ; toutefois, comme la majorité des ECF dans les établissements de santé utilisent moins de 10 % de leur capacité physique, l'analyse indique que la capacité est suffisante pour accueillir une quantité appropriée de vaccin COVID-19 par rapport à la population cible. D'autres facteurs d'influence sont le peu d'intérêt pour le vaccin alors que la pandémie est passée à un stade endémique, ainsi que les petites quantités de vaccins COVID-19 données au pays.

¹⁰ Le processus de performance, de qualité et de sécurité de l'OMS préqualifie les produits et les dispositifs afin de garantir aux gouvernements qu'ils peuvent être utilisés dans les programmes de vaccination ; il établit également des normes d'efficacité énergétique.

Figure 9. Visualisation des catégories d'utilisation des capacités



La méthodologie a connu certaines limites. Il n'existe pas d'ensemble de données principal unique sur les établissements à Madagascar, mais un ensemble créé à partir d'une combinaison de différents ensembles de données provenant de différentes sources. Les informations varient d'une source de données à l'autre, et sont parfois contradictoires. Par exemple, l'ensemble de données final utilisé comprend une compilation de plusieurs listes d'établissements différents, qui diffèrent parfois dans les établissements qu'elles contiennent (par exemple, l'établissement X existe dans la liste A mais pas dans la liste B, tandis que l'établissement Y n'existe que dans la liste B), ainsi que dans les attributs des établissements eux-mêmes (par exemple, l'établissement X dans une liste est au niveau CSB1, tandis qu'un établissement du même nom existe dans une autre liste mais est référencée comme étant au niveau CSB2). En outre, l'orthographe à Madagascar est souvent phonétique, et de nombreux endroits sont désignés à la fois par une ancienne désignation coloniale en français (qui peut différer d'une liste à l'autre en ce qui concerne l'utilisation des accents) et par un nom malgache plus récent. Par exemple, le district connu aujourd'hui sous le nom de Boriziny apparaît diversement dans les listes d'établissements comme Boriziny, Port Bergé, Port Berge, Port-Berge, Boriziny (Port Berge), et Port Berge (Boriziny-Vaovao). Les directions cardinales sont également utilisées de manière variée en français et en malgache à travers et au sein des ensembles de données (par exemple Fenoarivo Atsinanana, Fénérive Est, Fenoarivo Est). Les différents ensembles de données diffèrent également dans les attributs des établissements tels que le nombre de réfrigérateurs solaires fonctionnels disponibles ; dans de tels cas, l'analyse utilise par défaut la liste principale de la chaîne du froid de la DPEV. Les points de données manquants,

notamment en ce qui concerne les coordonnées géographiques, ont été complétés par des hypothèses basées sur les meilleures informations disponibles concernant l'emplacement.

Élaboration de scénarios pour les chaînes de froid médicales

La chaîne du froid médical et l'électrification des établissements de santé sont étroitement liées. Ainsi, l'analyse de la chaîne du froid médical du PEI comprend deux parties : une évaluation de l'équipement de la chaîne du froid (ECF), et l'électrification et/ou la sauvegarde des établissements de soins de santé basées sur les énergies renouvelables, y compris les charges de la chaîne du froid et les charges non liées à la chaîne du froid. Le Gouvernement de Madagascar (GdM) a un plan d'électrification de tous les établissements de santé publics d'ici 2030, conformément à la politique énergétique nationale 2015-2030 et aux objectifs du Ministère de la santé. Dans cette optique, un seul scénario complet pour l'Équipement de la Chaîne du Froid (ECF) et l'électrification des établissements de santé a été développé pour le PEI, et les sensibilités au scénario principal sont utilisées pour illustrer les options alternatives pour le déploiement de l'ECF.

Scénario de référence SEforALL SDG 7 :

- **Électrification des établissements de santé** : Conformément aux objectifs du GdM et au scénario d'électrification de base du PEI, tous les établissements de santé sont électrifiés d'ici 2030, avec des systèmes solaires et de stockage par batterie à l'échelle de l'établissement, ou des systèmes solaires de secours pour les établissements raccordés au réseau ou au mini-réseau Moyenne Tension (MT). On suppose que toute l'électrification est basée à 100 % sur les énergies renouvelables, et qu'elle est dimensionnée pour couvrir l'ensemble de la liste des équipements obligatoires de l'établissement.
- **Déploiement de l'Équipement de la Chaîne du Froid** : Le scénario de base suppose que des ECF électriques et solaires à entraînement direct seront déployés pour répondre pleinement aux exigences actuelles de la chaîne du froid pour les vaccins, faire face à la croissance démographique jusqu'en 2030, et remplacer les équipements qui ne fonctionnent pas, qui ne respectent pas les normes de qualité ou qui ont atteint la fin de leur durée de vie utile. Ce scénario part de l'hypothèse prudente que l'équipement solaire à entraînement direct est acheté pour tous les établissements de santé qui déclarent moins de 16 heures d'électricité par jour en 2023, quelle que soit leur modalité d'électrification actuelle ou prévue, en supposant que ces établissements pourraient progressivement adopter le ECF électrique, une fois qu'ils auront été entièrement électrifiés, le changement se produisant probablement au-delà de l'horizon 2030¹¹.

Sensibilité - Optimisation de l'approvisionnement en équipements de la chaîne du froid :

- **Électrification des établissements de santé** : Identique au scénario de base de l'ODD 7 de SEforALL.
- **Déploiement d'équipements de la chaîne du froid** : Cette sensibilité examine les économies potentielles qui résulteraient d'une coordination accrue entre les décisions

¹¹ Un deuxième scénario a été élaboré pour évaluer uniquement les besoins en équipements de la chaîne du froid électrifiés d'ici 2030.

d'achat d'équipements de la chaîne du froid (ECF) et l'électrification des établissements de santé. Elle suppose qu'au niveau national, 40 %* des achats attribués aux unités solaires à entraînement direct dans le scénario de référence peuvent être remplacés par des ECF électriques performantes moins coûteuses, étant donné que ces achats auront lieu dans des établissements qui ont été suffisamment électrifiés grâce à l'électrification prévue des établissements de santé et/ou à des systèmes de secours.

Paramètres utilisés pour définir les exigences de la chaîne du froid médical¹²

Le secteur est divisé en quatre tailles d'établissement. Ces tailles sont basées et adaptées de la publication de l'USAID, *Powering Health : Electrification Options For Rural Health Centers*¹³, qui spécifiait à l'origine quatre tailles d'établissements de santé et qui les a maintenant réduites à trois. Pour les besoins de ce rapport, quatre tailles d'établissements sont utilisées. La publication de l'USAID spécifie les besoins en équipement pour différentes catégories de taille, et les types d'établissements du Ministère de la santé ont été affectés aux catégories de taille de l'USAID dans ce rapport en fonction de leurs besoins prévus en équipement (voir le tableau ci-dessous). L'hypothèse est que, bien que les exigences spécifiques de conception des établissements puissent différer, les catégories de taille reflètent en moyenne les besoins des types d'établissements.

Chaque catégorie de taille d'établissement se voit attribuer une liste d'équipements, ainsi que les heures de demande et la consommation d'énergie de chaque pièce. La demande totale d'énergie est déterminée à partir de la liste et de la somme de la consommation totale d'énergie pour chaque établissement. Pour les établissements alimentés par le réseau 24 heures sur 24, les systèmes solaires hybrides ont été évalués pour tenir compte de l'irrégularité du réseau et des problèmes de qualité de l'énergie. Cependant, même un accès intermittent au réseau peut être suffisant pour remplacer les générateurs de secours nécessaires aux établissements autonomes dans les zones rurales non connectées à un réseau de distribution (JIRAMA ou autre). D'après les informations fournies par les parties prenantes locales, certains établissements de santé raccordés au réseau disposent de 16 à 24 heures de service par jour, tandis que d'autres disposent de 8 à 16 heures de service par jour. Par conséquent, les calculs de dimensionnement solaire pour l'hybridation des établissements de santé sont basés sur l'estimation la plus conservatrice de 8-16 heures d'accès au réseau. Un résumé des résultats est présenté dans les sections ci-dessous.

¹² Veuillez noter que la méthodologie de dimensionnement de l'électrification des établissements de santé, les listes d'équipements, les estimations de consommation et les coûts seront adaptés sur la base des résultats de la feuille de route Powering Healthcare. La feuille de route Powering Healthcare de Madagascar est en cours d'élaboration par SEforALL en partenariat avec le GoM.

¹³ Alimenter la santé : Options d'électrification pour les centres de santé ruraux, USAID, https://www.usaid.gov/sites/default/files/2022-05/Powering-Health_Load-Calculation-Examples.pdf

Tableau 3. Types d'établissement considérés dans l'analyse des PEI

Taille	Nom du type l'établissement	Description	Besoins en matière d'utilisation finale d'énergie
1	Centres de Santé de Base (CSB1) niveau 1	Établissements de santé de base dans les campagnes malgaches. Elles sont le premier recours des malades. Il est rare qu'un médecin soit disponible sur place.	Ils sont généralement hors réseau et ils disposent des équipements chaîne du froid sauf pour quelques-uns (nouvellement construit ou réouverture du centre). Ils n'ont généralement pas d'éclairage ni d'autre source d'électricité. La liste des équipements pour ces sites comprend un réfrigérateur pour les vaccins, une lumière générale, une lampe d'examen, un microscope et une radio dans des établissements de cette taille.
1	CSB niveau 2 / Dispensaire / Maternité	Les CSB2 sont des établissements de niveau légèrement supérieur (moins rurales) aux CSB1 et offrent des services supplémentaires. Ils sont généralement hors réseau, mais certains sont raccordés au réseau. Ils disposent d'un ECF pour les vaccins de routine, et sont souvent éclairés, au moins une partie du temps.	Ils sont généralement hors réseau, mais certains sont raccordés au réseau. Ils disposent d'un équipement de chaîne du froid pour les vaccins de routine. Mêmes exigences énergétiques que pour le CSB 1, plus une échelle de soins prénataux.
2	Centre Hospitalier de District (CHD) / Centre Hospitalier de Référence de District (CHRD)	Le niveau de soins du district se compose de deux types d'hôpitaux qui fournissent aux populations environnantes des services ambulatoires et hospitaliers.	Besoins énergétiques pour les CHD et CHRD : les services fournis comprennent la maternité, les urgences, la pharmacie, la pédiatrie, la salle d'opération, la chirurgie, la radiologie, le laboratoire, l'échographie, la dentisterie. Les besoins énergétiques supplémentaires autres que l'éclairage et la chaîne du froid peuvent inclure un concentrateur d'oxygène, une machine d'aspiration, un incubateur, un nébuliseur, une machine de réanimation, un autoclave et un équipement de laboratoire de base tel qu'un microscope et un mélangeur d'hématologie.
2	Service de District de la Santé Publique (SDSP)	Les SDSP sont généralement situés dans les villes et hors réseau.	Les SDSP disposent d'un ECF pour stocker les vaccins destinés à l'ensemble du district ; une partie de l'équipement de stockage de la chaîne du froid peut être partagée avec (situé dans) un hôpital local de district dans la même ville.
3	Centre Hospitalier de Référence (CHR) / Centre Hospitalier de Référence Régional (CHRR) / Direction Régionale de la Santé Publique (DRSPs) / Centre Régional de Nutrition et Maternité (CRNM) -	Ces établissements offrent des soins plus avancés et des services supplémentaires par rapport aux hôpitaux de district.	Les besoins énergétiques des services fournis sont les suivants : chirurgie, maternité, salle d'opération, radiologie, pneumologie, cardiologie, dermatologie, urgences, traumatologie, gastro-entérologie, urologie, pharmacie, pédiatrie, service des brûlés.
4	Centre Hospitalier Universitaire (CHU)	Le niveau tertiaire est constitué par les hôpitaux centraux. Dans l'idéal, ils fournissent des services de santé spécialisés au niveau régional et orientent également les patients vers les hôpitaux de district de leur région. Dans la pratique, cependant, environ	Les besoins énergétiques à satisfaire sont les suivants : chirurgie, maternité, planning familial, vaccination, salle d'opération, immunologie, radiologie, neurologie, pneumologie, cardiologie, odontologie, dermatologie, urgences, traumatologie, endocrinologie, anatomie-

		70 % des services qu'ils fournissent sont des services primaires ou secondaires en raison de l'absence d'un système de contrôle.	pathologie, hématologie, gastro-entérologie, urologie, pharmacie, maternité, pédiatrie, service des grands brûlés.
4	Division du Programme Élargi de la Vaccination (DPEV)	Le stockage des vaccins au niveau central à Antananarivo dans les bureaux de santé et l'entrepôt de vaccins.	Les besoins en énergie concernent plusieurs chambres froides et chambres de congélation. Les vaccins sont distribués dans tous les districts du pays.

**Remarque : il n'existe pas d'entrepôt de vaccins au niveau régional.

Paramètres d'analyse des coûts de la chaîne du froid médical

Méthode de détermination des besoins énergétiques dans des établissements de santé de différentes tailles

Le rapport de l'USAID, *Powering Health, Electrification Options For Rural Health Centers*¹⁴, propose des listes indicatives d'équipements pour différentes tailles d'établissements¹⁵. La consommation électrique de chaque appareil et le temps d'utilisation quotidien indicatif sont également indiqués. Notez cependant que les études LEAD des établissements CSB1 et CSB2 ont trouvé des niveaux de demande d'énergie plus importants, en particulier au niveau de l'établissement CSB2¹⁶. Afin de présenter les équipements indiqués sur la base d'une hypothèse unifiée, ce rapport utilise les listes d'équipements et les demandes d'énergie des établissements Powering Health de l'USAID. Le tableau ci-dessous fournit un résumé des listes d'équipement indiquées (tableau 4), tandis qu'une liste complète du dimensionnement de l'équipement par type d'établissement est fournie en annexe.

¹⁴ Voir - https://www.usaid.gov/sites/default/files/2022-05/Powering-Health_Load-Calculation-Examples.pdf

¹⁵ Notez que ces estimations d'équipement sont des valeurs indicatives alors que la feuille de route de Madagascar Power Healthcare est encore en cours de développement.

¹⁶ Voir le fichier LEAD 47_CSB_Coordinates.pdf

Tableau 4. Liste des équipements indiqués par type d'établissement (Source: USAID Powering Health, 2023)

ÉQUIPEMENT	QUANTITÉ CSB/DIS /MAT Taille 1	QUANTITÉ CHD/SDSP Taille 2	QUANTITÉ CHR/DRSP/CR NM Taille 3	QUANTITÉ CHU/DPEV Taille 4	PUISSANCE UNITAIRE (Watts)
Eclairage	1	40	120	120	10 W
Lumière d'examen	1	2	4	8	20 W
Microscope	1	3	5	5	10 W
Radio	1	1	1	1	30 W
Petit réfrigérateur pour le stockage des vaccins	1	0	0	0	60 W
Grand réfrigérateur pour le stockage des vaccins		1	3	3	500 W
Autoclave		1	1	2	630 W
Ventilateur		8	20	20	80 W
Rotateur/mélangeur		1	2	2	60 W
Bain d'eau		1	2	2	400 W
Spectrophotomètre		1	2	2	63 W
Fauteuil dentaire		1	2	2	710 W
Compresseur		1	2	2	370 W
Centrifugeuse		1	1	1	600 W
Jet Sonic Cleaner		1	1	1	45 W
Ordinateur		2	4	4	120 W
Chargeur de téléphone portable		5	10	20	5 W
Machine de remplissage d'amalgame		1	1	1	80 W
Machine à rayons X			1	1	200 W
Compteurs CD4			1	2	200 W
Analyseur chimique de sang			1	1	45 W
Mélangeur d'hématologie			1	1	230 W
Unité de climatisation			3	3	1500 W
Appareil de réanimation				1	165 W
Incubateur				1	917 W
Barème des soins prénataux				1	2 W
Nébuliseur				1	85 W
Concentrateur d'oxygène				1	285 W
Machine d'aspiration				1	145 W

En utilisant la liste des équipements par type d'établissement de santé, le tableau 5 montre le regroupement des établissements de santé en catégories de consommation d'énergie, indiquant les besoins en électricité, la consommation totale d'électricité de l'établissement en kWh par jour, ainsi que la part de la consommation d'électricité prévue pour l'Équipement de la Chaîne du Froid dans chaque établissement. Sur la base du nombre de kilowattheures de consommation d'énergie prévue pour chaque catégorie d'établissement déterminée ci-dessus, la conception des systèmes solaires autonomes a été réalisée conformément aux pratiques de conception conventionnelles. A noter que la conception des systèmes comprend une marge de sécurité de 30 % pour la dégradation des panneaux et la perte de puissance ohmique du système. Ainsi, le tableau 5 présente la consommation totale d'électricité en kWh/jour, tandis que le tableau 6 présente la taille du système en kWh/jour.

Tableau 5. Consommation d'électricité par catégorie d'établissement de santé

	Taille 1 CSB/DIS/MAT	Taille 2 CHD/SDSP	Taille 3 CHR/DRSP/CRNM	Taille 4 CHU/DPEV
Consommation totale d'électricité de l'établissement ¹⁷ (kWh/jour)	0.88	18.85	85.44	93.62
Part de l'électricité consommée par les ECF (%)	54.5%	21.2%	14.0%	12.8%
Électricité consommée par l'ECF uniquement (kWh/jour)	0.48	4.0	12.0	12.0

Méthode de détermination du coût des systèmes énergétiques requis par les différentes tailles d'établissements de santé

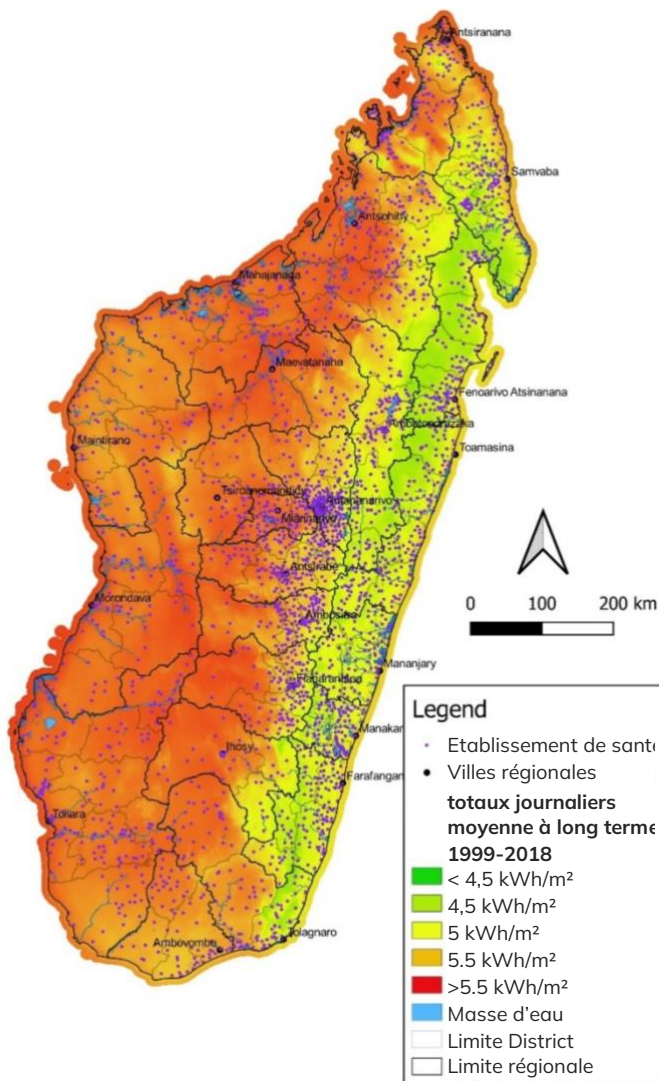
Le dimensionnement et la tarification des systèmes sont basés sur les prix actuels des modules solaires, des onduleurs, des équipements de charge et des batteries, ainsi que sur le coût estimé de la main d'œuvre en Afrique. Les systèmes de l'analyse utilisent un prix de module actuel d'environ 0,44 \$/Watt (pour 550 W, panneaux de 72 cellules), bien que des achats à grande échelle puissent réduire ce prix unitaire. Les onduleurs et autres composants sont basés sur les prix actuels du fournisseur d'énergie solaire en gros African Energy. Cependant, il faut noter que ces prix n'incluent pas les frais d'expédition ou d'autres coûts logistiques¹⁸. En outre, Madagascar bénéficie d'un ensoleillement moyen par jour plus faible le long de la côte est que d'autres pays d'Afrique subsaharienne. Elle varie de 3,6 à 5,2 heures d'insolation de 1 kW/m² par jour. Lors de la conception finale, les systèmes réels doivent être dimensionnés en fonction des exigences du lieu. Le Figure 10 présente une carte de l'irradiation solaire horizontale globale (GHI) en kWh/m² par jour en utilisant les données moyennes à long terme de 1999-2018¹⁹.

¹⁷ A noter que cette consommation d'électricité ne tient pas compte de la dégradation des panneaux ni des pertes du système, qui sont prises en compte dans la conception du système en kWh/jour, comme le montre le tableau 6.

¹⁸ Le code fiscal malgache exonère les panneaux solaires, les éoliennes et les batteries de la TVA et des droits d'importation - voir <https://www.get-invest.eu/market-information/madagascar/#:~:text=The%20Malagasy%20tax%20code%20provides,both%20VAT%20and%20import%20duties.>

¹⁹ Voir - <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/madagascar>

Figure 10. GHI en kWh/m² -jour superposé aux établissements de santé (2023)



Le dimensionnement du système fait appel à des onduleurs d'une puissance équivalente à celle des panneaux solaires afin de les associer à des chargeurs MMPT adaptés à la taille du système. Le prix des batteries est fixé pour les banques de lithium au prix actuel de 399 \$/kWh pour un stockage de 48 V avec une autonomie de 1,5 jour et une profondeur de décharge de 80 %. L'autonomie peut sembler un peu courte, mais il y a également 30 % de capacité supplémentaire pour une utilisation future (les kWh/jour supplémentaires indiqués dans le tableau ci-dessous, par rapport à la consommation dans le tableau ci-dessus), plus 20 % de surdimensionnement des panneaux solaires pour une dégradation sur 25 ans, augmentant la capacité de charge réelle au cours de la journée. Cela permettra de réévaluer le système ou de le mettre en parallèle avec un deuxième système lorsque de nouveaux équipements ajouteront des charges, si nécessaire, dans un endroit particulier. Les résultats du plan d'électrification ont été utilisés pour déterminer si un établissement particulier avait besoin d'un système hors réseau ou d'un système hybride pour satisfaire ses besoins en électricité et en énergie ECF. Notez que le kit solaire autonome conçu pour les OEC est le même pour les cas d'utilisation hors réseau et hybride, car il y a peu de changement dans le coût ou les exigences de dimensionnement et une forte incitation à normaliser cette

conception pour permettre des économies d'échelle lors de l'achat/installation de ces systèmes. Les résultats de cette analyse sont présentés dans la section suivante de ce rapport.

Tableau 6. Dimensionnement solaire de l'établissement de santé et budget

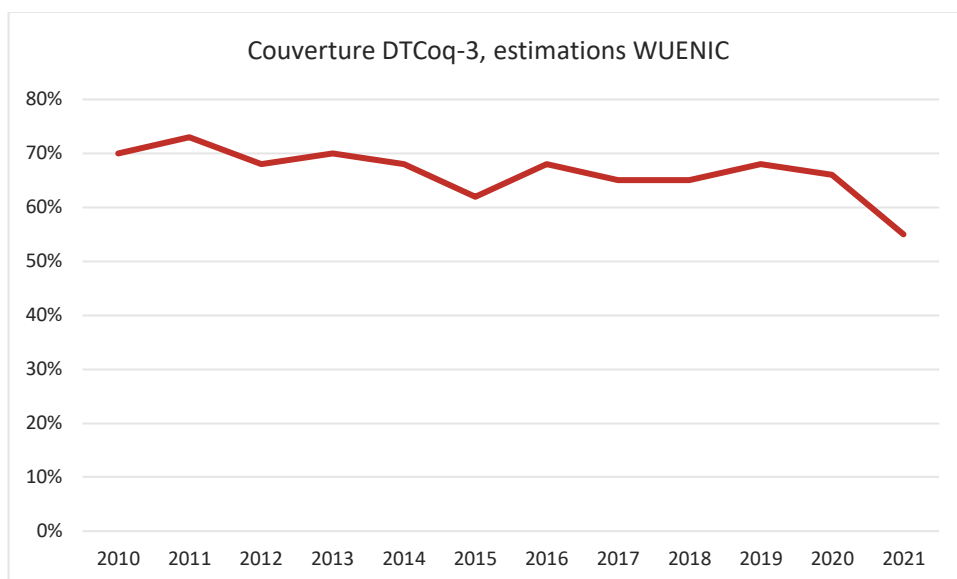
Unités	Taille 1 CSB/DIS/MAT	Taille 2 CHD/SDSP	Taille 3 CHR/DRSP/CRNM	Taille 4 CHU/DPEV
Taille du système en kWh/jour	1.373	29.41	133.29	146,060
Capacité du réseau (kWc)	0.479	8.4	38.0	41.7
Hors réseau Coût USD	\$1,225	\$27,076	\$117,457	\$127,964
Coût de l'hybride USD	\$1,225	\$15,544	\$65,206	\$70,710

Analyse de la chaîne du froid médical

Résumé du vaccin de routine et du vaccin COVID-19

Madagascar offre la vaccination de routine pour les enfants, et le pays ne fait pas exception à la baisse mondiale de la couverture vaccinale de routine pendant la pandémie de COVID-19, en raison de la perte d'accès aux établissements de santé, d'une plus grande hésitation à l'égard des vaccins, et des priorités concurrentes des travailleurs de la santé. Le taux estimé de couverture par le DTCOQ-3 est passé de 68 % en 2019 à 55 % en 2021, ce qui est manifestement faible pour la région de l'Afrique australe et a exacerbé un fossé existant en matière d'équité dans l'accès aux vaccins.²⁰ La couverture par le DTCOQ-3 est une norme utilisée pour indiquer la performance du programme de vaccination, car elle montre traditionnellement qu'un enfant a reçu tous les vaccins prévus dans le calendrier de vaccination. D'après les données administratives, la couverture en DTCOQ-3 s'est quelque peu améliorée au cours des derniers mois, passant à 71 % en février 2023, mais n'atteignant toujours pas l'objectif de 90 %. Si l'on examine la couverture en DTCOQ-3 par région (Figure 11), les écarts notables entre les régions indiquent une couverture inéquitable et des poches de risque plus élevé de maladies évitables par la vaccination. Il est important de noter qu'une région fait état d'une couverture supérieure à 100 % ; la couverture est calculée sur la base des estimations de la population et des données administratives communiquées lors des séances de vaccination, qui peuvent toutes deux être inexactes, d'où un taux de couverture illogique supérieur à 100 %. Cette tendance est similaire pour tous les antigènes.

²⁰ Performance de la Vaccination de Routine, Janvier 2023. Direction du Programme Elargi de Vaccination

Figure 11. Taux de couverture par le DTCoq-3 au fil du temps. (Source : estimations OMS/UNICEF WUENIC)

En outre, la couverture vaccinale est présentée dans le Figure 12a et la campagne de vaccination COVID-19 à Madagascar est incluse dans le Figure 12b, qui montre des tendances similaires à la couverture vaccinale DTCoq-3, mais présente également une couverture relativement faible dans les zones très peuplées. Comme les taux de vaccination COVID-19 sont inférieurs à 30 % dans toutes les régions de Madagascar, il semble que les problèmes d'accessibilité ne soient pas la principale contrainte et que l'hésitation à se faire vacciner soit un facteur contributif. À mesure que les taux de vaccination COVID-19 approchent les 100%, il est possible que les limitations de l'accessibilité et de la chaîne du froid jouent un rôle plus décisif dans la détermination des disparités de vaccination entre les régions.

Figure 12. a) Couverture DTCOQ-3 par région (février 2023 ; source : données administratives du Ministère de la santé) ; b) Couverture COVID-19 par région (avril 2023 ; source : données administratives du Ministère de la santé)

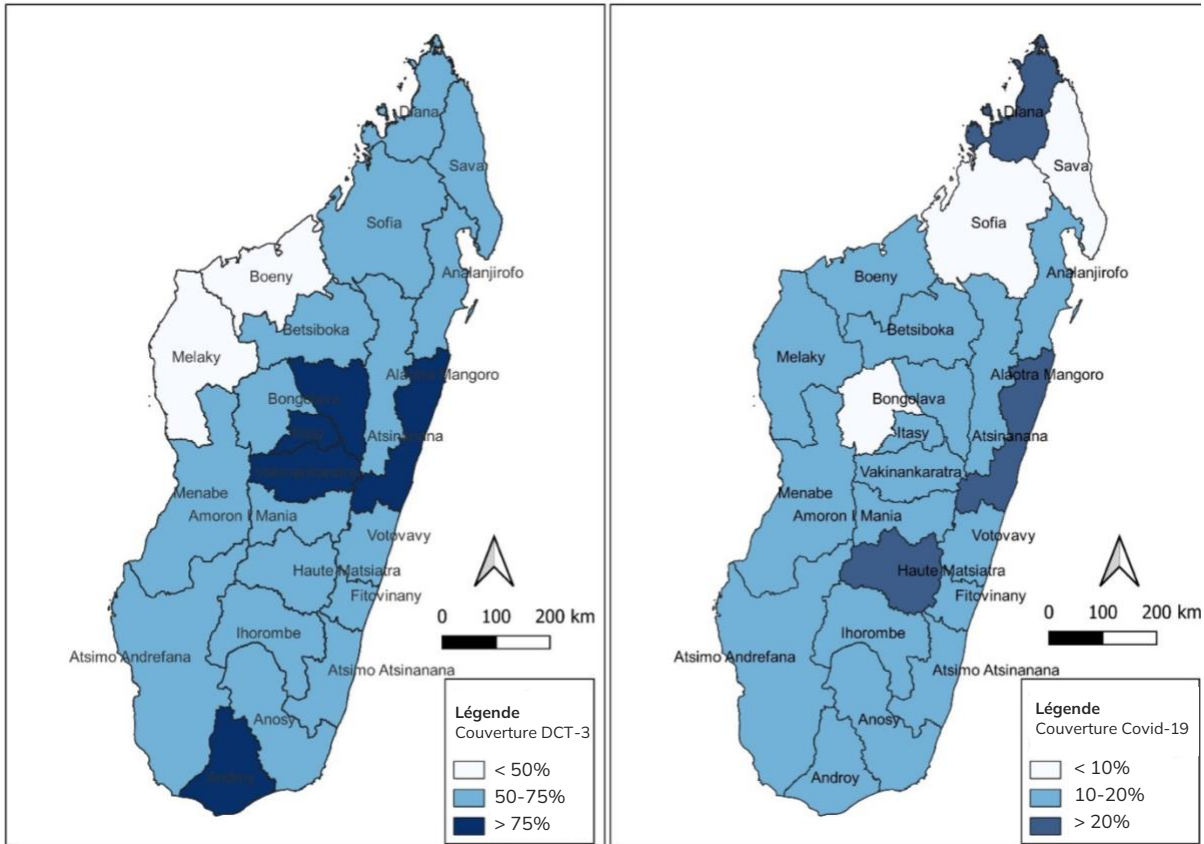
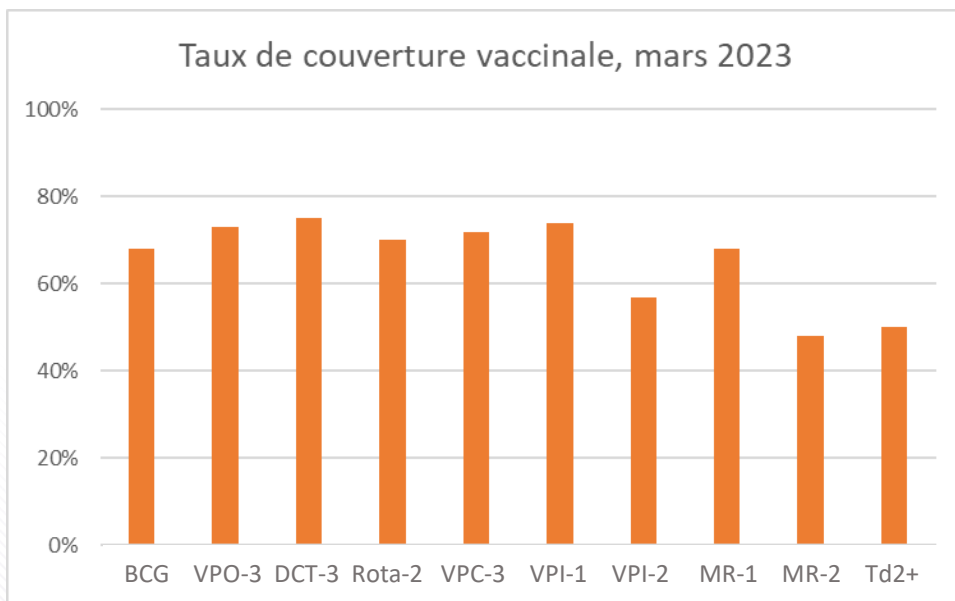


Figure 13. Taux de couverture vaccinale actuels, mars 2023 (Source : données administratives du Ministère de la santé).



Les vaccins sont proposés dans la plupart des établissements de santé et par l'intermédiaire des services de proximité. Les efforts de sensibilisation sont prioritaires dans les zones reculées où la couverture vaccinale est faible. Les efforts de sensibilisation comprennent des activités de génération de la demande et de sensibilisation pour encourager les personnes qui s'occupent des enfants à les faire vacciner. Les agents de santé se rendent dans ces zones reculées, transportant les vaccins dans de petites boîtes froides, pour fournir ce service.

Le pays s'efforce d'atteindre les enfants n'ayant reçu aucune dose, définis opérationnellement par Gavi et d'autres comme des enfants n'ayant pas reçu la première dose de vaccin DTCOQ. Au niveau mondial, on estime que plus de 17 millions d'enfants n'ont pas été vaccinés en 2020 ; bien que cette estimation ne soit pas connue spécifiquement pour Madagascar, on peut supposer que la baisse du taux de couverture indique qu'un nombre important d'enfants n'ont pas été vaccinés.²¹

Le vaccin COVID-19 a été introduit à Madagascar en mai 2021 avec le vaccin Covishield. Depuis son introduction, le nombre de personnes complètement vaccinées est d'environ 2,6 millions (environ 18% de la population cible), ce qui est inférieur à l'objectif d'atteindre 50,5% de la population vivant à Madagascar.²² Le pays a eu recours à des campagnes de masse pour administrer le vaccin, en particulier dans les zones reculées, combinées à des efforts de sensibilisation et de promotion. L'intérêt et l'urgence du COVID-19 ont diminué, tout comme l'utilisation des vaccins. En août 2023, le vaccin sera offert dans les établissements de santé dans le cadre des services de routine, bien qu'il ne soit pas largement disponible.

Analyse du stockage et de la distribution des vaccins : Évaluation de l'équipement de la chaîne du froid

Le système de santé malgache est organisé en quatre niveaux : base, district, région et centre. Ces différents niveaux sont reliés entre eux par un système de référence établi.

L'inventaire national de la chaîne du froid, achevé en novembre 2022, recense 2 894 équipements de chaîne du froid en bon état de fonctionnement, auxquels s'ajoutent 364 équipements en état de fonctionnement mais nécessitant des réparations, répartis sur les différents niveaux du système. Parmi les équipements en bon état de fonctionnement, on compte 14 chambres froides, six congélateurs UCC (chaîne de froid ultra) pour le vaccin COVID-19 de Pfizer, 2 597 réfrigérateurs certifiés PQS, 211 congélateurs certifiés PQS et 66 appareils non certifiés PQS (Figure 14). La majorité des équipements utilisés et acceptables selon les normes mondiales (c'est-à-dire approuvés par le PQS et ayant un âge raisonnable de 15 ans ou moins) fonctionnent bien (Figure 15), une petite partie devant être réparée et une autre ne fonctionnant plus. On ne sait pas si le ECF qui ne fonctionne pas a été mis hors service et donc retiré du système de santé et n'a tout simplement pas été mis à jour dans l'inventaire, ou s'il reste dans les établissements de santé et dans l'inventaire. Il est important de noter que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande uniquement les dispositifs certifiés en matière de performance, de qualité et de sécurité (PQS), car ils ont été conçus et testés spécifiquement pour les vaccins et offrent des

²¹ Campagne de vaccination massive à Madagascar pour éradiquer la polio. Gavi, l'Alliance du Vaccin. 8 août 2023. <https://www.gavi.org/fr/vaccineswork/campagne-vaccination-massive-madagascar-eradiquer-polio>

²² Ministère de la santé, Madagascar, rapports administratifs, août 2023.

performances plus fiables et plus cohérentes. L'analyse se concentre principalement sur les équipements certifiés PQS, car il s'agit des équipements approuvés pour les vaccins.

Figure 14. Résumé des équipements PQS et non PQS

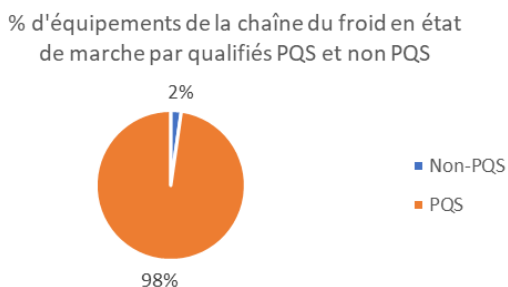
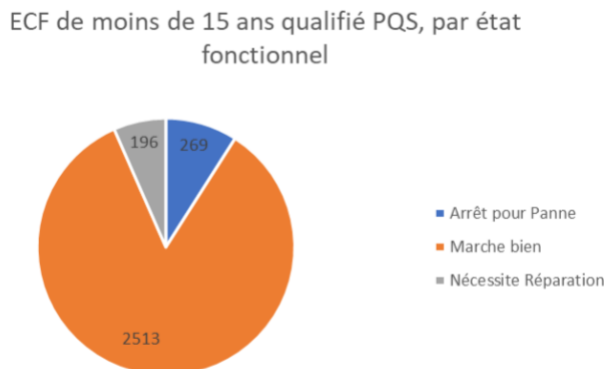
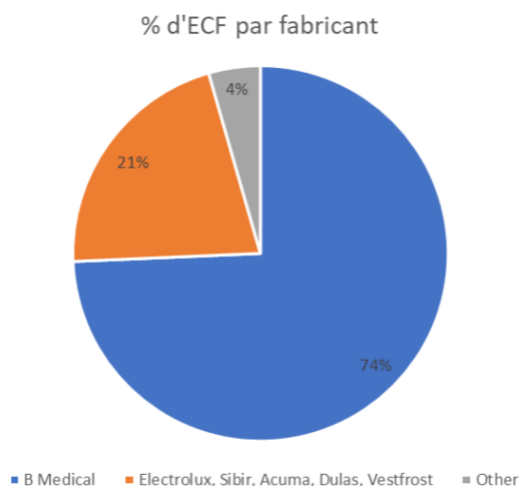


Figure 15. État fonctionnel des équipements PQS de moins de 15 ans



L'inventaire national de la chaîne du froid identifie environ 39 fabricants différents pour ces appareils, la grande majorité (2 151 équipements, tous certifiés PQS, sur 2 898) étant fabriquée par B-Medical Systems / Dometic. D'autres fabricants, dont Acuma, Electrolux, Sibir, Dulas et Vestfrost, constituent un deuxième niveau, chacun ayant entre 75 et 175 appareils (tous certifiés PQS). Cette situation a des répercussions sur le système de maintenance, car la multiplicité des fabricants et des modèles nécessite des pièces de rechange et une expertise différente pour l'entretien et la réparation.

Figure 16. Pourcentage de ECF par fabricant



Les tableaux 7 et 8 ci-dessous résument les équipements de la chaîne du froid en état de marche dans les établissements de santé du secteur public, par année d'installation. Le plus ancien Equipement de la Chaîne du Froid encore en état de marche, selon l'inventaire national de la chaîne du froid, est un appareil non certifié PQS installé en 1980. Il est surprenant de constater que 15 équipements non certifiés PQS ont été achetés et installés au cours des trois dernières années, car les pays ont généralement renoncé aux équipements non certifiés PQS, conformément aux orientations de l'OMS et aux préférences de l'UNICEF en matière d'achats, qui ne souhaite pas

acheter d'équipements non certifiés PQS dans le cadre de projets financés par Gavi. Une autre observation importante est que 34% de tout l'équipement dont dispose le Ministère de la santé dans son inventaire n'est pas fonctionnel, ce qui implique qu'il n'y a pas de processus clair de mise hors service pour retirer l'ancien équipement du système.

Tableau 7. Résumé de l'âge des équipements de la chaîne du froid et de l'état des normes de qualité

(Source : MSANP, 2023)

Année d'installation	Non-PQS	PQS	Total	% du total
1980-1999	1	14	15	1%
2000-2009	14	385	399	14%
2010-2014	6	210	216	7%
2015-2019	30	1049	1079	37%
2020-2022	15	1168	1183	41%
Inconnu	0	2	2	0%
TOTAL	66	2828	2894	100%

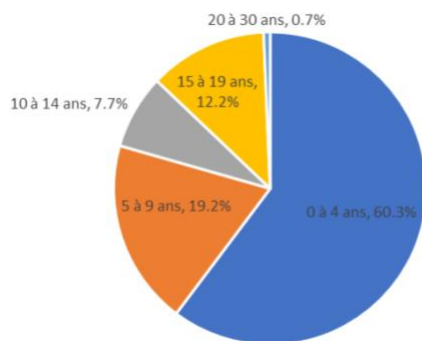
Tableau 8. Résumé de l'état fonctionnel des équipements de la chaîne du froid approuvés par le PQS

(Source : MSANP, 2023)

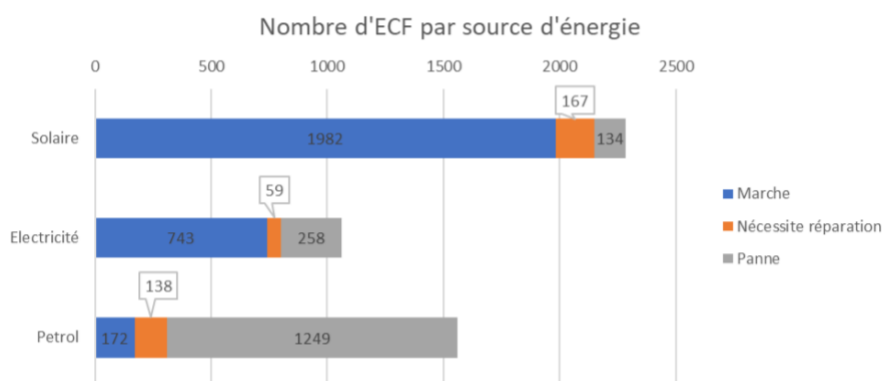
Fabricant	Fonctionnel	Besoin de réparations	Non fonctionnel
B Medical Systems (domestic)	2,151	174	145
Electrolux	164	71	436
AUCMA	131	3	8
Sibir	155	80	667
Dulas	84	1	3
Vestfrost	79	5	27
Haier	27	0	2
Zero Appliances	15	15	309
EURONON	9	1	1
Huurre	4	1	0
Sun Frost	2	0	1
PHILLIPS	1	0	0
Dometic	0	0	2
Zhendre	0	0	1
TOTAL	2,822	351	1,602

La durée de vie moyenne d'un élément de l'Équipement de la Chaîne du Froid est estimée à environ 10 ans s'il est correctement entretenu. Environ 60 % des équipements PQS ont moins de quatre ans (Figure 17), ce qui signifie que le système de chaîne du froid est jeune et promet de fonctionner pendant encore cinq à sept ans avec un entretien de base. Environ 12 % du ECF a entre 15 et 20 ans et moins de 1 % a plus de 20 ans ; bien qu'impressionné par le fait que ces équipements fonctionnent encore, le Ministère de la santé devrait prévoir leur remplacement dès que les fonds seront disponibles.

Figure 17. Âge des équipements PQS fonctionnels



La majorité des équipements de la chaîne du froid disponibles sont à entraînement solaire direct (Figure 18), ce qui reflète à la fois l'étendue limitée et le manque de fiabilité du réseau électrique. La technologie de l'entraînement solaire direct offre une solution fiable pour soutenir la chaîne du froid des vaccins. L'équipement SDD est relié à des panneaux solaires qui sont conçus uniquement pour l'équipement et ne sont pas disponibles pour d'autres usages, tels que les lampes ou le chargement de téléphones portables. Le taux élevé de fonctionnalité du SDD reflète également l'installation relativement récente de ces équipements. Il est intéressant de noter que le pays compte encore quelques ECF fonctionnant à l'essence ou au gaz propane, dont l'utilisation n'est plus recommandée depuis plus de dix ans. Bon nombre de ces ECF à gaz ne sont plus fonctionnels. Avec l'extension du réseau électrique et la mise en place de mini-réseaux dans les régions rurales, les établissements dotés d'équipements solaires pour la chaîne du froid peuvent continuer à les utiliser jusqu'à ce qu'elles puissent se procurer des équipements CA standard, généralement moins onéreux que les équipements solaires à entraînement direct. Une fois que l'accès au courant alternatif est plus répandu dans les zones rurales, l'équipement SDD peut être réaffecté aux établissements désignés pour l'électrification solaire autonome ou pour remplacer l'équipement plus ancien et non fonctionnel.

Figure 18. Nombre de ECF par source d'énergie principale (Source MSANP, 2023)

*Note : L'énergie solaire ECF est un équipement qui fonctionne avec ses propres panneaux solaires ; le système n'est pas disponible pour d'autres utilisations, telles que les lampes ou le chargement de téléphones portables.

Analyse du stockage et de la distribution des vaccins : Évaluation de l'utilisation des capacités

L'utilisation des capacités est calculée en fonction de la quantité de vaccins requise selon le calendrier vaccinal, de la population cible de chaque établissement, des caractéristiques des vaccins et du nombre total de litres cubes nets de l'équipement certifié PQS disponible et fonctionnant dans l'établissement. Vous trouverez ici les principaux résultats de l'analyse, ainsi que d'autres détails ci-dessous :

- Au Niveau de l'établissement, le ECF disponible et utilisé est relativement jeune, fonctionne bien et, dans la majorité des établissements (68 %), utilise moins de 10 % de la capacité physique.
- 20 % des établissements n'ont pas de ECF opérationnel et ne fournissent donc pas de vaccins de manière régulière.
- La majorité des districts disposent de suffisamment d'espace, mais neuf d'entre eux ont besoin de capacités supplémentaires.

Des informations sont disponibles sur la capacité de la chaîne du froid de 2 506 des 2 832 établissements (88%) identifiés au niveau des CSB. Parmi les établissements pour lesquels on dispose d'informations sur la capacité de la chaîne du froid, la majorité (68%) des établissements de santé (CSB1 et CSB2) utilisent moins de 10% de leur espace de chaîne du froid, ce qui les classe dans la catégorie des établissements sous-utilisés (Figure 19). Cela indique qu'il y a de la place pour les nouveaux vaccins, la croissance de la population et la flexibilité du calendrier de distribution, par exemple pendant la saison des pluies lorsque les routes sont inaccessibles, dans la majorité des établissements de santé.

Cependant, 557 des 2506 structures (22%) au niveau des CSB, pour lesquelles des informations sur la capacité sont disponibles, sont répertoriées comme n'ayant pas de capacité, soit parce qu'elles n'ont pas de réfrigérateur du tout, soit parce que le réfrigérateur qu'elles ont n'est pas en état de marche. Ces 557 établissements sans capacité sont répartis dans les 23 régions de Madagascar et dans 92 des 114 districts, bien qu'il y ait une certaine concentration dans les

régions du nord-est, y compris Atsinanana (67 établissements), Alaotra Mangoro (58 établissements) et Analanjirofo (45 établissements). Cela indique une lacune dans les services et un besoin de nouveaux équipements, en ciblant immédiatement les établissements qui ne disposent pas d'équipements en état de marche et en prévoyant à plus long terme de remplacer les équipements plus anciens, en se basant sur une estimation de leur durée de vie de 10 ans.

Des informations sont disponibles sur la capacité de la chaîne du froid des 114 sites de stockage au niveau du district, un point de stockage important dans la chaîne d'approvisionnement en vaccins. La majorité (86%) de ces districts se situent dans la catégorie "utilisation appropriée" de l'espace de leur chaîne du froid/réfrigérateur, ce qui indique qu'il y a suffisamment d'espace pour le calendrier vaccinal actuel et la fréquence de distribution. Les neuf districts qui sont soit limités (5 dont Ambohidratimo, Fenoarivo Atsinanana, Ampanihy, Toliary II, et Befanadriana), soit en dépassement de capacité (2 dont Toamasina I et Sambava), soit sans capacité (2 dont Befotaka et Andapa) partagent très probablement l'espace avec les hôpitaux locaux, ce qui ajoute une contrainte aux autres équipements de la chaîne du froid, et une charge supplémentaire pour les gestionnaires de la chaîne d'approvisionnement qui doivent gérer des systèmes multiples. Le tableau 9 ci-dessous résume ces installations et indique l'espace de chaîne du froid supplémentaire qui serait nécessaire pour passer sous la barre des 80% d'utilisation. L'espace de congélation est suffisant dans la majorité des districts ; les congélateurs ne sont utilisés que pour le vaccin antipoliomyélitique oral jusqu'au niveau du district. Le stockage de ce vaccin dans un congélateur n'est pas obligatoire mais facultatif au niveau du district. Ce vaccin est stocké dans des ECF ordinaires (réfrigérateurs) au niveau de l'établissement.

Tableau 9. Magasins de district dont la capacité est actuellement limitée ou dépassée

Région	District	Utilisation actuelle de la capacité	Litres supplémentaires de capacité nécessaires pour passer sous la barre des 80 % d'utilisation de la capacité
Analamanga	Ambohidratimo	96%	79
Analanjirofo	Fenoarivo Atsinanana	99%	57
Atsimo Andrefana	Ampanihy	93%	60
Atsimo Andrefana	Toliary II	81%	5
Atsimo Atsinanana	Befotaka	Absence de capacité de la chaîne du froid	57
Atsinanana	Toamasina I	116%	109
Sava	Andapa	Absence de capacité de la chaîne du froid	32
Sava	Sambava	141%	184
Sofia	Befanadriana	88%	23

Figure 19. Utilisation des capacités des ECF par pourcentage de districts et d'établissements de santé dans les différentes catégories, situation actuelle et dans 10 ans dans l'hypothèse d'une croissance de la population

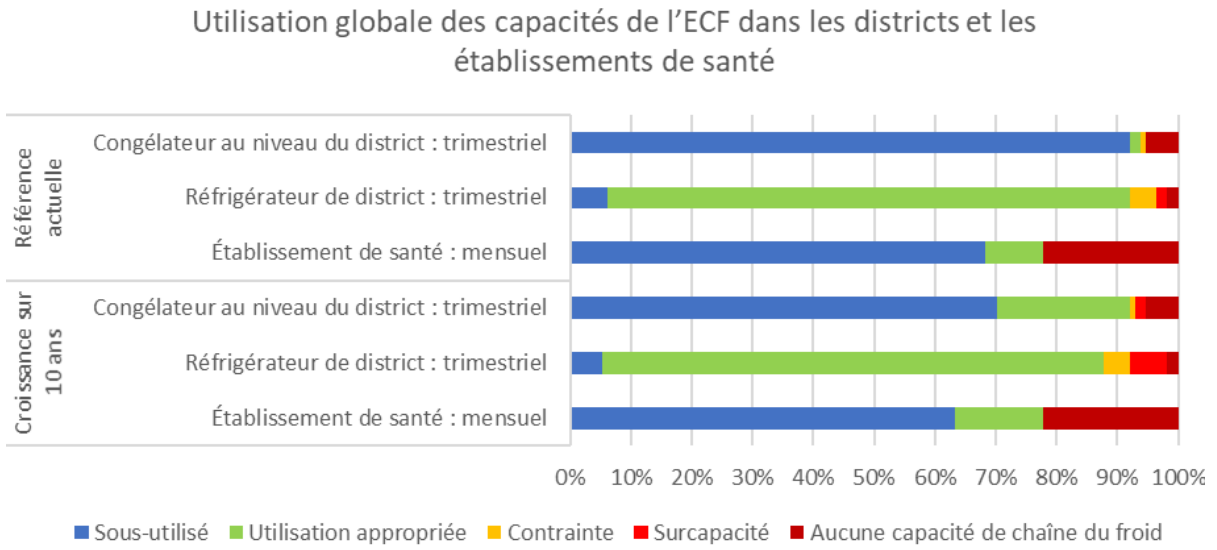


Figure 20. Utilisation de la capacité du ECF à +5°C en pourcentage pour les établissements de santé de district (SDSP)

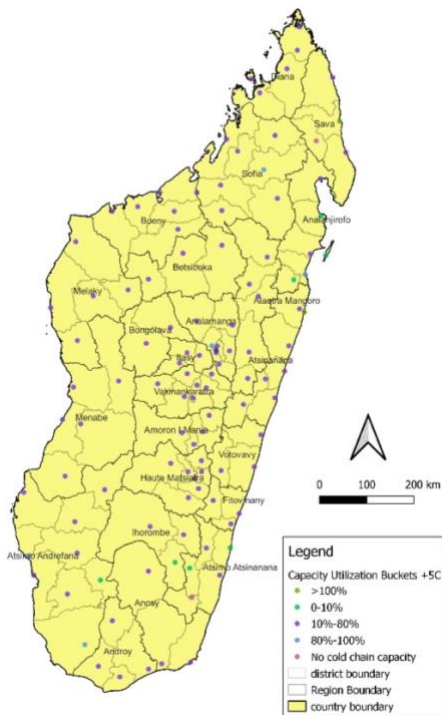


Figure 21. Utilisation de la capacité du ECF à -20°C en pourcentage pour les établissements de santé de district (SDSP)



L'analyse a également pris en compte la croissance de la population au cours des dix prochaines années, en supposant une croissance de 2,4 % par an selon les estimations actuelles, et l'impact sur l'utilisation de la capacité des ECF (Figure 19). Les résultats montrent qu'il y aura peu de changements au niveau des établissements de santé, car de nombreux ECF sont actuellement sous-utilisés et disposent de suffisamment d'espace pour s'agrandir. Cinq magasins de district sur 114 passeront à la catégorie "surcapacité" sans qu'aucun nouvel équipement ne soit installé. En ce qui concerne l'introduction de nouveaux vaccins dans le pays et donc l'impact sur les ECF, aucun nouveau vaccin n'est prévu dans l'avenir le plus immédiat. Comme le vaccin contre le paludisme ne sera initialement disponible qu'en quantité limitée, Gavi n'a pas choisi Madagascar comme l'un des premiers pays d'introduction (à partir de 2023). Lorsque l'offre se stabilisera et que le vaccin antipaludique sera potentiellement introduit à Madagascar, la capacité au niveau des établissements de santé devrait être suffisante, avec quelques contraintes au niveau des districts. Cependant, il faudra attendre plusieurs années pour que le réseau électrique soit étendu et que davantage de ECF soient achetés et installés.

Outre les équipements décrits ci-dessus, la liste des équipements de la chaîne du froid du programme de vaccination contient 107 pièces d'Équipement de la Chaîne du Froid identifiées comme se trouvant dans des établissements spécifiques qui ont été inclus dans la liste principale des établissements, mais dont l'état fonctionnel est marqué comme "nouveau, non installé". Cela comprend 86 unités d'équipement solaire à entraînement direct, 20 unités électriques conventionnelles et, étonnamment, une unité fonctionnant au gaz. En ce qui concerne les bailleurs de fonds fournissant cet équipement, le nouvel équipement comprend 36 unités financées par l'UNICEF, 29 unités financées par la Banque mondiale, 17 unités financées par GAVI, trois financées par l'État, et 5 financées par d'autres bailleurs de fonds ou dont l'information sur le financement est inconnue. Le retard dans l'installation de ces ECF qui ont été achetés par la Banque mondiale est lié à un retard dans le financement qui a depuis été résolu ; le processus d'installation de la majorité de ces ECF devrait être achevé d'ici la fin de l'année 2023. Le programme dispose d'une petite équipe de 13 techniciens de la chaîne du froid (trois au niveau national et 10 au niveau régional), ce qui rend difficile la réponse à tous les besoins de maintenance et d'installation pour le pays. Si l'on suppose que ces équipements sont maintenant installés, cela ne modifie que légèrement le tableau d'utilisation décrit ci-dessus, en réduisant le nombre de CSB qui n'ont aucune capacité de ECF de 557 à 500, et en réduisant le nombre de districts qui ont une capacité limitée (entre 80% et 100%) de 5 districts à 3 (Toliary II et Ampanihy recevraient tous deux des réfrigérateurs électriques). Sur ces 107 nouveaux équipements, 9 sont des unités solaires ou de réseau électrique qui doivent être installées dans des infrastructures qui disposent actuellement d'unités d'essence en état de marche, ce qui permet de moderniser l'équipement avec un système plus efficace ; la nouvelle unité d'essence est installée dans une infrastructure qui dispose actuellement d'une unité d'essence en état de marche, et 58 doivent être installées dans des établissements qui ne disposent pas d'un ECF en état de marche.

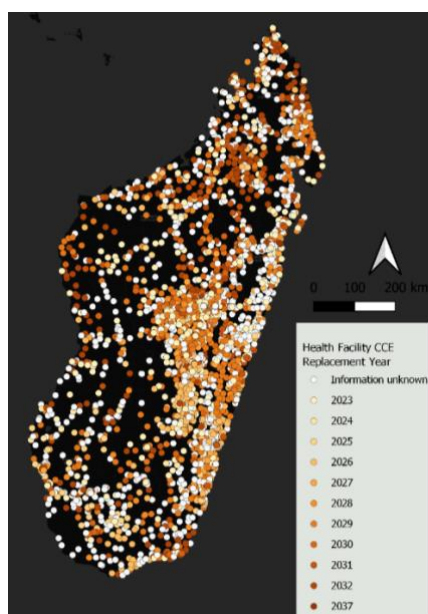
Équipement de la Chaîne du Froid nécessaire pour répondre aux besoins actuels et futurs

Pour planifier les besoins en matière de chaîne du froid, l'analyse a porté sur les besoins actuels et les besoins à plus long terme jusqu'en 2030, compte tenu de la durée de vie prévue du ECF. Le tableau 10 ci-dessous décrit les nouveaux équipements qui seraient nécessaires pour répondre aux besoins actuels, tandis que le Figure 22 présente une carte indiquant le moment où le remplacement des CCE devrait avoir lieu par établissement de santé. Il s'agit de prendre en compte les équipements nouveaux mais non encore installés décrits ci-dessus, puis de fournir de nouveaux équipements aux établissements qui ont besoin de la chaîne du froid car ils fournissent des services de vaccination mais ne disposent pas actuellement d'équipements de chaîne du froid en état de marche, et de fournir des équipements supplémentaires aux établissements qui sont actuellement limités ou en surcapacité. Dans tous les cas, les établissements qui reçoivent le nouvel équipement sont décrits dans le dossier de gestion des établissements de la DPEV comme n'ayant pas d'accès fiable à l'électricité, de sorte que dans tous les cas, l'équipement suggéré pour l'achat est solaire. Les équipements ont été classés en fonction de la taille typique des équipements approuvés par PQS, l'unité la plus petite (et donc la moins chère) possible étant utilisée pour répondre aux besoins d'un établissement. Par exemple, si un établissement a besoin de 5 litres de capacité de réfrigération et n'en a pas actuellement, elle recevra un réfrigérateur de 30 litres. Si un établissement a besoin d'une capacité supplémentaire de 31 litres, un réfrigérateur de 30 litres ne répondra pas à ses besoins, et c'est la taille supérieure qui sera attribuée (60 litres).

Tableau 10. Équipements supplémentaires de la chaîne du froid nécessaires pour répondre aux besoins actuels

Capacité de l'ECF à acquérir (litres)	Nombre de réfrigérateurs nécessaires	Nombre de congélateurs nécessaires
30 litres ECF	500	7
60 litres ECF	3	0
90 litres ECF	1	0
120 litres ECF	1	0
120+ litres ECF	1	0

*Le tableau ci-dessus ne tient pas compte du besoin de 18 187 litres d'espace pour le DPEV.

Figure 22. Année de remplacement des ECP

Comme les besoins en matière de chaîne du froid augmentent en même temps que la population entre aujourd'hui et 2030, les besoins en équipement augmenteront également. Cependant, si les équipements nécessaires pour répondre aux besoins actuels décrits dans le tableau précédent sont achetés, les besoins supplémentaires en équipements en 2030 seront modestes. En d'autres termes, si une structure a actuellement besoin d'une capacité de 5 litres et que Madagascar lui fournit un réfrigérateur d'une capacité de 30 litres, alors même si les besoins en capacité de la structure augmenteront au cours des 7 prochaines années, ils ne dépasseront pas la capacité fournie par l'équipement nouvellement installé. En 2030, donc, si l'équipement décrit dans le tableau précédent est fourni, l'équipement supplémentaire nécessaire pour répondre aux besoins des établissements qui augmenteraient au-delà de 80 % d'utilisation (c'est-à-dire qu'elles seraient limitées) comprend seulement quatre réfrigérateurs d'une capacité de 30 litres, un de 60 litres, trois de 90 litres, deux de 120 litres et un de plus de 120 litres (cet établissement aurait besoin de 199 litres de capacité supplémentaire pour passer sous la barre des 80 % d'utilisation). Aucun congélateur supplémentaire ne serait nécessaire.

Pour répondre aux besoins les plus immédiats, le programme de vaccination a récemment soumis une demande à Gavi pour l'achat de 365 nouveaux ECF, tous des équipements solaires à entraînement direct, ciblant les niveaux CSB1 et CSB2. Parmi ces nouveaux équipements, 300 sont destinés à remplacer des ECF qui ne fonctionnent pas ; les 65 autres seront installés dans des établissements qui n'avaient pas de ECF auparavant, ce qui permettra d'étendre la portée du programme de vaccination. Cela contribuera à réduire le pourcentage d'établissements de santé ne disposant pas de ECF en état de marche et d'un équipement optimal et efficace, mais d'autres équipements seront encore nécessaires pour garantir la disponibilité du stockage des vaccins dans tous les établissements de santé. La demande devrait être approuvée en supposant que le nouvel équipement arrivera et sera installé en 2024. Ces équipements devraient être accompagnés d'une obligation du fabricant d'installer également le ECF et de répondre aux problèmes de maintenance pendant la période de garantie (5 à 7 ans en général). Grâce à cet achat, le pays abandonne les anciens équipements au profit de systèmes SDD plus récents.

Une deuxième analyse est fournie pour la *planification à plus long terme* du remplacement d'équipements anciens et peu fiables. La durée de vie prévue d'un réfrigérateur ou d'un congélateur pour vaccins est de 10 ans ; les chambres froides sont prévues pour durer 20 ans (selon les normes de l'OMS). Bien que la majorité des équipements actuellement fonctionnels à Madagascar aient été installés relativement récemment, Madagascar devrait planifier le remplacement de certains de ses (très) vieux équipements actuellement en service, et planifier les équipements qui atteindront la fin de leur durée de vie prévue d'ici 2030. Le tableau suivant indique le nombre d'équipements qui devront être achetés d'ici 2030 pour remplacer les équipements actuellement en service qui a) ne sont pas qualifiés PQS ; b) ont déjà atteint la fin de leur durée de vie prévue ou l'atteindront d'ici 2030 ; ou c) sont marqués dans l'inventaire de la chaîne du froid de la DPEV comme n'étant pas actuellement fonctionnels et ayant besoin d'être réparés ou remplacés.

Le tableau 11 dresse une liste de types d'équipements qui devront être achetés sur la base de l'équipement existant, selon la logique suivante :

- Si l'unité remplacée est alimentée par l'énergie solaire (SDD), l'unité de remplacement sera également alimentée par l'énergie solaire.
- Si l'appareil remplacé est électrique (courant continu) ou alimenté au gaz, l'appareil de remplacement sera :
 - Électrique si l'établissement est répertoriée dans le fichier de gestion des établissements de la DPEV comme ayant un accès fiable à l'électricité pendant au moins 16 heures par jour²³ ; où
 - Solaire autrement
- Les congélateurs, les réfrigérateurs et les chambres froides (stockage à température positive et congélation) seront remplacés par des équipements du même type (c'est-à-dire présentant les mêmes caractéristiques fonctionnelles en termes de plage de température, etc.)

Le tableau 11 donne une estimation des équipements nécessaires dans les années à venir. Il est toutefois important de noter que ces chiffres et ces types d'équipement ne sont donnés qu'à titre indicatif et qu'ils devront être validés sur la base de la performance réelle des équipements, des besoins réels en termes de capacité et des nouvelles technologies de la chaîne du froid susceptibles d'être disponibles dans les années à venir.

Tout d'abord, à mesure que le réseau électrique s'étend et devient plus fiable, moins d'équipements solaires seront nécessaires. En outre, investir dès maintenant dans un système de maintenance solide contribuerait à prolonger la durée de vie d'un équipement. Enfin, les évolutions technologiques peuvent également permettre des choix différents en matière d'approvisionnement pour les établissements ayant un accès intermittent ou inexistant à l'électricité. D'une manière

²³ A noter que bien que le guide de GAVI sur l'approvisionnement en chaîne du froid recommande l'utilisation d'équipements conventionnels (non solaires) pour les établissements qui ont accès à l'électricité pendant au moins 8 heures par jour, il recommande également l'utilisation d'équipements solaires si un établissement subit des coupures de courant pendant 48 heures ou plus. Étant donné que la durée des coupures de courant n'est pas connue et que le manque de fiabilité de l'alimentation électrique réduit la durée de vie de l'équipement de la chaîne du froid et peut menacer la qualité des vaccins, nous utilisons ici 16 heures comme seuil.

générale, les réfrigérateurs à compression conventionnels présentent plusieurs avantages par rapport aux unités à entraînement direct solaire (SDD). L'un d'entre eux est la précision du contrôle thermostatique, qui est généralement plus élevée. D'autre part, l'efficacité énergétique globale est supérieure, principalement parce que le système de refroidissement fonctionne à une température différentielle par rapport à la température ambiante inférieure à celle nécessaire pour congeler le matériau à changement de phase (MCP). Le principal avantage du réfrigérateur SDD est qu'il permet d'éviter le coût des batteries de stockage requises par les systèmes électriques solaires hors réseau pour faire fonctionner un petit réfrigérateur. Le principal avantage du réfrigérateur SDD est qu'il évite le coût des batteries de stockage requises par les systèmes électriques solaires hors réseau pour faire fonctionner un petit réfrigérateur. Il s'agit d'une différence dynamique qui doit être surveillée, mais comme l'énergie solaire fait l'objet d'efforts de développement accrus dans le monde entier, on peut raisonnablement s'attendre à ce que son rapport coût-efficacité s'améliore plus rapidement que celui de la technologie de réfrigération SDD.

Tableau 11. Nombre d'unités de nouveaux équipements nécessaires pour remplacer les équipements existants, par année et par type

Année nécessaire	Chambre froide de plain-pied (stockage positif)	Congélateur électrique	Réfrigérateur électrique	Congélateur solaire	Réfrigérateur solaire
Dès que possible	2	99	191	18	1003
2024		1	2		23
2025	1	2	2		93
2026			1		254
2027		2	2		68
2028	2		13		107
2029		20	13	1	556
2030	1	6	10		209

Une remarque concernant les besoins en chambres froides décrites dans le tableau ci-dessus : les deux chambres froides qui sont listées comme devant être remplacées le plus rapidement possible sont des unités qui ont été installées en 2013 et 2014 et qui devraient donc normalement durer jusqu'en 2030, mais qui sont listées dans l'outil de gestion de la chaîne du froid de la DPEV comme ne fonctionnant pas et ayant besoin de réparations. Les deux unités qui sont listées comme devant être remplacées en 2028 se trouvent dans l'entrepôt central de la DPEV, bien qu'à la mi-2023 la DPEV était en train de finaliser un nouvel entrepôt à Antananarivo ; le nouvel entrepôt rendrait probablement inutile le remplacement de ces vieilles chambres froides. Toutes les autres chambres froides énumérées ci-dessus se trouvent dans des établissements au niveau régional, qui ne sont pas actuellement utilisées pour stocker des vaccins, à l'exception d'une chambre à Melaky (nécessaire ASAP ci-dessus) qui est une région exceptionnelle qui distribue à partir du niveau régional. Trois des chambres froides de type "walk-in" mentionnées ci-dessus (nécessaires dès

que possible et en 2025 et 203) ne sont pas nécessaires pour le programme de vaccination, mais peuvent l'être pour d'autres produits de la chaîne du froid qui n'entrent pas dans le champ d'application de cette analyse.

Selon le [catalogue PQS de l'Organisation mondiale de la santé](#), les coûts des appareils de chauffage et de climatisation généralement utilisés dans les établissements de santé et les magasins de district varient de 2 500 à 6 000 dollars, en fonction de la marque et du modèle, de la taille et de la dépendance à l'égard de l'énergie solaire ou du réseau. L'UNICEF est souvent la principale agence d'achat de ECF pour les PRFM, ce qui influe sur sa capacité à négocier les prix, les garanties et les fournisseurs de services groupés pour l'installation et l'entretien. En tant que tel, il s'avère difficile de déterminer le prix exact requis pour les nouveaux équipements au cours de la prochaine décennie ; cependant, cette analyse fournit une estimation du nombre d'équipements nécessaires qui peut être révisée dans les années à venir. Il est important de noter que ces estimations de coûts sont fournies en tant que projections de dépenses d'investissement et non en tant que plan d'approvisionnement.

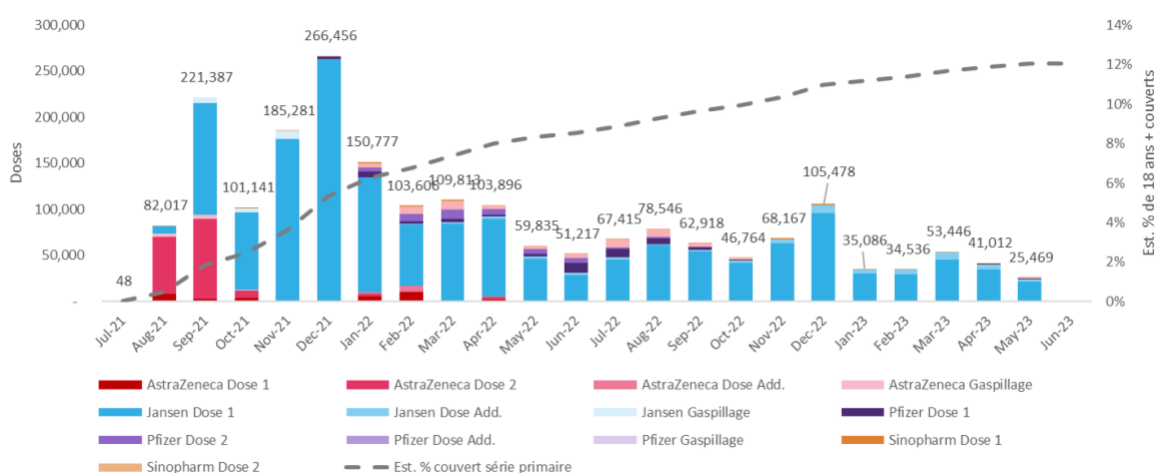
Le contrôle de la température de la ECF est important pour garantir le fonctionnement de la ECF et, en fin de compte, la qualité du vaccin. Comprendre les performances du ECF permet une planification plus proactive des remplacements et des réparations. Pour soutenir la surveillance active de la température, l'application actuelle de Gavi demande également des FridgeTags, qui surveillent et signalent activement les températures de l'équipement de la chaîne du froid. Le personnel soignant suit généralement les températures des équipements de la chaîne du froid deux fois par jour en utilisant le FridgeTag pour enregistrer la température et les éventuelles alarmes sur des formulaires de suivi de la température. Les étiquettes réfrigérantes ne transmettent pas de données à un tableau de bord. Les étiquettes réfrigérantes sont couramment utilisées à Madagascar au niveau des établissements. Les chambres froides de niveau supérieur sont généralement équipées de dispositifs de surveillance de la température à distance plus avancés qui envoient des alertes par SMS en cas d'écart de température pour une action immédiate et transmettent les données à un tableau de bord pour un suivi en temps réel.

Figure 23. FridgeTag utilisé dans le ECF pour surveiller les températures



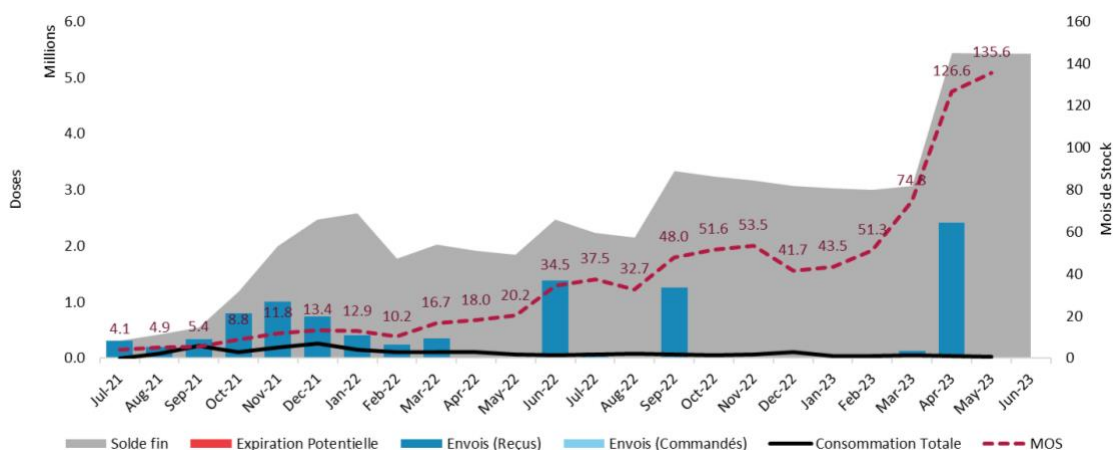
Madagascar a introduit le vaccin COVID-19 en mai 2021, en recourant principalement à des campagnes de grande envergure pour atteindre la population cible. Le pays a installé six équipements de chaîne du froid (UCC) au niveau national et au niveau des districts, spécialement conçus pour le vaccin Pfizer, qui nécessite des températures beaucoup plus froides que les vaccins de routine. Le Figure 24 montre la consommation du vaccin COVID-19 au fil du temps, en termes de doses administrées et gaspillées (lorsqu'il faut jeter les doses restantes dans un flacon à la fin d'une séance de vaccination) ; après les efforts initiaux de la campagne à grande échelle et l'intérêt initial pour le vaccin, l'utilisation du vaccin a diminué au fil du temps. Le vaccin est actuellement proposé dans le cadre des services de routine des établissements de santé, dans la mesure où il est disponible, mais il n'est pas considéré comme une priorité. Les décisions relatives aux stocks sont davantage basées sur la disponibilité du vaccin que sur la population cible, ce qui a des conséquences minimales sur l'utilisation de la capacité de la chaîne du froid. L'analyse montre que les établissements de santé disposent de suffisamment d'espace dans la chaîne du froid pour mettre en œuvre cette approche pour le vaccin COVID-19.

Figure 24. Consommation et administration des vaccins COVID-19 au fil du temps



L'équipe du PEV a géré les importantes expéditions du vaccin COVID-19 au cours des deux dernières années, en ajustant les stocks si nécessaire pour tenir compte de l'espace de la chaîne du froid. La priorité pour ce vaccin ralentit car la pandémie est passée à une phase endémique, mais le pays dispose encore de stocks importants, comme le montrent les mois de stock (MDS) dans le Figure 25. Sinopharm constitue la majorité de ces vaccins en stock et leur date d'expiration est août 2022, ce qui libère une partie importante de la chaîne du froid au niveau national et une partie de l'espace dans les magasins de district. Le Ministère de la santé continuera à donner la priorité au vaccin Pfizer afin de compléter la deuxième dose pour ceux qui ont déjà reçu la première dose de Pfizer.

Figure 25. Gestion des stocks de vaccins COVID dans le temps



Distribution de vaccins

Le Ministère de la santé de Madagascar dispose de cinq camions, dont deux réfrigérés, pour assurer la distribution des vaccins du niveau central au niveau des districts, mais seul un camion frigorifique fonctionne actuellement (voir le Figure 26 pour un exemple de ce véhicule). Le niveau central livre les vaccins aux districts bien desservis par la route sur une base trimestrielle. L'UNICEF met à disposition deux camions supplémentaires pour combler les lacunes actuelles et accéder aux zones les plus difficiles d'accès (une carte est disponible à le Figure 27). Les établissements collectent les vaccins sur une base mensuelle par divers moyens de transport, notamment les motos du gouvernement lorsqu'elles sont disponibles, les transports publics (tuk tuk ou taxi), parfois par bateau dans certaines zones géographiques, par charrette à zébu et parfois à pied.

Figure 26. Exemple de camion frigorifique



Figure 27. Chargement de vaccins dans un camion à Madagascar en vue de leur livraison



Les agents de santé utilisent des boîtes froides et des porte-vaccins pour la distribution lorsqu'un camion frigorifique n'est pas disponible. Bien qu'il s'agisse de l'approche standard, les températures à l'intérieur des boîtes froides et des porte-vaccins peuvent être variables et difficiles à contrôler.

Dans le cadre du système actuel de distribution des vaccins, l'UNICEF apporte un soutien important au niveau national. Des camions frigorifiques supplémentaires pourraient être utiles pour réduire la dépendance à l'égard de l'UNICEF pour la distribution du niveau national au niveau du district ; cependant, comme le montrent quatre des cinq véhicules appartenant au Ministère de la santé qui ne fonctionnent pas actuellement, tout nouveau camion doit être doté d'un système de maintenance solide pour garantir sa fonctionnalité à long terme. En outre, d'autres approches de distribution, telles que l'externalisation auprès d'une entreprise privée, pourraient être explorées afin de créer un système plus fiable, axé sur la performance et permettant au Ministère de la santé de se concentrer sur les soins de santé plutôt que sur la gestion des transports. En ce qui concerne la livraison du dernier kilomètre, il incombe actuellement au personnel de l'établissement d'aller chercher les vaccins au niveau du district, ce que les concepteurs de la chaîne d'approvisionnement considèrent généralement comme inefficace et souvent peu fiable. Dans une analyse de la conception du système réalisée en mars 2020 par JSI pour le compte du Ministère de la santé et du programme de vaccination, l'un des scénarios prévoyait d'utiliser la livraison directe pour le dernier kilomètre, afin de confier la responsabilité de la livraison aux établissements au niveau du district. Les décideurs de l'époque ont décidé qu'il fallait davantage d'informations pour explorer cette possibilité afin d'assurer la livraison du dernier kilomètre. Avec cette analyse pour le PEI, le moment est peut-être venu de réexaminer l'analyse de la conception du système afin d'explorer le niveau d'intérêt pour l'investissement dans un système de livraison du dernier kilomètre plus fiable.

Figure 28. Equipement de la chaîne du froid généralement utilisé dans un établissement de santé
(Source : JSI, 2022)



Figure 29. Porte-vaccins utilisés pour une distribution plus restreinte ou pour la sensibilisation des communautés
(Source : Organisation mondiale de la santé, 2022)



Analyse des besoins et des coûts énergétiques de la chaîne du froid médical

D'après les données du Ministère de la Santé Publique, en 2023, il y aura 3 053 établissements de santé actifs à Madagascar. Dans le rapport complémentaire du PEI de Madagascar sur l'électrification universelle à l'horizon 2030, toutes les structures et tous les bâtiments de Madagascar sont modélisés en fonction de leur modalité d'électrification la moins coûteuse. Le

Figure 30 présente l'accès à l'électricité par structure (sur la base des données fournies par le Ministère de la Santé Publique), tandis que le Figure 31 catégorise les structures de santé selon qu'elles sont géo spatialement situées dans une zone avec un système de distribution existant, sur la base de l'analyse d'électrification du PEI de Madagascar. Les résultats de l'analyse de l'électrification sont présentés dans le Figure 32 qui illustre les structures actuellement desservies par le réseau national de la JIRAMA ainsi que celles qui seront électrifiées d'ici 2030. Certaines de ces établissements nouvellement électrifiés résulteront de la densification et de l'expansion du réseau, à la fois dans les réseaux interconnectés existants de la JIRAMA (autour d'Antananarivo) et dans les quelque 100 réseaux isolés de la JIRAMA à travers le pays. Les établissements desservis par la densification et l'expansion seraient des candidats probables pour des solutions hybrides solaires et de stockage de batterie pour servir d'alimentation de secours pendant les périodes d'intermittence de l'alimentation du réseau, tandis que d'autres établissements de santé à alimenter par des solutions hors réseau futures sont plus susceptibles de nécessiter des systèmes d'alimentation autonomes complètement hors réseau.

Figure 30. Établissements de santé par accès déclaré à l'électricité (Ministère de la Santé Publique, 2023)

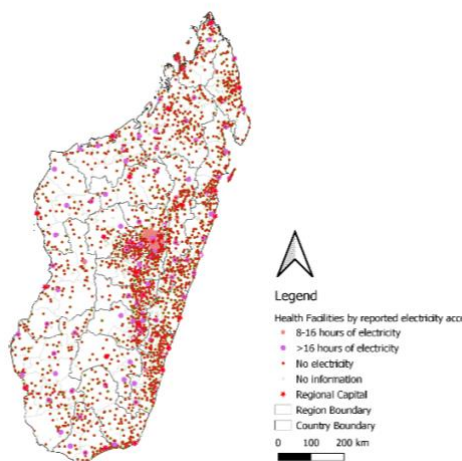


Figure 31. Établissements de santé géo spatialement situés dans une zone déjà approvisionnée en électricité ou non (IEP, 2023)

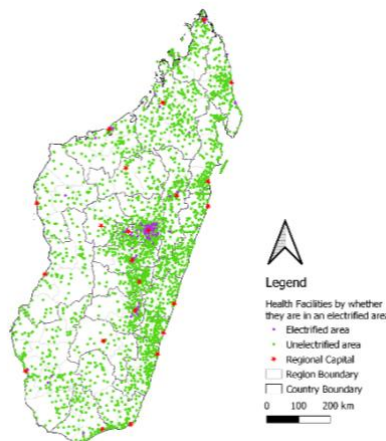


Figure 32. Établissements de santé classés par mode d'électrification à l'horizon 2030 (PEI, 2023)



Le tableau 12 fournit un résumé tabulaire du nombre d'établissements de santé par type et par statut de soutien LEAD, indiquant les heures de disponibilité de l'électricité (à partir des données fournies par le Ministère de la santé) ainsi que la localisation géographique de l'établissement dans une zone où le service d'électricité distribué est connu (sur la base d'une analyse géospatiale).

Tableau 12. Établissements de santé par support LEAD et par type, résumant l'accès déclaré à l'électricité et la localisation géospatiale par rapport aux zones électrifiées dotées de systèmes de distribution (2023)

Établissements de santé par type	Dans une zone électrifiée				Dans les zones non électrifiées				
	>16 heures	8-16 heures	Pas d'électricité	Pas de données	>16 heures	8-16 heures	Pas d'électricité	Pas de données	électrifiée LEAD à partir de 2023
Etablissements non-LEAD									
CHD					1				
RSC	1	1					1		
CHRD	3	1	11		6	9	29		
CHRR	2		2				5		
CHU	2	1	2						
CRNM			1		1		1		
CSB1		5	42	8		5	708	94	
CSB2		60	88	34		23	1121	144	
DISP/MAT		1							
DPEV	1								
DRSP	15				8				
Hospice		2							
SDSP	42		1		69		2		
Phase 1 LEAD									
CSB1									17
CSB2									30
Phase 2 LEAD									
CSB1			1			1	157	22	
CSB2						2	249	21	
Total	66	71	148	42	85	40	2273	281	47

SEforALL ODD7 Scénario de référence

Les résultats de l'analyse de l'électrification des établissements de santé illustrés dans le Figure 31 sont présentés dans le Tableau 11. Chaque établissement de santé à Madagascar est catégorisé comme étant soit connecté au réseau, soit hors réseau, sur la base des données de 2023. Sur la base de l'analyse géospatiale de 3 053 établissements de santé à Madagascar, seuls 327, soit 11 %, se trouvent dans des zones déjà électrifiées en 2023, tandis que seuls 262 ont déclaré disposer

d'une source d'électricité pouvant fournir jusqu'à huit heures d'électricité. Les 2 726 établissements de santé restants seront électrifiés d'ici 2030 grâce à la densification et à l'extension du réseau, aux mini-réseaux et aux technologies solaires autonomes. On a supposé que tous les établissements de santé des réseaux existants de la JIRAMA auraient été connectés au réseau en 2023, de sorte qu'il n'y a pas de potentiel de densification du réseau pour le secteur des soins de santé au-delà de 2023. En général, le centre de santé est l'un des premiers bâtiments à être électrifié lors de la construction d'une infrastructure électrique. Il est donc peu probable de trouver des cliniques ou des centres médicaux non électrifiés sur le territoire desservi par la JIRAMA. Parmi les autres modalités, l'extension du réseau et les mini-réseaux MT se trouvent généralement dans les grands centres de population et les zones périurbaines, tandis que les mini-réseaux BT et les systèmes autonomes sont plus susceptibles de se trouver dans des zones rurales éloignées.

Les investissements réalisés dans chaque type d'établissement reflètent le besoin pressant de solutions énergétiques diverses pour répondre à des demandes variées. Notamment, les solutions hybrides apparaissent comme une voie cruciale pour des investissements substantiels, particulièrement illustrés par les investissements prononcés dans les CHRD (Centre Hospitalier de Référence de District). Alors que les organismes de santé publique continuent de rechercher des sources d'énergie durables et fiables, les conclusions de cette analyse soulignent l'importance d'investissements adaptés pour combler les déficits énergétiques dans les différents types d'établissements.

En outre, le Projet d'accès à l'électricité à moindre coût (LEAD), financé par la Banque mondiale, a déjà électrifié, dans sa première phase, 47 établissements du CBS1, ce qui réduira l'investissement total de 104 622 USD et de 41 172 kWh/jour. Ces établissements de santé ne sont pas inclus dans le décompte du tableau 13, ni dans les tableaux de dimensionnement et de calcul des coûts présentés dans cette section. Il existe un plan pour la phase 2 de LEAD qui prévoit l'électrification de 453 établissements, réduisant le montant total à investir de 1 008 378 USD tout en réduisant la demande d'énergie de 396 828 kWh/jour. Le nombre d'établissements de la phase 1 et de la phase 2 de LEAD est indiqué dans le tableau ci-dessous, et leur emplacement est également disponible dans la base de données géospatiale du PEI.

Tableau 13. Analyse des modalités d'électrification des établissements de santé

(Source : Madagascar IEP Electrification Plan)

Type d'établissement	établissements dans les zones desservies par le réseau (2023)	Modalité d'électrification prévue pour groupes de population contenant des établissements de santé non électrifiés (sauf les établissements déjà électrifiés par LEAD Phase 1)				Etablissements de santé par participation au projet LEAD	
		Extension du réseau	Mini-réseau MT	Mini-réseau BT	Système PV Individuel (SPI)	Phase 1 LEAD (électrifiée)	Phase 2 LEAD (prévue)
CHD	56				1		
RSC	182	1					
CHRD	1	16	5	1	22		
CHRR	-	2			3		
CHU	43						
CRNM	2	1			1		
CSB1	15	75	132	74	706	17	181

CSB2	4	152	204	102	1102	30	272
DISP/MAT	1						
DPEV	15						
DRSP	5	4			4		
Hospice	1						
SDSP	2	25	10	1	35		
Total général	327	276	351	178	1874	47	453

L'électrification universelle des établissements de santé d'ici 2030 nécessitera un effort concerté, comme le montre le rapport sur l'électrification. Néanmoins, pour que la chaîne du froid médical soit solide et fiable afin d'empêcher la détérioration des vaccins et de garantir des soins médicaux de qualité à l'ensemble de la population, le service d'électricité doit être fiable. L'accès à l'énergie est nécessaire mais insuffisant pour garantir les résultats des soins de santé.

Pour les établissements de santé qui sont électrifiés par les réseaux existants de la JIRAMA ou qui seront desservis par un projet d'extension du réseau d'ici 2030, la fiabilité électrique pourrait être améliorée par l'ajout d'un système hybride de production et de stockage d'énergie de secours composé de panneaux solaires et de batteries. Ces hypothèses de système et les budgets associés sont présentés dans le tableau 14. Veuillez-vous référer à la section sur les paramètres de l'analyse des coûts de la chaîne du froid médical pour les hypothèses de dimensionnement et d'évaluation des coûts utilisées. En outre, les mini-réseaux moyenne tension (MT) proposés dans le plan d'électrification consistent en d'importants systèmes d'alimentation à l'échelle du mégawatt qui desserviront des milliers de consommateurs. Ces systèmes doivent être suffisamment robustes pour fournir une alimentation fiable et seront donc également soumis à des systèmes de sauvegarde/de secours. L'investissement total pour les systèmes hybrides d'alimentation de secours pour toutes les infrastructures de soins de santé basées sur le réseau d'ici 2030 est d'environ 7 millions de dollars américains.

Tableau 14. Taille et budget des établissements de santé hybrides

Taille	Type d'établissements	Dimensionnement du système hybride			établissements sur le réseau (2023)	Modalité d'électrification future ²⁴		Coût total
		Consommation d'énergie kWh/jour	Taille du réseau PV (kWc)	Coût du système		Extension du réseau	Mini-réseau MT	
1	CSB1	1.4	0.5	\$1,226	56	75	132	\$322,425
1	CSB2	1.4	0.5	\$1,226	182	152	204	\$659,561
1	DISP/MAT	1.4	0.5	\$1,226	1	0	0	\$1,226
2	CHD	29.4	8.4	\$15,544	-	-	-	\$0
2	SDSP	29.4	8.4	\$15,544	43	25	10	\$1,212,459
3	RSC	133.3	38.1	\$65,207	2	1	0	\$195,620
3	CHRD	133.3	38.1	\$65,207	15	16	5	\$2,347,440
3	CHRR	133.3	38.1	\$65,207	4	2	0	\$391,240

²⁴ Source : Plan d'électrification du PEI de Madagascar (2023)

3	CRNM	133.3	38.1	\$35,136	1	1	0	\$70,272
3	DRSP	133.3	38.1	\$65,207	15	4	0	\$1,238,927
4	CHU	146.1	41.7	\$70,710	5	0	0	\$353,552
4	DPEV	146.1	41.7	\$70,710	1	0	0	\$70,710
4	Hospice	146.1	41.7	\$70,710	2	0	0	\$141,421
Total					327	276	351	\$7,004,852

Pour les établissements de santé qui ne seront pas intégrés au réseau de la JIRAMA d'ici 2030 ou dont l'emplacement ne permettra pas de les inclure dans les mini-réseaux MT prévus, on suppose qu'il sera impossible de garantir un approvisionnement fiable en électricité distribuée. Par conséquent, ces établissements auront besoin d'une infrastructure solaire stationnaire autonome pour répondre à tous leurs besoins énergétiques. En d'autres termes, les mini-réseaux BT et les kits solaires autonomes ne sont pas suffisamment fiables pour être utilisés dans un établissement de santé. Dans le tableau 15, le budget total de 7 millions de dollars US est calculé pour ajouter l'énergie solaire autonome à tous les mini-réseaux BT et utiliser l'infrastructure PV pour soutenir les cliniques désignées pour recevoir uniquement des systèmes solaires autonomes.

Tableau 15. Taille et budget des établissements de santé autonomes hors réseau

Taille	Type d'établissements	Dimensionnement du système autonome hors réseau			Modalité d'électrification future ²⁵		Coût total
		Consommation d'énergie kWh/jour	Taille du réseau PV (kWc)	Coût du système	Mini-réseau BT	Système autonome solaire	
1	CSB1	1.4	0.5	\$1,226	74	706	\$956,241
1	CSB2	1.4	0.5	\$1,226	102	1102	\$1,476,044
1	DISP/MAT	1.4	0.5	\$1,226	0	0	\$0
2	CHD	29.4	8.4	\$27,076	0	1	\$27,076
2	SDSP	29.4	8.4	\$27,076	1	35	\$974,738
3	RSC	133.3	38.1	\$117,457	0	0	\$0
3	CHRD	133.3	38.1	\$117,457	1	22	\$2,701,514
3	CHRR	133.3	38.1	\$117,457	0	3	\$352,371
3	CRNM	133.3	38.1	\$117,457	0	1	\$117,457
3	DRSP	133.3	38.1	\$117,457	0	4	\$469,829
4	CHU	146.1	41.7	\$127,964	0	0	\$0
4	DPEV	146.1	41.7	\$127,964	0	0	\$0
4	Hospice	146.1	41.7	\$127,964	0	0	\$0
Total					178	1874	\$7,075,270

Pour calculer les tailles de système présentées dans les tableaux 14-15, un profil de charge complet et des prévisions de consommation d'énergie ont été créés sur la base des meilleures pratiques, des rapports d'évaluation des établissements de santé accessibles au public et des

²⁵ Source : Plan d'électrification du PEI de Madagascar (2023)

visites sur le terrain à Madagascar. La consommation d'énergie (kWh/jour) est également incluse dans les tableaux. Le dimensionnement du système photovoltaïque solaire est basé sur les profils de charge et sur un profil indicatif des ressources solaires à Madagascar. Le dimensionnement du système hybride suppose que le réseau de la JIRAMA fonctionne 12 heures par jour, tandis que les systèmes hors réseau supposent zéro heure d'alimentation électrique externe. Notez que les coûts associés à la production thermique de secours conventionnelle ne sont pas pris en compte dans cette analyse, afin de minimiser les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'ensemble du portefeuille de l'IEP.

En plus des coûts analysés pour l'électrification des soins de santé, le tableau 16 fournit une estimation du coût en capital des besoins en équipement présentés dans le tableau 11. Notez qu'il ne s'agit pas d'un plan d'approvisionnement, mais plutôt d'une analyse des dépenses d'investissement probables en ECF pour répondre aux besoins d'électrification des établissements de santé présentés ci-dessus. Les coûts sont donnés à titre indicatif, en utilisant un coût unitaire de € 2,500 (environ \$2625 USD) par congélateur ou réfrigérateur électrique, et € 5,500 (environ \$5775 USD) par congélateur ou réfrigérateur solaire, sur la base de la liste des équipements approuvés par le PQ de l'OMS. Les coûts réels varieront en fonction des unités achetées, du moment où elles sont achetées et d'autres conditions de l'achat. Les coûts des chambres froides ne sont pas inclus ci-dessous, car A) le coût réel peut varier considérablement en fonction des besoins de construction ; et B) toutes les chambres froides décrites dans le tableau 11 ci-dessus sont soit réparables, soit inutiles après la construction du nouvel entrepôt de la DPEV, soit inutiles pour la distribution des vaccins, car elles se trouvent dans des établissements régionaux qui ne gardent pas de vaccins. Le coût total estimé des équipements du tableau 16 est de 14,4 millions de dollars.

Tableau 16. Coûts de base du déploiement des équipements de la chaîne du froid par année (coûts indicatifs)

Année de besoin	Congélateur électrique (US\$)	Réfrigérateur électrique (US\$)	Congélateur solaire (US\$)	Réfrigérateur solaire (US\$)
Dès que possible	\$259,875	\$501,375	\$103,950	\$5,792,325
2024	\$2,625	\$5,250	\$0	\$132,825
2025	\$5,250	\$5,250	\$0	\$537,075
2026	\$0	\$2,625	\$0	\$1,466,850
2027	\$5,250	\$5,250	\$0	\$392,700
2028	\$0	\$34,125	\$0	\$617,925
2029	\$52,500	\$34,125	\$5,775	\$3,210,900
2030	\$15,750	\$26,250	\$0	\$1,206,975

Sensibilité - Optimisation de l'approvisionnement en équipements de la chaîne du froid

Comme mentionné ci-dessus, cette sensibilité examine les économies potentielles qui résulteraient d'une coordination accrue entre les décisions d'achat d'équipement de la Chaîne du Froid et l'électrification des HCF. Elle suppose qu'au niveau national, 40 % des achats attribués aux unités solaires à entraînement direct dans le scénario de référence présenté ci-dessus peuvent être remplacés par des unités électriques performantes moins coûteuses, étant donné que ces achats auront lieu dans des établissements qui ont été suffisamment électrifiés grâce à l'électrification prévue du HCF et/ou à des systèmes de secours. Ce transfert de 40 % des achats de congélateurs et de réfrigérateurs solaires vers des unités électriques conventionnelles permet d'économiser environ 2,9 millions de dollars par rapport au scénario de référence, pour un coût total d'environ 11,5 millions de dollars.

Tableau 17. Coûts de déploiement des équipements d'optimisation de la chaîne du froid par année (coûts indicatifs)

Année de besoin	Congélateur électrique (US\$)	Réfrigérateur électrique (US\$)	Congélateur solaire (US\$)	Réfrigérateur solaire (US\$)	Coûts d'électrification des systèmes hybrides (US\$)	Coûts d'électrification des systèmes hors réseau (US\$)	Totaux (US\$)
Dès que possible	\$278,775	\$1,554,525	\$62,370	\$3,475,395			\$5,092,290
D'ici à 2030	\$82,425	\$1,488,375	\$3,465	\$4,539,150	\$7,004,852	\$7,075,270	\$20,193,537

Comparisons avec l'étude Powering Health Care

Un projet complémentaire intitulé Powering Health Care (PHC) est en cours de mise en œuvre parallèlement au PEI. L'objectif du PHC de Madagascar, un projet de SEforALL, est de fournir l'impulsion et les solutions nécessaires pour augmenter les investissements et la durabilité des efforts d'électrification des établissements de santé. Les résultats de l'étude PHC permettront d'établir un dossier d'investissement pour l'électrification des soins de santé afin d'assurer l'accès à une énergie adéquate et fiable dans les établissements de santé de Madagascar. Bien que complémentaires, les objectifs et les scénarios de l'étude PHC sont différents de ceux du PEI, ce qui conduira à des résultats différents mais liés pour l'électrification des établissements. Il est à noter que l'étude PHC se concentre principalement sur la conception et le dimensionnement des CSB, alors que le PEI fournit un dimensionnement indicatif pour tous les types de formations sanitaires répartis dans les quatre groupes de dimensionnement présentés ci-dessus.

Ainsi, la plus grande variance dans le dimensionnement des établissements de santé se trouve dans les résultats des CSB. En particulier, une gamme de spécifications d'énergie solaire est possible pour les plus petits CSBs qui sont vus en comparant le dimensionnement solaire basé sur les hypothèses de l'USAID présentées dans ce rapport avec celles du rapport PHC à Madagascar, d'environ 1 : 5 en kWh/jour. Cet écart résulte des différentes philosophies de conception reflétées dans la définition des besoins en énergie.

L'approche du PEI consiste à fournir des équipements essentiels aux établissements, tels que définis pour les petites cliniques de santé dans le document de l'USAID intitulé *Powering Health : Load Calculation Examples*. Cette approche est appliquée pour fournir l'énergie nécessaire aux besoins minimums en équipements critiques des dispensaires pour les examens essentiels, les accouchements de nuit et les fonctions de vaccination, tels que décrits par l'USAID. La philosophie de l'étude PHC adopte une vision plus large des besoins en électricité, notamment en permettant à la CSB de servir de point d'ancrage pour l'électrification de la communauté, où les tailles des systèmes sont déterminées pour permettre une plus grande variété de besoins électriques. Cela conduit à un élargissement de l'équipement disponible à alimenter dans le modèle PHC par rapport au modèle IEP²⁶.

Les principales différences entre les unités d'équipement sont présentées dans le tableau ci-dessous. L'approche mise en œuvre par le gouvernement et ses partenaires pour alimenter les établissements de santé au cours de leur construction devra tenir compte des considérations ci-dessus. Si l'on souhaite alimenter en électricité le plus grand nombre de cliniques possible, en sollicitant les ressources financières, on s'orientera vers une liste de besoins minimaux pour y parvenir. Si l'on dispose de fonds pour optimiser les petites cliniques et maximiser leur financement, les systèmes plus importants décrits dans l'étude PHC sont souhaitables. Le tableau ci-dessous compare les principales différences d'équipement des CSB entre le PEI et le PHC. Comme on peut le constater, ces différences d'équipement représentent une différence de 1 : 5 kWh/jour dans le dimensionnement global du système et, par conséquent, des différences de coûts similaires entre les deux approches.

Table 18. Comparaison entre le PEI et les SSP

Comparaison des résultats du PEI et PHC pour les CSB								
Equipement	PEI (Nbr.)	PHC (Nbr.)	PUISSANCE UNITAIRE (Watts)	PEI (Watts Total)	PHC (Watts Total)	Utilisation (heures par jour)	PEI (Wh/jour)	PHC (Wh/jour)
Lumières	5	21	10	50	210	10*	380	2100
Radio	1	1	30	30	30	8	240	240
Microscope	1	1	10	10	10	2	20	20
Réfrigérateur pour le stockage des vaccins	1	1	60	60	60	8	480	480
Charge du téléphone mobile		5	5	0	25	4	0	100
Ventilateur		1	80	0	80	10	0	800
Imprimante		1	100	0	100	1	0	100
Ordinateur		1	120	0	120	4	0	480
Stérilisateur		1	400	0	400	3.2	0	1280
Total	8	33		150	1035		1120	5600

²⁶ Il convient de noter que le rapport PHC fournit un dimensionnement des établissements CSB1 et CSB2 par district, alors que le PEI utilise un dimensionnement agrégé pour CSB1 et CSB2.

*Deux lampes d'examen de 20 W ne fonctionnent que 2 heures par jour chacune.

Recommandations pour la mise en œuvre

L'analyse du PEI montre que la satisfaction de l'ensemble des exigences en matière d'intégrité de la chaîne du froid médical et d'électrification des établissements de soins de santé de base nécessitera un investissement total de 28,5 millions de dollars US d'ici 2030 dans le cas de base, comme le montre le tableau ci-dessous. Ce montant comprend 14,4 millions de dollars d'investissements dans les équipements CCE (pour acquérir de nouveaux équipements et remplacer ceux qui ont atteint la fin de leur durée de vie utile) et 14,1 millions de dollars d'investissements dans l'électrification des établissements, à la fois pour les systèmes hybrides de secours pour les établissements déjà électrifiés ou les établissements dont l'électrification est prévue via une solution basée sur le réseau, et pour les systèmes hors réseau pour les établissements plus éloignés. Il est possible de réduire quelque peu les coûts de la CCE d'ici à 2030 s'il est possible de coordonner étroitement l'électrification (par des moyens suffisamment fiables et durables) et l'achat d'équipements pour la chaîne du froid, car cela permettrait de réduire la dépendance à l'égard des réfrigérateurs solaires à entraînement direct, plus coûteux, et de déployer davantage de congélateurs et de réfrigérateurs électriques "standard". L'analyse montre que le passage de 40 % des achats de réfrigérateurs solaires à des équipements électriques permettrait de réaliser une économie globale de 2,9 millions de dollars.

Table 19. Exigences complètes pour l'intégrité de la chaîne du froid médical et l'électrification des établissements de soins de santé de base (PEI, 2023)

Année de besoin	Congélateur électrique (US\$)	Réfrigérateur électrique (US\$)	Congélateur solaire (US\$)	Réfrigérateur solaire (US\$)	Coûts d'électrification des systèmes hybrides (US\$)	Coûts d'électrification des systèmes hors réseau (US\$)	Total
Dès que possible	\$259,875	\$501,375	\$103,950	\$5,792,325			
2030	\$81,375	\$112,875	\$5,775	\$7,565,250	\$7,004,852	\$7,075,270	\$ 28,502,922
Total	\$341,250	\$614,250	\$109,725	\$13,357,575	\$7,004,852	\$7,075,270	

L'analyse de l'énergie et des coûts de la chaîne du froid médical permet de dégager plusieurs conclusions essentielles qui sont résumées ci-dessous :

- Distribution des structures et besoins en énergie : Les CSB1 et CSB2 sont les types d'établissements dominants en termes de quantités, représentant collectivement une part significative de l'ensemble des établissements de santé à Madagascar. Les SDSP ont les besoins énergétiques les plus élevés, ce qui indique un besoin spécifique de solutions énergétiques dans cette catégorie. Le besoin total en énergie pour les solutions hybrides est substantiellement plus élevé que celui des solutions hors réseau, soulignant le besoin d'une infrastructure énergétique plus robuste pour répondre à ces demandes.
- Modèles d'investissement : CSB1 et CSB2 attirent d'importants investissements hors réseau, ce qui suggère que ces types d'établissements sont considérés comme des zones clés pour les investissements énergétiques. CHRD se distingue par des investissements

substantiels à la fois sur le réseau et hors réseau, ce qui indique une orientation stratégique vers l'intégration des sources d'énergie renouvelables et traditionnelles. Certains types d'établissements, tels que CHU, DPEV et HOSP, n'ont reçu que peu ou pas d'investissements, étant donné qu'ils sont relativement rares dans le pays. Au fur et à mesure que le réseau énergétique s'étend à CSB1 et CSB2, l'investissement dans le ECF peut passer à des systèmes basés sur le réseau si cela est faisable.

- Solutions hybrides et innovation : L'investissement total de 5 millions de dollars dans les solutions hybrides souligne la reconnaissance croissante des avantages de la combinaison des sources d'énergie renouvelables et conventionnelles pour répondre aux divers besoins énergétiques. L'investissement substantiel du CHRD dans les solutions hybrides témoigne de la volonté d'explorer des solutions innovantes qui concilient la durabilité environnementale et la fiabilité énergétique. Une fiabilité supplémentaire serait possible avec une production thermique de secours, mais les budgets présentés n'incluaient pas de systèmes énergétiques à base de combustibles fossiles pour éliminer les émissions de gaz à effet de serre et la pollution de l'air sur site dans les établissements de santé.
- Transition et diversification énergétiques : La diversité des types d'établissements et des montants d'investissement met en évidence une approche à multiples facettes pour répondre aux besoins énergétiques dans différents secteurs. Les investissements dans des solutions hybrides et hors réseau témoignent d'un effort concerté de transition vers des systèmes énergétiques plus résistants et plus durables. Une planification énergétique plus détaillée pourrait réduire la consommation d'énergie sur site et contribuer à une réduction de la taille des systèmes photovoltaïques et des batteries, ce qui permettrait au programme d'électrification des soins de santé dans son ensemble de réaliser des économies.
- Défis et opportunités : Les types d'établissements pour lesquelles les investissements sont faibles ou inexistantes (par exemple, CHU, DPEV, HOSP) peuvent indiquer des marchés potentiels inexploités ou des zones où les solutions énergétiques doivent encore être optimisées. L'écart important entre les investissements dans les OEC1 et les OEC2 suggère un besoin potentiel de rééquilibrage des ressources pour assurer un accès équitable à l'énergie. Il est probable que les systèmes CSB1 et CSB2 pourraient être optimisés grâce à un système solaire standard - ou à deux systèmes similaires - qui répondrait aux besoins de tous les établissements CSB en utilisant des caractéristiques de conception et des pièces de rechange communes à l'échelle nationale. Cette normalisation pourrait permettre de réaliser des économies d'échelle pour une infrastructure électrique adéquate qui pourrait être produite en masse et entretenue par des techniciens et même des travailleurs de la santé ayant reçu une formation appropriée.

En conclusion, l'analyse des données souligne l'importance des solutions hybrides, la répartition des investissements entre les différents types d'établissements et la diversité des besoins énergétiques. Elle met en évidence la transition énergétique en cours, le rôle de l'innovation dans les solutions énergétiques et le potentiel d'investissements ciblés pour remédier aux disparités énergétiques et créer un paysage énergétique plus durable et plus fiable.

D'une manière générale, les équipements de la chaîne du froid médical actuellement disponibles et utilisés dans les établissements de santé malgaches fonctionnent bien. Cependant, plus de 1 600 équipements ne fonctionnent pas et nécessitent un effort important de mise hors service et de

mise à jour de l'inventaire. Un plan de mise hors service est nécessaire pour définir l'approche du pays afin de retirer les équipements non fonctionnels du système, en tenant compte des meilleures pratiques environnementales, des considérations techniques et de sécurité, et de la documentation dans les systèmes de gestion des actifs. Le plan de mise hors service devrait également prévoir l'avenir à mesure que les équipements vieillissent et ne sont plus fiables, en supposant une durée de vie de 10 ans pour les CC-. D'ici 2030, plus de 1 500 pièces d'équipement fonctionnant actuellement auront plus de 10 ans et devront être évaluées quant à leur fonctionnalité et éventuellement mises hors service. Cela va de pair avec une analyse des lacunes et une stratégie d'acquisition pour remplacer les équipements plus anciens. Il sera particulièrement important d'en tenir compte lorsque le réseau électrique s'étendra et que les équipements solaires ECF, plus coûteux, pourront être remplacés, le cas échéant, par des équipements dépendants du réseau.

En outre, la capacité de la chaîne du froid est suffisante là où elle est disponible, en particulier au niveau des établissements, et peut facilement s'adapter à la croissance de la population et aux nouveaux vaccins. Dans les zones difficiles d'accès pendant la saison des pluies, le programme de vaccination ajuste déjà la fréquence de livraison des vaccins, fournissant jusqu'à trois mois de vaccins pendant la saison des pluies lorsque l'établissement n'est pas accessible. Le Ministère de la Santé pourrait adopter cette fréquence de livraison ajustée pour profiter de l'espace suffisant de la chaîne du froid et réduire l'effort de distribution des vaccins, ce qui permettrait de réaliser des économies. En outre, alors que le gouvernement travaille avec les donateurs et les partenaires pour améliorer et étendre le système de la chaîne du froid, il convient de donner la priorité à quelques domaines notables :

- Un plan de déclassement doit être élaboré, financé et mis en œuvre afin de retirer du système les équipements non fonctionnels et obsolètes.
- Les équipements obsolètes qui ne sont pas certifiés PQS doivent être remplacés (environ 2 % de l'ensemble des ECF). Les équipements qui ont été agréés PQS mais qui ne le sont plus peuvent encore être utilisés s'ils fonctionnent, mais ils doivent être inclus dans le plan de remplacement et d'expansion du ECF à moyen et long terme.
- Lorsque des fonds supplémentaires seront disponibles pour de nouveaux équipements, il faudra donner la priorité au remplacement des équipements plus anciens (10 ans et plus), en particulier ceux qui fonctionnent au gaz/propane et qui ne sont plus approuvés par le PQS. À mesure que le réseau électrique s'étend et devient plus fiable, le ECF basé sur le réseau est une option fiable, moins coûteuse que le SDD et plus facile à entretenir.
- Envisager de déplacer certains ECF des sites "sous-utilisés" vers les sites "à utilisation limitée", en particulier au niveau du district, afin d'alléger certaines contraintes. Par exemple, si un magasin ou une infrastructure de district qui entre dans la catégorie des sites sous-utilisés et possède deux ECF ou plus qui fonctionnent bien, l'un des ECF pourrait être déplacé vers un autre site considéré comme "à utilisation limitée" ou sans ECF afin d'alléger la contrainte et d'assurer la disponibilité des ECF.
- Plus de 500 établissements ne disposent pas actuellement d'équipements de chaîne du froid en état de marche, même si certains équipements devraient être installés et que d'autres sont en cours de passation de marché pour 2024, en particulier pour les équipements de SDD. Pour créer un système plus fiable, le Ministère de la santé pourrait envisager d'acheter des équipements de chaîne du froid pour ces établissements restants

afin de répondre aux besoins les plus immédiats, en particulier dans les endroits où la population croît rapidement et où les besoins en vaccins sont élevés. Le coût de l'ECC qui serait approprié au Niveau de l'établissement ou du district se situe entre 2 500 et 6 000 dollars par unité. Ce montant n'inclut pas les coûts de maintenance, qui varient en fonction de l'âge et du modèle.

- Au fur et à mesure que le réseau électrique s'étend et devient plus fiable, il est possible d'acquérir des équipements de chaîne du froid basés sur le réseau, qui sont généralement moins coûteux que les SDD et plus faciles à entretenir. Cette démarche devra être étroitement coordonnée avec les plans d'expansion du réseau électrique et le prochain cycle d'investissement dans les équipements de la chaîne du froid. L'approvisionnement en ECF se fait généralement tous les quatre ou cinq ans ; d'ici 2030, lorsque le réseau électrique se sera étendu, il sera opportun de mettre à jour l'inventaire des ECF et la disponibilité de l'électricité afin d'élaborer une stratégie d'approvisionnement en ECF plus nuancée, en tenant compte du processus d'électrification. Le gouvernement pourrait passer de l'équipement SDD à l'équipement basé sur le réseau dans certains établissements de santé qui disposeront d'une électricité plus fiable à ce moment-là.
- Le programme de vaccination doit investir dans son système d'entretien des ECF pour assurer la longévité de l'équipement.
- Il est important de noter que l'extension de l'ECC à de nouveaux établissements de santé doit également prendre en compte les ressources humaines nécessaires à l'extension des services de vaccination à un nouvel établissement, ce qui inclut la création d'une demande et la mobilisation de la communauté.

CHAÎNE DU FROID POUR L'AGRICULTURE ET LA PÊCHE

Vue d'ensemble

L'agriculture et les industries alimentaires représentent environ 43 % du PIB de l'économie malgache et emploient 80 % de la population active²⁷, de manière formelle ou informelle. Les activités agricoles sont principalement axées sur l'agriculture de subsistance qui produit du riz, du manioc, des pommes de terre, des haricots secs et du maïs. Les cultures qui dépassent les besoins de subsistance sont vendues localement sur le marché intérieur. Les petits agriculteurs sont actifs dans les chaînes de valeur des légumes parce qu'ils fournissent des liquidités régulières grâce à des cycles de culture courts, à des besoins limités en capitaux pour la culture, les semences et les engrais, et à l'intensification des zones cultivées dans des régions caractérisées par une forte pression foncière²⁸.

Quatre types d'archétypes de cultures maraîchères sont présents à Madagascar : les cultures de contre-saison sur les rizières, les cultures de contre-saison sur les collines (tanety) et les lits de cours d'eau saisonnièrement secs (baiboho), les cultures permanentes sur des sols exposés et les cultures sous verger (de manière plus marginale). L'agriculture n'est pas encore mécanisée (en dehors du maïs où la mécanisation est effective, mais reste faible) et les femmes sont principalement responsables des activités de culture, d'ensemencement, de lutte contre les parasites et de récolte¹⁴. La production agricole se caractérise par une multitude d'acteurs sur le marché : de la production à la consommation, les produits passent par un maximum d'intermédiaires (collecteurs, grossistes, transporteurs, détaillants, transformateurs, exportateurs), chacun d'entre eux ayant des besoins énergétiques particuliers.

Le PEI est conçu pour évaluer le statut de la technologie de la chaîne du froid qui est utilisée pour réfrigérer les produits agricoles critiques à Madagascar aujourd'hui et pour évaluer les moyens et les mesures qui sont nécessaires pour étendre l'accès à la technologie de la chaîne du froid à l'avenir. L'expansion des cultures et la conservation des aliments grâce à l'accès à la technologie de la chaîne du froid pourraient avoir un impact significatif sur la sécurité alimentaire pour les produits destinés à la consommation intérieure. Pour les produits destinés à l'exportation, l'amélioration de la technologie de la chaîne du froid agricole pourrait accroître les possibilités d'exportation et soutenir l'économie. Néanmoins, dans les pays d'Afrique subsaharienne, il a été démontré que le respect strict des conditions et des normes de la chaîne du froid est difficile à mettre en œuvre au niveau local en raison de barrières sociales, culturelles et économiques²⁹. En raison des exigences du marché, seuls les produits agricoles réfrigérés destinés à l'exportation vers les pays développés, ou vendus dans les supermarchés, les restaurants et les hôtels du pays, sont soumis au respect des normes nationales et internationales officielles de la chaîne du froid. Par conséquent, l'utilisation des technologies et des méthodes de la chaîne du froid n'est pas uniformément mise en œuvre ou appliquée dans le secteur agricole rural de Madagascar. Les

²⁷ FIDA 2021. Programme d'options stratégiques pour le pays 2022-2026

²⁸ Fert 2012. Étude de la filière légumes sur les Hautes Terres de Madagascar

²⁹ Rutta, 2022. Comprendre les obstacles au déploiement des technologies de stockage à froid alimentées par l'énergie solaire pour réduire les pertes de tomates après la récolte : Aperçu des petits exploitants agricoles en Tanzanie.

chaînes de valeur agricoles, le lait et les produits de mer les plus étroitement liées à l'exportation sont celles qui mettent le plus l'accent sur les pratiques de la chaîne du froid.

Figure 33. Pommes de terre stockées sur un marché local Malgache

(Source : KODJOGBE Guy)



L'analyse de la chaîne du froid agricole se concentre sur une sélection de quatre chaînes de valeur agricoles critiques qui bénéficieront d'une technologie améliorée de la chaîne du froid et pour cartographier les exigences de la chaîne du froid le long des chaînes de valeur ainsi que l'accès aux services énergétiques, l'accès à la technologie de la chaîne du froid et le statut de la réfrigération le long de la chaîne de valeur. L'analyse comprend une évaluation de la technologie spécifique utilisée, le volume des produits qui bénéficient de l'accès aux services de la chaîne du froid et une analyse des lacunes pour identifier les déficits spécifiques et les opportunités qui pourraient profiter aux producteurs malgaches à l'avenir. Cela comprend une évaluation du transport réfrigéré, de l'entreposage frigorifique et de l'Équipement de la Chaîne du Froid dans les centres de distribution. Elle comprend également une évaluation des technologies existantes dans chaque chaîne de valeur sélectionnée et une évaluation des besoins en refroidissement et de la

disponibilité, de l'efficacité et de l'accessibilité financière des technologies de refroidissement durables.

Chaînes de valeur étudiées

Dans le cadre du processus de lancement du PEI, les produits laitiers, la pêche, les pommes de terre et les tomates ont été sélectionnés et validés pour l'analyse. Les quatre chaînes de valeur proposées ont été approuvées par les parties prenantes du PEI, y compris SEforALL et les Ministères en charge de l'agriculture, de la pêche et de l'élevage, parmi d'autres entités du GdM, et ont été sélectionnées sur la base (1) de l'impact potentiel de l'amélioration du stockage du froid, (2) des priorités sectorielles et (3) de leur potentiel à contribuer à l'amélioration des résultats en matière de génération de revenus ou de nutrition. Une vue d'ensemble de chaque chaîne de valeur est présentée dans la section ci-dessous et est suivie d'un résumé de la mission sur le terrain entreprise par l'équipe d'analyse au cours de l'exécution de cette analyse.

Pommes de terre

La pomme de terre est produite principalement dans les régions d'Anamalanga, d'Itasy et de Matsiatra Ambony³⁰, qui sont hétérogènes en termes de potentiel agro économique, de production, de système de culture et de potentiel de développement. La récolte de la pomme de terre s'étale

³⁰ Filière Campagne, 2021-2022, Service Régional, Ministère de L'Agriculture et de L'Elevage ; Le ministère signale également que le Vakinankaratra produites des pommes de terre.

sur les mois de janvier et février. Le Figure 33 montre ces quatre grandes zones de projection, tandis que le Figure 35 montre la distribution du rendement de la récolte de pommes de terre à travers les régions et districts de Madagascar.

La pomme de terre est l'une des cultures les plus importantes en termes de volume, avec un volume de production d'environ 500 000 tonnes/an²⁶, dont 251 000 tonnes (FAOSTAT, 2023) ont été récoltées en 2023 (voir tableau 13). Économiquement rentable, la pomme de terre est cultivée pour la consommation individuelle pendant la période de soudure, lorsque le riz n'est pas abondant. La production de pomme de terre comprend de multiples acteurs (MINAE, grossistes, détaillants, entre autres) et est relativement bien organisée. Elle est actuellement en crise en raison de la résurgence de plusieurs maladies (mildiou, bactériose, etc.) et d'un problème d'accès à des semences saines. Cette situation perturbe l'approvisionnement des marchés locaux et extérieurs tant en termes de qualité que de régularité²⁵.

Madagascar s'efforce de relever les défis de la manutention post-récolte. Au cours des entretiens avec le personnel du MINAE, les producteurs et les négociants, il a été noté que leurs perceptions sur les pertes post-récoltes dans les chaînes de valeur de la tomate et de la pomme de terre sont plus élevées (estimées à 60%) au niveau des agriculteurs qu'au niveau des grossistes (10%) ou des détaillants (2%). Ces taux de pertes post-récolte au niveau de l'exploitation sont dus aux difficultés que rencontrent les producteurs (en particulier dans les régions isolées) pour transporter les produits vers les marchés ou les zones urbaines. En outre, les négociants s'approvisionnent en pommes de terre et en tomates en fonction de la demande, de la saison et des jours de marché. Les taux de pertes post-récolte au niveau des exploitations seraient dus aux difficultés que rencontrent les producteurs (en particulier dans les régions isolées) pour transporter les produits vers les marchés et/ou les zones urbaines.

La plupart des agriculteurs récoltent leurs pommes de terre un jour avant le jour du marché local et les transportent au marché dans de grands sacs (voir Figure 32) ou les produits sont achetés à la ferme par les collecteurs du marché à des prix relativement bas (par exemple 700 000 Ariary par tonne). D'après la mission sur le terrain, de nombreuses petites exploitations ne récoltent en moyenne que quelques kilogrammes de pommes de terre par jour pendant les mois de récolte (janvier et février).

À Madagascar, les pommes de terre sont en grande partie stockées sur place. Le stockage sur place (in situ) consiste à retarder la récolte jusqu'à ce que la culture soit prête à être vendue. Cela peut se faire (pour certains types de tubercules) dans le champ où la culture est produite. Toutefois, dans ce cas, la récolte peut être plus facilement exposée aux maladies et aux parasites. Des structures de stockage traditionnelles simples sont également utilisées pour stocker les produits horticoles destinés au marché local. Ces établissements utilisent une méthode de refroidissement passif qui consiste à utiliser les vents naturels ou dominants pour le mouvement de l'air afin de créer le refroidissement souhaité. La chambre froide à énergie zéro (ZECC), le refroidisseur à charbon de bois et la structure de stockage fabriquée avec des matériaux traditionnels tels que des toits de paille et des briques hydrofuges, sont des exemples courants de ce type de structure de stockage.

Plusieurs organisations sont impliquées dans la production de pommes de terre à Madagascar, par exemple l'organisation CEFFEL à Vakinakaratra produit des semences certifiées de pommes

de terre pour les agriculteurs et utilise des structures de stockage traditionnelles simples basées sur un système de refroidissement passif par évaporation tel que le refroidisseur à charbon de bois. En outre, à Amoron'i Mania, la FAO fournit à une association de producteurs de légumes dirigée par des femmes une formation sur la transformation des fruits et légumes, principalement sur le séchage et la production de jus. De même, LECOFRUIT, une entreprise qui exporte des fruits et légumes vers l'Europe ou la Chine, transporte des pommes de terre par camion à température ambiante, sans utiliser d'entrepôt frigorifique pendant le transport. Cependant, leurs produits sont stockés dans des chambres froides modernes une fois qu'ils arrivent dans leurs entrepôts, avec un contrôle de la température afin de respecter les normes à destination.

Tomate

Les tomates sont produites principalement dans les régions d'Anamalanga et d'Itasy³¹. Les tomates sont récoltées en septembre et octobre. La récolte idéale consiste à laver les tomates et à les emballer, puis à les refroidir à 20°C pour la maturation ou à 13°C pour le stockage, dans des conditions d'humidité relative de 90 à 100 %.

La tomate a une production importante, estimée à 100 000 tonnes par an, avec des producteurs bien organisés, en particulier dans la région de l'Itasy. La tomate est un produit rentable mais fragile, sensible aux maladies, aux intempéries et aux meurtrissures lors du transport. La production, la récolte et le transport vers le marché ne sont pas toujours bien gérés par les agriculteurs-producteurs, ce qui peut entraîner des pertes importantes et un faible revenu des ventes.²⁵

Comme pour les pommes de terre, les pertes post-récoltes des tomates constituent un défi à Madagascar. Sur les marchés locaux, les grossistes stockent leurs tomates dans des salles à température ambiante et placent leurs produits sur des feuilles fraîches pour tenter de préserver leur fraîcheur. Il n'existe pas de solution de stockage pour les tomates à Madagascar à l'heure actuelle. Compte tenu de la similitude des zones de production de la pomme de terre et de la tomate et du fait que les périodes de culture ne sont pas les mêmes (en dehors des périodes de contre-saisons), il est possible d'utiliser la même solution d'entreposage frigorifique pour les deux produits.

³¹ Le ministère de l'agriculture rapporte également que des tomates sont produites à Alaotra Mangoro.

Figure 34. Zones de production de pommes de terre et de tomates à Madagascar

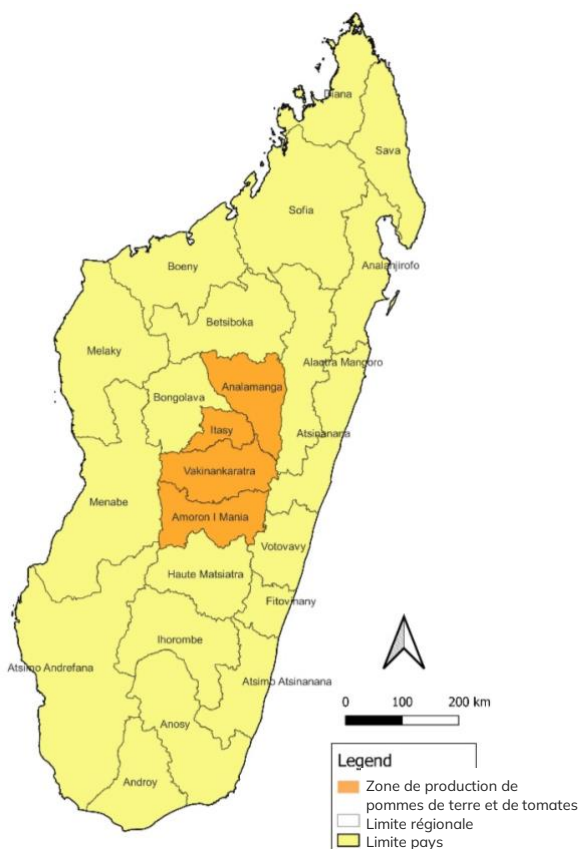
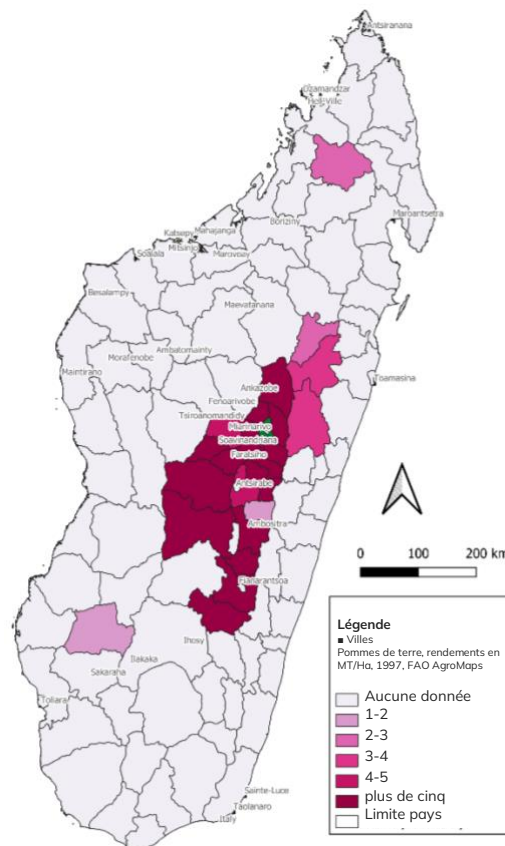


Figure 35. Distribution des rendements de pommes de terre à Madagascar

(Source : FAO, Agri Maps)



Le tableau 20 présente un résumé des fruits, légumes, épices, céréales et légumineuses produits à Madagascar, afin de comparer les quantités de pommes de terre et de tomates récoltées dans le pays.

Tableau 20. Principales cultures produites à Madagascar (Source pour les tonnes de récolte : FAOSTAT, 2023)

Cultures et produits transformés	Quantité récoltée (tonnes)	Exigences en matière d'entreposage frigorifique
Avocats	27,309	En option pour prolonger la durée de stockage. 1 5°C-12°C 85-95% RH pour éviter le mûrissement, 3-5°C si pré-conditionné
Bananes	382,196	Maturation dans 100 ppm d'éthylène à 14-18°C, 90-95% HR
Aubergines	1,780	10-12°C, 90-95% RH
Arachides, sauf décortiquées	62,934	10°C, 65% RH
Patates douces	1,143,320	Durcissement 29°C 4-7 jours, 90-97% HR Stockage 14°C 90% HR
Taro	234,947	7-10°C, 80-95% HR

Cultures et produits transformés	Quantité récoltée (tonnes)	Exigences en matière d'entreposage frigorifique
Tomates	40,863	13°C, 90-95% HR
Autres légumes, frais NEC.	374,204	La température générale d'un entrepôt est de 5 à 8°C, mais certains articles sensibles au froid, comme les bananes, ne peuvent être conservés à une température aussi basse. La cartographie de la température de l'entrepôt permet donc d'identifier des zones de température plus élevée, jusqu'à 13°C, pour ces articles.
Pêches et nectarines	10,832	-1°-0°C, à 90-95% HR avec un débit d'air de 15 m//min
Poires	1,435	-1°C, 90-94% HR.
Mangues, goyaves et mangoustans	299,285	10-13°C, 90% HR pour les fruits verts mûrs 7-8°C, 90% HR pour les fruits mûrs 20-23°C 90% HR pour la maturation
Pois verts	1,368	0°C, 95-98% RH. Ne pas laisser dépasser 2°C pendant le stockage.
Poivre (<i>Piper spp.</i>), cru	5,282	7°C, 90-95% RH. Peut atteindre 10°C s'il est emballé dans un film plastique.
Ananas	85,219	7-12°C, 85-95% HR au point de rupture de la couleur 7°C pour les fruits mûrs
Pommes de terre	251,257	En option pour optimiser la durée de stockage : 15°C pendant 2 semaines de séchage, 80-100% d'humidité relative avec renouvellement de l'air. 2-3°C pour une durée de vie extrême 4-5°C pour les pommes de terre de semence 7-10°C pour la consommation fraîche 10-15°C pour la friture 15-20°C pour les copeaux

Pêche

L'industrie de la pêche a des besoins importants en matière de réfrigération³², de chaîne du froid et un potentiel d'exportation important. La plus grande concentration de pêcheries (65% du potentiel) se trouve dans la partie nord-ouest de Madagascar entre le Cap Saint Sébastien au nord et la pointe d'Angadoka au sud ainsi que le Cap d'Amparafaka au nord et Nosy Voalavo au sud³³ (voir Figure 35). Les types de poissons et les méthodes de récolte ont des implications significatives

³² Voir- La pêche industrielle en eaux lointaines dans les pays en développement : A case study of Madagascar (biorxiv.org) - pour plus d'informations.

³³ Trade Map, 2022. trademap.org Statistiques du commerce pour le développement international des entreprises Données de commerce mensuelles, trimestrielles et annuelles. Importations et exportations en valeurs, volumes, taux de croissance, parts de marchés, etc.

pour les stratégies de la chaîne du froid. Plus précisément, la pêche maritime traditionnelle est pratiquée presque partout le long de la côte malgache, y compris dans des régions extrêmement éloignées, alors que la pêche maritime industrielle est concentrée dans les grandes villes portuaires qui sont plus susceptibles de bénéficier de la réfrigération, de la fabrication de glace et d'autres capacités de pré-refroidissement. De même, bien qu'elle ne soit pas un facteur majeur de la production nationale, la pêche intérieure dans les lacs et les rivières présente un caractère plus saisonnier, ce qui la rend plus vulnérable aux limitations d'accès et aux interruptions de la chaîne du froid. De plus, la mariculture et l'aquaculture peuvent être concentrées dans des zones ayant accès à l'infrastructure de la chaîne du froid, bien que cela ne soit pas universellement pratiqué à Madagascar. Le tableau 21 illustre la production halieutique de 2022 en tonnes par type de pêche.

Tableau 21. Madagascar : Production halieutique en tonnes

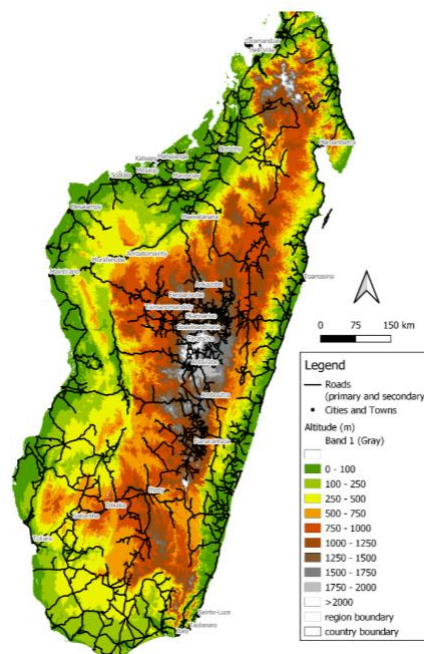
(Source : Ministère de la Pêche, 2022)

Type de pêche	Production en tonnes (2022)
Pêche industrielle maritime	24,169
Pêche maritime traditionnelle	87,595
Pêche traditionnelle dans les eaux intérieures	10,285
Mariculture (élevage de poissons en mer)	23,023
Aquaculture (élevage de poissons d'eau douce)	2,098
TOTAL	147,364

Figure 36. Principales zones de production de la pêche (Source : Trade Map 2022)



Figure 37. Routes, terrain et principales villes.



D'après les entretiens menés lors de la mission sur le terrain, les fruits de mer sont généralement transportés dans des véhicules réfrigérés. Sur les marchés locaux, les fruits de mer sont régulièrement arrosés d'eau glacée et placés sur des feuilles pour être conservés. L'absence de chaînes du froid adéquates a un impact direct sur les pertes post-récolte. Par exemple, le taux moyen de mortalité cumulée des crabes est de 32 % et peut atteindre 40 à 50 % pendant la saison des pluies. Les pertes post-récolte pour les seuls crabes sont estimées à 4,7 millions USD par an³⁰. Les principales causes de ces pertes sont la compression, l'étouffement, la déshydratation, la famine ou la contamination bactérienne due à la présence de crabes morts. Dans la plupart des cas, les pertes sont dues à de mauvaises pratiques de manipulation de la part des collecteurs. Depuis l'analyse globale du secteur réalisée en 2012, SmartFish a apporté une contribution significative au secteur du crabe de mangrove, notamment sur la question des pertes post-récoltes en favorisant l'adoption de nouvelles techniques de manipulation, de stockage et de transport. Un projet pilote d'aquaculture communautaire a également été initié, ainsi qu'un appui à la réhabilitation complète de trois marchés importants à Morondava, Antsohihy et Ambanja³⁴.

Comme le montre le Figure 36, les principales villes de Madagascar se trouvent le long des côtes (principalement dans le sud et le nord) et sont concentrées dans les hautes terres centrales. Bien que les réseaux routiers relient les côtes aux hautes terres centrales, comme indiqué dans la section sur les défis de la chaîne du froid, ces artères importantes sont fortement dégradées par les précipitations saisonnières, l'insuffisance des infrastructures et le terrain difficile, ce qui rend difficile la garantie de l'intégrité de la chaîne du froid - en particulier pour les produits de la pêche. Notez en particulier la difficulté et la longueur du voyage qu'un poisson pêché à Toliara doit effectuer pour arriver sur un marché à Antananarivo, un voyage de plus de 700 kilomètres.

Les pertes de poissons sont souvent saisonnières, se produisant pendant les périodes de surpêche ou pendant la saison des pluies, lorsque les méthodes de transformation traditionnelles sont moins efficaces. Les pertes sont également associées à certaines espèces de poisson, à certains types de pêche ou à certaines méthodes de transformation. Elles peuvent également se produire dans certains types d'endroits, par exemple dans des zones reculées où les services et les infrastructures sont insuffisants. Les pertes post-récoltes des produits de la mer, selon les perceptions du personnel du Ministère de la pêche et des négociants, peuvent être estimées à environ 80 %³⁵. Cependant, les commerçants des marchés aux poissons n'enregistrent pas les pertes et les invendus sont autoconsommés sous forme de poisson séché ou frit.

Un certain nombre d'initiatives visant à réduire les pertes après récolte pour le poisson et les produits de la mer ont été ou seront pilotées par le gouvernement et les partenaires de développement. Il s'agit notamment de

La **GIZ, par le biais du projet PrAda**³⁶, a pris certaines mesures et interventions dans le secteur de la pêche malgache, notamment :

³⁴ Pour plus d'informations, voir : <https://www.commissionoceanindien.org/smartfish-appuie-madagascar-pour-une-exploitation-rationnelle-et-durable-du-crabe-de-mangrove/>

³⁵ SMART Fiche 17. PROGRAMME POUR LA MISE EN OEUVRE D'UNE STRATEGIE REGIONALE DE PECHE POUR LA REGION DE L'AFRIQUE DE L'EST ET DU SUD - OCEAN INDIEN. Réduire les pertes de poissons après récolte pour améliorer la sécurité alimentaire.

³⁶ Fiche Technique Chaîne de Valeur Pêche Projet Adaptation des chaînes de valeurs, agricoles au changement climatique - PrAda, Novembre 2020

- Étude sur le rééquipement du marché aux poissons à Ambovombe
- Test des techniques de stockage en mer et des conditions de transport des homards.
- Installation de 10 panneaux de pêche du Système d'Alerte Précoce (SAP)
- Formation des pêcheurs aux nouvelles techniques de pêche (palangres, turlottes)

En 2021, la GIZ a également installé une unité de production de glace à Ambovombe et réhabilité des chambres froides à Ikotoala et Faux Cap³⁷. Le Figure 37 présente une carte des activités d'entreposage frigorifique des pêcheries soutenues par la GIZ dans le sud de Madagascar. Le projet de la GIZ "Plus de poisson, plus de travail" est également en cours et conseille les petites et moyennes entreprises sur la production et la transformation durables du poisson. Ce projet crée des emplois et des opportunités génératrices de revenus dans la chaîne de valeur. Des méthodes de production innovantes permettent de réduire les coûts et les pertes après capture.

En outre, le Programme Alimentaire Mondial (PAM) est également actif dans la chaîne de valeur de la pêche à Madagascar :

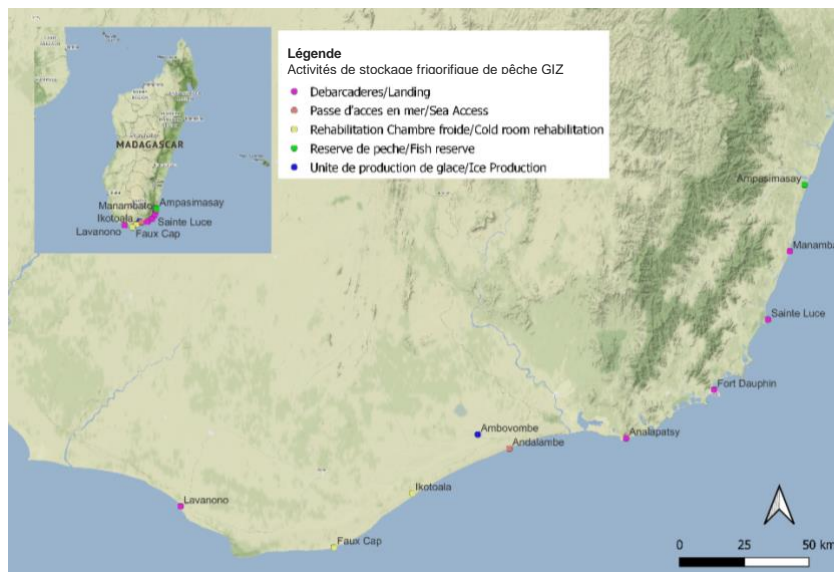
- Projet pilote de chambre froide à Ambovombe - les pêcheurs paient pour les services de chambre froide fournis par des conteneurs de 20 piSDD remis à neuf, qui devraient être opérationnels en septembre 2023.
- Chambre froide de Talakiba pour les produits de la pêche, alimentée par un mini-réseau.
- Africagreen Tec a obtenu un prix pour l'installation de chambres froides à charge de phase (PCM) dans le Sud de Madagascar

D'autres initiatives sont prévues :

- Aquatic Service, une ONG, a installé des chambres froides et des tunnels de congélation pour le stockage des poissons.
- Le PNUD a installé une chambre froide pour les produits de la mer dans le quartier de Cavanono à Beloha.
- En novembre 2023, la FAO installera un centre de conditionnement de poissons et une machine à blocs de glace dans le sud de Madagascar.
- SWiofish2³⁸, le projet de gouvernance des pêches et de croissance partagée dans le sud-ouest de l'océan Indien, est également actif à Madagascar.

³⁷ Dérivé des données reçues sur la planification des activités de la GIZ 2021

³⁸ <https://www.swiofish2.mg/swiofish-2/>

Figure 38. Activités d'entreposage frigorifique dans le secteur de la pêche soutenues par la GIZ (GIZ, 2023)

Produits laitiers

La production laitière est importante pour la valeur nutritionnelle et la valeur potentielle pour la consommation domestique. Madagascar produit près de 100 millions de litres de lait par an : 67 millions de litres proviennent de vaches laitières de races étrangères et 33 millions de vaches de races locales³⁹. La filière laitière regroupe, en dehors de la transformation agro-industrielle, près de 80 000 opérateurs dont 90% sont des producteurs. La production n'est généralement pas autoconsommée (moins de 4% des quantités produites sont autoconsommées) et est principalement destinée à la commercialisation : 65% de la production est vendue aux collecteurs et sous-collecteurs, 18% aux fromageries et yaourtières, 12% aux épiceries et hôtels, et environ 5% en vente directe aux consommateurs⁴⁰. A Madagascar, la majorité de la production laitière est réalisée dans une région des Hautes Terres appelée " le triangle laitier " et située entre les villes de Manjakandriana, à l'est, Tsiroanomandidy, à l'ouest, et Ambalavao, au sud - voir Figure 39, tandis que le Tableau 22 présente une comparaison de la production laitière dans les différentes régions.

³⁹ Présentation de la Coopérative FI et de la Mutuelle d'épargne et de crédit : 2015

⁴⁰ Bélières & Lançon, 2020. Etude diagnostic relative au potentiel de croissance de la chaîne de valeur lait et de ses produits dérivés (Hautes Terres-Madagascar). CIRAD. <https://agritrop.cirad.fr/595207/>

Figure 39. Zones de production laitière à Madagascar (2023).

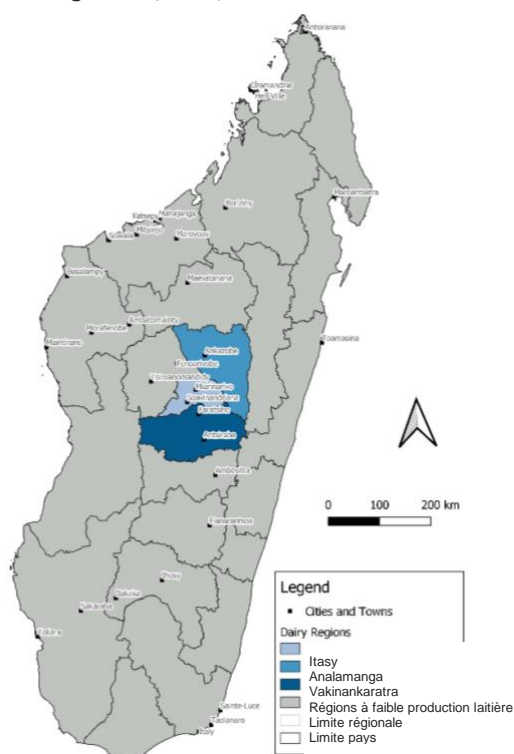


Tableau 22. Production laitière par zone en Litres/an à Madagascar (DRAEP, 2018)

Zones de production laitière (districts)	Pourcentage de la production laitière
Antsirabe I	10
Antsirabe II	35
Betafo	35
Faratsiho	10
Autres domaines	10

La plupart des entreprises et organisations laitières malgaches, comme cela a été observé lors de la mission sur le terrain, utilisent des citernes pour collecter le lait au niveau de la ferme et réduire sa température. La capacité des citernes varie de 200 litres à 800 litres en fonction de la taille ou de la capacité de production des entreprises. Parfois, les citernes sont situées loin des maisons ou des sites des agriculteurs. Ensuite, le lait collecté est souvent transformé en fromage ou en yaourt. Les petites et moyennes entreprises de transformation du lait (telles que ROVA, ECOFARM, YAJA, MISOA) ont des difficultés à stocker leurs produits dans des chambres froides modernes avec un système de contrôle de la température en raison du coût élevé de ce type d'équipement. Les cinq petites et moyennes entreprises visitées lors de la mission sur le terrain utilisent des chambres froides usagées ou de simples caves installées dans le sous-sol de leurs infrastructures à des fins de stockage, tout en utilisant également de simples réfrigérateurs commerciaux pour stocker les produits laitiers.

Pour les petites et moyennes industries laitières, il existe un risque important de subir des pertes au niveau de la transformation. Celles-ci peuvent atteindre 80 % au niveau de l'agriculteur et 30 à 40 % au stade de la transformation, selon les perceptions des parties prenantes, principalement en raison de perturbations prolongées liées au stockage.

Résumé de la méthodologie

Collecte de données et entretiens avec les parties prenantes

Une mission de terrain à Madagascar a eu lieu du 29 mai 2023 au 10 juin 2023 dans le but de collecter des données primaires et secondaires sur la chaîne du froid agricole pour les quatre chaînes de valeur sélectionnées. Au total, 34 réunions et visites ont été organisées, notamment avec les Ministères concernés, les entreprises, les associations d'agriculteurs et les organisations internationales. La mission comprenait des réunions à Antananarivo et des déplacements dans les régions où les produits évalués sont cultivés et récoltés, notamment dans le Vakinankaratra, l'Itasy et l'Amoron'i Mania. La mission sur le terrain a validé les hypothèses selon lesquelles les infrastructures (électriques et routières) constituaient un obstacle majeur au développement de la chaîne du froid. Un résumé des principales observations de la mission est présenté ci-dessous.

Résultats de l'étude sur le terrain

Selon le Programme alimentaire mondial (PAM), il existe un besoin clair et urgent de développer une infrastructure de chaîne du froid dans le secteur agricole, en particulier pour la pêche, la viande bovine, les produits laitiers et les fruits et légumes à Madagascar. La stratégie à moyen terme consiste à exploiter l'énergie solaire pour alimenter les entrepôts frigorifiques, tandis que le plan à long terme prévoit l'utilisation de l'énergie hydroélectrique pour une efficacité et une efficacité accrue.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) prend des mesures concrètes pour résoudre ce problème en prévoyant d'installer un centre de conditionnement du poisson et une machine à glace en novembre. Cette initiative vise à aider les pêcheurs traditionnels à transporter leurs prises de la mer jusqu'à leur domicile ou leur lieu de collecte. Étant donné que ces pêcheurs vivent à une distance de 5 à 6 kilomètres de la côte, l'absence d'infrastructures de transport adéquates rend ce soutien crucial pour leurs moyens de subsistance.

De nombreux projets en cours et à venir sont consacrés à la promotion de la chaîne du froid à Madagascar, avec des organisations telles que la FAO, le PNUD et l'ONG Aquatic Service activement impliquées. Notamment, le président de l'ONG Aquatic Service dispose déjà de chambres froides et de tunnels de congélation sur le marché aux poissons. Le CRS (Catholic Relief Services) et le FIDA contribuent également à ces initiatives de chaîne du froid, la plupart des projets étant concentrés dans les régions d'Ambovombe, de Tiluar, de Beloha et de Majunga.

Pour les légumes et les fruits frais, généralement cultivés par de petits producteurs, de petits réfrigérateurs sont couramment utilisés. Certains de ces réfrigérateurs fonctionnent à l'énergie solaire, tandis que d'autres dépendent de la JIRAMA ou de sources d'électricité générées par des générateurs. Il est intéressant de noter que la conservation du litchi, un produit important à Tamatave, implique l'utilisation de soufre.

Le Ministère de la pêche de Madagascar supervise plusieurs acteurs clés de l'industrie des produits de la mer dans le pays. Deux organisations notables, le CDPHM (Centre de Développement des Produits Halieutiques de Mahajanga) et la Société des Pêches Capture Accessoires, collaborent

étroitement avec les petits pêcheurs pour collecter et transporter les produits de la mer vers leurs centres de transformation et de commercialisation. Ces deux sociétés contribuent collectivement à la production annuelle d'environ 5 000 à 10 000 tonnes de produits de la mer.

Le projet SWIOFISH2 joue un rôle essentiel dans le secteur de la pêche à Madagascar. Il vise à améliorer l'infrastructure de la chaîne du froid au niveau du poisson, en établissant des entrepôts frigorifiques dans huit régions du pays. Au cours de la première phase de mise en œuvre, trois régions - Melaky, Diana et Analanjirofo - ont été touchées. Par la suite, le projet s'est étendu à cinq autres régions au cours de sa deuxième phase : Menabe, Atsimo Andrefoama, Atsimo Antsimana, Anjoay et Osoemy. Cette initiative ambitieuse soutient non seulement la préservation de la qualité des produits de la mer, mais contribue également à la croissance globale et à la durabilité de l'industrie florissante de la pêche à Madagascar.

À Tamatave, l'entreprise Refrigépêche Est pratique la pêche industrielle, spécialisée dans les poissons pélagiques tels que le thon et d'autres espèces similaires, avec une production annuelle allant de 128 à 340 tonnes. Il est impressionnant de constater que 90 % de la production est destinée à l'exportation vers les marchés européens. Cependant, les opérations de Refrigépêche Est connaissent actuellement un revers, car elles ont été forcées de suspendre leurs activités en raison d'une pénurie de carburant, une question supervisée par le Ministère de la Pêche.

À Morondava, la société SOPEMO a une présence notable, forte de trois décennies d'expérience dans la production semi-industrielle de fruits de mer. Elle génère un volume de production annuel allant de 134 à 340 tonnes de poissons de fond. La totalité de la production de SOPEMO est destinée à l'exportation, les marchés européens et chinois étant les principales destinations de ses produits de la mer de haute qualité.

Cependant, des difficultés persistent, en particulier pour les grandes entreprises de pêche comme Nanda Seafood, qui estiment que l'installation de chambres froides solaires est d'un coût prohibitif en raison du manque d'aide financière et d'options de crédit abordables. Dans les cas où le crédit est disponible, les taux d'intérêt élevés, allant de 15 à 20 %, constituent des obstacles supplémentaires à l'investissement dans l'infrastructure de la chaîne du froid, soulignant la nécessité de mécanismes de financement plus accessibles pour soutenir la croissance de ce secteur vital à Madagascar.

Le personnel du Ministère de l'agriculture identifie plusieurs contraintes importantes qui entravent le développement d'une infrastructure de chaîne du froid pour les produits maraîchers. Il s'agit notamment du manque de professionnalisation au sein des chaînes de valeur, les producteurs ne parvenant souvent pas à respecter les contrats de livraison avec leurs acheteurs. Le coût élevé de l'équipement de la chaîne du froid, associé aux difficultés d'accès aux marchés, complique encore la situation. En outre, la demande des clients locaux, qui privilégient souvent la quantité au détriment de la qualité et des produits frais tels que les légumes et fruits au détriment des produits réfrigérés pose un problème notable. Par conséquent, les systèmes de chaîne du froid existants concernent principalement des produits certifiés destinés à des consommateurs aisés, ce qui souligne la nécessité de s'attaquer à ces contraintes pour garantir un accès plus équitable et des avantages plus larges au sein du secteur maraîcher.

Les associations de femmes exigent souvent des contributions financières de la part de leurs membres, qui s'élèvent généralement à 500 Ariary par jour pour les frais d'entretien du matériel et à 2 500 Ariary par semaine pour le fonds social, qui couvre les dépenses liées à la maladie, au mariage et aux funérailles. Le soutien d'organisations telles que la FAO et l'UNICEF a joué un rôle déterminant dans l'autonomisation de ces femmes, en leur proposant des formations dans divers domaines tels que les techniques de production du manioc et des produits alimentaires, les méthodes de transformation des fruits, y compris les fruits confits et les pâtes de fruits, et la transformation des patates douces et des pommes de terre en farine, grâce à l'aide de la FAO. En outre, l'UNICEF a dispensé des formations sur la culture d'entreprise, l'épargne, la gestion du crédit et l'éducation nutritionnelle, accompagnées de démonstrations culinaires.

Malgré leur résilience et leur détermination, les organisations de femmes à Madagascar sont confrontées à des défis importants. L'accès à la terre reste un problème persistant, les femmes rencontrant des obstacles à l'obtention de terres par rapport aux hommes. Les possibilités d'éducation et de formation commerciale pour les femmes sont limitées, et il y a un manque notable de représentation féminine dans les services de vulgarisation. L'accès au financement est également un obstacle considérable, car de nombreuses femmes manquent de capitaux et ont souvent besoin de l'approbation de leur mari pour demander des prêts. Les lois inéquitables sur l'héritage placent les femmes au septième rang pour les biens de leur mari, après les enfants, les parents, les frères et sœurs et d'autres membres de la famille, ce qui aggrave encore les problèmes de propriété foncière pour les femmes à Madagascar. Par conséquent, il est urgent de prendre des mesures pour relever ces défis et donner aux femmes la possibilité d'améliorer leurs moyens de subsistance et la durabilité économique pour elles-mêmes et leurs familles.

Les autres observations de la mission sur le terrain sont les suivantes :

- Le manque d'électrification est un problème critique et urgent. Le réseau de la JIRAMA ne couvre pas toutes les grandes zones du pays, en particulier les zones rurales. Le manque d'électricité, les coupures répétées et la mauvaise qualité du courant empêchent les agriculteurs et les petites industries de produire de grandes quantités de produits et exacerbent les problèmes de stockage. A titre anecdotique, de grandes entreprises telles que le supermarché Super U a rapporté en juin 2023 que 200 000 € de produits frais ont été gâtés et ont dû être jetés en raison d'une panne d'électricité prolongée.
- La mauvaise qualité des routes, comme indiqué dans la section sur l'accessibilité à Madagascar, constitue un obstacle majeur au transport sûr et efficace des produits frais périssables des zones rurales vers les zones urbaines. Certains supermarchés comme Super U utilisent des avions pour transporter les produits périssables de Tamatave à Antananarivo, ce qui augmente le coût des produits.
- Sur un total de 22 femmes interrogées lors de la mission sur le terrain, seules deux ont reçu une éducation formelle et possèdent leur propre entreprise de transformation avec plus de 5 ans d'expérience au moins. L'une d'entre elles possède un système de chaîne du froid pour les produits de la mer exportés vers l'Europe (Manda Sea Food). Six sont des maraîchères des régions rurales d'Amoron'i Mania et n'ont pas reçu d'éducation, tandis que toutes les autres travaillent pour le gouvernement.
- Des organisations de productrices agricoles à Amoron'i Mania, bien que non formalisées, ont été créées il y a deux ans dans le cadre d'un projet de la FAO. Elles ont déclaré avoir

reçu des intrants tels que des semences de haute qualité, des conseils techniques et des formations à la transformation des fruits et légumes.

- Lors des entretiens avec le personnel du MINAE, les producteurs et commerçantes des marchés, il a été noté que les pertes post-récoltes sur les chaînes de valeur des tomates et des pommes de terre sont plus élevées (estimées à 60%) au niveau des agriculteurs qu'au niveau des grossistes (10%) ou des détaillants (2%). Ces taux de pertes post-récolte au niveau de l'exploitation sont dus aux difficultés rencontrées par les producteurs (en particulier dans les régions isolées) pour transporter les produits vers les marchés ou les zones urbaines. En outre, les négociants s'approvisionnent en pommes de terre et en tomates en fonction de la demande, de la saison et des jours de marché.
- Il a été constaté un besoin important d'équipements ou de matériaux de chaîne du froid de bonne qualité (la plupart des équipements utilisés proviennent de Chine et ne sont pas de bonne qualité) avec un système de contrôle de la température. Seules les grandes entreprises comme LECOFRUIT, SOCOLAIT, les supermarchés et certains hôtels haut de gamme utilisent des chambres froides modernes pour la conservation des aliments, en raison du coût élevé de ces matériaux qui ne sont pas adaptés au budget des entreprises et des organisations de producteurs. Par ailleurs, LECOFRUIT transporte les fruits et légumes des exploitations agricoles dans des camions à température ambiante.
- Les petites et moyennes industries et les organisations de producteurs ont indiqué qu'elles rencontraient des problèmes pour vendre leurs produits en raison du manque de clients et d'informations sur le marché. Dans l'Itasy, plus de 60 % des tomates produites (source : entretien avec le personnel du Ministère de l'industrie dans l'Itasy, 9/06/2023) sont perdues en raison de l'absence de traitement post-récolte approprié, notamment l'absence de chaîne du froid, la mauvaise qualité des routes pour le transport des produits vers les sites urbains, et l'absence ou les difficultés d'accès à l'équipement de conservation et de transformation.

Parmi d'autres, certaines institutions gouvernementales et initiatives soutenues par des donateurs⁴¹ sont en cours pour soutenir les chaînes de valeur agricoles :

- PTASO - Projet de développement d'une zone de transformation agro-industrielle dans la région du sud-ouest de Madagascar : promotion des Chaînes de Valeur Agricoles (CVA) telles que le riz, les pois du Cap, le maïs, les produits agricoles, la pêche et les petits ruminants grâce au développement de l'infrastructure et à la mise en œuvre de diverses mesures incitatives pour le secteur privé en vue de la transformation industrielle et de la commercialisation.
- CABIZ - Centres d'Appui à l'Agro-Business ou Guichet Agricole : Fournir des services aux agriculteurs. Le renforcement de la formation sur l'agriculture dans les communautés rurales est en cours dans quatre régions (Atsinanana, Analamanga, Amoron'i Mania et Menabe).

⁴¹ Feuille de route nationale pour soutenir la transformation des systèmes alimentaires vers la réalisation des Objectifs de Développement Durable (ODD) de l'agenda 2030. Avril 2022

- DÉFIS (2018-2028) - Développement de secteurs inclusifs : développement des infrastructures post-récolte et accès au marché pour réduire les pertes post-récolte et améliorer l'accès au marché, la compétitivité et les revenus des producteurs.
- ODOP - Concept "One District One Product" : L'objectif de ce programme est de promouvoir les produits des régions de Madagascar.
- ODOF – « One District One Factory » (un district, une usine) : Le projet est une initiative visant à transformer l'économie malgache, qui dépend de l'importation et de l'exportation de matières premières, en une économie axée sur la création de valeur ajoutée et l'exportation de produits transformés.
- FDA - Le Fonds de Développement Agricole : Conseil, information et formation dans les domaines technique, juridique, organisationnel, normatif ainsi que le financement d'équipements de transformation.
- Recensement agricole (potentiellement achevé en 2025)

Archétypes d'infrastructures de stockage après récolte

La FAO a indiqué en 2011 qu'en Afrique subsaharienne, les pertes post-récolte sur les différentes chaînes de valeur agroalimentaires sont estimées à environ 37 %, soit 120-170 kg/an de nourriture par habitant qui est perdue ou gaspillée⁴². En 2020, la FAO a indiqué que jusqu'à 40 à 50 % des produits périssaient avant d'atteindre le client final, en grande partie à cause du manque de solutions viables en matière de chaîne du froid. Des quantités importantes de produits pourrissent dans les zones de production à Madagascar, en raison de l'absence de canaux de distribution et d'un marketing efficace. Le renforcement de la mise en place de structures de conservation et de transformation permettrait de réduire ces pertes mais aussi d'apporter une valeur ajoutée à la production locale. Les infrastructures de stockage post-récolte jouent un rôle crucial dans la conservation des produits agricoles et la minimisation des pertes post-récolte. Ces infrastructures peuvent être classées en différents niveaux en fonction de leur échelle et des exigences en matière d'infrastructure : 1) le stockage à la ferme, 2) le stockage communautaire régional, 3) le stockage centralisé urbain et 4) le stockage au détail. Le tableau ci-dessous décrit les différents niveaux d'infrastructures de stockage post-récolte, de la ferme à la vente au détail, ainsi que les recommandations en matière d'équipement, l'agencement de base, l'énergie et les autres besoins en matière d'infrastructure.

⁴² FAO. 2011a. Global food losses and food waste - extent, causes and prevention, par J.Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson, R. van Otterdijk et A. Meybeck. Rome. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>

Tableau 23. Niveaux courants des infrastructures de stockage post-récolte

	Stockage à la ferme	Stockage communautaire régional	Stockage centralisé urbain	Stockage de détail
Définition :	Les infrastructures de stockage à la ferme sont situées directement sur le site de production agricole et sont généralement utilisées pour le stockage à court terme. Elles sont essentielles pour préserver les récoltes avant leur transport vers des infrastructures de stockage plus importantes.	Les infrastructures régionales de stockage communautaire desservent une population plus large dans une zone géographique spécifique, permettant aux agriculteurs de stocker leurs produits collectivement en attendant une période où les prix des produits augmentent sur le marché. Ces infrastructures sont généralement gérées par des coopératives ou des groupes d'agriculteurs.	Les infrastructures urbaines de stockage centralisé sont situées dans les grandes villes et servent de plaques tournantes pour le stockage des produits agricoles. Elles traitent un volume important de produits provenant de plusieurs exploitations agricoles et les fournissent à divers détaillants ou transformateurs.	Les infrastructures de stockage de détail sont généralement situées dans les zones urbaines et s'adressent aux étapes finales de la chaîne d'approvisionnement, notamment les supermarchés, les épiceries ou les marchés de produits frais. Ces infrastructures s'attachent à maintenir la qualité des produits et à garantir une présentation attrayante pour les clients.
Types courants de stockage et pratiques de stockage en vrac :	Des structures de stockage simples, telles que des bacs ou des silos fabriqués à partir de matériaux disponibles localement, comme le bambou, le bois ou la boue, peuvent être utilisées pour stocker les céréales, les tubercules ou les fruits.	Les entrepôts sont des infrastructures de stockage plus vastes, dotées d'une infrastructure appropriée pour le stockage en vrac de céréales, de tubercules ou d'autres cultures non périssables. Ils peuvent comporter des sections séparées pour différents agriculteurs ou produits.	Entrepôts frigorifiques sophistiqués équipés de plusieurs unités de réfrigération, de mécanismes de contrôle de la température et de sections de tri et de classement.	Les chambres froides de type "walk-in" sont des infrastructures d'entreposage frigorifique à plus petite échelle situées dans les magasins de détail et destinées à maintenir la fraîcheur des produits périssables.
Pratiques de stockage au froid :	Entreposage frigorifique - Pour les cultures périssables, telles que les fruits et les légumes, des unités de réfrigération à petite échelle, telles que des chambres froides ou des entrepôts frigorifiques, peuvent être utilisées pour maintenir des	Chambres froides - Les entrepôts frigorifiques communautaires équipés d'unités de réfrigération permettent de conserver les cultures périssables pendant de plus longues périodes, ce qui permet de préserver leur fraîcheur et de	Des entrepôts frigorifiques sophistiqués sont nécessaires, comme décrit ci-dessus.	Étagères et comptoirs d'exposition - Conçus pour mettre en valeur les fruits et légumes frais et d'autres produits agricoles, ces espaces de stockage peuvent comprendre des sections réfrigérées pour des articles spécifiques.

	températures basses et préserver la qualité.	réduire leur détérioration.		
Figure de base de la chaîne du froid :	L'agencement peut varier en fonction de l'espace disponible et du type de cultures stockées. Il doit assurer une bonne ventilation, une protection contre les parasites et un accès facile pour le chargement et le déchargement.	Les infrastructures de stockage communautaires doivent disposer d'un espace suffisant pour stocker de grandes quantités de produits et selon la période de disponibilité des produits. L'aménagement doit prévoir une ventilation appropriée, des mesures de lutte contre les parasites, des quais de chargement et des zones de triage.	Les infrastructures de stockage centralisé doivent être bien conçues pour pouvoir traiter efficacement des volumes importants de produits. Il faut notamment prévoir des zones de stockage distinctes pour les différentes cultures, des quais de chargement et de déchargement, des sections de contrôle de la qualité et des bureaux administratifs.	Pour attirer les clients, les entrepôts de vente au détail doivent être organisés et présenter des étalages visuellement attrayants. L'aménagement doit comprendre des rayonnages, des unités de réfrigération et un éclairage approprié pour améliorer la visibilité des produits.
Recommandations en matière d'équipement :	L'équipement de base peut comprendre des conteneurs de stockage (bacs ou silos), des dispositifs de contrôle de la température et de l'humidité, et des systèmes de refroidissement simples (pour les entrepôts frigorifiques).	Rayonnages d'entrepôt ou paletiers, équipements de manutention mécanique (chariots élévateurs à fourche ou à main), systèmes de contrôle de la température et de l'humidité et unités de réfrigération pour l'entreposage frigorifique.	Systèmes avancés de contrôle de la température et de l'humidité, équipements de manutention mécanique (convoyeurs, ascenseurs), systèmes informatisés de gestion des stocks, machines de classement et de tri, et unités de réfrigération spécialisées.	Vitrines réfrigérées, étagères de stockage, dispositifs de contrôle de la température et appareils d'éclairage.
Besoins en énergie :	Les besoins en énergie pour le stockage à la ferme peuvent être satisfaits par diverses sources, notamment l'électricité, l'énergie solaire ou les systèmes à base de biomasse, en fonction de la disponibilité et de l'accessibilité financière des ressources sur le site en question.	Les infrastructures de stockage communautaire ont généralement besoin d'une alimentation électrique fiable ou de sources d'énergie alternatives, comme l'énergie solaire, pour faire fonctionner les systèmes de réfrigération et assurer l'éclairage.	Les infrastructures de stockage centralisées ont besoin d'une alimentation électrique fiable, souvent soutenue par des groupes électrogènes, pour assurer le fonctionnement de divers systèmes mécaniques et de réfrigération.	Les entrepôts de vente au détail dépendent principalement de l'électricité pour leurs besoins de réfrigération et d'éclairage.
Besoins des maillons de la chaîne du froid :	L'accès à des moyens de transport depuis le stockage à la ferme jusqu'aux marchés ou à une infrastructure	Accès à des moyens de stockage des produits jusqu'à une période propice de vente, et à des	Accès à des moyens de transport et à des transports à température contrôlée pour collecter les	Accès aux moyens de transport et transport à température contrôlée pour la collecte dans les

centrale de stockage sans détérioration, qu'ils appartiennent à l'agriculteur ou qu'ils soient envoyés par un distributeur ou une infrastructure de stockage.	transports à température contrôlée pour collecter les produits des agriculteurs qui ne peuvent pas les livrer et les transporter soit vers les marchés de la région, soit vers les entreprises de transformation alimentaire, soit vers le stockage centralisé en milieu urbain, comme décrit ci-dessous.	produits auprès des agriculteurs qui ne peuvent pas les livrer et les transporter vers les marchés ou les entreprises de transformation alimentaire.	infrastructures de stockage central sans augmentation de la température qui augmenterait la charge sur l'équipement de réfrigération du détaillant.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Équipement de la chaîne du froid

Cette section donne un aperçu indicatif des types de technologies de refroidissement utilisées pour les chaînes de valeur et de la manière dont elles diffèrent selon le niveau (de l'exploitation à la vente au détail). Compte tenu de l'absence générale de solutions de refroidissement hors réseau à Madagascar, les équipements de la chaîne du froid présentés ci-dessous illustrent ce qui est disponible dans la région et qui pourrait être introduit à Madagascar.

Matériel de réfrigération pour le séchage et le stockage des végétaux

Les options d'équipement pour la réfrigération sont importantes, tout comme les différences de prix. Pour la réfrigération, la norme professionnelle est l'équipement de réfrigération commercial de type chambre froide, mais son coût et sa qualité varient en fonction de la source. L'équipement de réfrigération destiné au séchage et au stockage de la végétation comporte deux éléments de base : 1) la boîte isolée et 2) l'équipement de réfrigération. En règle générale, les caissons isolés sont fabriqués avec du polystyrène revêtu d'acier ou de la mousse de polyuréthane, et certains se présentent sous la forme de panneaux qui peuvent être découpés et assemblés à l'aide d'outils de menuiserie. Les caissons isolés de meilleure qualité sont généralement constitués de mousse de polyuréthane entre les revêtements extérieurs en acier, dans des largeurs et des hauteurs standard qui s'emboîtent grâce à des mécanismes d'accrochage et de goupillage qui permettent d'assembler très rapidement les panneaux à l'aide d'un seul outil à clé. Cela permet également de démonter et de changer l'emplacement des panneaux plusieurs fois au cours de la durée de vie du système. L'acier doit être revêtu pour permettre un assainissement et un nettoyage adéquats afin de répondre aux normes de sécurité alimentaire, tout en empêchant la corrosion de l'acier. Les portes sont conçues pour s'adapter à ces conteneurs remplis du même matériau isolant et sont généralement dotées d'un mécanisme de verrouillage qui peut être déverrouillé de l'intérieur de la boîte par toute personne se trouvant à l'intérieur lorsque la porte est fermée. Le déverrouillage est conçu pour fonctionner même si le verrou extérieur a été cadénassé. Les schémas ci-dessous illustrent des exemples de boîtes isolées en cours d'installation sur le site.

Figure 40. Assemblage du panneau de la boîte isolée



Figure 41. Boîte isolée surmontée d'une petite installation solaire commerciale autonome.



L'équipement de réfrigération est l'autre composante principale de l'Équipement de la Chaîne du Froid pour le séchage et le stockage de la végétation. Bien que les panneaux de mousse décrits ci-dessus pour la boîte isolante soient produits dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne et que cette capacité se développe, l'équipement de condensation et d'évaporation de haute qualité est généralement importé. La tuyauterie et la charge de l'équipement sont ensuite réalisées sur le site d'assemblage. En général, l'efficacité des équipements de haute qualité est supérieure à celle des équipements bon marché, produisant plus de watts de refroidissement par watt d'énergie électrique consommée. En outre, les équipements modernes sont de plus en plus conçus pour fonctionner avec des réfrigérants plus respectueux de l'environnement.

Des équipements de condensation et d'évaporation alternatifs ou improvisés sont souvent utilisés pour limiter les dépenses d'investissement dans des équipements importés de qualité commerciale plus coûteux. Les boîtes peuvent être construites avec une ossature en bois et isolées avec de la paille, du papier bulle jeté ou même des bouteilles de boisson en plastique, bien que cela ne produise pas les meilleures qualités d'isolation. Le refroidissement peut être improvisé en utilisant des climatiseurs de fenêtre dont les thermostats sont contournés par un thermostat externe. Contrairement aux réfrigérateurs commerciaux, ces installations improvisées répondent rarement aux normes d'hygiène modernes et les climatiseurs retirent généralement plus d'eau de l'air qu'il n'est souhaitable pour de nombreuses cultures légumières, mais cela signifie généralement qu'à l'exception des oignons ou d'autres récoltes qui nécessitent de l'air sec, ils ne peuvent pas être utilisés pour le stockage à long terme comme le font les systèmes de réfrigération commerciaux. Il est possible de renvoyer une partie du condensat collecté par un climatiseur de fenêtre dans une pièce dans un bac avec un matériau mèche pour en renvoyer une grande partie dans l'air à l'intérieur du réfrigérateur afin de réduire l'effet, mais les boîtes improvisées ne sont le plus souvent pas assez étanches à l'humidité pour permettre le niveau de contrôle d'un système de refroidissement commercial chargé spécifiquement de maintenir une fourchette d'humidité. Les boîtes improvisées n'ont pas non plus souvent des portes dotées de joints d'étanchéité adéquats. Elles ne sont généralement pas équipées de rideaux à lanières de haute qualité derrière la porte, qui peuvent réduire de 80 % l'air froid qui s'échappe lors de l'ouverture de la porte.

Étude de cas : Refroidissement en tant que service (Rtqs)

L'un des avantages de l'approche des unités partagées est qu'elle permet d'utiliser des modèles financiers de type "cooling-as-a-service" (CaaS). Le CaaS est un modèle commercial innovant qui permet de contourner les obstacles financiers au développement du stockage frigorifique. Le CaaS repose sur l'idée que les agriculteurs de subsistance et les vendeurs du marché libre qui n'ont pas les moyens d'acheter du matériel de réfrigération pourront se permettre de louer un espace réfrigéré au jour le jour en payant à l'utilisation lorsqu'ils ajoutent à la durée de vie des produits qu'ils ont en main à ce moment-là. En d'autres termes, la réfrigération devient un coût du cycle de vie du produit plutôt qu'un investissement à long terme avec des frais généraux permanents pendant les périodes personnellement improductives. Le mécanisme de base est le suivant : les investisseurs mettent en place des installations frigorifiques avec des bacs internes numérotés qui sont loués à la journée par le biais d'une application PayGo sur téléphone portable. Ce système est généralement mis en place à proximité des marchés en plein air, mais une version destinée aux très petites exploitations agricoles est également envisageable. Il existe actuellement une application CaaS développée par l'Alliance BASE SET, appelée Cold Chain Virtual Assistant (assistant virtuel de la chaîne du froid)⁴³, qui permet à un locataire de suivre l'âge et l'état de ses produits stockés afin d'établir des priorités en matière de manutention et de vente. Il gère également les transactions PayGo et recueille des données pour la banque de données centrale sur l'utilisation et les quantités de produits. Un autre objectif est de créer de petites entreprises qui emploient des préposés et qui paient les frais de prêt ou de location de l'installation frigorifique lorsque la propriété pure et simple de l'équipement frigorifique n'est pas économiquement viable pour un agriculteur ou un producteur de poisson.

Équipement de refroidissement pour le poisson

Le poisson se détériore très rapidement. Sur un navire de pêche qui navigue plusieurs heures par jour, les premières prises commencent déjà à se détériorer lorsqu'il revient à terre. C'est pourquoi l'approche la plus raisonnable pour conserver la fraîcheur du poisson est de le réfrigérer sur le navire dès qu'il est capturé. Les navires de pêche commerciale sont souvent équipés de grands réfrigérateurs de cale. Les très gros navires, en particulier ceux qui naviguent loin de leur port d'attache, disposent souvent d'installations complètes de traitement du poisson à bord et de congélateurs de soute afin de disposer de produits prêts à être commercialisés lorsqu'ils reviennent à terre.

Malheureusement, ces solutions ne sont pas pratiques pour les petits bateaux de pêche, qui sont aussi ceux qui subissent les pertes les plus importantes. La solution la plus pratique consiste à prévoir une boîte isolée remplie de glace fabriquée à terre. On peut utiliser des blocs de glace, mais la forme la plus simple est la glace rasée, qui peut être chargée dans la boîte à l'aide d'une pelle sans avoir à être brisée au préalable, et utilisée pour garnir les bacs à poisson ou les plateaux dans lesquels le poisson frais est transféré pour être conservé au réfrigérateur ou pour être transporté directement vers un marché local. Pour les raisons susmentionnées, la fabrication de glace et le stockage réfrigéré sont tous deux nécessaires pour que le poisson frais ait une durée de conservation maximale. Lorsque le poisson arrive à quai déjà réfrigéré sur de la glace, il est suffisamment froid pour que l'équipement de réfrigération ne soit pas sollicité pour le refroidir, et il

⁴³ <https://set-alliance.org/>

peut donc être fabriqué pour une demande d'énergie minimale. Les congélateurs font exception à cette règle lorsqu'ils sont utilisés pour le stockage à long terme.

Le matériel de fabrication de glace est très varié. La glace en bloc peut être fabriquée dans de simples congélateurs domestiques de type coffre, mais le rythme de production est lent et le produit fini est plus difficile à utiliser que la glace râpée. Les équipements de fabrication de glace rasée sont fabriqués à différentes échelles. Les petites unités, qui produisent jusqu'à une demi tonne de glace par jour, sont généralement équipées d'une machine à glace, d'une machine à raser et d'un bac de stockage combinés dans une seule unité. Les unités plus grandes ont l'équipement de congélation et de rasage séparé de la boîte de stockage. Cela permet à l'utilisateur de construire une boîte isolée séparée, semblable à une boîte de réfrigérateur, et de monter l'équipement de congélation et de rasage sur le toit de la boîte et de laisser la glace tomber par des goulottes dans la boîte. Les gens utilisent la glace en ouvrant la porte et en la pelletant dans des seaux, des brouettes ou tout autre moyen nécessaire pour l'acheminer jusqu'à leur coffre isolé. Des exemples d'équipements de fabrication de glace sont présentés dans les images ci-dessous.

Figure 42. Exemple d'une machine à glaçons de 300 kg



Figure 43. Exemple d'une machine à glaçons montée sur le toit pour une salle de glaçons



Figure 44. Exemple d'une salle de glace vue de l'entrée.



L'inconvénient de la fabrication de glace est qu'il s'agit d'un processus qui consomme beaucoup d'énergie. Outre l'extraction de la chaleur de l'eau pour la congeler, des appareils de chauffage sont nécessaires pour décoller la glace congelée de ses moules, et un moteur électrique important doit fonctionner pour effectuer le rasage. En outre, la fabrication de glace nécessite une source d'eau de haute qualité et des exigences d'entretien telles que le détartrage périodique des dépôts minéraux de l'eau. Une machine à glace rasée commerciale consomme un peu plus de 5 kW pour produire une tonne de glace rasée par jour.

L'équipement de réfrigération nécessaire pour conserver le poisson frais est similaire à l'équipement de réfrigération des cultures déjà décrit, avec l'ajout qu'il doit être capable de fonctionner dans une plage de -1°C à 0°C . Une version congélateur est nécessaire si le poisson doit être congelé. Certains pays exigent que le poisson soit congelé à -40°C pour tuer les parasites avant d'autoriser son importation. Les équipements de congélation rapide sont également utilisés pour préserver la texture optimale de la chair du poisson et faire en sorte que, lorsqu'il est décongelé, il conserve la plupart des qualités d'un poisson frais. Des exemples d'équipements de

réfrigération nécessaires au stockage du poisson frais sont présentés dans les schémas ci-dessous.

Figure 45. Exemple de congélateur à air comprimé pour poissons



Figure 46. Exemple de poisson refroidi sur des grilles dans un congélateur



Figure 47. Exemple d'équipement de réfrigération d'un congélateur de grand volume



Matériel de récolte du lait frais

Le lait frais doit être refroidi le plus rapidement possible après la récolte afin de minimiser la croissance bactérienne. Dans l'idéal, il devrait être refroidi en une demi-heure, mais quatre heures pour le faire passer de la température de la récolte à 8°C est une vitesse de refroidissement minimale, qui est encore réduite à 4°C par la suite. Dans le cadre d'une opération commerciale typique de collecte de lait, des stations sont établies à proximité des agriculteurs qui apportent le lait dans des bidons et sont généralement payés sur place. Avant d'être accepté, le lait est normalement soumis à un test au bleu de méthylène pour vérifier qu'il n'est pas contaminé par des bactéries. S'il est accepté, il est ajouté à une grande cuve en acier inoxydable avec un revêtement intérieur d'une capacité de quelques milliers de litres, qui contient un mécanisme d'agitation et des tubes de réfrigération collés à l'extérieur, puis une cuve extérieure de sorte que l'espace d'air entre les deux cuves assure une certaine isolation. Le réservoir est également équipé de pompes qui permettent d'acheminer le lait réfrigéré vers un camion de collecte réfrigéré.

Outre ces dispositifs, il existe d'autres technologies et procédés. Par exemple, des systèmes de plus petite capacité qui fonctionnent en congelant un matériau à changement de phase (PCM) avec des systèmes de refroidissement à entraînement solaire direct pendant la journée, puis en utilisant ce "froid stocké" pour refroidir le lait très rapidement. Le plus petit système de ce type est le système de refroidissement solaire du lait⁴⁴ de Sundanzer, développé dans le cadre de l'initiative PV-Smart (voir le Figure ci-dessous). Ce système utilise un réfrigérateur à PCM de type coffre pour congeler le PCM et peut refroidir jusqu'à 40 litres de lait du soir après une journée de congélation du PCM. Ce système est conçu pour être installé directement dans une ferme.

⁴⁴ Voir https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00Z5R4.pdf pour plus d'informations

Figure 48. Refroidisseur de lait de la ferme Sundanzer (Source : USAID, 2018)



Des versions plus grandes, d'une capacité de 200 à 500 litres par jour, sont fabriquées par Promethean en Inde et par John Spears aux États-Unis. Des exemples de ces deux modèles sont présentés dans les schémas ci-dessous.

Figure 49. Exemple de système Promethean



Figure 50. Exemple d'un refroidisseur de point de collecte commercial



Approche analytique

Pour l'aperçu de la chaîne du froid, les hypothèses générales suivantes ont été retenues :

- Le refroidissement initial se fera dans les fermes, les ranchs et les pêcheries où l'agrégation initiale des cultures se fera à proximité de leur point de production.
- Des moyens de transport du froid depuis les sites de regroupement vers des sites plus importants ou vers des installations de transformation doivent être prévus et sont sujets à des perturbations saisonnières.
- Des sites plus vastes seront construits dans les centres communautaires pour recevoir la production qui n'est pas acheminée vers des installations de traitement commerciales. Ces sites seront distribués sur les marchés locaux et pourront fournir un service de refroidissement (CaaS) aux exploitants d'étals sur les marchés locaux afin de compenser les coûts.
- Les moyens de transport frigorifique seront également utilisés pour acheminer les stocks excédentaires vers des entrepôts urbains plus importants lorsque cela n'est pas possible directement.

Pour chaque chaîne de valeur, l'équipe chargée de la chaîne du froid agricole a procédé à une collecte de données et à une analyse en plusieurs étapes.

Tout d'abord, au cours d'une mission de terrain de deux semaines à Madagascar, diverses parties prenantes ont été interrogées tout au long de chaque chaîne de valeur. Ces parties prenantes comprenaient des agriculteurs/pêcheurs, des exportateurs, des importateurs, des transformateurs, des services agroalimentaires publics et privés, des Ministères (de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche), des ONG, des hôtels, des restaurants, des aéroports et des sociétés de services de manutention.

Deuxièmement, les systèmes et technologies de la chaîne du froid utilisés ont été cartographiés pour chaque chaîne de valeur dans les zones cibles, tels qu'ils existent. Ces systèmes ont ensuite été observés afin d'évaluer l'utilisation des technologies et de déterminer si elles répondent aux exigences en matière de stockage du froid pour garantir la qualité et la sécurité des aliments.

En interrogeant les principales parties prenantes, l'équipe du consortium a pu identifier les lacunes dans les exigences de la chaîne du froid qui contribuent aux pertes post-récolte. À partir de ces entretiens et de ces observations, une évaluation des exigences du système de la chaîne du froid a été entreprise, notamment en ce qui concerne le contrôle de la température, la sécurité alimentaire, les pratiques de qualité et la gestion des denrées alimentaires dans les chambres froides. L'équipe a évalué les coûts de la construction des chambres froides, des services de réfrigération, de l'électricité, des services douaniers et d'autres considérations budgétaires. En outre, une évaluation du nombre de conteneurs frigorifiques utilisés pour l'exportation/importation de denrées alimentaires via de multiples méthodes de transport a été entreprise pour déterminer l'adéquation de l'infrastructure d'entreposage frigorifique existante du pays pour atteindre les objectifs futurs.

L'analyse sur le terrain a mis en évidence les pertes post-récolte à chaque étape des chaînes de valeur (de la ferme au détail, à la transformation et à la distribution), y compris l'équipement existant, les déficiences de l'équipement, l'approvisionnement et la distribution de l'énergie et leurs déficiences. Cela a permis de déterminer les approvisionnements et les types d'énergie supplémentaires nécessaires pour alimenter les équipements requis pour maintenir les chaînes de valeur. Une projection des dépenses d'investissement (CAPEX) nécessaires à l'acquisition d'équipements et de sources d'énergie supplémentaires pour la chaîne du froid a été élaborée.

Méthodologie de prévision énergétique

Pour les cultures examinées, la production annuelle totale de la culture a été déterminée à partir de données publiées, ainsi que la période de récolte. Cela permet de savoir combien de tonnes sont récoltées et à quelle vitesse. Cela permet également de déterminer la température la plus défavorable attendue sur le terrain lors de la récolte. La culture ou le produit est ensuite caractérisé par sa chaleur spécifique simple et, dans le cas des produits horticoles frais, par leur chaleur respiratoire. Ces informations sont tirées du "[USDA Handbook](#)" #66 et de sources industrielles et sont utilisées pour déterminer la contribution du produit à la charge thermique du système de réfrigération, à la fois pendant le refroidissement et pendant la conservation du produit refroidi.

Ensuite, la charge thermique de la boîte réfrigérée est également déterminée. Les pratiques standard pour la conception des équipements de réfrigération alimentaire sont disponibles dans le manuel de l'ASHRAE (45) et dans certaines publications du Ministère de l'agriculture des États-Unis. Plusieurs bonnes pratiques de l'industrie de la réfrigération interviennent dans le processus. L'une d'entre elles est que, dans le cas des équipements de réfrigération de type "walk-in", la moitié de l'espace est occupée par le(s) produit(s), et l'autre moitié par les allées et l'espace de circulation de l'air. Ce principe a été utilisé pour déterminer le volume de la caisse nécessaire. Une autre bonne pratique de l'ASHRAE, citée dans le manuel n° 66 de l'USDA, est que la conception nécessite généralement 10 à 14 kW de refroidissement pour 1 000 m³ d'espace. Cette fourchette a été utilisée pour comparer les chiffres de charge calculés afin de confirmer l'harmonisation des résultats de la méthode plus détaillée.

Après cette étape, les informations ci-dessus ont été combinées pour déterminer la charge thermique totale. On a supposé que les charges devaient être refroidies dans les délais suggérés par les documents de l'USDA spécifiques à la récolte examinée⁴⁶. Les ouvertures de porte supposent un rideau à lanières et l'ouverture de la porte seulement deux fois par jour pour la mise en place et la récupération des récoltes. Ce nombre augmente considérablement dans les situations CaaS et les réfrigérateurs de marché et devient un facteur de charge majeur qui n'est pas présent pour le refroidissement et la conservation des récoltes.

Ensuite, la capacité de réfrigération est déterminée par le nombre de watts de capacité de refroidissement nécessaire pour répondre à la charge calculée et ajoute une marge de sécurité de 20 % au résultat. La consommation d'énergie est ensuite basée sur une échelle mobile des

⁴⁵ Voir - <https://www.ashrae.org>

⁴⁶ Les délais suggérés par l'USDA sont applicables sur la base de la stabilité potentielle du produit et sont applicables indépendamment de la géographie, c'est pourquoi ils ont été appliqués dans cette étude.

coefficients de performance globaux probables du système de refroidissement, qui sont d'autant plus faibles que l'unité de réfrigération est petite et varient de 1,5 pour les unités d'une capacité de 5 tonnes à 2,7 pour les grands entrepôts. Certains systèmes modernes peuvent faire mieux, mais il n'est pas possible d'investir dans ces technologies à l'heure actuelle.

Pour le poisson, la glace est utilisée pour obtenir un premier refroidissement à bord des navires de pêche. La fabrication de glace est plus énergivore que la réfrigération, car les machines à glaçons doivent non seulement congeler l'eau, ce qui nécessite un ΔT plus important dans le système de refroidissement, mais elles doivent également faire fonctionner des réchauffeurs pour libérer la glace des moules, puis des moteurs pour raser la glace en paillettes. La plupart des unités consomment environ 5 kW d'énergie électrique constante (24 heures sur 24, 7 jours sur 7) pour produire une tonne métrique de glace rasée par période de 24 heures. Une fois refroidi par la glace, le poisson est généralement placé sur des plateaux avec plus de glace, puis les plateaux sont placés dans un réfrigérateur réglé pour maintenir la température à -1°C . Le réfrigérateur est ainsi peu sollicité tant qu'il y a de la glace. Les bacs à glace/poisson doivent être conçus de manière à empêcher l'eau de fonte des bacs de tomber sur les bacs situés en dessous, afin d'éviter toute contamination bactérienne si un mauvais poisson se retrouve dans le mélange. L'hypothèse utilisée pour la fabrication de la glace est qu'il faut deux fois plus de glace que nécessaire pour refroidir le poisson, afin qu'il reste de la glace pour les bacs ou pour le transport glacé à partir des glaciers du bateau.

Pour les pommes de terre, pour maximiser la durée de leur conservation, il faut d'abord les faire durcir pendant plusieurs semaines à 15°C et 90 % d'humidité relative. Il s'agit d'une température de compromis, inférieure à la température de séchage la plus rapide, qui est d'environ 20°C et 90 % d'humidité relative. Mais le temps de séchage plus long associé à une température de 15°C est considéré comme intéressant, car il minimise le risque de pourriture pendant le séchage. Une fois durcies, les pommes de terre sont conservées à une humidité relative de 95-99 % pour éviter le rétrécissement. La température de stockage dépend de l'utilisation finale. Pour la consommation à l'état frais, on utilise une température de 7 à 10°C . Pour une durée de vie maximale (jusqu'à un an), la température peut être de 3°C . Pour les pommes de terre de semence, on utilise $4-5^{\circ}\text{C}$ car la germination augmente juste au-dessus de 4°C . En fin de compte, les pommes de terre ne nécessitent pas de réfrigération et, dans de nombreuses régions du monde, elles sont exclues des investissements dans la chaîne du froid. Néanmoins, afin de maximiser la durée de conservation et de minimiser la détérioration, une quantité considérable de réfrigération et de contrôle de l'humidité est nécessaire. Cependant, des améliorations considérables de l'efficacité énergétique sont possibles si la récolte de pommes de terre peut être segmentée en stockage à long terme et à court terme, afin d'économiser les coûts de réfrigération.

Pour les tomates, la température de conservation correcte varie en fonction de leur maturité/couleur. En général, plus la tomate est mûre, plus la température de stockage est basse. Les tomates stockées à des températures trop froides pour leur stade de maturation subiront des dommages dus au froid, une diminution de leur goût et de leur qualité, et risquent de ne jamais mûrir complètement. En revanche, les tomates stockées à des températures trop élevées par rapport à leur stade de maturation sont sujettes à la détérioration, à la pourriture et à des dommages prématurés. Les légumes verts mûrs peuvent être conservés à une température comprise entre 14°C et 16°C , tandis que les tomates roses peuvent être conservées à une température comprise entre 9°C et 10°C . Les tomates bien mûres peuvent être conservées à une

température comprise entre 9°C et 10°C. Les tomates bien mûres peuvent être conservées à des températures aussi basses que 4°F. Le taux d'humidité approprié pour le stockage et le refroidissement des tomates est d'environ 85 % à 95 %, un taux d'humidité inférieur risquant d'assécher ou de déshydrater les tomates et un taux d'humidité supérieur rendant les tomates plus susceptibles de pourrir rapidement. Certaines études suggèrent une fourchette encore plus étroite, de l'ordre de 85 à 90 %, alors que l'on craint que des taux d'humidité supérieurs à 90 % n'accélèrent la dégradation (source : <https://semcoice.com/methods-cooling-tomatoes-harvest/>).

La laiterie doit être refroidie de 37°C à 4°C le plus rapidement possible, idéalement dans les 30 minutes suivant la fin de la traite, afin de minimiser l'augmentation de la numération bactérienne totale. Il doit ensuite être conservé à 4°C (Source : <https://www.plevnik.eu/importanceof-milk-cooling/>).

La demande d'électricité par watt de refroidissement pour différentes tailles de réfrigération standard utilisées dans l'analyse est présentée dans le tableau ci-dessous. Voir l'annexe 3 pour plus de détails sur la charge de réfrigération et la méthodologie de dimensionnement.

Tableau 24. Hypothèses concernant la demande d'électricité par watt de refroidissement

Réfrigération standard (au-dessus du point de congélation)	Système net C.O.P.	Demande d'électricité par watt de refroidissement
10-30 m ³	1.5	0,667 W/W
30-100 m ³	2.4	0,417 W/W
100 m ³ et plus	3	0,333 W/W

Le transport frigorifique est dimensionné en fonction de la distance entre les installations qui accumulent et distribuent les denrées alimentaires. La part conservée par l'agriculteur pour son usage personnel ou apportée à un marché local plutôt que transportée vers des installations plus importantes est soustraite du total pour le transport. Le modèle de la chaîne du froid agricole a utilisé une approche paramétrique pour calculer les besoins et les coûts de la chaîne du froid à chaque étape de la chaîne de valeur pour chaque produit. Ces valeurs ont été utilisées pour analyser les besoins énergétiques totaux par scénario, comme indiqué ci-dessous.

Pour les besoins de l'analyse, les quantités totales de cultures annuelles, mesurées en tonnes par an, ont été estimées comme suit : 251 258 tonnes pour les pommes de terre, 40 864 tonnes pour les tomates, 124 538 tonnes pour le poisson et 103 090 tonnes pour les produits laitiers. Une partie de ces cultures est autoconsommée, à raison de 10 % pour les pommes de terre, 10 % pour les tomates, 10 % pour le poisson et 3,8 % pour les produits laitiers. Dans le cadre d'une analyse de la chaîne du froid, les quantités annuelles totales de cultures analysées pour les besoins de la chaîne du froid sont donc de 226 132 tonnes pour les pommes de terre, 36 777 tonnes pour les tomates, 112 084 tonnes pour le poisson et 99 121 tonnes pour les produits laitiers.

L'approche de l'analyse suppose ensuite l'agrégation des cultures à différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement. Au niveau de l'exploitation, 90 % des pommes de terre, des tomates et du poisson sont agrégés au départ, tandis que 96,15 % des produits laitiers le sont. À partir de

l'exploitation, des sous-portions de cultures sont désignées pour le transport. Pour les marchés locaux, 81 % des pommes de terre, 100 % des tomates, 90 % du poisson et 72,1 % des produits laitiers sont attribués. À partir de là, les sous-portions destinées au transport vers les centres régionaux ou urbains comprennent 60 % pour les pommes de terre, 60 % pour les tomates, 50 % pour le poisson et 24 % pour les produits laitiers.

Une fois que les produits quittent les exploitations, l'agrégation des cultures se poursuit aux niveaux régional et urbain centralisé. Au niveau régional, 30 % des pommes de terre, 50 % des tomates, 90 % du poisson et 14 % des produits laitiers sont regroupés avec d'autres cultures. Au niveau urbain centralisé, 40 % des pommes de terre, 30 % des tomates, 30 % du poisson et 16,8 % des produits laitiers sont agrégés de la même manière. Enfin, une partie de ces cultures est destinée au stockage de détail (30 % des pommes de terre, 30 % des tomates, 20 % des poissons et 6,8 % des produits laitiers) ou à la transformation (10 % des pommes de terre, 10 % des tomates, 15 % des poissons et 7,9 % des produits laitiers). Ces paramètres ont été utilisés pour définir le produit de distribution au sein de la chaîne d'approvisionnement.

Tableau 25. Paramètres utilisés pour analyser les besoins en matière de chaîne du froid au sein de chaque chaîne de valeur. (Source : observations de la mission juin 2023 et MAEP 2022)

Paramètres	Unité	Pommes de terre	Tomates	Produits de pêche	Produits laitiers
I. Quantité totale annuelle	tonnes/an	251 258	40 864	124 538	103 090
Part de I consommée par l'agriculteur :	%	10%	10%	10%	3.8%
Partie restante de I pour l'analyse de la chaîne du froid :	tonnes/an	226 132	36 777	112 084	99 121
II. Partie de A initialement agrégée au niveau de l'exploitation :	%	90%	90%	90%	96.2%
III. Sous-portion de II pour le transport vers les marchés locaux :	%	81%	81%	90%	96.1%
IV1. Sous-partie de III pour l'entreposage ou le transport frigorifique	%	9.0%	9.0%	9%	72.1%
IV2. Sous-partie de III ₁ pour la transformation locale :	%	10%	10%	60%	96.1%
V1. Sous-portion de IV ₁ pour le transport vers le centre régional. régional :	%	60%	60.0%	50%	72.1%
VI1. Une partie de V1 sera agrégée à d'autres cultures et livrée à des magasins de détail :	%	60%	60.0%	50%	72.1%
V2. Sous-partie de IV ₁ pour le transport vers le centre urbain.	%	40%	30%	50%	16.8%
VI2. Sous-portion de V ₂ à congeler :	%	0.0%	0.0%	11.1%	24.0%
VI3. Sous-sous-partie de V ₂ à agréger avec d'autres cultures :	%	50%	50%	63.0%	37.0%
VI4. Une partie de V ₂ doit être livrée aux magasins de détail	%	40%	40%	14.8%	18.0%
VI5. Sous-partie de V ₂ à livrer pour traitement :	%	10%	10%	11.1%	21.0%

Estimation des besoins en transport

Le nombre de tonnes de produits utilisés à chaque endroit lors de l'expédition est multiplié par les kilomètres à parcourir. Les distances ont été calculées à partir des observations sur le terrain afin de déterminer les valeurs moyennes pour les kilomètres entre la ferme et le marché, etc.⁴⁷ Ce chiffre est divisé par la durée du voyage pour ce nombre de tonnes afin d'obtenir une unité de tonnes-kilomètres/période (jour, année), les t-km/jour étant l'unité courante pendant la période de récolte de la culture. Cela permet de déterminer la quantité totale de transport frigorifique nécessaire pour les produits analysés dans ces unités. En outre, la limite annuelle estimée de l'autonomie de déplacement de 50 km/jour est supposée en raison de l'état très difficile des routes rurales. Ainsi, par exemple, un camion frigorifique de cinq tonnes parcourant 50 km avec sa charge utile en une journée a une capacité de transport de 5 t × 50 km/jour, et peut donc fournir 250 t-km/jour pour satisfaire les besoins de transport. Il convient de noter que les chiffres exacts varient en fonction de la construction de routes et de nouveaux entrepôts frigorifiques. En outre, les hypothèses relatives au coût du carburant s'améliorent en fonction de l'état des routes, car moins d'énergie est dépensée pour le refroidissement lui-même, en particulier si un chauffeur doit faire tourner son camion au ralenti toute la nuit parce qu'un trajet entre une ferme ou un entrepôt régional et un entrepôt urbain ne peut être effectué en une journée.

Hypothèses de coûts

Les coûts des équipements de réfrigération sont déterminés par mètre cube, sauf pour la fabrication de glace, qui est déterminée par tonne produite. La valeur est déterminée en comparant les coûts des équipements des pays développés aux coûts des équipements achetés en Inde, dont le rapport est généralement de 2,5:1. Les coûts des pays développés sont de l'ordre de 3300 \$/m² d'espace au sol dans un entrepôt dont la hauteur correspond à peu près à la moitié de la longueur et de la largeur. Pour l'Inde, ce coût est estimé à environ 1300 dollars. Pour les réfrigérateurs-chambres plus petits, d'une capacité de 20 m³, les coûts de livraison sont de l'ordre de 15 000 dollars. Les modèles sont évalués sur la base de ces valeurs.

Pour le transport, des camions frigorifiques de fabrication chinoise d'une capacité de cinq et dix tonnes ont été proposés. Le mauvais état des routes à Madagascar dans les zones agricoles rurales rend douteuse la faisabilité de véhicules de la taille d'un tracteur-remorque (voir la section ci-dessus sur l'accessibilité pour plus d'informations). Les coûts estimés de kilométrage et d'entretien ont été appliqués à la limite supposée de 50 km/jour de déplacement décrite dans les hypothèses, et ceci, combiné aux quantités annuelles de cultures produites pour l'expédition, a permis d'estimer le nombre de véhicules nécessaires pour atteindre le nombre total de tonnes-kilomètres par jour de transport pour les denrées alimentaires. Un résumé des principales hypothèses de coûts est présenté dans le tableau ci-dessous.

⁴⁷ Sur la base de l'étude, la distance moyenne entre la ferme et les marchés régionaux a été fixée à 30 km, celle entre les marchés régionaux et les marchés urbains à 200 km, et celle entre les centres de regroupement urbains et les points de vente au détail à 20 km. Les détails sur la base de coût pour les estimations de transport sont fournis dans l'annexe.

Tableau 26. Hypothèses de coûts de la chaîne du froid pour l'agriculture et la pêche

Hypothèses de coûts	Valeur USD)	Unité
Coût moyen ex-usine des camions frigorifiques en Chine	\$3,000	USD par tonne
Fonctionnement des camions, entretien et allocation de carburant	\$1,600	USD par an par tonne
Fabrication de glace concassée @ 2t/jour	\$7,550	USD
Boîte isolée pour machine à glaçons et renfort en acier.	\$9,000	USD
Coût moyen pour le client par kW de mini-réseau installé :	\$2.66	USD/kWc
Coût moyen pour le client par kW d'installation solaire individuelle :	\$3.25	USD/kWc
Coût moyen pour le client du kWh du réseau :	\$0.13	USD/kWh

Méthodologie pour la consommation d'énergie et les investissements dans les infrastructures

En raison de la nature de l'analyse entreprise dans le cadre du PEI, le modèle donne une vue d'ensemble de l'infrastructure existante de la chaîne du froid agricole, tout en suggérant des domaines d'amélioration dans les principales chaînes de valeur. Bien qu'une étude microéconomique ou de consommation d'énergie détaillée de chaque ferme, ranch et pêcheur et de leur production soit irréalisable, des thèmes transversaux et des idées ont pu être développés au profit du secteur agricole dans son ensemble. Ces thèmes seront tirés de l'analyse des chaînes de valeur des pommes de terre, des tomates, des produits laitiers et du poisson.

L'analyse s'est concentrée sur les systèmes de la chaîne du froid en se basant sur les données nationales de production annuelle existantes par chaîne de valeur, à partir desquelles il est possible d'extrapoler les besoins énergétiques totaux. Pour les produits horticoles, il s'agit de valider la nature des périodes de récolte variables, auquel cas le même équipement de refroidissement et de stockage utilisé pour les cultures représentatives peut être utilisé pour d'autres cultures ayant des périodes de récolte différentes. Cette complémentarité de la chaîne du froid est subordonnée à l'adaptation du réglage de la température dans le "CCE" pour les cultures horticoles correspondantes. Les besoins des poissons et des produits laitiers sont moins variables que les besoins de refroidissement des cultures horticoles, de sorte que ces dernières ont été limitées à deux cultures servant d'exemples, à savoir les pommes de terre et les tomates, qui ont des saisons de récolte et des besoins de température divergents.

Au cours des deux semaines de mission sur le terrain pour étudier les capacités existantes de la chaîne du froid à Madagascar, la grande diversité des pratiques agricoles malgaches et l'accessibilité des infrastructures sont devenues évidentes. Pour présenter l'analyse des coûts, les recommandations en matière d'Équipement de la Chaîne du Froid devraient être faites sur la base de tailles d'installations discrètes représentant les besoins moyens. Ainsi, en plus d'une sélection fixe de cultures, un ensemble fixe de tailles d'installations a été développé sur la base des meilleures pratiques mondiales pour répondre aux besoins à différents stades de la mise en œuvre de la chaîne du froid. Bien que le développement réel de la chaîne du froid implique une multiplicité

de flexibilité de dimensionnement et de personnalisation en fonction des exigences locales, un ordre de grandeur approximatif pour l'investissement dans la chaîne du froid peut être dérivé d'un dimensionnement uniforme de l'infrastructure pour accommoder le débit annuel total correspondant aux quantités de productions nationales. Bien que la taille de chaque installation ne corresponde pas à des emplacements fixes dans le modèle géo spatiale, les quantités cumulées de consommation d'énergie correspondront approximativement aux exigences nationales de la chaîne du froid et à la nécessité de transporter le froid entre les installations.

Ainsi, les quatre chaînes de valeur considérées (pommes de terre, tomates, produits laitiers et poissons) ont été dimensionnées en fonction du rendement national afin de développer des équipements de chaîne du froid proportionnés pour les infrastructures aux échelles suivantes : exploitation agricole locale, centre de distribution régional, stock urbain et installation de marché de détail. Chaque taille d'infrastructure a été associée à une caractéristique de consommation d'énergie correspondante, ainsi qu'aux tailles des systèmes solaires autonomes nécessaires et aux coûts associés.

La demande d'énergie et les coûts estimés du système varieront en fonction de chaque chaîne de valeur agricole. Ces estimations comprennent les besoins initiaux en capacité de refroidissement pour chaque culture par tonne métrique au niveau de l'exploitation et la capacité de refroidissement nécessaire pour maintenir les produits à une température de stockage sûre. À cette fin, les estimations de coûts sont basées sur des données indicatives spécifiques au produit, telles que la chaleur spécifique simple, la chaleur de respiration le cas échéant, et la température probable à laquelle le produit entrera dans une unité de refroidissement ou de réfrigération. Il existe également des hypothèses de base sur la chaleur gagnée à travers l'isolation d'une boîte de réfrigération typique et sur le gain de chaleur dû à l'ouverture et à la fermeture de la porte pour charger et décharger l'unité de refroidissement.

Sur la base de la méthodologie définie précédemment, chacun des quatre produits agricoles a été considéré comme étant produit, transporté, stocké et vendu dans des blocs de construction de taille uniforme qui, pris collectivement, forment une chaîne du froid nationale intégrée. Plus précisément, les caractéristiques des installations ont été calculées comme indiqué dans le tableau 26. A noter toutefois que la prime à l'exploitation peut concerner une installation unique ou partagée pour laquelle les kWc indiqués correspondent à la part de l'exploitation individuelle et non à la taille réelle de l'installation. Par exemple, une exploitation moyenne de tomates produira 51 kg/jour pendant la récolte, ce qui nécessite environ 1,74 kWh/jour pour la refroidir, ce que 0,4 kWc de modules solaires peut fournir. Cependant, dix de ces agriculteurs peuvent partager une unité commune suffisamment grande pour refroidir leurs charges utiles combinées, et une telle unité aurait un seul panneau solaire de 4 kWc pour la faire fonctionner.

D'après les observations faites sur le terrain, le pourcentage de la production agricole envoyée aux infrastructures régionales a été réparti entre 20 installations, dont plus d'une dans les régions à forte production et aucune dans les régions à faible production où toute la production est destinée aux marchés locaux de jardinage. Le dimensionnement solaire concerne chacune de ces installations fonctionnant pour stocker le produit qui arrive pré-réfrigéré par les installations agricoles. La partie destinée aux centres urbains a été répartie entre trois grandes installations de la taille d'un entrepôt pour chaque produit. Dans la pratique, il se peut qu'il y ait un plus grand

nombre de grands entrepôts moins spectaculaires, mais comme nous utilisons l'énergie nécessaire à chaque chaîne de valeur dans ces installations, l'allocation totale en kWc devrait rester correcte.

L'utilisation combinée constitue une exception. Par exemple, comme les pommes de terre et les tomates sont récoltées à des moments différents de l'année, la même infrastructure qui traite et stocke les pommes de terre peut être utilisée pour refroidir et stocker les tomates. Si toutes les tomates étaient produites dans des exploitations agricoles produisant également des pommes de terre, le plus grand des deux besoins énergétiques (les pommes de terre) serait le seul nécessaire et les tomates pourraient être réduites à zéro. D'après les observations sur le terrain, il y a en fait un chevauchement d'environ 70 %, de sorte que le nombre de tomates pourrait être ramené à 0,12 si ce système de partage était utilisé, et les tomates seraient un bonus. Malheureusement, nous ne disposons pas de la granularité des données nécessaire pour faire plus qu'une estimation approximative, de sorte que la demande de tomates a été pleinement mesurée, car cela permet également de tenir compte des équipements de réfrigération plus anciens ou moins efficaces qui doivent être adaptés à la fois aux pommes de terre et aux tomates, avec les kWc combinés des deux types d'équipements.

Tableau 27. Dimensions simulées de l'infrastructure de la chaîne du froid

Infrastructure	Taille du système photovoltaïque - pomme de terre (kWc)	Taille PV - Tomate (kWc)	Taille PV - Poisson (kWc)	Taille PV - Laiterie (kWc)
Indemnité d'installation locale par exploitation	2.5	0.4	0.6	5.4
Stockage régional	137	13	15	5.5
Stockage urbain	363	54	23	10
Marché de détail	0.2	0.0	0.1	0.0

Une fois que les dimensions du système ont été établies pour chaque taille d'infrastructure et chaîne de valeur, des estimations de coûts ont été réalisées sur la base de devis de haut niveau de fournisseurs sur le marché solaire en Afrique subsaharienne. Ces hypothèses de coûts sont légèrement plus élevées que celles présentées dans le rapport sur l'électrification, étant donné que ces réseaux solaires seront à l'échelle d'une infrastructure plutôt qu'à l'échelle d'une communauté avec principalement des toits ou de petits systèmes montés au sol. Ces systèmes sont souvent très spécifiques au contexte de l'infrastructure et peuvent ne pas réaliser des économies d'échelle aussi bénéfiques que des systèmes plus importants à l'échelle de la communauté.

Élaboration de scénarios pour l'analyse de la chaîne du froid dans l'agriculture et la pêche

L'analyse de la chaîne du froid agricole est un nouvel aspect du PEI de Madagascar qui n'a pas été pris en compte dans les PEI précédents. Deux scénarios ont été évalués dans le cadre de l'analyse de la chaîne du froid agricole :

Scénario 1 - Développement à 100 % de la chaîne du froid dans les quatre chaînes de valeur. Ce scénario représente un investissement dans une chaîne du froid totalement développée pour les quatre chaînes de valeur.

Scénario 2 - 20 % de développement de la chaîne du froid dans les quatre chaînes de valeur. Il s'agit d'un objectif raisonnable pour une décennie d'amélioration de la fonction de la chaîne du froid. Ce niveau d'amélioration répond à des besoins et constitue un exemple pour les entreprises qui souhaitent voir ce que le développement de la chaîne du froid peut leur apporter.

Avant de présenter la synthèse des résultats, la section ci-dessous détaille, pour chaque chaîne de valeur, les exigences, les coûts et les perspectives de la chaîne du froid.

Analyse de la chaîne de valeur

Pommes de terre

Comme indiqué dans l'aperçu, les pommes de terre sont produites principalement dans les régions d'Anamalanga, d'Itasy et de Matsiatra Ambony. La récolte idéale consiste à laver les pommes de terre, puis à les faire sécher pendant deux semaines à 15°C, dans des conditions d'humidité relative de 80 à 100 %. Cette maturation stimule la tubérisation et la cicatrisation des plaies et réduit la respiration, et le fait de la réaliser à 15°C minimise le pourrissement et est nécessaire pour le stockage à long terme⁴⁸. Pour produire ces conditions, la réfrigération est conçue pour refroidir les pommes de terre à 15°C et l'évaporateur et le système de condensation sont conçus pour maintenir l'humidité dans la plage ci-dessus. L'évaluation de la capacité de refroidissement requise est basée sur la capacité thermique spécifique simple des pommes de terre de 3,43 MJ/t-K et la chaleur moyenne de respiration de 10 MJ/t/jour⁴⁹. L'objectif de la vitesse de refroidissement est d'atteindre 15°C en un jour, en dimensionnant le système de refroidissement de manière à ce qu'il puisse évacuer la chaleur nécessaire en 8 heures environ, sachant que le transfert de chaleur réel sera limité par la manière dont les pommes de terre sont emballées et qu'il faudra environ trois fois plus de temps pour qu'il s'établisse. Sur la base d'une densité de pommes de terre de 0,728 t/m³⁵⁰. Sur la base de ces paramètres, les besoins de la chaîne du froid (énergie et transport du froid) de la ferme à l'entrepôt régional et au centre de conservation urbain sont présentés dans le tableau ci-dessous.

⁴⁸ source : USDA handbook 66, p 507

⁴⁹ source : USDA handbook 66, p 508, et The Engineering ToolBox (2003). Aliments et denrées alimentaires - Chaleur spécifique. [en ligne] Disponible à l'adresse : https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html, 7/11/23

⁵⁰ source : Evaluation of physical and mechanical properties of fresh potato, MB Patel, ER Alok Nath and Dr. JM Mayani, International Journal of Chemical Studies 2018 ; 6(5) : 1454-1459

Tableau 28. Analyse de la chaîne du froid pour les pommes de terre

Pommes de terre	Valeurs	Unités
Quantité totale de la culture annuelle	251,258	Tonnes/an
Quantité totale de la culture annuelle (moins les quantités autoconsommées)	226,132	Tonnes/an
Besoins en matière de refroidissement des exploitations agricoles et de transport frigorifique		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	3,899	Tonnes/jour
Énergie requise à la ferme	4,57	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	58,790	kWh/jour
Nécessité d'une capacité de transport du froid vers le marché local :	Pas de transport de froid nécessaire	
Besoins régionaux en matière de refroidissement et de transport du froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	3,158	81% de la récolte annuelle totale Tonnes/jour
Énergie requise à l'entrepôt régional	1,641	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	33,228	kWh/jour
La capacité de transport du froid est nécessaire pour la réfrigération urbaine :	37,897	Tonnes-km/jour
Besoin de refroidissement urbain et de transport de froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	2,339	60 % de la récolte annuelle totale Tonnes/jour
Énergie requise pour un entrepôt urbain	5,355	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	16,215	kWh/jour
Capacité de transport du froid nécessaire pour la vente au détail de produits réfrigérés :	15,595	Tonnes-km/jour
Besoins en matière de refroidissement et de transport du froid dans les marchés de détail		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	2,339	Tonnes/jour
Énergie requise sur le marché de détail	3,38	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	35,830	kWh/jour
Totaux nationaux		
Résumé de la consommation d'énergie à l'échelle nationale d'Ideal Storage :	66,620	kWh/jour
	24,316	MWh/an
Transport de froid Total :	53,504	Tonnes-km/jour

En supposant qu'une chaîne du froid totalement développée soit nécessaire, les résultats de l'analyse de la chaîne du froid du **scénario 1** pour les pommes de terre sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 29. Analyse du scénario 1 de la pomme de terre par région.

Scénario 1 Inclusion de 100 % des cultures Utilisation de 100 % de la chaîne du froid par région	Quantité dans la chaîne du froid en tonnes/an	Demande d'énergie pour la réfrigération en MWh/an	Transport de la chaîne du froid en t-km/an	Coût du Capex En USD
Alaotra-Mangoro	0	0	0	\$0
Amoron'i Mania	0	0	0	\$0
Analamanga	103,983	21,762	8,081,995	\$103,651,906
Analanjirifo	0	0	0	\$0
Androy	0	0	0	\$0
Anosy	0	0	0	\$0
Atsimo-Andrefana	1,756	368	136,506	\$1,750,699
Atsimo-Atsinanana	0	0	0	\$0
Atsinanana	12,897	2,699	1,002,413	\$12,855,992
Betsiboka	0	0	0	\$0
Boeny	3,754	786	291,760	\$3,741,838
Bongolava	0	0	0	\$0
Diana	0	0	0	\$0
Fitovinany	0	0	0	\$0
Ihorombe	0	0	0	\$0
Itasy	80,654	16,879	6,268,745	\$80,396,911
Matsiatra Ambony	48,214	10,090	3,747,382	\$48,060,322
Melaky	0	0	0	\$0
Menabe	0	0	0	\$0
Sava	0	0	0	\$0
Sofia	0	0	0	\$0
Vakinankaratra	0	0	0	\$0
Vatovavy	0	0	0	\$0
Totaux :	251,258	52,583	19,528,802	\$250,457,668

Les résultats du tableau 29 sont présentés graphiquement dans les schémas ci-dessous, montrant la quantité calculée de récolte dans la chaîne du froid, les besoins en énergie de réfrigération et les coûts. En outre, la carte de la quantité calculée dans la chaîne du froid montre les routes, les villes pour afficher l'estimation quantitative des exigences de la chaîne du froid pour la chaîne d'approvisionnement en pommes de terre dans le pays.

Figure 51. Pommes de terre - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.

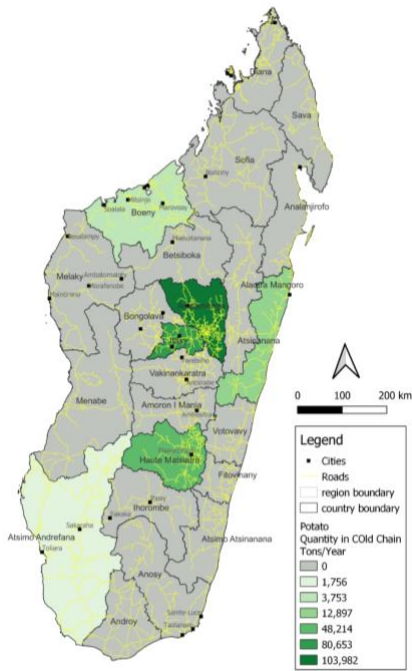


Figure 52. Pommes de terre - Besoins en énergie pour la réfrigération

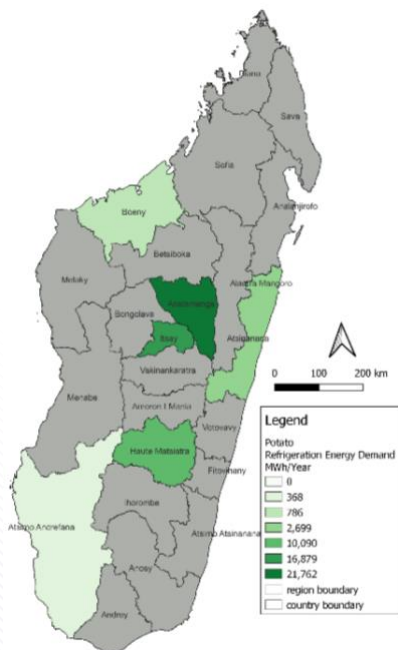
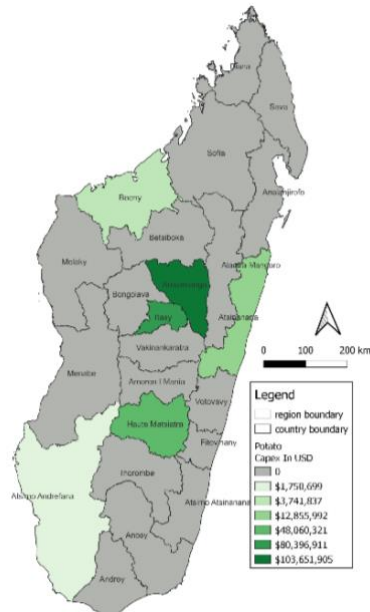


Figure 53. Pommes de terre - Investissements en capital en USD



D'après la mission sur le terrain, de nombreuses petites exploitations agricoles ne récoltent en moyenne que quelques kilogrammes de pommes de terre par jour pendant les mois de récolte, ce qui est bien trop peu pour justifier la construction d'équipements de refroidissement séparés, mais la plupart des exploitations sont suffisamment proches pour partager une seule installation de mûrissage. Pour que la taille de l'installation soit pratique, une installation acceptant environ 0,3 tonne par jour serait partagée par une communauté d'agriculteurs. Cela signifie qu'il faudrait construire un total d'environ 12 000 installations de ce type, sur la base de la récolte annuelle de 226132 t/an (source : MOA). Une telle installation permettrait d'accumuler et de conserver jusqu'à 4,2 tonnes pendant une période de maturation de deux semaines. Elles seraient retirées pour être mises sur le marché ou expédiées au rythme de 0,3 t/jour sur une base FIFO, et remplacées par la récolte du jour suivant à ce moment-là. Cela permettrait d'utiliser des réfrigérateurs commerciaux d'un volume intérieur d'environ 12 m³. Il s'agit d'une pratique optimale, mais elle est coûteuse. Les unités fonctionnant à l'énergie solaire ont besoin d'une bonne quantité d'énergie solaire rien que pour maintenir la température à vide, de sorte que même si la charge de pommes de terre n'est pas particulièrement élevée, vous consommez une bonne quantité d'énergie pour le refroidissement de fond.

Les coûts peuvent être réduits par l'application d'une technologie appropriée. Pour un agriculteur, une petite cave à légumes peut parfaitement convenir. Le refroidissement par le sol permettra de faire face aux quelques kilogrammes qu'il récolte en moyenne chaque jour. Cependant, s'il essaie de tout récolter en une journée, le maintien de la température peut devenir un problème. Il peut également s'avérer nécessaire de revêtir la serre d'un matériau pare-vapeur tel qu'une feuille de polyéthylène afin de maintenir un taux d'humidité adéquat pendant la période de séchage. L'étape suivante serait une chambre froide assemblée localement qui utilise une chambre froide de passage avec un système de climatisation par fenêtre dans un mur, ainsi qu'un système solaire pour faire fonctionner ce climatiseur. La chambre doit être isolée avec de la mousse de polystyrène extrudé ou un autre produit isolant, et doublée d'un pare-vapeur. Les climatiseurs étant conçus pour éliminer l'humidité, une modification permettant de capter les condensats de l'unité et de les renvoyer vers une surface d'évaporation dans la pièce serait importante pour maintenir l'humidité relative.

Tomate

Les tomates sont produites principalement dans les régions d'Analamanga et d'Itasy. Les tomates sont récoltées en septembre et octobre. La récolte idéale consiste à laver les tomates et à les emballer, puis à les refroidir à 20°C pour la maturation ou à 13°C pour le stockage, dans des conditions d'humidité relative de 90 à 100 %. Le refroidissement par air forcé est préférable, car un refroidissement plus passif prend plus de temps pour surmonter la chaleur de la respiration lorsque les tomates sont emballées. Les tomates peuvent être stockées à 7°C pendant quelques jours, mais elles sont vulnérables aux dommages causés par le froid, ce qui compromet leur saveur⁵¹. Pour produire ces conditions, la réfrigération est conçue pour refroidir les tomates à 20°C ou 13°C, l'évaporateur et le système de condensation sont conçus pour maintenir l'humidité dans la plage ci-dessus et les ventilateurs de l'évaporateur sont conçus pour rester allumés en permanence afin de produire une circulation pendant le refroidissement. L'évaluation de la

⁵¹ Manuel de l'USDA 66, p 582-583

capacité de refroidissement requise est basée sur une température de 32°C à l'entrée du champ et sur une capacité thermique spécifique simple de la tomate de 3,97 MJ/t-K et une chaleur moyenne de respiration de 24 MJ/t/jour⁵². L'objectif du taux de refroidissement est de 1 jour pour atteindre 20°C en dimensionnant le système de refroidissement pour pouvoir pomper la chaleur nécessaire en environ 8 heures, sachant que le transfert de chaleur réel sera limité par la façon dont les tomates sont emballées et qu'il faudra environ trois fois plus de temps pour qu'il s'établisse. Sur la base de la densité apparente des pommes de terre de 0,481 t/m³⁵³. Sur la base de ces paramètres, les besoins de la chaîne du froid (énergie et transport du froid) de l'exploitation agricole à l'entrepôt régional et au centre de conservation urbain sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 30. Analyse de la chaîne du froid pour les pommes de terre

Pommes de terre	Valeurs	Unités
Quantité totale de la culture annuelle	40,864	Tonnes/an
Quantité totale de la culture annuelle (moins les quantités autoconsommées)	36,777	Tonnes/an
Besoins en matière de refroidissement des exploitations agricoles et de transport frigorifique		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	613	Tonnes/jour
Énergie requise à la ferme	1.78	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	19,345	kWh/jour
Nécessité d'une capacité de transport du froid vers le marché local :	2	
Besoins régionaux en matière de refroidissement et de transport du froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	496	81% de la récolte annuelle totale Tonnes/jour
Énergie requise à l'entrepôt régional	253.5	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	5,086	kWh/jour
La capacité de transport du froid est nécessaire pour la réfrigération urbaine :	5,958	Tonnes-km/jour
Besoin de refroidissement urbain et de transport de froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	368	60 % de la récolte annuelle totale Tonnes/jour
Énergie requise pour un entrepôt urbain	1,031	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	3,123	kWh/jour
Capuchon de transport du froid nécessaire à la réfrigération de détail :	2,452	Tonnes-km/jour
Besoins en matière de refroidissement et de transport du froid dans les marchés de détail		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	368	Tonnes/jour
Énergie requise sur le marché de détail	0.37	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	4,744	kWh/jour

⁵² Source : USDA handbook 66, p 584, et The Engineering ToolBox (2003). Aliments et denrées alimentaires - Chaleur spécifique. [en ligne] Disponible à l'adresse : https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html, 7/11/23

⁵³ Source : tableau fourni par Machine & Process Design, <https://www.mpd-inc.com/bulk-density/>

Totaux nationaux		
Résumé de la consommation d'énergie à l'échelle nationale d'Ideal	32,298	kWh/jour
Storage :	11,789	MWh/an
Transport de froid Total :	8,412	Tonnes·km/jour

Les résultats de l'analyse de la chaîne du froid du scénario 1 pour les pommes de terre, en supposant qu'une chaîne du froid totalement développée soit nécessaire, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 31. Analyse du scénario 1 pour les tomates par région.

Scénario 1 Inclusion de 100 % des cultures Utilisation de 100 % de la chaîne du froid par région	Qté dans la chaîne du froid en tonnes/année	Demande d'énergie pour la réfrigération en MWh/an	Transport de la chaîne du froid en t-km/an	Coût du Capex En D.U.S.
Alaotra-Mangoro	0	0	0	\$0
Amoron'i Mania	0	0	0	\$0
Analamanga	3,211	926	241,240	\$3,647,009
Analanjirifo	0	0	0	\$0
Androy	0	0	0	\$0
Anosy	0	0	0	\$0
Atsimo-Andrefana	54	16	4,080	\$61,679
Atsimo-Atsinanana	0	0	0	\$0
Atsinanana	398	115	29,900	\$452,021
Betsiboka	0	0	0	\$0
Boeny	116	33	8,684	\$131,289
Bongolava	0	0	0	\$0
Diana	0	0	0	\$0
Fitovinany	0	0	0	\$0
Ihorombe	0	0	0	\$0
Itasy	35,596	10,269	2,674,475	\$40,432,127
Matsiatra Ambony	1,489	429	111,848	\$1,690,895
Melaky	0	0	0	\$0
Menabe	0	0	0	\$0

Sava	0	0	0	\$0
Sofia	0	0	0	\$0
Vakinankaratra	0	0	0	\$0
Vatovavy	0	0	0	\$0
Totaux :	40,864	11,789	3,070,227	\$46,415,021

Les résultats du tableau 31 sont présentés graphiquement dans les schémas ci-dessous, montrant la quantité calculée de récolte dans la chaîne du froid, les besoins en énergie de réfrigération et les coûts.

Figure 54. Tomate - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.

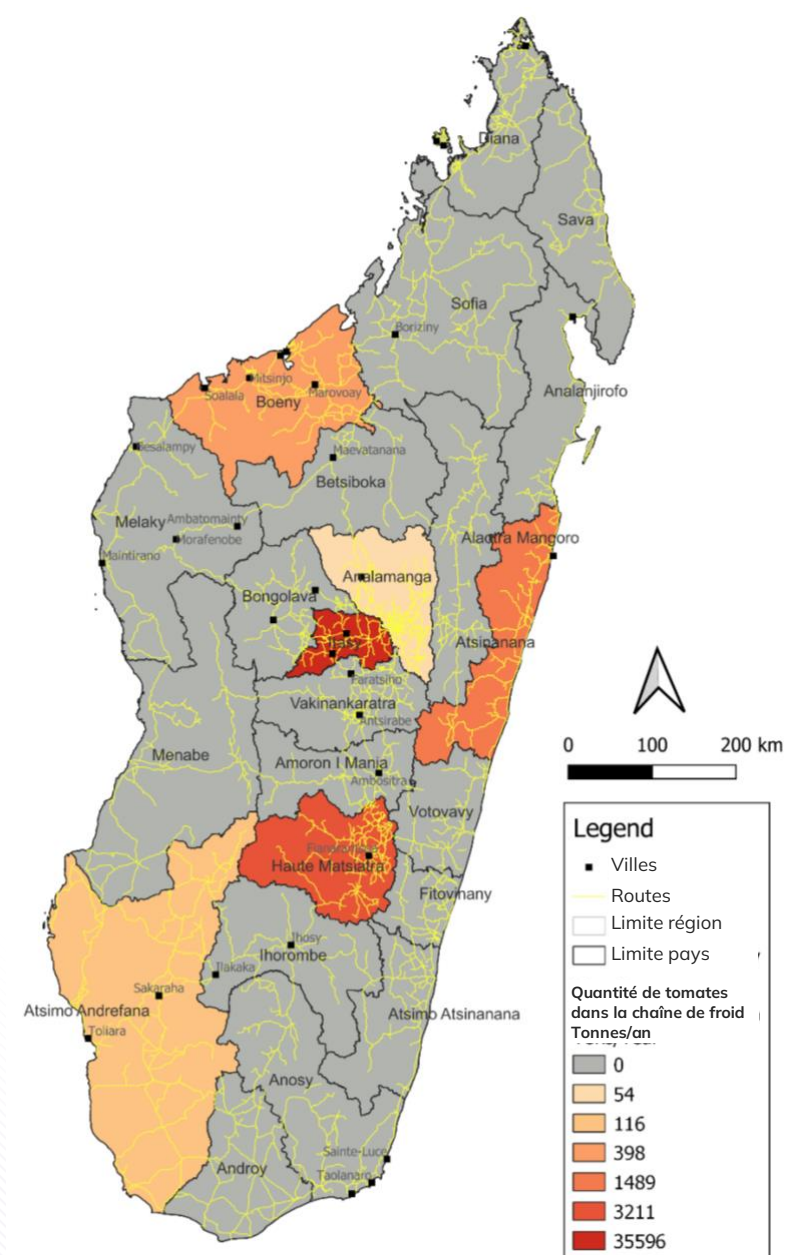


Figure 55. Tomate - Demande d'énergie pour la réfrigération

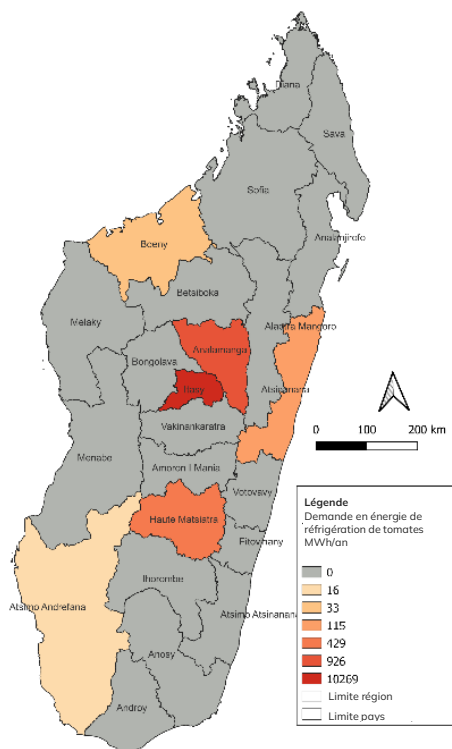
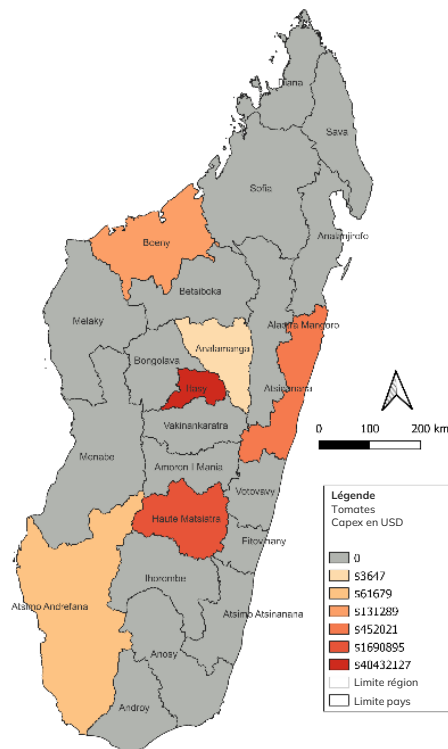


Figure 56. Tomate - Investissements en capital en USD



D'après la mission sur le terrain, de nombreuses petites exploitations agricoles ne récoltent en moyenne que quelques kilogrammes de tomates par jour pendant les mois de récolte, ce qui est bien trop peu pour justifier la construction d'équipements de refroidissement séparés, mais la plupart des exploitations sont suffisamment proches pour partager une seule installation de mûrissement. Pour que la taille des installations soit pratique, une installation acceptant environ 0,1 tonne par jour serait partagée par une communauté d'agriculteurs. Cela signifie qu'un total d'environ 10 000 installations de ce type devrait être disponible, sur la base d'une récolte annuelle de 40864 tonnes/an. Une telle installation permettrait d'accumuler et de conserver jusqu'à 1,5 tonne pendant une période de maturation de deux semaines. Elles seraient retirées pour être mises sur le marché ou expédiées au rythme de 0,1 t/jour sur une base FIFO, et remplacées par la récolte du jour suivant à ce moment-là. Cela permettrait d'utiliser une réfrigération commerciale d'un volume intérieur d'environ 3 m³. Il s'agit d'une pratique optimale, mais elle est également coûteuse. Les coûts peuvent être atténués par le fait que le même équipement que celui utilisé pour le séchage des pommes de terre peut être utilisé pour le stockage des tomates, et que les deux cultures ont en commun deux régions, l'Analamanga et l'Itasy. Notre visite sur le terrain a permis de constater qu'environ 70 % des tomates pourraient utiliser les installations de refroidissement déjà mises en place pour les pommes de terre (voir la section sur les pommes de terre).

Pêche

Le poisson est produit principalement dans les régions de Boeny, Diana et Atsimo-Andrefana. Le poisson est récolté tout au long de l'année. La récolte idéale consiste à disposer de caisses isolées avec de la glace sur les bateaux afin que les poissons soient placés sur la glace dès qu'ils sont

capturés et commencent à se refroidir (le concept SmartFish). Lorsque le poisson est débarqué, il est placé dans des bacs ou des plateaux avec de la glace et conservé dans un réfrigérateur à une température comprise entre -1°C et 0°C . Les bacs ou les plateaux doivent être solides afin qu'en cas de fonte de la glace contaminée par des bactéries, l'eau de fonte ne puisse pas s'égoutter d'un bac ou d'un plateau à l'autre. Pour le poisson frais, les bacs et plateaux glacés sont retirés au fur et à mesure sur le marché. L'évaporateur et le système de condensation du réfrigérateur sont conçus pour maintenir l'humidité dans une fourchette de 80 à 100 % afin que le poisson et la glace ne soient pas desséchés. Le fait que le poisson arrive sur de la glace minimise la demande de refroidissement de la charge utile sur le réfrigérateur, ce qui permet de conserver des capacités de refroidissement plus petites. L'évaluation de la capacité de refroidissement requise est basée sur le fait qu'il faut suffisamment de glace pour refroidir et conserver le poisson capturé dans une eau dont la température est de 30°C dans le pire des cas et dont la capacité thermique spécifique du poisson est de $3,60 \text{ MJ/t}\cdot\text{K}^{54}$. La glace contenue dans les glacières à bord des bateaux assurera la majeure partie du refroidissement et du maintien de la température jusqu'à ce que le réfrigérateur soit atteint. Sur la base d'une densité apparente du poisson de $0,321 \text{ tonne/mètre}^{355}$. Sur la base de ces paramètres, les besoins de la chaîne du froid (énergie et transport du froid) de la pêcherie à l'entrepôt régional et au centre de conservation urbain sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 32. Analyse de la chaîne du froid dans le secteur de la pêche

Pêche	Valeurs	Unités
Quantité totale de la culture annuelle	130,724	Tonnes/an
Quantité totale de la culture annuelle (moins les quantités autoconsommées)	117,652	Tonnes/an
Besoins en matière de refroidissement des pêcheries et de transport du froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	406	Tonnes/jour
Énergie requise à destination	77.68	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	46,905	kWh/jour
Nécessité d'une capacité de transport du froid vers le marché local :	24	Tonnes·km/jour
Besoins régionaux en matière de refroidissement et de transport du froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	365	90 % de la récolte totale Tonnes/jour
Énergie requise pour un entrepôt régional	429.8	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	8,613	kWh/jour
La capacité de transport du froid est nécessaire pour la réfrigération urbaine :	4,382	Tonnes·km/jour
Besoin de refroidissement urbain et de transport de froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	203	50 % de la récolte totale Tonnes/jour
Énergie requise pour un entrepôt urbain	4,605	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	13,845	kWh/jour
Capuchon de transport du froid nécessaire à la réfrigération de détail :	1,352	Tonnes·km/jour

⁵⁴ The Engineering ToolBox (2003). Aliments et denrées alimentaires - Chaleur spécifique. [en ligne] Disponible à l'adresse : https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html, 7/11/23

⁵⁵<https://www.fao.org/3/P3407E/P3407E07.htm#:~:text=The%20stowage%20density%20of%20bulk%20fish,is%20about%200.50%20t%2Fm%C3%AF%C2%BF%C2%BD%20of%20fishroom>

Besoins en matière de refroidissement et de transport du froid sur les marchés de détail		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	203	Tonnes/jour
Énergie requise sur le marché de détail	3,87	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	21,848	kWh/jour
Totaux nationaux		
Résumé de la consommation d'énergie à l'échelle nationale d'Ideal Storage :	91,212	kWh/jour
	33,292	MWh/an
Transport de froid Total :	5,758	Tonnes-km/jour

Les résultats de l'analyse de la chaîne du froid du scénario 1 pour la pêche, en supposant qu'une chaîne du froid totalement développée soit nécessaire, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il convient de noter qu'il y a une différence de 0,35 % dans la répartition régionale des rendements de poissons annuels par rapport au total national indiqué dans le tableau ci-dessus.

Tableau 33. Analyse du scénario 1 pour la pêche par région.

Scénario 1 Inclusion de 100 % des cultures Utilisation de 100 % de la chaîne du froid par région	Qté dans la chaîne du froid en tonnes/année	Demande d'énergie pour la réfrigération en MWh/an	Transport de la chaîne du froid en t-km/an	Coût du Capex En USD
Alaoatra-Mangoro	510	130	719	\$9,340,399
Amoron'i Mania	118	30	166	\$2,155,477
Analamanga	157	40	221	\$2,873,969
Analanjirifo	4,222	1,075	5,952	\$77,357,663
Androy	65	17	92	\$1,197,487
Anosy	9,425	2,400	13,285	\$172,677,633
Atsimo-Andrefana	20,406	5,197	28,763	\$373,855,457
Atsimo-Atsinanana	353	90	498	\$6,466,430
Atsinanana	745	190	1,050	\$13,651,352
Betsiboka	1,948	496	2,746	\$35,685,114
Boeny	47,178	12,015	66,500	\$864,346,153
Bongolava	0	0	0	\$0
Diana	23,452	5,973	33,057	\$429,658,354
Fitovinany	0	0	0	\$0
Ihorombe	52	13	74	\$957,990
Itasy	13	3	18	\$239,497

Matsiatra Ambony	654	166	921	\$11,974,871
Melaky	2,471	629	3,483	\$45,265,011
Menabe	9,072	2,310	12,788	\$166,211,203
Sava	4,654	1,185	6,560	\$85,261,078
Sofia	1,647	419	2,322	\$30,176,674
Vakinankaratra	444	113	626	\$8,142,912
Vatovavy	2,680	682	3,777	\$49,096,969
Totaux :	130,267	33,176	183,617	\$2,386,591,692

Les résultats du tableau 33 sont présentés graphiquement dans les schémas ci-dessous, montrant la quantité calculée de récolte dans la chaîne du froid, les besoins en énergie de réfrigération et les coûts.

Figure 57. Pêche - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.

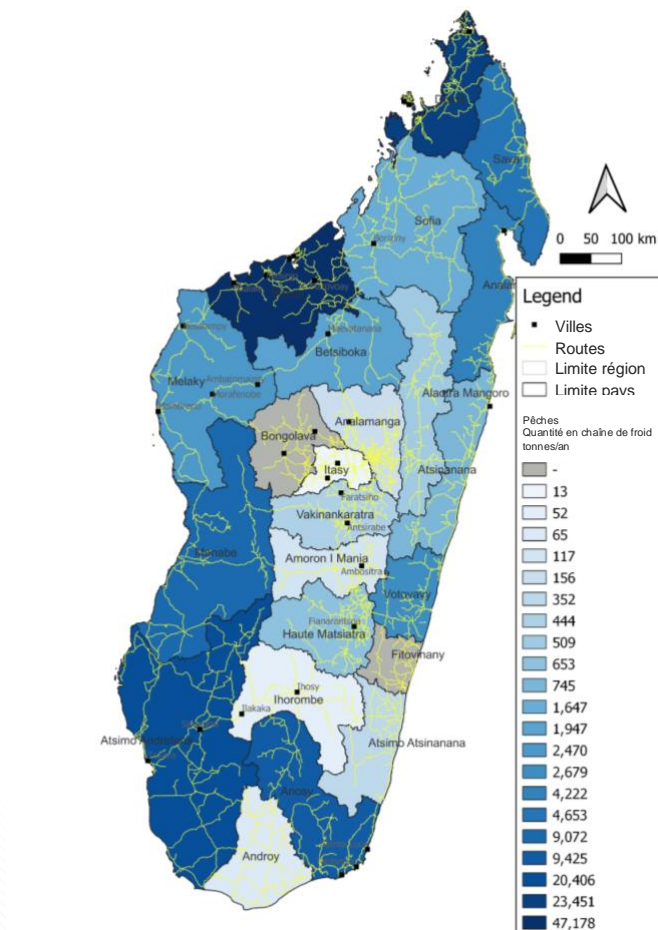


Figure 58. Pêche - Demande d'énergie pour la réfrigération

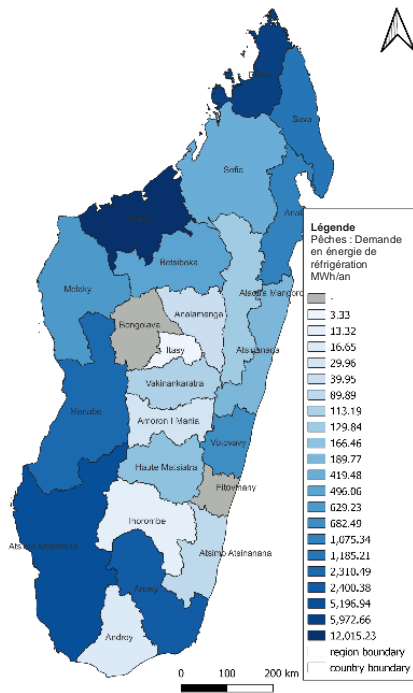
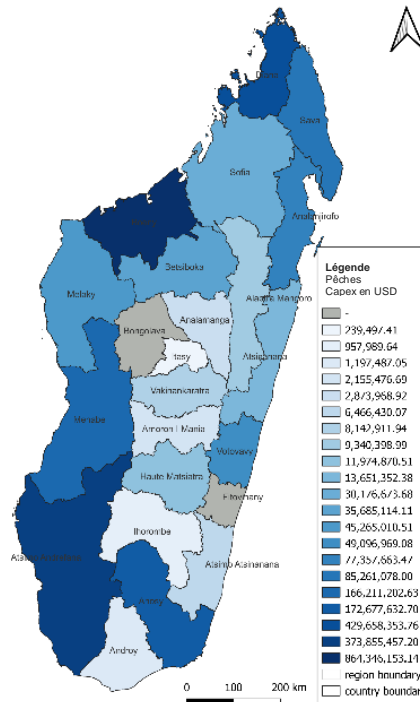


Figure 59. Pêche - Investissements en capital en USD



Au cours de la mission sur le terrain, il a été noté que de nombreuses petites opérations de pêche ont peu ou pas de capacité de fabrication de glace ou de réfrigération, alors que les grandes installations commerciales en ont. L'hypothèse est donc que les investissements doivent être concentrés sur les petites opérations de pêche. Cela se reflète dans les pertes combinées de récolte et de post-récolte pour les petites opérations, qui peuvent atteindre 85 % si l'on ne tient pas compte de la quantité de poisson gâté ou partiellement gâté qui est consommée de toute façon. Le potentiel d'augmentation des revenus en fournissant de la glace et un stockage réfrigéré pour l'agrégation au niveau des produits de pêche est donc très élevé. Cependant, la fabrication de glace nécessite beaucoup d'énergie et d'entretien car, outre l'alimentation des unités de congélation, il faut prendre en compte les chauffages pour la libération de la glace, les moteurs pour le rasoir et, dans de nombreux endroits, la nécessité d'assurer le pompage et la filtration de l'eau pour alimenter la machine. Pour ces raisons, la demande d'énergie pour la fabrication de glace peut varier de 5 à 7 kW pour produire une tonne métrique par jour, soit une demande totale d'énergie de 120 à 168 kWh/jour⁵⁶. Ici, comme pour les équipements de réfrigération, il est plus pratique de fournir une installation de production partagée sur les quais des bateaux de pêche ou les lieux d'ancrage. Lorsque ces installations sont situées en bord de mer, l'utilisation de serpentins et de tuyauteries en acier inoxydable pour éviter la corrosion due aux embruns salés de l'air marin représente un coût supplémentaire dans le domaine de la réfrigération commerciale.

⁵⁶ Données provenant de Holiday Ice Makers, Longwood, Florida, U.S.A.

Dans le cadre de cette évaluation, le prix des équipements de production de glace en provenance de Chine s'est avéré le plus économique. Les unités produisant environ une demi-tonne de glace rasée par jour sont de l'ordre de 2500 \$ et permettraient de produire suffisamment de glace pour permettre à une pêcherie de collecter environ 0,7 tonne par jour. L'installation est coûteuse en raison de l'important système d'énergie solaire nécessaire, mais le retour sur investissement est assez rapide en raison du prix du poisson. La capacité de stockage frigorifique est faible car le poisson est généralement retourné en une journée. Le stockage réfrigéré permet de prolonger ce délai d'un jour ou deux, mais rien ne reste longtemps sur le site de collecte des captures.

En outre, il existe déjà un grand nombre d'équipements commerciaux pour le poisson. Les réfrigérateurs ont été conçus à la fois avec un stockage d'énergie électrique (batterie) et avec un matériau à changement de phase (stockage thermique) qui est congelé pendant la journée grâce à l'énergie électrique solaire et qui utilise ensuite le MCP et des ventilateurs de circulation pendant la nuit. En outre, les opérations commerciales utilisent une grande partie de leur propre équipement, en particulier pour le poisson congelé destiné à l'exportation. Dans l'ensemble, le secteur du poisson a donc bénéficié d'une aide considérable. Par conséquent, il est recommandé de cibler les 20% des besoins en capacité de chaîne du froid du pays pour la pêche, car d'autres portions du marché gagnent déjà de l'attention à Madagascar.

Produits laitiers

La production laitière se fait principalement dans les régions du Vakinankaratra, de l'Analamanga et de l'Itasy. Le lait est collecté directement auprès des vaches. S'il doit être envoyé à un transformateur ou conservé pendant un certain temps, il doit être réfrigéré. Lorsqu'il est transporté vers un refroidisseur, sa température moyenne est d'environ 36°C. Comme il provient de la vache, le lait possède une protection antibactérienne naturelle que la vache fournit pour protéger son veau contre les infections, mais cette protection disparaît en l'espace de quatre heures. En outre, on s'inquiète de l'hygiène des récipients utilisés pour la manipulation du lait, qui pourraient favoriser la croissance bactérienne en inoculant le lait fraîchement récolté. C'est pourquoi on considère qu'il est préférable de commencer à refroidir le lait dans les 30 minutes qui suivent la récolte. Un grand refroidisseur à circulation peut alors prendre trois heures ou plus pour le refroidir. Cependant, les refroidisseurs plus rapides à base de PCM, tels que ceux fabriqués par John Spears (États-Unis) et Promethean (Inde), peuvent refroidir le lait rapidement afin de respecter les meilleures pratiques, qui consistent à essayer de le faire descendre en dessous de 4°C dans l'heure qui suit⁵⁷. La charge thermique du lait est basée sur une température d'entrée de 36°C et une chaleur sensible simple de 3,77 MJ/t-K. La densité du lait varie selon la saison, mais elle est d'environ 1,03 t/m³. Les quantités de lait sont souvent exprimées en litres, et il y a 971 l/t.

⁵⁷ Raw Milk Institute : <https://www.rawmilkstitute.org/updates/rapid-chilling-of-raw-milk-lowers-pathogen-risks-and-improves-shelf-life>

Tableau 34. Analyse de la chaîne du froid des produits laitiers.

Produits laitiers	Valeurs	Unités
Quantité totale de la culture annuelle	103,090	Tonnes/an
Quantité totale de la culture annuelle (moins les quantités autoconsommées)	99,121	Tonnes/an
Besoins en matière de refroidissement des exploitations agricoles et de transport frigorifique		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	273	Tonnes/jour
Énergie requise à la ferme	25.1	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	305,537	kWh/jour
Nécessité d'une capacité de transport du froid vers le marché local :	6.34	Tonnes·km/jour
Besoins régionaux en matière de refroidissement et de transport du froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	197	72% de la récolte totale Tonnes/jour
Énergie requise à l'entrepôt régional	178.6	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	3,572	kWh/jour
La capacité de transport du froid est nécessaire pour la réfrigération urbaine :	2,363	Tonnes·km/jour
Besoin de refroidissement urbain et de transport de froid		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	66	24% de la récolte totale Tonnes/jour
Énergie requise pour un entrepôt urbain	324.6	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	132	kWh/jour
Cap de transport du froid nécessaire à partir des fermes et des glaciers de vente au détail :	974	Tonnes·km/jour
Besoins en matière de refroidissement et de transport du froid dans les marchés de détail		
Taux de récolte et d'agrégation initiale :	66	Tonnes/jour
Énergie requise sur le marché de détail	0.34	kWh/jour
Demande nationale d'énergie prévue dans cette catégorie :	4,380	kWh/jour
Totaux nationaux		
Résumé de la consommation d'énergie à l'échelle nationale d'Ideal Storage :	246	kWh/jour
	90	MWh/an
Transport de froid Total :	2,807	Tonnes·km/jour

Les résultats de l'analyse de la chaîne du froid du scénario 1 pour les produits laitiers sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 35. Analyse du scénario 1 pour les produits laitiers par région.

Scénario 1 Inclusion de 100 % des cultures Utilisation de 100 % de la chaîne du froid par région	Qté dans la chaîne du froid en tonnes/année	Demande d'énergie pour la réfrigération en MWh/an	Transport de la chaîne du froid en t-km/an	Coût du Capex En USD
Alaotra-Mangoro	979	1	9,733	\$352,380
Amoron'i Mania	979	1	9,733	\$352,380
Analamanga	28,391	25	282,159	\$10,215,301
Analanjirofo	979	1	9,733	\$352,380
Androy	979	1	9,733	\$352,380
Anosy	979	1	9,733	\$352,380
Atsimo-Andrefana	979	1	9,733	\$352,380
Atsimo-Atsinanana	979	1	9,733	\$352,380
Atsinanana	979	1	9,733	\$352,380
Betsiboka	979	1	9,733	\$352,380
Boeny	979	1	9,733	\$352,380
Bongolava	979	1	9,733	\$352,380
Diana	979	1	9,733	\$352,380
Fitovinany	979	1	9,733	\$352,380
Ihorombe	979	1	9,733	\$352,380
Itasy	8,350	7	82,988	\$3,004,500
Matsiatra Ambony	979	1	9,733	\$352,380
Melaky	979	1	9,733	\$352,380
Menabe	979	1	9,733	\$352,380
Sava	979	1	9,733	\$352,380
Sofia	979	1	9,733	\$352,380
Vakinankaratra	46,762	41	464,732	\$16,825,202
Vatovavy	979	1	9,733	\$352,380
Totaux :	103,090	90	1,024,541	\$37,092,598

Les résultats du tableau 34 sont présentés graphiquement dans les schémas ci-dessous, montrant la quantité calculée de récolte dans la chaîne du froid, les besoins en énergie de réfrigération et les coûts.

Figure 60. Produits laitiers - Quantité dans la chaîne du froid avec les principales villes et routes.

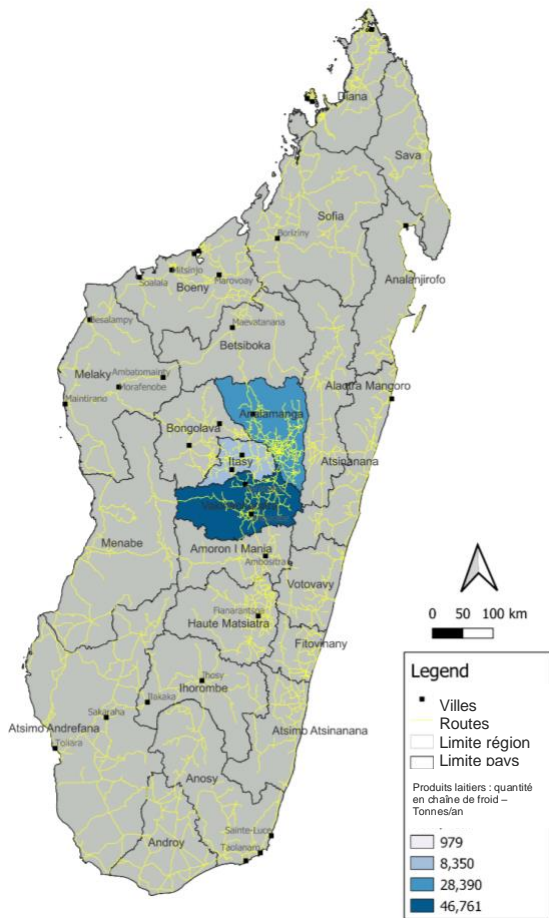


Figure 61. Produits laitiers - Demande d'énergie pour la réfrigération

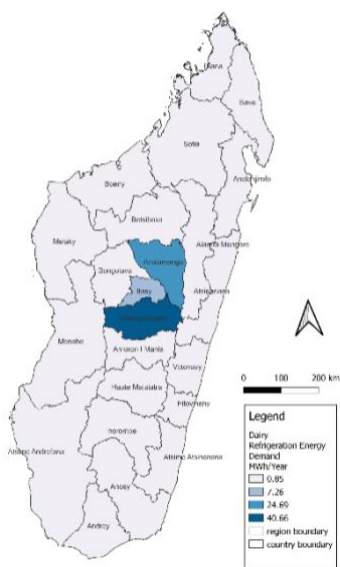
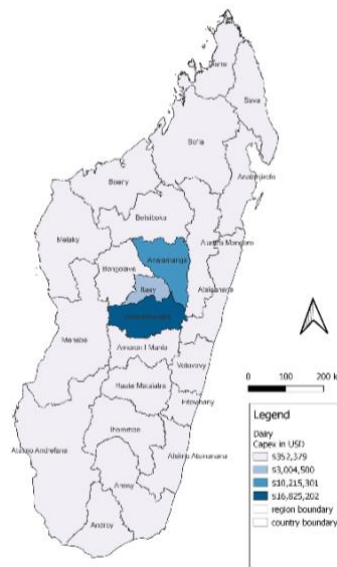


Figure 62. Produits laitiers - Investissements en capital en USD



La pratique habituelle consiste à disposer d'un refroidisseur de lait d'une capacité de 500 à 2 000 litres au centre d'une communauté. Sur le site de collecte, un test au bleu de méthylène est effectué sur un échantillon de chaque récipient apporté au site pour vérifier la présence de bactéries⁵⁸, et si le lait est conforme, il est réfrigéré avec d'autres laits apportés au point de collecte qui ont déjà été testés. Après la réfrigération, un camion de collecte réfrigéré se rend sur le site pour collecter le lait. Actuellement, ce procédé concerne entre 6 et 10 % du lait produit à Madagascar (les sources ne s'accordent pas sur la quantité exacte), mais il a le potentiel de devenir une culture commerciale beaucoup plus importante si les équipements de collecte et de transport de la chaîne du froid sont plus nombreux.

La consommation de lait par les agriculteurs représente environ 5 % de la production. Étant donné que la réfrigération du lait n'est pas très répandue et que la conservation du lait frais sur un marché chaud toute la journée l'altère, une grande partie du reste est transformée en yaourts ou en fromages faits maison, car ces procédés font appel à la chaleur plutôt qu'au froid, qui n'est pas disponible. Cela permet de transporter le produit fini sur un marché non réfrigéré, où il se conserve mieux que le lait frais. Les chiffres exacts concernant l'altération du lait, les pertes de yaourt et les échecs de transformation au niveau de l'exploitation varient, mais il est clair que la récolte de lait frais destiné à la transformation peut être considérablement augmentée en tant que culture de rapport pour les agriculteurs.

Analyse de la détérioration des aliments

Les pertes de récoltes se répartissent en trois grandes catégories :

- Pertes avant récolte
- Pertes de récolte
- Pertes après récolte

Les pertes avant récolte englobent tout ce qui empêche les cultures plantées d'atteindre le niveau de maturité nécessaire pour fournir une récolte utilisable. Il s'agit notamment des semences de départ mal stockées ou endommagées, des mauvaises conditions météorologiques, des maladies des plantes et de la peste qui endommage les cultures.

Les pertes de récolte englobent tout ce qui peut endommager une culture pendant la tentative de la récolter et de la rendre propre à la consommation. En d'autres termes, tout ce qui empêche la production finale de la récolte. Il peut s'agir de dommages mécaniques dus à la méthode de récolte, d'un séchage inadéquat, de mauvaises pratiques sanitaires, de dommages causés par la chaleur, de dommages causés par la vermine ou les parasites, ou d'autres erreurs de manipulation qui font que le produit ne devient jamais propre à la vente ou à la consommation. Plus important encore, les pertes de récolte ne sont pas comptabilisées dans la production nationale parce qu'elles n'ont pas été produites avec succès.

⁵⁸ USDA et Science Company : <https://www.sciencecompany.com/Methylene-Blue-Milk-Test.aspx>

Les pertes post-récoltes sont les pertes subies par les produits récoltés avec succès. Elles partagent un grand nombre de mécanismes avec les pertes de récoltes, notamment les dommages causés lors de l’emballage, de la manutention et du transport, l’exposition à des températures inadéquates pendant le stockage ou le transport, le regroupement et le stockage en vue de la vente ou de la transformation, l’insuffisance de l’équipement et de l’assainissement des installations pour les protéger contre les dommages bactériens, et la protection inadéquate contre la vermine.

La plupart des descriptions de pertes concernent les pertes après récolte, mais les pertes avant récolte et à la récolte sont souvent les plus importantes. Les pommes de terre, par exemple, sont relativement robustes une fois qu’elles sont produites et correctement séchées. Un séchage adéquat est une action clé car il inhibe fortement la décomposition par des processus bactériens, et rend donc la pomme de terre moins sensible aux conditions de stockage que beaucoup d’autres cultures. Les pertes post-récolte pour les pommes de terre sont estimées à environ 2 % à Madagascar. Pour cette raison, il peut sembler improductif d’inclure les pommes de terre dans les candidats à la manipulation par les équipements de la chaîne du froid. Cependant, les pertes de récolte pour les exploitations de pommes de terre peuvent atteindre 60% de la récolte de pommes de terre que l’agriculteur essaie de produire, et l’Équipement de la Chaîne du Froid sous la forme d’une réfrigération appropriée et d’un stockage par agrégation à humidité contrôlée au niveau de l’exploitation peut réduire cette perte post-récolte de 35% ou plus, augmentant ainsi la récolte totale réussie de moitié - encore plus que ce qui est actuellement possible. Outre l’obtention d’une maturation adéquate au début de la chaîne du froid, il est également possible, grâce à un contrôle continu de la température et de l’humidité, d’empêcher la déshydratation, le rétrécissement et la germination généralement observés chez les pommes de terre laissées dans des sacs dans les garde-manger des particuliers. Les pommes de terre peuvent être conservées jusqu’à un an dans des conditions correctement contrôlées. Étant donné que la récolte n’a généralement lieu qu’au cours des deux premiers mois de l’année, les pommes de terre sont disponibles tout au long de l’année. Cela peut être important pour éviter que l’augmentation de la production de pommes de terre n’entraîne une surabondance qui ferait baisser les prix pour les producteurs. Une analyse économique à ce niveau dépasse la portée de ce rapport, mais devrait être entreprise pour un investissement éclairé sur le marché de la pomme de terre.

Tableau 36. Analyse des pertes de récolte et du retour sur investissement pour le CCE.

	Pommes de terre	Tomate	Poisson	Produits laitiers
Production annuelle	251258 t/an	40864 t/an	130724 t/an	103090 t/an
Tentative de production annuelle	402012 t/an	60539 t/an	653622 t/an	171817 t/an
Estimation des pertes de récolte au niveau de l’exploitation	60%	60%	80%	80%
Estimation des pertes de récolte au niveau du commerce de gros ou de la transformation commerciale	2%	10%		40%

Estimation des pertes de récolte au niveau du commerce de détail	2%	2%	40%	
Perte totale	156785 t/an	22036 t/an	732057 t/an	96217 t/an
Valeur économique	\$440.63 /t	\$440.63 /t	\$3,084.39 /t	\$384.68 /t
Perte Impact économique	69 083 525,97 \$ /an	9 709 698,17 \$ /an	2 257 946 120,26 \$ /an	37 012 637,74 \$ /an
Prévention potentielle des pertes de froid	37.50%	32.50%	80.00%	40.00%
Valeur des pertes évitables de la chaîne du froid	25 906 322,24 \$ /an	3 155 651,90 \$ /an	1 806 356 896,21 \$ /an	14 805 055,10 \$ /an
RCI pour un CCE à 100	9,67 ans	14,71 ans	1,33 an	2,51 ans

Résumé des besoins et des coûts de la chaîne du froid

La superficie moyenne des exploitations agricoles à Madagascar est de 1,3 hectare⁵⁹. Cela signifie que la production individuelle est faible. Cependant, cela signifie également qu'un certain nombre d'exploitations sont suffisamment proches pour partager des installations de réfrigération plus grandes et de meilleure qualité. Par exemple, lors de la récolte des pommes de terre en janvier et février, l'exploitation moyenne ne produit que 80 kg de pommes de terre. Il s'agit essentiellement de quelques sacs de produits qui auront une durée de conservation optimale s'ils sont d'abord séchés dans un environnement où la température et l'humidité sont correctes. Les petits réfrigérateurs de la taille d'un coffre peuvent maintenir la température, mais ils ne sont généralement pas équipés d'un système de contrôle de l'humidité et n'optimisent donc pas le stockage pour la longévité du produit. Toutefois, les petites exploitations sont suffisamment proches les unes des autres pour qu'il soit possible de partager des unités plus grandes entre plusieurs exploitations. Une solution plus importante a été choisie pour faciliter l'évaluation des prix et de la consommation d'énergie, mais il est possible de diviser les appareils en unités plus petites. La puissance frigorifique totale requise n'en sera pas modifiée, mais la demande d'énergie augmentera car les petites unités ont tendance à être moins efficaces.

Le refroidissement est également très urgent pour les secteurs agricoles où la détérioration est la plus rapide. Les produits laitiers et le poisson en sont de parfaits exemples et constituent également les besoins les plus immédiats identifiés. Outre les produits spécifiques, l'analyse comprend les estimations de l'énergie et des coûts nécessaires au développement du transport frigorifique. Le modèle utilise des camions frigorifiques de 5 tonnes qui peuvent transporter les produits des réfrigérateurs de regroupement au niveau des zones de production vers des unités de stockage frigorifique communautaires plus importantes pour la distribution à la fois sur les marchés locaux et vers des infrastructures de stockage et des marchés urbains plus importants. Ceci attire notre attention sur le fait que le développement des routes est important pour la réussite du transport des produits agricoles par camion. Bien que les coûts ou les propositions

⁵⁹ Le projet Borgen, 10 faits sur l'agriculture à Madagascar

d'aménagement des routes dépassent le cadre de la présente proposition, celle-ci suggère que l'aménagement des routes devrait améliorer la notation d'une installation potentielle de capacité de réfrigération, car il réduit la sensibilité au succès du transport et augmente donc le potentiel de réussite économique d'une installation frigorifique.

Grâce à cette approche et en suivant la méthode décrite ci-dessus, l'analyse de la chaîne du froid agricole est présentée selon les deux scénarios résumés dans la section ci-dessus. Ces scénarios sont les suivants :

- Scénario 1 - Développement à 100 % de la chaîne du froid dans les quatre chaînes de valeur.
- Scénario 2 - 20% de développement de la chaîne du froid dans les quatre chaînes de valeur.

Les besoins en refroidissement et en énergie connexe, suivis d'un résumé des coûts, sont présentés pour chaque scénario et pour les quatre chaînes de valeur.

Scénario 1

La récolte totale en tonnes par chaîne de valeur et la capacité de refroidissement nécessaire associée en GWh/an pour le scénario 1 sont présentées dans le tableau ci-dessous. Notez que les tonnes récoltées tiennent compte de l'évaluation paramétrique du pourcentage du produit disponible pour le stockage dans la chaîne du froid à chaque point de la chaîne de valeur.

Tableau 37. Scénario 1 - Résumé des besoins et des coûts de la chaîne du froid

Scénario 1	Qté dans la chaîne du froid en tonnes/année	Demande d'énergie pour la réfrigération en GWh/an	Transport de la chaîne du froid en t-km/an	Coût du transport du froid en USD	Coût du Capex En USD	Capex par habitant en USD
Pommes de terre	226,132	53	19,528,802	\$1,712,114	\$250,457,668	\$9
Tomate	36,777	12	3,070,227	\$269,171	\$46,415,023	\$2
Poisson	117,652	33	2,101,738	\$184,262	\$2,394,974,101	\$83
Produits laitiers	99,121	115	1,024,541	\$89,823	\$37,092,598	\$1
Total	479,682	212	25,725,308	\$2,255,369	\$2,728,939,389	\$95

La demande d'énergie pour le scénario 1 est estimée à 212 GWh/an, en plus de la nécessité d'utiliser environ 1,8 million de litres de carburant diesel pour le transport frigorifique.

Pour les besoins énergétiques :

- On suppose qu'il n'y a pas de réseau électrique distribué disponible sur les sites de production et qu'il faut fournir de l'énergie solaire hors réseau à ces sites.
- On suppose que les systèmes communautaires peuvent également nécessiter des systèmes solaires hors réseau ou des systèmes solaires reliés au réseau avec des batteries

de secours pour répondre à la demande pendant les pannes de réseau ou les coupures de courant.

- On suppose que les grandes installations urbaines et les marchés disposent d'un réseau électrique distribué et qu'il faudra déterminer au cas par cas s'ils ont besoin ou non de systèmes solaires ou de batteries de secours. En tout état de cause, il s'agit déjà d'installations commercialement performantes, de sorte que le financement de leur installation solaire devrait impliquer au moins un certain partage des coûts et ne constituerait pas un objectif principal de la subvention.

Lors de la mission de terrain à Madagascar, il a été observé que la plupart des zones urbaines disposent déjà de grands entrepôts frigorifiques, de même que les supermarchés et d'autres magasins, qui fonctionnent tous déjà sur le réseau électrique. La fiabilité du réseau n'est cependant pas entièrement satisfaisante et des pertes importantes se produisent périodiquement lorsqu'une installation est privée d'électricité, parfois pendant plusieurs jours. Ainsi, en utilisant la méthodologie et les hypothèses présentées dans la section ci-dessus, le tableau 37 fournit les besoins de la chaîne du froid pour le scénario 1 en termes de tonnes/an nécessaires pour le refroidissement, l'énergie de réfrigération consommée en termes de GWh par an, et les besoins pour le transport du froid en termes de tonnes-kilomètres par an transportées. Ces résultats seront utilisés dans la section ci-dessous pour estimer les coûts de refroidissement nécessaires.

En outre, une analyse de la répartition régionale probable des besoins en énergie et des coûts de la chaîne du froid associés a été réalisée pour le scénario 1, présenté ci-dessous. La distribution des produits agricoles tient compte des données sur les rendements des cultures collectées lors de la mission sur le terrain à Madagascar. Les estimations de la distribution des cultures pour les pommes de terre et les tomates sont basées sur les informations de 2020-2021, tandis que les distributions de poissons sont basées sur 2021, et celles des produits laitiers sur 2020.

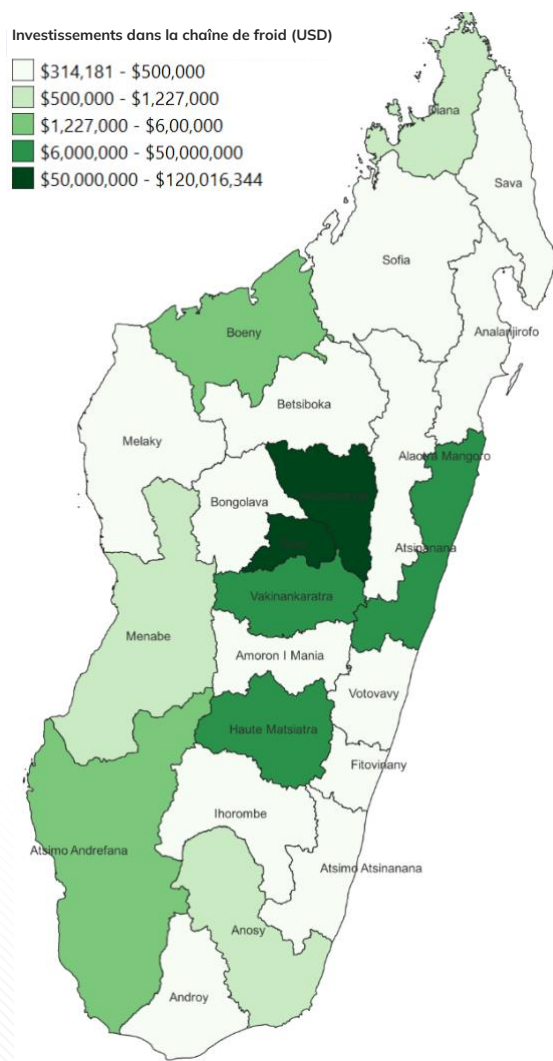
Tableau 38. Scénario 1 - Production végétale pour la cible de la chaîne du froid par région.

Région	Demande totale de refroidissement (MWh/an)	Coût d'investissement dans la chaîne du froid (USD)
Alaotra-Mangoro	131 MWh/an	\$9,692,77
Amoron'i Mania	31 MWh/an	\$2,507,856
Analamanga	22752 MWh/an	\$120,388,185
Analanjirifo	1076 MWh/an	\$77,710,043
Androy	17 MWh/an	\$1,549,866
Anosy	2401 MWh/an	\$173,030,012
Atsimo-Andrefana	5581 MWh/an	\$376,020,215
Atsimo-Atsinanana	91 MWh/an	\$6,818,809
Atsinanana	2905 MWh/an	\$20,126,823
Betsiboka	191 MWh/an	\$14,003,732
Boeny	12835 MWh/an	\$868,571,659
Bongolava	1 MWh/an	\$352,379
Diana	5974 MWh/an	\$430,010,733

Fitovinany	1 MWh/an	\$352,379
Ihorombe	14 MWh/an	\$1,310,369
Itasy	27159 MWh/an	\$124,073,035
Matsiatra Ambony	10687 MWh/an	\$62,078,467
Melaky	630 MWh/an	\$45,617,390
Menabe	2311 MWh/an	\$166,563,582
Sava	1186 MWh/an	\$85,613,457
Sofia	420 MWh/an	\$30,529,053
Vakinankaratra	154 MWh/an	\$24,968,114
Vatovavy	683 MWh/an	\$49,449,348

L'estimation des besoins d'investissement dans la chaîne du froid en USD, pour les quatre chaînes de valeur sur la base du scénario 1, par région, est présentée dans la carte ci-dessous.

Figure 63. Scénario 1 - Besoins totaux d'investissement dans la chaîne du froid par région (USD)



Scénario 2

Le tableau 38 présente la récolte/quantité estimée pour la chaîne du froid en partant de l'hypothèse que 20 % du produit disponible pour la chaîne du froid sera mis en œuvre. Selon cette hypothèse, la chaîne du froid pour ces quatre chaînes de valeur ajoutera 42 GWh/an à la demande d'énergie à l'achèvement des 20 %. Proportionnellement, le carburant diesel des véhicules représentera 360 000 litres par an à ce niveau. Le tableau 38 présente également les besoins d'investissement en CAPEX pour le transport du froid et les équipements de la chaîne du froid du scénario 2, ainsi que les CAPEX par habitant pour chacune des quatre chaînes de valeur. Ce scénario présente l'avantage d'avoir des objectifs gérables, des seuils de financement plus bas et de laisser le temps aux co-développements nécessaires, comme l'amélioration des routes, de se produire pendant la construction de la chaîne du froid.

Tableau 39. Scénario 2 - Exigences en matière de chaîne du froid

Scénario 20% de cultures	QTY dans la chaîne du froid en tonnes/année	Demande d'énergie pour la réfrigération en GWh/an	Transport de la chaîne du froid en t-km/an	Coût du transport du froid en USD	Coût du Capex en USD	Capex par habitant en USD
Pommes de terre	45,226	11	3,905,760	\$342,423	\$50,091,534	\$2
Tomate	7,355	2	614,045	\$53,834	\$9,283,005	\$0
Poisson	23,530	7	420,348	\$36,852	\$478,994,820	\$17
Produits laitiers	19,824	23	204,908	\$17,965	\$7,418,520	\$0
Total	95,936	42	5,145,062	\$451,074	\$545,787,878	\$19

Si les besoins totaux en matière de refroidissement et de maillons de la chaîne du froid dans un système national complet semblent relativement fixes, la manière dont leur mise en œuvre est répartie est flexible. En d'autres termes, les maillons de la chaîne du froid peuvent être établis séparément, à condition de ne pas construire trop longtemps à l'avance. Par exemple, on peut se concentrer d'abord sur les installations des points d'agrégation des sites de production, ce qui permettra aux populations locales de réduire les pertes et d'acheminer manuellement les produits vers les marchés locaux avec moins de pertes que ce n'est le cas actuellement. Les installations frigorifiques communautaires ne deviennent toutefois pleinement utiles que lorsque des camions frigorifiques sont disponibles pour transporter les produits des points de regroupement vers les entrepôts communautaires. Ce deuxième scénario implique donc la création d'un plan pluriannuel qui se concentre d'abord sur le développement du refroidissement des sites de production, puis sur l'introduction de camions frigorifiques pour acheminer les produits vers les installations urbaines existantes, suivie d'un programme de construction d'installations communautaires plus importantes pour les petites villes et les marchés des grands villages. Avec des objectifs pour 2030 et 2040, il semble raisonnable d'utiliser ces dates cibles pour réaliser les différentes phases du développement des maillons de la chaîne du froid agricole.

Recommandations pour l'amélioration de la chaîne du froid dans l'agriculture et la pêche

Le renforcement de la chaîne du froid est l'une des principales possibilités de réduire les pertes de production agricole. La réduction des pertes post-récolte et des infrastructures de transport revêtent une importance particulière. La chaîne du froid appliquée aux produits agricoles et alimentaires peut être définie comme la manipulation de produits dans un environnement à température contrôlée qui prolonge la durée de vie utile à tous les points de la chaîne de valeur⁶⁰. La chaîne du froid comprend le pré-refroidissement, le stockage en vrac, le refroidissement pendant le transport, le refroidissement au détail et la réfrigération à domicile avant la consommation. Bien qu'une chaîne du froid ne nécessite pas nécessairement toutes les étapes, elle doit comporter au moins l'une d'entre elles.

Madagascar est confronté à plusieurs lacunes importantes dans sa chaîne du froid agricole, ce qui entrave l'efficacité et l'efficacité du secteur agricole du pays. Les principales lacunes sont les suivantes

- **Électricité** : l'accès à une électricité stable est un obstacle important aux résultats de la chaîne du froid à Madagascar. L'accès à des solutions de chaîne du froid solaire hors réseau peut également constituer un outil important pour réduire les pertes post-récolte et augmenter la valeur des produits.
- **L'infrastructure** : L'un des principaux défis est le manque d'entrepôts frigorifiques et d'infrastructures de transport adéquats dans l'ensemble du pays. L'insuffisance des infrastructures limite la capacité à conserver les produits agricoles périssables, ce qui entraîne des pertes après récolte et une réduction de la durée de conservation. L'accès limité à une réfrigération fiable et à la logistique de la chaîne du froid entrave la distribution des produits agricoles des zones rurales vers les centres urbains et les marchés d'exportation.
- **Technologie et équipement** : les technologies et équipements de la chaîne du froid non disponibles, inabordable ou inaccessible aggravent encore les lacunes de la chaîne du froid. Les technologies modernes de réfrigération, le transport à température contrôlée et les solutions de stockage à froid sont nécessaires pour maintenir la qualité et la fraîcheur des produits agricoles. Toutefois, le coût d'acquisition et d'entretien de ces équipements peut être prohibitif pour de nombreux petits agriculteurs et entreprises agroalimentaires.
- **L'éducation** : Le manque ou le faible niveau d'éducation des femmes rurales est également un obstacle au développement et à la compétitivité des chaînes de valeur des légumes frais, et donc au développement de la chaîne du froid.
- **Sensibilisation et formation** : Le manque de sensibilisation et de savoir-faire technique en matière de gestion de la chaîne du froid constitue un autre défi. Les agriculteurs et les parties prenantes impliquées dans la chaîne de valeur agricole peuvent ne pas être bien informés sur les meilleures pratiques en matière de manipulation, de stockage et de

⁶⁰ Kitinjoja, L. 2013. Utilisation des chaînes du froid pour réduire les pertes alimentaires dans les pays en développement. Postharvest Education Foundation White Paper No. 13-03)

transport des denrées périssables à des températures optimales, ainsi que sur les informations relatives au marché. Ce manque de connaissances entraîne des pertes évitables et réduit la compétitivité globale des exportations agricoles de Madagascar.

- **Financement et investissement** : L'accès insuffisant au financement et aux opportunités d'investissement limite l'expansion et la modernisation de la chaîne du froid agricole. Il est essentiel d'encourager les investissements nationaux et étrangers dans les infrastructures de la chaîne du froid afin de renforcer l'ensemble de la chaîne de valeur, de la production à la distribution. Le financement disponible localement est également un élément clé de l'amélioration des chaînes du froid de l'agriculture et de la pêche - le financement et l'investissement étant orienté vers l'amélioration de l'accès au financement disponible localement, ce qui rend les solutions de refroidissement plus abordables. Toutefois, cela doit aller de pair avec l'amélioration des infrastructures.

Comblant ces lacunes dans la chaîne du froid agricole à Madagascar nécessite un effort coordonné de la part du gouvernement, du secteur privé, des partenaires de développement et des communautés locales. En investissant dans les infrastructures, la technologie, l'éducation et le soutien politique, Madagascar peut améliorer l'efficacité et la compétitivité de son secteur agricole, réduire les pertes de récolte et de post-récolte, améliorer la sécurité alimentaire et augmenter les revenus des agriculteurs.

En outre, étant donné que la mise en œuvre de l'intégrité de la chaîne du froid donnera l'exemple de ce qui est possible, il est recommandé de concentrer les premières installations de la chaîne du froid sur les zones où la valeur financière et l'adoption d'une nouvelle technologie ont le plus de chances d'être reconnues et mises à profit. Ainsi, l'exemple donné à toutes les chances d'être couronné de succès et, par conséquent, de favoriser la diffusion de la technologie de la chaîne du froid. Les investissements dans la chaîne du froid agricole devraient également être axés sur les besoins les plus immédiats dans ces zones, où la détérioration est la plus rapide - les produits laitiers et le poisson sont donc prioritaires par rapport à la plupart des produits horticoles pour une première adoption. Ainsi, si le scénario 2 était adopté comme plan de mise en œuvre de la chaîne du froid agricole, les premières années seraient axées sur ces zones et les années suivantes sur les zones horticoles, en partant du principe que les stratégies d'adoption seront mises en place pour les secteurs des produits laitiers et du poisson grâce au travail réalisé au cours des premières années.

L'accès à l'électrification pour le fonctionnement de la technologie de la chaîne du froid est essentiel pour le développement des chaînes de valeur agricoles à Madagascar, en particulier dans les zones éloignées et mal desservies. L'électricité joue un rôle crucial dans la modernisation des pratiques agricoles, l'amélioration de la productivité et la promotion de la valeur ajoutée par le biais d'activités de transformation et de conservation des aliments.

- Sur le marché intérieur, les conteneurs à température contrôlée peuvent améliorer la production et la qualité des fromages et des yaourts faits maison, dont dépendent de nombreux producteurs laitiers pour se rendre sur le marché, et réduire la détérioration bactérienne du lait entier qui peut être vendu pour être transformé. Les réfrigérateurs agricoles peuvent également permettre aux agriculteurs de conserver un pourcentage plus faible de leur récolte pour leur propre usage, car ce qu'ils conservent ne s'abîme plus facilement. Mais l'impact le plus important sera peut-être l'ajout d'équipements de

fabrication de glace pour les petites opérations de pêche, où les pertes peuvent atteindre 80 %. Le prix du poisson, par tonne, est plus élevé que celui des autres produits agricoles, de sorte que la capacité de conserver le poisson frais pour le vendre à un impact financier plus important par unité d'énergie que pour tous les produits agricoles, et peut produire le retour sur investissement le plus rapide, avec un retour sur la valeur monétaire absolue en moins de deux ans. Par conséquent, ce type d'équipement devrait être la priorité des investissements initiaux. Outre l'alimentation de l'infrastructure de la chaîne du froid, l'accès à une électricité fiable permet également le déploiement de systèmes d'irrigation afin de réduire la dépendance à l'égard de l'agriculture pluviale et de permettre des cultures tout au long de l'année, ce qui non seulement stabilise la production alimentaire, mais permet également la culture de produits de rente à forte valeur ajoutée. Les équipements de transformation alimentés par l'électricité, tels que les moulins, les robots de cuisine et les équipements de cuisson, peuvent également ajouter de la valeur aux produits agricoles, ce qui se traduit par des revenus plus élevés pour les agriculteurs et une plus grande disponibilité des produits transformés pour les consommateurs.

- Sur le marché de l'exportation, l'électrification est essentielle pour respecter les normes de qualité et faciliter le fonctionnement des entrepôts frigorifiques et des installations de transformation. Ces installations sont essentielles pour maintenir la qualité des produits, prolonger la durée de conservation et se conformer aux réglementations internationales, améliorant ainsi la compétitivité de Madagascar sur les marchés mondiaux. Cependant, notez que le marché d'exportation du poisson a déjà reçu le plus d'investissements, en raison de la valeur monétaire du poisson, de sorte que l'investissement dans le poisson devrait se concentrer sur le marché intérieur et les pêcheries en premier lieu.

CONCLUSIONS

L'objectif de cette tâche pour la chaîne du froid médicale était de rassembler des informations sur le programme global de vaccination et la chaîne du froid de la vaccination à Madagascar, et de cartographier la chaîne d'approvisionnement et l'équipement de la chaîne du froid, y compris l'approvisionnement en énergie et l'emplacement des centres de santé, afin de développer un cadre de modélisation géospatiale qui permet l'analyse des coûts logistiques, des contraintes et des défis pour la chaîne du froid médicale.

Les principaux résultats et enseignements de l'analyse de la chaîne du froid médical sont les suivants :

- L'Équipement de la Chaîne du Froid disponible est relativement récent et devrait fonctionner pendant 5 à 8 ans à condition que l'entretien de base soit assuré.
- La majorité des CSB utilisent moins de 10 % de la capacité de la chaîne du froid, ce qui indique qu'il y a de la place pour la croissance démographique, les nouveaux vaccins et des livraisons potentiellement moins fréquentes. La plupart des magasins de district disposent d'un espace suffisant pour la chaîne du froid, bien que certains partagent l'espace avec des hôpitaux situés au même endroit.
- Environ 20 % des CSB n'ont pas d'équipement fonctionnel et devraient être prioritaires lors de l'acquisition de nouveaux équipements afin d'étendre les services de vaccination à une population plus large.
- Au fur et à mesure que le réseau énergétique s'étend et devient plus fiable, il devrait y avoir une coordination étroite avec le programme de vaccination pour l'achat de nouveaux ECF si l'équipement solaire n'est plus nécessaire, ce qui permettrait de réduire les coûts et de rationaliser les marques et les modèles d'équipement dans le pays afin de faciliter l'entretien.

Les principaux résultats et enseignements de l'analyse de la chaîne du froid agricole sont les suivants :

- L'agriculture est vitale pour l'économie malgache, mais il reste des défis et des obstacles importants qui empêchent le secteur d'atteindre son plein potentiel et d'améliorer les moyens de subsistance.
- La mauvaise qualité des routes est un obstacle majeur au transport sécurisé des produits frais périssables des zones rurales vers les zones urbaines.
- Le retour sur investissement est le plus rapide pour le poisson, le deuxième pour les produits laitiers et le plus lent pour les autres produits (voir le tableau ci-dessous).
- Si les investissements pour les tomates semblent particulièrement peu attrayants, rappelez-vous que 70 % des tomates peuvent partager l'équipement avec les pommes de terre, ce qui améliore la faisabilité économique des investissements pour les deux produits.

Tableau 40. Résumé des principaux résultats de l'analyse de la chaîne du froid dans l'agriculture et la pêche

	Pommes de terre	Tomate	Poisson	Produits laitiers
Production annuelle	251258 t/an	40864 t/an	130724 t/an	103090 t/an
Tentative de production annuelle	402012 t/an	60539 t/an	653622 t/an	171817 t/an
Estimation des pertes de récolte au niveau de l'exploitation	60%	60%	80%	80%
Estimation des pertes de récolte au niveau du commerce de gros ou de la transformation commerciale	2%	10%		40%
Estimation des pertes de récolte au niveau du commerce de détail	2%	2%	40%	
Perte totale	156785 t/an	22036 t/an	732057 t/an	96217 t/an
Valeur économique	\$440.63 /t	\$440.63 /t	\$3,084.39 /t	\$384.68 /t
Perte Impact économique	69 083 525,97 \$ /an	9 709 698,17 \$ /an	2 257 946 120,26 \$ /an	37 012 637,74 \$ /an
Prévention potentielle des pertes de froid	37.50%	32.50%	80.00%	40.00%
Valeur des pertes évitables de la chaîne du froid	25 906 322,24 \$ /an	3 155 651,90 \$ /an	1 806 356 896,21 \$ /an	14 805 055,10 \$ /an
RCI pour un ECF à 100	9,68 ans	14,22 ans	1,33 an	2,42 ans

ANNEXES

Annexe 1 - Equipement indicatif et dimensionnement par établissement de santé

ÉQUIPEMENT	QUANTITÉ CSB/DIS /MAT Taille 1	QUANTITÉ CHD/SDSP Taille 2	QUANTITÉ CHR/DRSP/CR NM Taille 3	QUANTITÉ CHU/DPEV Taille 4	PUISSANCE UNITAIRE (Watts)	PUISSANCE TOTALE CSB/DIS/ MAT	PUISSANCE TOTALE CHD/SDSP	PUISSANCE TOTALE CHR/DRSP/ CRNM	PUISSANCE TOTALE CHU/DPEV	HEURES UTILISÉES PAR JOUR	UTILISATION DE L'ÉNERGIE CSB/DIS/MAT Taille 1	CONSOMMATION D'ÉNERGIE CHD/SDSP Taille 2	UTILISATION DE L'ÉNERGIE CHR/DRSP/ CRNM Taille 3	CONSOMMATION D'ÉNERGIE CHU/DPEV Taille 4
Eclairage	1 ea.	40 ea.	120 ea.	120 ea.	10.0 W	10.0 W	400.0 W	1200.0 W	1200.0 W	10.0 h	100 Wh/jour	4000 Wh/jour	12000 Wh/jour	12000 Wh/jour
Lumière d'examen	1 ea.	2 ea.	4 ea.	8 ea.	20.0 W	20.0 W	40.0 W	80.0 W	160.0 W	2.0 h	40 Wh/jour	80 Wh/jour	160 Wh/jour	320 Wh/jour
Microscope	1 ea.	3 ea.	5 unités	5 unités	10.0 W	10.0 W	30.0 W	50.0 W	50.0 W	2.0 h	20 Wh/jour	60 Wh/jour	100 Wh/jour	100 Wh/jour
Radio	1 ea.	1 ea.	1 ea.	1 ea.	30.0 W	30.0 W	30.0 W	30.0 W	30.0 W	8.0 h	240 Wh/jour	240 Wh/jour	240 Wh/jour	240 Wh/jour
Petit réfrigérateur pour le stockage des vaccins	1 ea.	0 ea.	0 ea.	0 ea.	60.0 W	60.0 W	0.0 W	0.0 W	0.0 W	8.0 h	480 Wh/jour	0 Wh/jour	0 Wh/jour	0 Wh/jour
Grand réfrigérateur pour le stockage des vaccins		1 ea.	3 ea.	3 ea.	500.0 W		500.0 W	1500.0 W	1500.0 W	8.0 h		4000 Wh/jour	12000 Wh/jour	12000 Wh/jour
Autoclave		1 ea.	1 ea.	2 ea.	630.0 W		630.0 W	630.0 W	1260.0 W	1.0 h		630 Wh/jour	630 Wh/jour	1260 Wh/jour
Ventilateur		8 ea.	20 ea.	20 ea.	80.0 W		640.0 W	1600.0 W	1600.0 W	10.0 h		6400 Wh/jour	16000 Wh/jour	16000 Wh/jour
Rotateur/ mélangeur		1 ea.	2 ea.	2 ea.	60.0 W		60.0 W	120.0 W	120.0 W	1.0 h		60 Wh/jour	120 Wh/jour	120 Wh/jour
Bain d'eau		1 ea.	2 ea.	2 ea.	400.0 W		400.0 W	800.0 W	800.0 W	1.0 h		400 Wh/jour	800 Wh/jour	800 Wh/jour

ÉQUIPEMENT	QUANTITÉ CSB/DIS /MAT Taille 1	QUANTITÉ CHD/SDSP Taille 2	QUANTITÉ CHR/DRSP/CR NM Taille 3	QUANTITÉ CHU/DPEV Taille 4	PUISSANCE UNITAIRE (Watts)	PUISSANCE TOTALE CSB/DIS/ MAT	PUISSANCE TOTALE CHD/SDSP	PUISSANCE TOTALE CHR/DRSP/ CRNM	PUISSANCE TOTALE CHU/DPEV	HEURES UTILISÉES PAR JOUR	UTILISATION DE L'ÉNERGIE CSB/DIS/MAT Taille 1	CONSOMMATI ON D'ÉNERGIE CHD/SDSP Taille 2	UTILISATION DE L'ÉNERGIE CHR/DRSP/ CRNM Taille 3	CONSOMMATI ON D'ÉNERGIE CHU/DPEV Taille 4
Spectrophotomètre		1 ea.	2 ea.	2 ea.	63.0 W		63.0 W	126.0 W	126.0 W	1.0 h		63 Wh/jour	126 Wh/jour	126 Wh/jour
Fauteuil dentaire		1 ea.	2 ea.	2 ea.	710.0 W		710.0 W	1420.0 W	1420.0 W	0.5 h		355 Wh/jour	710 Wh/jour	710 Wh/jour
Compresseur		1 ea.	2 ea.	2 ea.	370.0 W		370.0 W	740.0 W	740.0 W	2.0 h		740 Wh/jour	1480 Wh/jour	1480 Wh/jour
Centrifugeuse		1 ea.	1 ea.	1 ea.	600.0 W		600.0 W	600.0 W	600.0 W	1.0 h		600 Wh/jour	600 Wh/jour	600 Wh/jour
Jet Sonic Cleaner		1 ea.	1 ea.	1 ea.	45.0 W		45.0 W	45.0 W	45.0 W	2.0 h		90 Wh/jour	90 Wh/jour	90 Wh/jour
Ordinateur		2 ea.	4 ea.	4 ea.	120.0 W		240.0 W	480.0 W	480.0 W	4.0 h		960 Wh/jour	1920 Wh/jour	1920 Wh/jour
Chargeur de téléphone portable		5 unités	10 ea.	20 ea.	5.0 W		25.0 W	50.0 W	100.0 W	4.0 h		100 Wh/jour	200 Wh/jour	400 Wh/jour
Machine de remplissage d'amalgame		1 ea.	1 ea.	1 ea.	80.0 W		80.0 W	80.0 W	80.0 W	1.0 h		80 Wh/jour	80 Wh/jour	80 Wh/jour
Machine à rayons X			1 ea.	1 ea.	200.0 W			200.0 W	200.0 W	1.0 h			200 Wh/jour	200 Wh/jour
Compteurs CD4			1 ea.	2 ea.	200.0 W			200.0 W	400.0 W	4.0 h			800 Wh/jour	1600 Wh/jour
Analyseur chimique de sang			1 ea.	1 ea.	45.0 W			45.0 W	45.0 W	6.0 h			270 Wh/jour	270 Wh/jour
Mélangeur d'hématologie			1 ea.	1 ea.	230.0 W			230.0 W	230.0 W	4.0 h			920 Wh/jour	920 Wh/jour
Unité de climatisation			3 ea.	3 ea.	1500.0 W			4500.0 W	4500.0 W	8.0 h			36000 Wh/jour	36000 Wh/jour
Appareil de réanimation				1 ea.	165.0 W				165.0 W	4.0 h				660 Wh/jour

ÉQUIPEMENT	QUANTITÉ CSB/DIS /MAT Taille 1	QUANTITÉ CHD/SDSP Taille 2	QUANTITÉ CHR/DRSP/CR NM Taille 3	QUANTITÉ CHU/DPEV Taille 4	PUISSANCE UNITAIRE (Watts)	PUISSANCE TOTALE CSB/DIS/ MAT	PUISSANCE TOTALE CHD/SDSP	PUISSANCE TOTALE CHR/DRSP/ CRNM	PUISSANCE TOTALE CHU/DPEV	HEURES UTILISÉES PAR JOUR	UTILISATION DE L'ÉNERGIE CSB/DIS/MAT Taille 1	CONSOMMATION D'ÉNERGIE CHD/SDSP Taille 2	UTILISATION DE L'ÉNERGIE CHR/DRSP/ CRNM Taille 3	CONSOMMATION D'ÉNERGIE CHU/DPEV Taille 4
Incubateur				1 ea.	917.5 W				917.5 W	4.0 h				3670 Wh/jour
Barème des soins prénataux				1 ea.	2.0 W				2.0 W	1.0 h				2 Wh/jour
Nébuliseur				1 ea.	85.0 W				85.0 W	4.0 h				340 Wh/jour
Concentrateur d'oxygène				1 ea.	285.0 W				285.0 W	4.0 h				1140 Wh/jour
Machine d'aspiration				1 ea.	145.0 W				145.0 W	4.0 h				580 Wh/jour

Annexe 2 - Scénario 2 de l'analyse de la chaîne du froid médical - Électrification des ECF

Le scénario 2 suppose une alternative dans laquelle seul l'équipement ECF de chaque établissement de santé est électrifié. Dans ce scénario, le pourcentage de ECF par rapport aux besoins totaux en électricité de chaque établissement est utilisé pour estimer le dimensionnement et le coût du système requis, qui Schémant à nouveau dans le tableau ci-dessous.

Tableau 41. Électrification des besoins des PECO uniquement

	Taille 1 CSB/DIS/MAT	Taille 2 CHD/SDSP	Taille 3 CHR/DRSP/CRNM	Taille 4 CHU/DPEV
Consommation de ECF	54.5%	21.2%	14.0%	12.8%
Conception du système ECF uniquement (kWh/jour)	0.75	6.24	18.7	18.7
Hors réseau Coût USD	\$669	\$5,743	\$16,495	\$16,495
Coût de l'hybride USD	\$669	\$3,297	\$9,157	\$9,157

En utilisant l'hypothèse d'entrée pour l'électrification du ECF uniquement, les tableaux ci-dessous présentent les coûts des systèmes hybrides pour les infrastructures qui sont prévues pour être sur le réseau (JIRAMA ou mini-réseau MT) ainsi que pour celles qui nécessiteront des systèmes photovoltaïques solaires indépendants hors réseau.

Tableau 42. ECF Electrification Only - Taille et budget des établissements de santé hybrides

Taille	Type d'établissements	Dimensionnement du système hybride			Etablissements sur le réseau (2023)	Modalité d'électrification future		Coût total
		Consommation d'énergie kWh/jour	Taille du réseau PV (kWc)	Coût du système		Extension du réseau	Mini-réseau MT	
1	CSB1	0.7	0.3	\$669	56	75	132	\$175,947
1	CSB2	0.7	0.3	\$669	182	152	204	\$359,922
1	DISP/MAT	0.7	0.3	\$669	1	0	0	\$669
2	CHD	6.2	1.8	\$3,297	-	-	-	\$0
2	SDSP	6.2	1.8	\$3,297	43	25	10	\$257,176
3	CHR	18.7	5.3	\$9,158	2	1	0	\$27,473
3	CHRD	18.7	5.3	\$9,158	15	16	5	\$329,674
3	CHRR	18.7	5.3	\$9,158	4	2	0	\$54,946
3	CRNM	18.7	5.3	\$9,158	1	1	0	\$18,315
3	DRSP	18.7	5.3	\$9,158	15	4	0	\$173,994
4	CHU	18.7	5.3	\$9,158	5	0	0	\$45,788

4	DPEV	18.7	5.3	\$9,158	1	0	0	\$9,158
4	Hospice	18.7	5.3	\$9,158	2	0	0	\$18,315
Total					327	276	351	\$1,471,377

Tableau 43. Electrification ECF uniquement - Taille et budget des établissements de santé hors réseau

Taille	Type d'établissements	Dimensionnement du système autonome hors réseau			Modalité d'électrification future		Coût total
		Consommation d'énergie kWh/jour	Taille du réseau PV (kWc)	Coût du système	Mini-réseau BT	Système PV Individuel (SPI)	
1	CSB1	0.7	0.3	\$669	74	706	\$521,820
1	CSB2	0.7	0.3	\$669	102	1102	\$805,476
1	DISP/MAT	0.7	0.3	\$669	0	0	\$0
2	CHD	6.2	1.8	\$5,743	0	1	\$5,743
2	SDSP	6.2	1.8	\$5,743	1	35	\$206,753
3	RSC	18.7	5.3	\$16,496	0	0	\$0
3	CHRD	18.7	5.3	\$16,496	1	22	\$379,399
3	CHRR	18.7	5.3	\$16,496	0	3	\$49,487
3	CRNM	18.7	5.3	\$16,496	0	1	\$16,496
3	DRSP	18.7	5.3	\$16,496	0	4	\$65,983
4	CHU	18.7	5.3	\$16,496	0	0	\$0
4	DPEV	18.7	5.3	\$16,496	0	0	\$0
4	Hospice	18.7	5.3	\$16,496	0	0	\$0
Total					178	1874	\$2,051,157

Annexe 3 - Résumé des réunions de la mission sur le terrain

Tableau 42 : résumé des réunions pendant la mission sur le terrain

Zones et nombre de jours passés	Nombre de réunions	Type d'organisations	Nombre de réunions avec des femmes	Type de chaîne de valeur
Antananarivo (6 jours)	13	Ministère de l'énergie, Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, Ministère de l'industrie, Programme alimentaire mondial (PAM), BAD (Banque africaine de développement), Supermarché, Entreprise de maintenance de chambres froides, Entreprise de pêche	7	Pêche, pommes de terre, tomates, produits laitiers
Vakinankaratra (4 jours)	8	Agriculture, élevage et pêche Ministère, coopérative agricole, marché de détail, entreprises laitières, entreprises maraîchères	7	Pêche, pommes de terre, tomates, produits laitiers
Amoron'i Mania (2 jours)	6	Agriculture, élevage et pêche Ministère, associations d'agriculteurs, FAO, marché	6	Pommes de terre
Itasy (1 jour)	7	Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, Ministère de l'industrie, entreprise laitière, entreprise de fruits et légumes secs, entreprise de tomates transformées, coopérative de pêche, marché aux poissons, marché des grossistes en pommes de terre.	2	Pommes de terre, tomates, poisson, produits laitiers

Annexe 4 - Méthode de calcul de la charge frigorifique et des exigences de dimensionnement

L'évaluation initiale la plus défavorable est basée sur la détermination du coût de mise en œuvre d'une chaîne du froid idéale pour Madagascar sur la base de la production annuelle. Cela implique l'utilisation d'un équipement commercial standard pour la réfrigération et le transport, la réfrigération étant alimentée par l'énergie solaire ou le réseau électrique et le transport fonctionnant au diesel ou à l'essence, puis l'adaptation de ce scénario à un chiffre plus réaliste de 20 % de mise en œuvre afin d'éviter la duplication des installations existantes et d'obtenir des coûts et un calendrier plus pratique. Après le scénario idéal, des technologies et des approches alternatives susceptibles de réduire les coûts sont décrites.

La charge frigorifique est déterminée sur la base de l'ensemble de la production mesurée en tonnes métriques, à l'exception de la conversion en litres pour le lait. Pour chaque produit, les informations suivantes sont extraites des documents mis à disposition par le Ministère de l'agriculture de Madagascar, des informations de l'USDA et de diverses sources commerciales citées dans la section spécifique à la chaîne de valeur :

- Les quantités annuelles récoltées t_A sont exprimées en tonnes métriques. Les données sur le lait sont parfois exprimées en litres ou en kilolitres. Pour convertir les litres en tonnes métriques, on utilise une densité moyenne du lait de 1,0309 gm/cc (source : US NIH, PubMed <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32726926/>).
- Température du champ de récolte (ou de l'eau de mer pour les poissons) T_H
- Température de stockage ou de durcissement à atteindre, T_S
- Capacité thermique spécifique simple, c , de chaque élément de la chaîne de valeur, évaluée en joules (ou mégajoules)
- Chaleur moyenne de respiration, H_R pour la végétation, pour chaque élément de la chaîne de valeur en joules/jour
- La densité apparente, ρ_B , en tonnes métriques par mètre cube (t/m^3) de chaque article de la chaîne de valeur a été évaluée afin de déterminer l'espace de stockage nécessaire.
- L'humidité relative optimale pour le stockage ou le durcissement est notée pour la conception du système de refroidissement du réfrigérateur et pour déterminer si une humidification ou une déshumidification est nécessaire en plus.

Calculs :

Charge thermique de la charge utile en watts pour le refroidissement, $W_C = (T_H - T_S) \times c + H_R / 86400$ s/jour

Charge thermique de la charge utile en watts à stocker, $W_S = H_R / 86400$ s/jour

Volume de la charge utile du réfrigérateur, $V_P = t_A \times \rho_B$

Volume autorisé pour les allées et l'espace de circulation des réfrigérateurs de type "walk-in", $V_{walk-in} / = V_P \times 2$

Indemnité de charge thermique pour les caisses frigorifiques : Il s'agit d'une approximation simplifiée utilisant des caissons de réfrigération de forme cubique et une mousse PU de 150 mm d'épaisseur avec une conductivité thermique de 0,0262 W/m³ (Rpf 5,5/in dans le système américain), tirée de l'analyse de panneaux muraux de 150 mm (l'épaisseur générale maximale disponible pour l'efficacité). Il en résulte une charge de boîte de $W=(T_H - T_S) \times 1,0316 \times (V)_{walk-in}^{3/4}$. Les charges d'ouverture des portes ont ensuite été fixées à un dixième de la charge du caisson, ce qui est une approximation courante pour une unité qui n'est pas constamment ouverte et fermée toute la journée, et en supposant qu'un rideau à lanières de haute qualité se trouve juste derrière la porte pour réduire les fuites d'air froid lorsque la porte est ouverte.

Un facteur de sécurité de 20 % est ajouté à la charge ci-dessus pour tenir compte de l'accumulation de saletés sur les serpentins entre les nettoyages d'entretien standard.

Annexe 5 - BASE DES COÛTS DU TRANSPORT DU FROID

	Ferme vers Région	Région vers centre urbain	Centre urbain vers détaillant
Distances	30 km	200 km	20 km
Coût moyen ex-usine des camions frigorifiques en Chine	\$3,000.00/t	Ar 13,616,970.6000 ¹	
Distance moyenne parcourue par jour	50 km/jour	91250 T-km/camion ²	
Durée de vie moyenne d'un camion	5 ans		
Coût du camion, de son fonctionnement et entretien et du carburant	\$1,600.00/an/t	Ar 7,262,384.3200/an/t ⁵	
Coût de l'entretien	\$0.09 km-t	Ar 397.9389/km-t ⁴	
Total nécessaire en transport frigorifique	61292243 t-km/an ⁵		
Total des camions nécessaires	672		
CAPEX dans les camions sur la base de camions de 5T	\$10,075,437.13		

¹ Basé sur les prix des équipements chinois sur Alibaba au moment de la création de ce dossier

² Basé sur l'observation dans le pays par Guy Kodjogbe

³ Basé sur des informations de l'industrie et ajusté pour les prix des carburants à Madagascar au moment de la création de ce dossier.

⁴Calculé

⁵A partir de Trans. cumulés